

# INFORME DE CUMPLIMIENTO (AUDITORÍA AMBIENTAL)

## APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ (PRESIDENTE DR. NÉSTOR C. KIRCHNER Y GOBERNADOR JORGE CEPERNIC), PROVINCIA DE SANTA CRUZ

### ANEXO XIV – ESTUDIOS GEOLÓGICOS - GEOTÉCNICOS

NOTAS

--

REFERENCIA


NOTAS INSPECCIÓN


QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL SIN PREVIA AUTORIZACION DE REPRESAS PATAGONIA UTE

0A	EMISIÓN ORIGINAL	29-09-2016	MG	MG	EF	GV
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	PROYECTÓ	EJECUTÓ	REVISÓ	VERIFICÓ

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA  
SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA



APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

NOMBRE		FECHA
EJECUTÓ	MG	29-09-16
REPRES. TEC.		
Etapa Proyecto:		
PE		
Nivel desarrollo:		
100		
Pag.	Form.	Esc.
1/389	A4	s/e


**PRESA PDTE. NÉSTOR KIRCHNER**

Obras Civiles-Obras Generales

**INFORME GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO**

Memoria Técnica. Geotecnia

Doc. N°	Rev.
NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902	0A


	<p>MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA</p> <p>SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA</p> <p>SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 29-09-16</p> <p>Página: 2 de 389</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902</p>

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. OBJETO DEL DOCUMENTO .....</b>	<b>33</b>
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>34</b>
2.1. Documentación de Licitación.....	34
2.2. Campaña de Investigaciones 2015 – UTE Represas Patagonia .....	36
<b>3. GEOLOGÍA REGIONAL .....</b>	<b>38</b>
3.1. Evolución tectónica.....	38
3.2. Estratigrafía .....	43
3.2.1. Fm. Estancia 25 de Mayo .....	45
3.2.2. Fm. Santa Cruz.....	45
3.2.3. Estratigrafía volcánica.....	46
3.3. Unidades morfoestratigráficas y depósitos glaciares .....	48
3.3.1. Terraza Cerro Cuadrado (TCC) y sus depósitos glaciares .....	51
3.3.2. Terraza La Australasia (TLA) y sus depósitos glaciares .....	51
3.3.3. Terraza San Fernando (TSF) y sus depósitos glaciares .....	52
3.3.4. Coladas de basaltos pliocenos y pleistocenos .....	53
3.3.5. Morenas Estancia La Frutuosa (ELF) y sus depósitos glaciares .....	53
3.3.6. Morenas Chuñi Aike (ChA) y sus depósitos de gravas y arenas glaciares.....	55
3.3.7. Morenas Cerro Fortaleza (CF) y sus depósitos de glaciares y glaciares .....	55
3.3.8. Morenas Arroyo Verde (AV) y depósitos glaciares y glaciares .....	56
3.3.9. Morenas El Tranquilo (ET) y sus depósitos glaciares y glaciares .....	58
<b>4. GEOLOGÍA LOCAL .....</b>	<b>59</b>
<b>5. INVESTIGACIONES REALIZADAS ENTRE 2014 Y 2016.....</b>	<b>73</b>
5.1. General.....	73
5.2. Estudios Especializados de Estratigrafía y Geomorfología .....	73
5.3. Sondeos Exploratorios .....	74
5.4. Pruebas de Permeabilidad Lugeon y Lefranc .....	77
5.4.1. Ensayos Lugeon .....	77
5.4.2. Ensayos Lefranc .....	83
5.5. Estudios Geofísicos - Velocidad de Onda de Corte por el Método MASW .....	90
5.5.1. General .....	90
5.5.2. Procedimiento de Ensayo .....	90
5.5.3. Ubicación de los perfiles .....	92
5.5.4. Resultados .....	93
5.6. Ensayos Geofísicos - Crosshole .....	97
5.6.1. Metodología .....	98
5.6.2. Crosshole de la campaña 2006 (ESIN-IATASA) .....	101
5.6.3. Crosshole de la campaña 2015 .....	104
5.7. Sísmica de Refracción Campaña AyEE 1976-1977 .....	110
5.8. Sísmica de Refracción Campaña 2006 .....	112
5.9. Trinchera de Investigación en Margen Izquierda .....	117
5.9.1. Análisis estructural de fallas .....	132
5.10. Pozo Exploratorio .....	134
5.11. Galería de Investigación en Margen Izquierda.....	146
<b>6. ESTUDIO DE RIESGO SÍSMICO Y VOLCÁNICO.....</b>	<b>150</b>
6.1. Riesgo Sísmico.....	150
6.1.1. Definición de las fuentes sísmicas .....	150
6.1.2. Actividad de las fuentes. Recurrencia.....	151
6.1.3. Efecto de los sismos en el emplazamiento. Leyes de atenuación.....	152
6.1.4. Estimación de la peligrosidad .....	152
6.1.5. Formulación de espectros de riesgo uniforme (UHS).....	154
6.1.6. Obtención del acelerograma de diseño .....	154
6.1.7. Componentes horizontales del acelerograma .....	155



6.1.8.	Componentes verticales .....	158
6.2.	Riesgo Volcánico .....	158
6.2.1.	Definición del tipo y fenómenos volcánicos .....	159
6.2.1.1.	Índice de Explosividad Volcánica (VEI) .....	159
6.2.2.	Riesgos asociados a las características de erupciones .....	160
6.2.2.1.	Depósito de cenizas .....	160
6.2.2.2.	Crecidas por la interacción lava-hielo.....	163
6.3.	Oleaje por acciones sísmicas.....	163
6.3.1.	Modelación numérica del oleaje .....	164
<b>7.</b>	<b>ESTUDIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN .....</b>	<b>168</b>
7.1.	Recopilación y análisis de antecedentes.....	169
7.2.	Yacimiento CII .....	172
7.3.	Yacimiento CIII .....	175
7.4.	Yacimiento Cb .....	175
7.5.	Yacimiento CIV y Ca.....	179
7.5.1.	Yacimiento CIV- Margen Derecha-Aguas Abajo .....	179
7.5.1.1.	Estudios de Ay EE .....	179
7.5.1.2.	Campaña de Estudios 2014 (UTE Represas Patagonia) .....	184
7.5.1.3.	Análisis por ambiente geológico en Margen Derecha .....	185
a)	Valle Fluvial .....	185
b)	Terraza Alta .....	189
7.5.2.	Yacimiento Ca - Margen Izquierda-Aguas abajo .....	189
7.5.2.1.	Campaña de AyEE -1980 .....	189
7.5.2.2.	Campaña 2014 .....	193
7.6.	Conclusiones preliminares .....	195
7.7.	Investigación futura .....	196
<b>8.</b>	<b>ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS.....</b>	<b>199</b>
8.1.	Ensayos realizados por el Consorcio IECI para AyEE (1977-1978).....	199
8.2.	Ensayos realizados por el Consorcio ESIN-IATASA (2006) .....	202
8.3.	Ensayos realizados en la Campaña 2015 – UTE Represas Patagonia .....	205
8.3.1.	Resultados .....	208
8.3.2.	Parámetros de roca intacta.....	211
8.3.3.	Ensayos de velocidad de onda de compresión y corte en testigos de roca .....	211
<b>9.</b>	<b>FENOMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LA MARGEN IZQUIERDA.....</b>	<b>214</b>
9.1.	Metodología de trabajo.....	216
9.2.	Tipología, desencadenantes y edad de los movimientos de remoción en masa reconocidos .....	216
9.2.1.	Geoformas de Remoción en Masa presentes en la comarca relevada .....	216
9.2.2.	Descripción de los sitios examinados en detalle .....	221
9.3.	Profundidad de los procesos de remoción en masa .....	235
9.4.	Comentarios Finales.....	237
<b>10.</b>	<b>ANTECEDENTES SOBRE EL MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DEL SITIO .....</b>	<b>239</b>
10.1.	Modelo Geológico y Geotécnico propuesto por AyEE en las décadas de 1970 y 1980.....	239
10.2.	Modelo Geológico y Geotécnico propuesto por el consorcio ESIN IATASA –CAMPAÑA 2006 .....	243
<b>11.</b>	<b>CONCEPTOS GENERALES DEL MODELO GEOLOGICO-GEOTECNICO PROPUESTO .....</b>	<b>246</b>
11.1.	Definición de las superficies de contacto Aluvión/till-roca alterada (CAR) y contacto roca alterada-roca competente (CRC) .....	246
<b>12.</b>	<b>MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE LA MARGEN DERECHA.....</b>	<b>256</b>
12.1.	Investigaciones Realizadas .....	256
12.2.	Marco Geológico .....	257
12.3.	Parámetros Geotécnicos de los depósitos de Till .....	263
12.4.	Estabilidad de las excavaciones en till .....	267
12.5.	Parámetros de la Fundación de las estructura de hormigón en roca .....	269
12.6.	Capacidad de carga de la estructura de desvío .....	270
12.7.	Modelo de Permeabilidad del till y del macizo rocoso .....	272
12.8.	Modelo de Filtraciones del Till – Muro colado de cierre .....	276

	<p>MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA</p> <p>SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA</p> <p>SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 29-09-16</p> <p>Página: 4 de 389</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902</p>

<b>13. MODELO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE LA PRESA .....</b>	<b>280</b>
13.1. Investigaciones Realizadas .....	281
13.1.1. Marco Geológico .....	281
13.2. Parámetros Geotécnicos del Aluvión .....	288
13.2.1. Velocidad de onda de corte, densidad relativa y deformabilidad .....	288
13.2.2. Permeabilidad del material aluvional .....	294
13.3. Techo de roca para muro colado .....	296
13.3.1. Zonificación de la Presa .....	297
13.3.2. Análisis de filtraciones .....	301
13.4. Criterios de Fundación de la Presa y plinto flotante .....	306
13.5. Criterios de Fundación del plinto en roca (NK-A.CV-MT.GT-(PR-02-01)-P001) .....	306
<b>14. MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE LA MARGEN IZQUIERDA .....</b>	<b>308</b>
14.1. Investigaciones Realizadas .....	309
14.2. Marco Geológico .....	311
14.3. Modelo Geológico y Geotécnico para Toma, Conducción y Central .....	312
14.3.1. Parámetros de Resistencia .....	313
14.3.2. Parámetros de Deformabilidad .....	321
14.3.3. Capacidad de Carga de la Fundación .....	324
14.3.4. Condiciones de Permeabilidad .....	326
14.4. Modelo Geológico y Geotécnico para el Vertedero, Rápida y Cuenco Amortiguador .....	330
14.4.1. Parámetros de Resistencia .....	336
14.4.2. Capacidad de Carga de la Fundación del vertedero .....	338
14.4.3. Condiciones de Permeabilidad .....	339
14.4.4. Diseño de Taludes de excavación .....	343
14.5. Modelo Geológico y Geotécnico para el Canal de Aducción y Muro de cierre .....	348
<b>15. INVESTIGACIONES FUTURAS .....</b>	<b>359</b>
<b>16. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>360</b>

## FIGURAS

FIGURA 1.1: ARREGLO GENERAL DE LA PRESA NÉSTOR KIRCHNER .....	16
FIGURA 1.2: PLANO DE INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS REALIZADAS EN DIFERENTES CAMPAÑAS .....	17
FIGURA 1.3: CALICATAS EN CANAL DE ADUCCIÓN, ESTRUCTURAS Y CANAL DE RESTITUCIÓN .....	22
FIGURA 1.4: CALICATAS EN LAS EXCAVACIONES OBLIGATORIAS EN MARGEN IZQUIERDA .....	22
FIGURA 1.5: CALICATAS EN YACIMIENTO CVI EN MARGEN IZQUIERDA .....	22
FIGURA 1.6: MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE LA MARGEN DERECHA. SE DESTACAN LOS DEPÓSITOS DE TILL SUPERIOR, MEDIO E INFERIOR, SUPRAYACIENDO DE MANERA DISCORDANTE LAS ROCAS DE LA FM. SANTA CRUZ .....	24
FIGURA 1.7: MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE LA TOMA Y CENTRAL .....	27
FIGURA 1.8: MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DEL VERTEDERO .....	28
FIGURA 1.9: MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DEL CUENCO DISIPADOR .....	29
FIGURA 1.10: MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DEL CANAL DE ADUCCIÓN .....	30
FIGURA 3.1: DISTRIBUCIÓN MORFOESTRUCTURAL DE LA CUENCA AUSTRAL O MAGALLÁNICA Y DEMARCACIÓN DE LOS FRENTE DE DEFORMACIÓN EMERGENTES Y NO EMERGENTES A LA LATITUD DEL RÍO SANTA CRUZ (TOMADO DE <i>GHIGLIONE ET AL</i> 2009). RECUADRO PERTENECE A FIGURA 2 .....	38
FIGURA 3.2: MAPA GEOLÓGICO TOMADO DE LA REGIÓN CORDILLERANA (VÉASE RECUADRO EN FIGURA 1) A LA LATITUD DEL ÁREA DE ESTUDIO (GHIGLIONE ET AL 2009) .....	39
FIGURA 3.3: MARCO GEOLÓGICO Y PERFIL ESQUEMÁTICO DE LA PATAGONIA ARGENTINA CONTRASTANDO LA REGIÓN INTERNA (HINTERLAND) REPRESENTADA POR LA ACTUAL CORDILLERA PATAGÓNICA DE LA REGIÓN EXTERNA O TRANQUILA DEL ANTEPAÍS (FORELAND) .....	40
FIGURA 3.4: MARCO GEOLÓGICO Y PRINCIPALES RASGOS GEOTECTÓNICOS DE LA PATAGONIA ARGENTINA (TOMADO DE <i>RAMOS Y GHIGLIONE</i> , 2008) .....	41
FIGURA 3.5: MAPA PALEOGEOGRÁFICO MOSTRANDO LA DISTRIBUCIÓN DE INGRESIONES MARINAS MIOCENAS EN LA PATAGONIA (TOMADO DE <i>DEL RÍO ET AL.</i> , 2013) .....	42
FIGURA 3.6: MAPA REDIBUJADO DE CALDENIUS (1932) MOSTRANDO LA EXTENSIÓN MÁXIMA QUE ALCANZARON LAS GLACIACIONES PLEISTOCENAS EN PATAGONIA (TOMADO DE <i>MÖRNER</i> , 1991) .....	42


	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 5 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

FIGURA 3.7: AFLORAMIENTO DE ARENISCAS DE LA FM 25 DE MAYO EN LA QUEBRADA DEL MOSQUITO SOBRE RUTA PROVINCIAL 17.....	43
FIGURA 3.8: FÓSILES MARINOS DE LA FM 25 DE MAYO EN LA QUEBRADA DEL MOSQUITO SOBRE RUTA PROVINCIAL 17.....	44
FIGURA 3.9: FACIES SEDIMENTARIAS DE LA FM. SANTA CRUZ EN EL SITIO CORDÓN ALTO.....	46
FIGURA 3.10: SUPERPOSICIÓN DE COLADAS DE BASALTO EN EL SITIO CO FORTALEZA – MARGEN DERECHA DEL EJE DE LA PRESA.....	47
FIGURA 3.11: DETALLE DE LAS COLADAS DE BASALTO DE CO FORTALEZA.....	48
FIGURA 3.12: DISTRIBUCIÓN DE LAS UNIDADES MORFOESTRATIGRÁFICAS EN EL ALTO VALLE DEL RÍO SANTA CRUZ (STRELIN Y MALAGNINO, 1996).....	50
FIGURA 3.13: POSICIÓN DE LAS TERRAZAS PAMPA ALTA Y LA AUSTRALASIA.....	51
FIGURA 3.14: BLOQUE ERRÁTICO ENTERRADO EN DEPÓSITOS DE LA TERRAZA LA AUSTRALASIA.....	52
FIGURA 3.15: BASALTOS DE CO. FORTALEZA CUBRIENDO LAS GRAVAS DE LA TERRAZA SAN FERNANDO.....	53
FIGURA 3.16: MORENAS ESTANCIA LA FRUCTUOSA (ELF), CHUÑI AIKE (CHA) Y CO FORTALEZA (CF) (STRELIN Y MALAGNINO 1996).....	54
FIGURA 3.17: DEPÓSITOS DE TERRAZAS LA FRUCTUOSA EN CERCANÍA DE LA EA. CÓNDOR CLIFF.....	55
FIGURA 3.18: MORENAS ARROYO VERDE 1 (AVI), ARROYO VERDE 2 (AVII), PALEO LAGO ARGENTINO (PLA) (STRELIN Y MALAGNINO 1996).....	57
FIGURA 3.19: MORENAS EL TRANQUILO, ESTADIAL 1 (ETEI), EL TRANQUILO ESTADIAL 2 (ETEII) (STRELIN Y MALAGNINO 1996).....	58
FIGURA 4.1: MAPA GEOLÓGICO DE LA PRESA NÉSTOR KIRCHNER.....	60
FIGURA 4.2: ARENISCAS GRIS OSCURO CON ESTRATIFICACIÓN ENTRECruzADA. ESTANCIA CORDÓN ALTO.....	61
FIGURA 4.3: ARENISCAS FINAS LIMOSAS GRIS OSCURO A CLARO.....	62
FIGURA 4.4: LIMOLITAS TOBÁCEAS. A, B Y C: ASPECTO EN AFLORAMIENTOS, BANCOS TABULARES, GRIS BLANQUECINO A VERDOSO CON BIOTURBACIONES Y TRAZAS DE RAÍCES CON ÓXIDOS DE HIERRO. A, ESTANCIA FORTALEZA B Y C. CORDÓN ALTO. EN TESTIGOS ESTAS ROCAS SE OBSERVAN D. HOMOGÉNEAS O CON MOTAS OCRES POZO CD-4 CAJÓN 14. E. MARCAS DE BIOTURBACIONES QUE SE OBSERVA POR LOS PARCHES DE ARENA Y ARCILLA. POZO CI-11 CAJÓN 15. F. MOTAS DE ÓXIDOS DE HIERRO, CON ALTO ÍNDICE DE BIOTURBACIONES POZO CI-11, CAJÓN 23.....	63
FIGURA 4.5: ARCILITAS TOBÁCEAS LAMINADAS A BANDEADAS. A Y B. NIVELES TABULARES LAMINADOS. CORDÓN ALTO. C Y D. TESTIGO POZO PRK 01 CAJA 5, BANDAS DE ARENISCA FINA GRADADA CON MICRO ONDULITAS Y NIVELES DE ARCILITAS LAMINADAS OSCURAS. E Y F. TOBAS, ASPECTO DE CAMPO, CORDÓN ALTO. G Y H TOBAS EN LOS POZOS CD-4 CAJÓN 17 Y CD-3 CAJÓN 18, RESPECTIVAMENTE.....	64
FIGURA 4.6: A. FOTO CAJÓN 5 DEL POZO PRK 01. SE OBSERVA LA RELACIÓN ENTRE ARENISCAS GRUESAS GRISES, PELITAS LAMINADAS BRECHADAS Y ARENISCAS GRADADAS. B, C Y D PELITAS LAMINADAS VERDES CON BRECHADAS, NÓTESE LOS FRAGMENTOS ANGULOSOS Y LA INTRODUCCIÓN DE MATERIAL ARENOSO RELLENANDO LAS GRIETAS (FLECHA AMARILLA). E Y F, ARENISCAS GRADADAS RICAS EN LIMO CON INTRACLASTOS PELÍTICOS (FLECHAS NARANJAS) DEL POZO PRK 02, CAJÓN 4.....	66
FIGURA 4.7: INTERVALO CON ALTERNANCIA DE ARENISCAS MUY FINAS LAMINADAS Y PELITAS DE ORIGEN LACUSTRE. NÓTESE LA GRADACIÓN NORMAL EN LAS BANDAS DE ARENA Y LA ESTRUCTURA DE DEFORMACIÓN SINSEDIMENTARIA (FOTO SUPERIOR DERECHA) DENTRO DEL INTERVALO.....	67
FIGURA 4.8: SUMIDEROS POR EFECTO DE PIPING EN ROCAS TOBÁCEAS.....	68
FIGURA 4.9: VISTA DE LA MARGEN DERECHA (SUR) DE LA PRESA EN DONDE SE OBSERVA AL FONDO LA MESETA BASÁLTICA (1), LOS DEPÓSITOS GLACIALES ATERRAZADOS (2) Y LOS DEPÓSITOS ALUVIALES DEL RÍO SANTA CRUZ (3).....	69
FIGURA 4.10: DEPÓSITO DE TILL DE ABLASIÓN EXPUESTO EN LA PLATAFORMA DEL SONDEO SAK5 (COTA 155M) – MARGEN DERECHA.....	70
FIGURA 4.11: DEPÓSITO FLUVIOGLACIAL EXPUESTO EN LA PLATAFORMA DEL SONDEO SAK 6 (COTA 205M) – MARGEN DERECHA.....	70
FIGURA 4.12: DEPÓSITO VARVÍTICO PLEGADO POR EFECTO DE LA ACCIÓN DE EMPUJE DEL GLACIAR – MARGEN IZQUIERDA.....	71
FIGURA 4.13: ESTRATOS DE LA FM. SANTA CRUZ INCLINADOS HACIA EL NW PRODUCTO DE UN DESLIZAMIENTO ROTACIONAL – MARGEN IZQUIERDA.....	71
FIGURA 5.1: PERFORADORA SOILMEC SM-525.....	76
FIGURA 5.2: PERFORADORA LONGYEAR LF90.....	76
FIGURA 5.3: DETERMINACIÓN DEL UL EN ENSAYOS CON PRESIÓN MÁXIMA > 10 KG/CM <sup>2</sup> (EJ. 0,33UL).....	78
FIGURA 5.4: DETERMINACIÓN DEL UL EN ENSAYOS CON PRESIÓN MÁXIMA <10 KG/CM <sup>2</sup> .....	79
FIGURA 5.5: GRÁFICAS TÍPICAS DE ENSAYOS DE PERMEABILIDAD LUGEON (TOMADO DE LA NORMA ISO/DIS 22282-3).....	82
FIGURA 5.6: PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD LEFRANC.....	85
FIGURA 5.7: CURVA DE DISPERSIÓN ANALÍTICA EXPERIMENTAL Y SU AJUSTE CON LA CURVA TEÓRICA.....	91
FIGURA 5.8: VARIACIÓN DE V <sub>s</sub> EN FUNCIÓN DE LA PROFUNDIDAD.....	91
FIGURA 5.9: PERFILES MASW EN MARGEN DERECHA.....	92
FIGURA 5.10: PERFILES MASW EN MARGEN IZQUIERDA.....	93



	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 6 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

FIGURA 5.11: CORRELACIÓN ENTRE $V_{S1}$ , $N_1$ Y DENSIDAD RELATIVA (ANDRUS 2004, YI 2010) .....	94
FIGURA 5.12: CORRELACIÓN ENTRE EL ÁNGULO DE FRICCIÓN EN COMPRESIÓN TRIAXIAL Y LA DENSIDAD RELATIVA, TAMAÑO DE GRANO Y GRADACIÓN (DM-7). 1 PCF = 16.01 KG/M <sup>3</sup> .....	95
FIGURA 5.13: CORRELACIÓN ENTRE LOS VALORES MEDIDOS DE $V_s$ CON LA TÉCNICA MASW Y LA COTA – PERFILES DE MARGEN DERECHA .....	95
FIGURA 5.14: CORRELACIÓN ENTRE LOS VALORES MEDIDOS DE $V_{S1}$ CON LA TÉCNICA MASW Y LA COTA – PERFILES DE MARGEN DERECHA .....	96
FIGURA 5.15: CORRELACIÓN ENTRE LOS VALORES MEDIDOS DE $V_s$ CON LA TÉCNICA MASW Y LA COTA – PERFILES DE MARGEN IZQUIERDA. ....	97
FIGURA 5.16: CORRELACIÓN ENTRE LOS VALORES MEDIDOS DE $V_{S1}$ CON LA TÉCNICA MASW Y LA COTA – PERFILES DE MARGEN IZQUIERDA. ....	97
FIGURA 5.17: UBICACIÓN DE LOS SONDEOS CON ENSAYOS CROSSHOLE. EN AZUL LOS CROSSHOLE DE LA CAMPAÑA 2006 Y EN ROJO LOS DE LA CAMPAÑA 2015 .....	99
FIGURA 5.18: ESQUEMA DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS CROSSHOLE (TOMADO DE LA NORMA ASTM D4428).....	100
FIGURA 5.19: PERFIL GEOFÍSICO EN EL EJE DE LA PRESA CORRESPONDIENTE A LA CAMPAÑA DE AYEE (1977). ....	111
FIGURA 5.20: PERFIL GEOFÍSICO TR1 A TR9 140 M AGUAS ARRIBA DEL MURO COLADO CORRESPONDIENTE A LA CAMPAÑA DE 2006. ....	113
FIGURA 5.21: PERFIL GEOFÍSICO TE1 A TR9 EN EL EJE DEL MURO COLADO CORRESPONDIENTE A LA CAMPAÑA DE 2006.....	114
FIGURA 5.22: PERFIL GEOFÍSICO TB1 A TB6 140 M AGUAS ABAJO DEL EJE DE LA PRESA CORRESPONDIENTE A LA CAMPAÑA DE 2006. ....	115
FIGURA 5.23: PERFIL GEOFÍSICO TBII1 A TBII3 SITUADO ENTRE EL VERTEDERO Y LA CENTRAL EN MARGEN IZQUIERDA CORRESPONDIENTE A LA CAMPAÑA DE 2006.....	116
FIGURA 5.24: VISTA AÉREA LATERAL DEL SECTOR DE EXCAVACIÓN DE LA TRINCHERA EXPLORATORIA. ....	118
FIGURA 5.25: ESQUEMA DE LAS DISTINTAS SECCIONES (TR1, TR2 Y TR3) Y LOS FRENTE EN LOS QUE SE SUBDIVIDEN.....	118
FIGURA 5.26: FOTOGRAFÍA DEL FRENTE 3 (TR1) CON LOS CONTACTOS ENTRE LITOLÓGÍAS MARCADOS CON ROJO, LOS CÍRCULOS AMARILLOS SON LAS CONCRECIONES, EL ÁREA AZUL LOS SLICKENSIDE Y LA LÍNEA AZUL LA FALLA. ....	120
FIGURA 5.27: FOTOGRAFÍA DEL FRENTE 4 TR1 CON LOS CONTACTOS ENTRE LITOLÓGÍAS MARCADOS CON ROJO .....	121
FIGURA 5.28: FOTOGRAFÍA DEL FRENTE 5 TR1, CON LOS CONTACTOS ENTRE LITOLÓGÍAS MARCADOS CON ROJO Y CON AZUL LAS FALLAS NORMALES. ....	123
FIGURA 5.29: FOTOGRAFÍA DEL FRENTE 6 TR1 CON LOS CONTACTOS ENTRE LITOLÓGÍAS MARCADOS CON ROJO Y CON AZUL LAS FALLAS NORMALES. ....	124
FIGURA 5.30: FOTOGRAFÍA DEL FRENTE 7 TR1 CON LOS CONTACTOS ENTRE LITOLÓGÍAS MARCADOS CON ROJO Y CON AZUL LAS FALLAS NORMALES. ....	125
FIGURA 5.31: FOTOGRAFÍA DEL FRENTE 1 TR2, CON LOS CONTACTOS ENTRE LITOLÓGÍAS MARCADOS CON ROJO. ....	127
FIGURA 5.32: FOTOGRAFÍA DEL FRENTE TR3-2 CON LOS CONTACTOS ENTRE LITOLÓGÍAS MARCADOS CON ROJO, CON UNA LÍNEA AZUL LA FALLA, UN ÁREA AZUL LOS SLICKENSIDE Y AMARILLO LAS FRACTURAS CON CARBONATOS Y LAS CONCRECIONES. ....	128
FIGURA 5.33: FOTOGRAFÍA DEL FRENTE TR3-4 CON LOS CONTACTOS ENTRE LITOLÓGÍAS MARCADOS CON ROJO, CON AZUL LAS FALLAS Y CON AMARILLO LOS NIVELES CON CARBONATO. ....	130
FIGURA 5.34: FOTO DEL SONDEO PRK 05, CAJA 6 DE 16. SE OBSERVAN CONTACTOS LITOLÓGICOS INCLINADOS, EN ROJO Y FRACTURAS OBLICUAS, EN AZUL. ....	131
FIGURA 5.35: FOTO DEL SONDEO PRK 05, CAJA 3 DE 16. SE OBSERVAN CONCRECIONES DE CARBONATO EN AMARILLO Y FRACTURAS OBLICUAS EN AZUL. ....	131
FIGURA 5.36: PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA DE LOS POLOS DE LAS FALLAS MAPEADAS EN TR1 (CRUCES) Y TR3 (TRIÁNGULOS).....	133
FIGURA 5.37: SUPERFICIES DE DESLIZAMIENTO DEDUCIDAS DE LAS OBSERVACIONES GEOLÓGICAS REALIZADAS EN LA TRINCHERA EXPLORATORIA.....	134
FIGURA 5.38: UBICACIÓN APROXIMADA DEL POZO EXPLORATORIO AL SUR DE LA TRINCHERA.....	135
FIGURA 5.39: MAPEO GEOLÓGICO DEL POZO EXPLORATORIO ENTRE COTAS 186,2 M Y 134 M .....	137
FIGURA 5.40: TRAMO DE 3,0 A 6,07 M. EN ROJO CONTACTOS LITOLÓGICOS Y EN AMARILLO LAS FRACTURAS. A LA DERECHA SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES. EN ESTA SECCIÓN CONTINÚAN LAS ARENISCAS ARCILLOSAS (A) HASTA APROXIMADAMENTE LOS 5M EN LA PARTE MÁS PROFUNDA, POR DEBAJO, CON UN CONTACTO DIFUSO, SE ENCUENTRAN UNAS ARENISCAS LIMO ARCILLOSAS (C) DE COLOR PARDO VERDOSO, MASIVAS. SE OBSERVAN MUCHAS FRACTURAS, ALGUNAS CEMENTADAS CON CARBONATOS Y CONCRECIONES DE CARBONATOS. ....	139
FIGURA 5.41: TRAMO 8,02 M A 14 M. MOSTRANDO LAS FALLAS NORMALES QUE AFECTAN LAS ROCAS ALTERADAS DE LA FM SANTA CRUZ. LITOLÓGÍAS MAPEADAS: PELITAS LIMOSAS (D), ARENISCAS LIMOSAS (E), PELITAS LIMO ARCILLOSAS (F) DE COLOR VERDE, BLANDAS, PELITA ARENOSA TOBÁCEA (G) DE COLOR PARDA GRISÁCEA, PELITAS LIMOSAS (H) DE COLOR VERDE CLARO, MASIVAS, ARENISCAS TOBÁCEAS (I) DE COLOR GRIS, MASIVAS, PELITAS ARENOSAS (J), DE COLOR VERDE	

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 7 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

GRISÁCEO CLARO, CON TEXTURA BRECHOSA, PELITA VIOLETA (U), MASIVA, LA CUAL SE ENCUENTRA CORTADA Y DESPLAZADA POR FALLAS DE TIPO NORMAL CON DIRECCIONES 102°/65° Y 100°/69° Y ARENISCAS DE GRANO MEDIO (M) GRIS.	140
FIGURA 5.42: ARENISCA LIMONITIZADA (S) TRAMO 26 A 28 M.	141
FIGURA 5.43: MAPEO GEOLÓGICO TRAMO 44 A 46 M CORRESPONDIENTE A ROCAS COMPETENTES. POR DEBAJO DE LA LIMOLITA (AB) HASTA LOS 45,5 M, COTA 140.7 M, APARECE UNA LIMOLITA ARCILLOSA GRIS VERDOSA OSCURA (AC), TEXTURA MASIVA Y SE ENCUENTRA HÚMEDA. ESTA LIMOLITA (AC) SE ENCUENTRA CORTADA DESDE LOS 44.6 M A 44.8 M, COTAS 141.6 M Y 141.4 M RESPECTIVAMENTE, POR UNA TOBA ARENO LIMOSA GRIS CLARO (AD) CON TEXTURA MOTEADA. EN GENERAL LOS CONTACTOS SON NETOS MENOS EN EL LADO NORTE DONDE LOS CONTACTOS SE VUELVEN DIFUSOS.	142
FIGURA 5.44: DIAGRAMA ESTEREOGRÁFICO DE LAS FRACTURAS MAPEADAS EN EL TRAMO 0-18,5M (COTAS 186,2 M A 167,7 M)	143
FIGURA 5.45: DIAGRAMA ESTEREOGRÁFICO DE LAS FALLAS NORMALES MAPEADAS EN EL EL TRAMO 0-18,5 M (COTAS 186,2 M A 167,7 M)	143
FIGURA 5.46: DIAGRAMA ESTEREOGRÁFICO DE LOS PLANOS DE ESTRATIFICACIÓN EN EL TRAMO 0-18,5 M (COTAS 186,2 M A 167,7 M)	144
FIGURA 5.47: DIAGRAMA ESTEREOGRÁFICO DE LAS FRACTURAS EN EL TRAMO 18,5 M A 34 M (COTAS 167,7 A 152,2 M)	144
FIGURA 5.48: DIAGRAMA ESTEREOGRÁFICO DE LAS FRACTURAS EN EL TRAMO 34 M A 53 M (COTAS 152,2 A 133,2 M)	145
FIGURA 5.49: UBICACIÓN DE LA TRINCHERA DE ACCESO A LA GALERÍA DE INVESTIGACIÓN	147
FIGURA 5.50: VISTA GENERAL DE LA EXCAVACIÓN DE LA TRINCHERA DE ACCESO MOSTRANDO LOS DISTINTOS MATERIALES ENCONTRADOS (A: DEPÓSITOS DE TILL COMPLEJOS, B: FM SANTA CRUZ ALTERADA, C: FM SANTA CRUZ SANA Y COMPETENTE)	148
FIGURA 5.51: DETALLE DE LOS ESTRATOS EN EL PORTAL DE ENTRADA DE LA GALERÍA. B: ROCAS DE LA FM SANTA CRUZ ALTERADA. C1: LIMOLITA GRIS CLARA, C2: ARENISCA GRIS OSCURA FRIABLE, C3: PELITA GRIS VERDOSA CLARA, C4: PELITA GRIS VERDOSA OSCURA.	148
FIGURA 5.52: CONTACTO DISCORDANTE POR PLANO DE DESLIZAMIENTO ENTRE LAS ROCAS SUBYACENTES DE LA FM SANTA CRUZ Y LOS DEPÓSITOS DE TILL SOBREYACENTES.	149
FIGURA 5.53: DETALLE DE LOS DEPÓSITOS DE TILL MOSTRANDO LOS BLOQUES DE BASALTOS (A1) INMERSOS EN UNA MATRIZ LIMOARCILLOSA PARDA CLARA (A2) Y DEPÓSITOS FLUVIOGLACIALES ENTREMEZCLADOS (A3).	149
FIGURA 6.1: REGIONALIZACIÓN SÍSMICA DE FLINN-ENGDAHL	150
FIGURA 6.2: UBICACIÓN DE FUENTES SISMOGENÉTICAS. PAT: PATAGONIA EXTRAANDINA. FAJ: FAJA CORRIDA Y PLEGADA DE ARGENTINA Y CHILE. SUB: BORDE DE SUBDUCCIÓN CHILENO. FUE: TIERRA DEL FUEGO. FBF: FALLA BAJADA FORTALEZA. FERG: FALLA RINCÓN GRANDE. FM: FALLA MAGALLANES	151
FIGURA 6.3: RESULTADOS DEL CÁLCULO DE PROBABILIDADES. CONDOR: SITIO DE LA PRESA N. KIRCHNER. BARRANCA: SITIO DE LA PRESA J. CEPERNIC. CALAFATE: EL CALAFATE	153
FIGURA 6.4: ESPECTROS UNIFORMES HORIZONTALES PARA EL SITIO DE LA PRESA N. KIRCHNER PARA UN AMORTIGUAMIENTO DEL 5%	154
FIGURA 6.5: DESAGREGACIONES EN DISTANCIAS A LA FUENTE Y MAGNITUDES PARA TR 9950	155
FIGURA 6.6: ACELEROGRAMAS PARA LA PRESA N. KIRCHNER.	157
FIGURA 6.7: UBICACIÓN DE VOLCANES ACTIVOS EN LA ZONA DE INFLUENCIA DE LAS PRESAS.	158
FIGURA 6.8: DISTANCIA DE LAS PRESAS NK Y JC A LOS VOLCANES ACTIVOS MÁS IMPORTANTES.	160
FIGURA 6.9: DISTRIBUCIÓN DE LOS VIENTOS EN EL SUR ARGENTINO	161
FIGURA 6.10: DISTRIBUCIÓN DE PLUMAS DE CENIZA DE GRANDES EXPLOSIONES	162
FIGURA 6.11: CURVAS DE ESPESORES DE CENIZA DE UNA EXPLOSIÓN DEL RÉCLUS	162
FIGURA 6.12. GEOMETRÍA DE LOS MODELOS DEL EMBALSE DE LA PRESA NK	165
FIGURA 7.1: PLANO DE UBICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS ESTUDIADOS POR AYEE EN EL SITIO DE LA PRESA N. KIRCHNER.	171
FIGURA 7.2: UBICACIÓN DE LAS 25 CALICATAS EXPLORATORIAS DEL YACIMIENTO	173
FIGURA 7.3: PROMEDIO DE YACIMIENTO CII Y FAJAS ACEPTACIÓN DE MATERIALES 2B Y 3B	174
FIGURA 7.4: PLANTA DE UBICACIÓN DE LAS 5 CALICATAS EXPLORATORIAS DEL YACIMIENTO CB	176
FIGURA 7.5: CURVA GRANULOMÉTRICA PROMEDIO DE YACIMIENTO CB Y BANDAS DE ACEPTACIÓN DE MATERIALES 2B Y 3B	177
FIGURA 7.6: CURVAS GRANULOMÉTRICAS PROMEDIO DE YACIMIENTOS CIII, CII Y CB JUNTO CON BANDAS DE ACEPTACIÓN DE MATERIALES 2B Y 3B.	178
FIGURA 7.7: PLANTA DE UBICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS CERCANOS AL EJE DE PRESA.	179
FIGURA 7.8: PLANTA DE UBICACIÓN DE LAS 19 CALICATAS EXPLORATORIAS DEL YACIMIENTO CIV	180
FIGURA 7.9: CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE TODOS LOS HORIZONTES ESTUDIADOS EN LA CAMPAÑA DE AYEE DEL YACIMIENTO CIV	181
FIGURA 7.10: CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE LOS HORIZONTES GRAVOSOS DEL YACIMIENTO CIV ESTUDIADOS EN LA CAMPAÑA DE AYEE CON ANÁLISIS HASTA 3° Y EL PROMEDIO (EN LÍNEA ROJA DISCONTINUA).	182




	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 8 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

FIGURA 7.11: CURVA GRANULOMÉTRICA PROMEDIO DE LOS HORIZONTES GRAVOSOS ESTUDIADOS EN LA CAMPAÑA DE AYEE CON ANÁLISIS HASTA 3" Y FRANJA DE ACEPTACIÓN DE MATERIAL 3B PARA ESPALDONES Y 2B DE APOYO DE LOSA. ....	183
FIGURA 7.12: PLANO DE UBICACIÓN DE LOS ESTUDIOS REALIZADOS EN LA MARGEN DERECHA EN LAS PROXIMIDADES DEL CANAL DE DESVÍO. ....	184
FIGURA 7.13: CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE CALICATAS EN VALLE FLUVIAL Y PROMEDIO .....	186
FIGURA 7.14: CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE -PROMEDIO Y FAJA ACEPTACIÓN 3B DE ESPALDONES Y 2B APOYO DE LOSA	187
FIGURA 7.15: CURVAS GRANULOMÉTRICAS PROMEDIO 1980 Y VALLE COMPARADAS CON OTRAS PRESAS DE GRAVAS COMPACTADAS .....	188
FIGURA 7.16: PLANTA DE UBICACIÓN DE LOS 10 POZOS EXPLORATORIOS DEL YACIMIENTO CA POR AYEE.....	189
FIGURA 7.17: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO CALICATAS DE AYEE (1980) PARA EL YACIMIENTO CA .....	191
FIGURA 7.18: PROMEDIO PONDERADO GRAVAS CON MÁXIMO Y MÍNIMO Y FAJA DE ACEPTACIÓN DE MATERIAL 3B Y 2B- CALICATAS DE A Y EE (1980) PARA EL YACIMIENTO CA.....	192
FIGURA 7.19: UBICACIÓN CALICATAS DE LA CAMPAÑA 2014 (MARCADAS EN CELESTE) .....	193
FIGURA 7.20: CURVAS GRANULOMÉTRICAS PROMEDIO DE LAS CINCO CALICATAS ANALIZADAS EN EL LABORATORIO DE LA UNIV. LA PLATA JUNTO CON LOS PROMEDIOS DEL YACIMIENTO CA DE LOS ESTUDIOS DE AYEE .....	194
FIGURA 7.21: CALICATAS EN CANAL DE ADUCCIÓN, ESTRUCTURAS Y CANAL DE RESTITUCIÓN. EXCAVACIÓN OBLIGATORIA EN MARGEN DERECHA. ....	196
FIGURA 7.22: CALICATAS EN LAS EXCAVACIONES OBLIGATORIAS EN MARGEN IZQUIERDA .....	197
FIGURA 7.23: CALICATAS EN YACIMIENTO CVI EN MARGEN IZQUIERDA. ....	198
FIGURA 8.1: UBICACIÓN DE LOS SONDEOS DONDE SE REALIZARON ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCAS EN LA CAMPAÑA 1977-1978 (AYEE) .....	200
FIGURA 8.2: UBICACIÓN DE LOS SONDEOS DONDE SE REALIZARON ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCAS EN LA CAMPAÑA 2006 (ESIN – IATASA) .....	203
FIGURA 8.3: UBICACIÓN DE LOS SONDEOS DONDE SE REALIZARON ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCAS EN LA CAMPAÑA 2015 .....	205
FIGURA 8.4: PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS .....	206
FIGURA 9.1: EN RECUADRO SE INDICA EL ÁREA RELEVADA A ESCALA GENERAL, DENTRO DE LA CUAL SE LOCALIZAN LOS SITIOS DONDE SE REALIZARON LOS ESTUDIOS DE DETALLE CORRESPONDIENTES A LA ZONA NORTE (1), POZO EXPLORATORIO (2), TRINCHERA EXPLORATORIA (3) Y CALICATAS A LO LARGO DE LA TRANSECTA SITUADA SOBRE LA TERRAZA DEL RÍO SANTA CRUZ (4).....	215
FIGURA 9.2: MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO GENERAL, SOBRE EL QUE SE INDICAN LAS ZONAS 1, 2, 3 Y 4 DE ESTUDIOS DE DETALLE .....	217
FIGURA 9.3: CORTE TRANSVERSAL ARTIFICIAL DE UN DESLIZAMIENTO ROTACIONAL. DESDE LA IZQUIERDA (TECHO DE LA SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA) A LA DERECHA (BASE DE LA MISMA), SE OBSERVAN LAS VULCANITAS DE LA FM. CÓNDOR CLIFF O BASALTOS CÓNDOR CLIFF, INTEGRADAS DE UN PAQUETE DE PILOW LAVAS (1) Y OTRO DE BRECHAS DE PALAGONITA (2), QUE APOYAN SOBRE UN BANCO DE CONGLOMERADOS FLUVIALES, EL QUE SOBREYACE A LAS SEDIMENTITAS DE LA FM. SANTA CRUZ. TENIENDO EN CUENTA LA INCLINACIÓN DE CADA CONTACTO (TRAZAS CELESTES), SE PUEDE OBSERVAR QUE EL BLOQUE ROTO CASI 90° .....	218
FIGURA 9.4: VISTA LATERAL DE LOS DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES OBSERVADOS EN LA MARGEN IZQUIERDA EN EL SECTOR DONDE SE CONSTRUIRÁ LA RÁPIDA DEL VERTEDERO. SE OBSERVA CLARAMENTE DE LA ESCARPA SUPERIOR, LA DEPRESIÓN SEMICIRCULAR QUE FORMA LA CICATRIZ Y EL BLOQUE DESCENDIDO. ....	219
FIGURA 9.5: COMBINACIÓN DE LOS DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES Y EXPANSIÓN LATERAL. PRESA NK - MI (MODIFICADO DE MALAGNINO 2015).....	220
FIGURA 9.6: EXPANSIÓN LATERAL EN LA ZONA DEL CANAL DE ADUCCIÓN-MARGEN IZQUIERDA PRESA NK.....	220
FIGURA 9.7: PANORÁMICA CON VISUAL DESDE EL CUADRANTE NOROESTE AL SUR, DESDE LA ZONA DE ENRAIZAMIENTO ORIENTAL EN LA CUAL SE OBSERVA LA SUPERFICIE DE LA PLANICIE VOLCÁNICA SUPERIOR, EL SUBNIVEL VOLCÁNICO PARCIALMENTE CUBIERTO POR LAS MORENAS CERRO FORTALEZA, LA SUPERFICIE DE LA PLACA DESPLAZADA Y LA DEPRESIÓN GENERADA POR EL DESPLAZAMIENTO. ....	222
FIGURA 9.8: IMAGEN SATELITAL DE LA ZONA 1. LA PLACA DESPLAZADA POR UN MOVIMIENTO DE REMOCIÓN EN MASA DEL TIPO EXPANSIÓN LATERAL ESTÁ SEÑALADA MEDIANTE UNA MÁSCARA ROJA. LA MISMA SE SEPARÓ DE LA UNIDAD GEOMÓRFICA DENOMINADA SUBNIVEL VOLCÁNICO (SV). LA SEPARACIÓN ESTÁ INDICADA MEDIANTE UNA MÁSCARA VIOLETA. LA PLACA MOVILIZADA PRESENTA UNA SERIE DE DESLIZAMIENTOS LOCALES DEL TIPO ROTACIONAL (MÁSCARA AMARILLA) Y PROBABLEMENTE TRASLACIONAL (MÁSCARA ANARANJADA) EN SU MARGEN SUR. HACIA LA SECCIÓN DEL ANCLAJE ORIENTAL SE OBSERVAN TRES DEPRESIONES QUE INDICAN LA EXISTENCIA DE FALLAS DIRECTAS (LÍNEAS NEGRAS) GENERADAS DURANTE EL DESPLAZAMIENTO EN TIJERA.....	223
FIGURA 9.9: FALLA VINCULADA CON UN DESLIZAMIENTO ROTACIONAL DONDE SE OBSERVA EN BLOQUE DESPLAZADO (1), LA SUPERFICIE DE LA FALLA CURVA (2), UN DIQUE CLÁSTICO (3) Y EL RESPALDO DEL BLOQUE MOVILIZADO (4) .....	223


	<p>MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA</p> <p>SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA</p> <p>SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 29-09-16</p> <p>Página: 9 de 389</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902</p>

FIGURA 9.10: DISLOCAMIENTO DE LAS SEDIMENTITAS TERCIARIAS POR SISTEMA DE FALLAS DIRECTAS PROBABLEMENTE VINCULADAS CON EL RETIRO DE LA GLACIACIÓN CERRO FORTALEZA. ....	224
FIGURA 9.11: CORTE TRANSVERSAL DE UN DESLIZAMIENTO ROTACIONAL. SE OBSERVA CLARAMENTE EL PLANO DE FALLA CURVO (RESALTADO CON TRAZA AMARILLA) A AMBOS LADOS DE LA EXCAVACIÓN, QUE PONE EN CONTACTO POR FALLA A LAS SEDIMENTITAS TERCIARIAS DE LA FORMACION SANTA CRUZ CON EL TILL ALOJADO DE LA MORENAS DEL CERRO FORTALEZA QUE LAS SOBREYACE. LA FALLA CURVA SE DISPONE EN FORMA SUBHORIZONTAL EN LA SECCIÓN QUE INTERCEPTA LA SUPERFICIE DE LA PENDIENTE. ....	225
FIGURA 9.12: SUPERFICIE DE FALLA ENTRE LAS SEDIMENTITAS (BANCO INFERIOR) Y TILL ALOJADO (ACUMULACIÓN SUPERIOR) .....	225
FIGURA 9.13: SUPERFICIE DE FALLA SUBHORIZONTAL CON ESPEJO DE FRICCIÓN Y ESTRIACIONES. EN LAS SEDIMENTITAS SUBYACENTES SE OBSERVAN COMPORTAMIENTOS PLÁSTICOS EN LOS BANCOS DE GRANULOMETRÍA ARENO LIMOSA. ....	226
FIGURA 9.14: LOCALIZACIÓN DE LOS CUATRO SITIOS EN LOS QUE SE REALIZARON OBSERVACIONES DE LAS PARTICULARIDADES INTERNAS QUE PRESENTAN LAS ACUMULACIONES CORRESPONDIENTES A LA TERRAZA QUE SE EXTIENDE EN LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO SAN CRUZ. ....	227
FIGURA 9.15: CONGLOMERADO EXPUESTO EN LA CALICATA 341 EN LA PARED DE DIRECCIÓN OESTE-ESTE .....	228
FIGURA 9.16: EXCAVACIÓN 341. LA LÍNEA BLANCA SEÑALA LA ESQUINA SUDOESTE DE LA EXCAVACIÓN, MIENTRAS QUE LAS FLECHAS CELESTE Y BLANCA INDICAN LAS PAREDES DE RUMBO NORTE 80° OESTE Y NORTE 10° ESTE RESPECTIVAMENTE, LO PERMITE OBTENER LA INCLINACIÓN REAL DE LA ESTRUCTURA DIAGONAL Y EL VECTOR DE LA CORRIENTE TRACTIVA QUE ACUMULO AL CONGLOMERADO. ....	228
FIGURA 9.17: DEPÓSITO TÍPICO DE AMBIENTE DE ACUMULACIÓN DE PLANICIES GLACIFLUVIALES VINCULADAS CON LAS GLACIACIONES OCURRIDAS EN LA CUENCA DEL LAGO ARGENTINO .....	229
FIGURA 9.18: A) EN LA IMAGEN DE LA IZQUIERDA SE OBSERVA LA MORFOLOGIA SUPERFICIAL DE LA TERRAZA ADYACENTE AL RÍO SANTA CRUZ EN LA SECCION DEL PROYECTO DE REPRESAMIENTO, LA QUE SE EXHIBE CON UN ASPECTO GENERAL HOMOGENEO CON MEGAONDULAS DE GRAN ESCALA. B) ILUSTR A UNA TERRAZA ALTA GLACIFLUVIAL EN MARGEN DERECHA DEL RÍO SANTA CRUZ, CON UN SISTEMA DE PALEOCAUCES (CANALES DE HABITO MEGAENTRELAZADO DE TONOS CLAROS) Y PALEOBARRAS. AMBAS IMÁGENES TIENEN LA MISMA ESCALA. ....	230
FIGURA 9.19: GLACIACIONES EN LA VALLE DEL RÍO SANTA CRUZ ( <i>STRELIN Y MALAGNINO</i> , 1996).....	231
FIGURA 9.20: EN LA IMAGEN INTERMEDIA SE ILUSTR A EL VECTOR DE DIRECCIÓN DE CORRIENTE (FLECHA ROJA) EN SU CHOQUE CONTRA LA ESQUINA AUSTRAL DEL CERRO FORTALEZA, DANDO LUGAR AL CORTE DE SU PIE PENDIENTE Y LA GENERACIÓN DE MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA GENERALIZADOS. EN A) SE PUEDE VER UNA AMPLIACIÓN DE UNA GEOFORMA RESIDUAL AERODINÁMICA DE UN NIVEL DE TERRAZA GLACIFLUVIAL Y EN B) EL SISTEMA DE MEGAÓNDULAS DE DISTINTA ESCALA TRANSVERSALES AL FLUJO HÍDRICO. ....	232
FIGURA 9.21: EN MASCARA ROJA SE SEÑALAN LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA QUE AFECTAN LAS PENDIENTES DEL VALLE DEL RÍO SANTA CRUZ EN LA SECCIÓN FLUVIAL QUE SE EXTIENDE ENTRE CERRO FORTALEZA Y EL SITIO DEL CIERRE PROYECTADO NÉSTOR KIRCHNER. LAS FLECHAS INDICAN LOS VECTORES DE DIRECCIÓN DE LA CORRIENTE OBTENIDOS DEL PLOTEO DE MORFOLOGÍAS DIAGNÓSTICO DEL TIPO MEGAÓNDULAS Y FORMAS RESIDUALES AERODINÁMICAS .....	233
FIGURA 9.22: INDICADORES GENERALES DE DIRECCIÓN DE CORRIENTE (FLECHAS ROJAS) DERIVADOS DE LAS MORFOLOGÍAS SUPERFICIALES (MEGAÓNDULAS SEÑALADAS CON FLECHAS ROJAS) Y ESTRUCTURALES DE SEDIMENTACIÓN OBSERVADAS EN LA EXCAVACIÓN 431, LA QUE SE INDICA EN LA IMAGEN .....	234
FIGURA 9.23: DEPÓSITOS DE LA GLACIACIÓN CO. FORTALEZA MOSTRANDO LA COMPLEJIDAD DE MATERIALES QUE LA CONFORMAN .....	235
FIGURA 9.24: FRACTURAS INCLINADAS Y BRECHAS DE DEFORMACIÓN - SONDEO PRK 5 .....	236
FIGURA 9.25: CONTRASTE DE COLORACIÓN ENTRE ROCA ALTERADA (COLOR PARDO) Y ROCA COMPETENTE (GRIS VERDOSO) - SONDEO PRK 05 .....	236
FIGURA 9.26: CAPA DE TOBA VIOLÁCEA INCLINADA – SONDEO PRK 5 .....	237
FIGURA 10.1: PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL EN EL EJE DE LA PRESA RESULTANTE DE LOS ESTUDIOS DE AYEE .....	240
FIGURA 10.2: PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL EN EL EJE DE LA PRESA RESULTANTE DE LOS ESTUDIOS DEL CONSORCIO ESIN IATASA .....	245
FIGURA 11.1: DISPOSICIÓN NORMAL DE LOS ESTRATOS DE LA FM SANTA CRUZ .....	246
FIGURA 11.2: ESTRATOS INCLINADOS POR DESLIZAMIENTOS – PARTE NORTE DE LA TRINCHERA Y PRK 05 .....	247
FIGURA 11.3: DEPÓSITO DE TILL FORMADO POR FRAGMENTOS DE ROCA DE LA FM. SANTA CRUZ DEFORMADOS (A) Y SEDIMENTOS GRANULARES (B). ....	248
FIGURA 11.4: DEPÓSITO DE TILL FORMADO POR FRAGMENTOS DE ROCA DE LA FM SANTA CRUZ DEFORMADOS (A), SEDIMENTOS GRANULARES (B), ROCAS ALTERADAS DE LA FM STA CRUZ (C).....	248
FIGURA 11.5: DEPÓSITO DE TILL FORMADO POR FRAGMENTOS DE ROCA DE LA FM SANTA CRUZ DEFORMADOS (A) Y SEDIMENTOS GRANULARES MATRIZ SOPORTE (B), AFECTADOS POR UNA FALLA NORMAL (C). ....	249
FIGURA 11.6: DEPÓSITO GLACILACUSTRE PLEGADO DEBIDO AL EMPUJE DEL GLACIAL .....	249


	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 10 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

FIGURA 11.7: FRACTURAS INCLINADAS.....	251
FIGURA 11.8: CONTRASTE DE COLORACIÓN ENTRE ROCA ALTERADA (COLOR PARDO) Y ROCA COMPETENTE INALTERADA (GRIS VERDOSO) .....	251
FIGURA 11.9: ESTRATOS INCLINADOS OBLICUOS AL EJE DEL TESTIGO .....	251
FIGURA 11.10: DEPÓSITO DE TILL SUPERIOR (1), ROCA ALTERADA DE LA FM SANTA CRUZ (3) Y ROCA COMPETENTE (4). CAR = CONTACTO TILL-ROCA ALTERADA Y CRC = TECHO DE ROCA COMPETENTE .....	252
FIGURA 11.11: DEPÓSITO DE TILL SUPERIOR (1), ROCA ALTERADA DE LA FM. SANTA CRUZ (3) Y ROCA COMPETENTE (4). CAR = CONTACTO TILL-ROCA ALTERADA Y CRC = TECHO DE ROCA COMPETENTE .....	253
FIGURA 12.1: UBICACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE DESVÍO Y DESCARGADOR DE FONDO .....	256
FIGURA 12.2: PRESA PTE. NÉSTOR KIRCHNER. MARGEN DERECHA. UBICACIÓN PERFORACIONES .....	257
FIGURA 12.3: PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL N-S EN EL EJE DEL MURO COLADO PRINCIPAL. MARGEN DERECHA (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P900) .....	258
FIGURA 12.4: PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL EN EL EJE DEL DESVÍO - MARGEN DERECHA (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P905).....	259
FIGURA 12.5: PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL EN EL EJE DE LA PRESA. MARGEN DERECHA. (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P906 Y P907) .....	260
FIGURA 12.6: VISTA DE LA TERRAZA GLACIFLUVIAL - MARGEN DERECHA.....	261
FIGURA 12.7: DETALLE DEL MATERIAL QUE FORMA EL TILL INTERMEDIO - MARGEN DERECHA .....	261
FIGURA 12.8: DETALLE DEL MATERIAL QUE FORMA EL TILL INFERIOR GRANULAR - MARGEN DERECHA .....	262
FIGURA 12.9: TILL INFERIOR COHESIVO EN EL SONDEO PRK 02 ENTRE COTAS 131,14 M Y 110,84 M .....	262
FIGURA 12.10: UBICACIÓN DE LOS ENSAYOS MASW REALIZADOS EN MARGEN DERECHA .....	263
FIGURA 12.11: CORRELACIÓN ENTRE $V_{S1}$ , $N_{1(60)}$ Y DENSIDAD RELATIVA (ANDRUS 2004, YI 2010).....	264
FIGURA 12.12: CORRELACIÓN ENTRE EL ÁNGULO DE FRICCIÓN EN COMPRESIÓN TRIAXIAL Y LA DENSIDAD RELATIVA, TAMAÑO DE GRANO Y GRADACIÓN (DM-7). 1 PCF = 16.01 KG/M <sup>3</sup> .....	265
FIGURA 12.13: DETERMINACIÓN DE $V_s$ EN LA LADERA DE MARGEN DERECHA, NORMALIZADA A $V_{S1}$ .....	266
FIGURA 12.14: CORTE EN EL EJE DE LA PRESA MOSTRANDO LA POSICIÓN DE LA ESTRUCTURA DE DESVÍO/DESCARGADOR DE FONDO, EL URO DE CIERRE DE MD Y EL TRAMO DEL PLINTO FUNDADO EN ROCA.....	270
FIGURA 12.15: PLANTA Y CORTE DE LA ESTRUCTURA DE DESVÍO/DESCARGADOR DE FONDO .....	271
FIGURA 12.16: PERFIL DE PERMEABILIDAD POR LA ENTRADA DEL DESVÍO EN EL EJE DEL MURO COLADO .....	276
FIGURA 12.17: PIEZOMETRÍA Y GRADIENTES ( $K = 1 \times 10^{-3}$ , L VARIABLE ENTRE 0 M Y 150 M) .....	279
FIGURA 13.1: LAY OUT GENERAL DE LA OBRA.....	280
FIGURA 13.2: UBICACIÓN DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS PRESA PTE. NÉSTOR KIRCHNER.....	282
FIGURA 13.3: PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL N-S EN EL EJE DEL MURO COLADO PRINCIPAL. MARGEN IZQUIERDA (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P900) .....	283
FIGURA 13.4: PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL N-S EN EL EJE DEL MURO COLADO PRINCIPAL. MARGEN IZQUIERDA Y VALLE DEL RÍO (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P900).....	284
FIGURA 13.5: PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL N-S EN EL EJE DEL MURO COLADO PRINCIPAL. VALLE DEL RÍO (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P900).....	285
FIGURA 13.6: PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL N-S EN EL EJE DEL MURO COLADO PRINCIPAL. VALLE DEL RÍO Y MARGEN DERECHA (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P900).....	286
FIGURA 13.7: DETALLE DEL MATERIAL ALUVIONAL PREDOMINANTE EN LOS DEPÓSITOS DEL VALLE DEL RÍO.....	287
FIGURA 13.8: CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE LOS ALUVIONES DEL VALLE DEL RÍO.....	287
FIGURA 13.9: UBICACIÓN DE LOS PERFILES MASW REALIZADOS EN MARGEN IZQUIERDA .....	289
FIGURA 13.10: UBICACIÓN DE LOS PERFILES MASW REALIZADOS EN MARGEN DERECHA .....	289
FIGURA 13.11: CORRELACIÓN ENTRE LOS VALORES NORMALIZADOS ( $V_{S1}$ ) Y LA COTA EN MABS MARGENES.....	291
FIGURA 13.12: VARIACIÓN DE $G_{MAX}$ CON LA PROFUNDIDAD EN LOS SEDIMENTOS ALUVIALES.....	292
FIGURA 13.13: SECCIÓN TÍPICA DE LA PRESA.....	298
FIGURA 13.14: MATERIAL 2A – BANDA GRANULOMÉTRICA PROPUESTA .....	299
FIGURA 13.15: MATERIAL 2B – BANDA GRANULOMÉTRICA PROPUESTA .....	299
FIGURA 13.16: MATERIAL 3B – BANDA GRANULOMÉTRICA PROPUESTA .....	300
FIGURA 13.17: MATERIAL D – BANDA GRANULOMÉTRICA PROPUESTA .....	300
FIGURA 13.18: UBICACIÓN DEL MATERIAL 4B .....	301
FIGURA 13.19: MODELO SEEP/W EN ZONA DE PRESA, CONDICIONES DE BORDE Y SECCIONES DE FLUJO .....	303
FIGURA 13.20: CAPACIDAD ADMISIBLE POR FINGER DRAIN.....	303
FIGURA 13.21: SECCIÓN DEL PLINTO EN ROCA .....	306
FIGURA 14.1: UBICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE MARGEN IZQUIERDA .....	308
FIGURA 14.2: UBICACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS REALIZADAS EN LA MERGEN IZQUIERDA .....	310
FIGURA 14.3: CORTE LONGITUDINAL DEL CIRCUITO DE GENERACIÓN.....	314


	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 11 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

FIGURA 14.4: PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL DEL CIRCUITO DE GENERACIÓN (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P908 (ANEXO 17)).....	315
FIGURA 14.5: PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL DEL CANAL DE RESTITUCIÓN DE LA CENTRAL (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P909 (ANEXO 17)).....	316
FIGURA 14.6: PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL SOBRE EL EJE DE LA PRESA PASANDO POR LA TOMA, VERTEDERO Y MURO DE CIERRE DE MARGEN IZQUIERDA (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P912 (ANEXO 17)) .....	317
FIGURA 14.7: PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL DE TOMA-CENTRAL CON LA IDENTIFICACIÓN DE LOS 3 ESTRATOS .....	320
FIGURA 14.8: ENVOLTORIAS DE RESISTENCIA PARA VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL DE LA TOMA Y CENTRAL .....	321
FIGURA 14.9: CORRELACIÓN DE $E_{MASS}$ CON $V_P$ Y $V_S$ . LA FLECHA SEÑALA EL ENTORNO DE MÓDULOS A PARTIR DE $V_S = 800$ M/S.....	323
FIGURA 14.10: PLANTA Y CORTE DE LA ESTRUCTURA DE DESVÍO/DESCARGADOR DE FONDO .....	325
FIGURA 14.11: SECCIÓN GEOLÓGICA Y PERMEABILIDAD A LO LARGO DEL EJE TOMA+CENTRAL .....	328
FIGURA 14.12: SECCIÓN GEOLÓGICA Y PERMEABILIDAD A LO LARGO DEL EJE TOMA+VERTEDERO+MURO DE CIERRE MI.....	329
FIGURA 14.13: CORTE LONGITUDINAL DEL CIRCUITO DE GENERACIÓN.....	330
FIGURA 14.14: SECCIÓN TÍPICA Y DIMENSIONES PRINCIPALES DEL VERTEDERO .....	330
FIGURA 14.15: CORTE LONGITUDINAL DEL VERTEDERO, RÁPIDA Y CUENCO AMORTIGUADOR .....	331
FIGURA 14.16: PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL DEL VERTEDERO-RÁPIDA-CUENCO (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P915 (ANEXO 17)) .....	333
FIGURA 14.17: PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL DE LA RÁPIDA, CUENCO Y CANAL DE RESTITUCIÓN DEL VERTEDERO (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P916 (ANEXO 17)) .....	334
FIGURA 14.18: PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL SOBRE EL EJE DE LA PRESA PASANDO POR LA TOMA, VERTEDERO Y MURO DE CIERRE DE MARGEN IZQUIERDA (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P912 (ANEXO 17)) .....	335
FIGURA 14.19: ENVOLTORIAS DE RESISTENCIA PARA VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL DE LA TOMA Y CENTRAL .....	336
FIGURA 14.20: PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL DEL VERTEDERO CON LA IDENTIFICACIÓN DE LOS 3 ESTRATOS PARÁMETROS DE DEFORMABILIDAD .....	337
FIGURA 14.21: CORRELACIÓN DE $E_{MASS}$ CON $V_P$ Y $V_S$ . LA FLECHA SEÑALA EL ENTORNO DE MÓDULOS A PARTIR DE $V_S = 800$ M/S ADOPTADA PARA EL VERTEDERO .....	338
FIGURA 14.22: SECCIÓN GEOLÓGICA Y PERMEABILIDAD A LO LARGO DEL EJE VERTEDERO+RÁPIDA (NW-SE).....	341
FIGURA 14.23: SECCIÓN GEOLÓGICA Y PERMEABILIDAD A LO LARGO DEL EJE TOMA+VERTEDERO+MURO DE CIERRE MI (NE-SW).....	342
FIGURA 14.24: SECCIÓN GEOLÓGICA DEL PERFIL TRANSVERSAL A LA CENTRAL Y A LA RÁPIDA DEL VERTEDERO (NE-SW) (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P914).....	344
FIGURA 14.25: SECCIÓN GEOLÓGICA DEL PERFIL TRANSVERSAL DE MÁXIMA ALTURA DEL VERTEDERO (NE-SW) (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P920).....	345
FIGURA 14.26: SECCIÓN GEOLÓGICA DEL PERFIL TRANSVERSAL AL CUENCO DISIPADOR (NE-SW) (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P919) .....	346
FIGURA 14.27: ENVOLTORIAS DE RESISTENCIA DE LOS DEPÓSITOS COLUVIALES Y MORRÉNICOS .....	347
FIGURA 14.28: ENVOLTORIAS DE RESISTENCIA DE LOS DEPÓSITOS COLUVIALES Y MORRÉNICOS .....	347
FIGURA 14.29: PLANTA GENERAL DE LAS EXCAVACIONES DEL CANAL DE ADUCCIÓN EN MARGEN IZQUIERDA.....	349
FIGURA 14.30: PLANTA GENERAL DEL CANAL DE ADUCCIÓN CON LA UBICACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS.....	350
FIGURA 14.31: PLANTA GENERAL CON LA UBICACIÓN DE LOS PERFILES DE LAS FIGURAS 14.29 A 14.33 .....	350
FIGURA 14.32: PERFIL GEOLÓGICO PROGRESIVA 0+456 (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P923- (ANEXO 17)).....	351
FIGURA 14.33: PERFIL GEOLÓGICO PROGRESIVA 0+310 (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P924- (ANEXO 17)).....	352
FIGURA 14.34: PERFIL GEOLÓGICO PROGRESIVA 0+183 (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P925- (ANEXO 17)).....	353
FIGURA 14.35: PERFIL GEOLÓGICO PROGRESIVA 0+100 – MURO DE CIERRE MI (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P926- (ANEXO 17)).....	354
FIGURA 14.36: PERFIL GEOLÓGICO PROGRESIVA 0+100 (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P926- ANEXO 17) .....	355
FIGURA 14.37: VISTA AÉREA DEL SECTOR DE IMPLANTACIÓN DEL CANAL DE ADUCCIÓN Y DEL BLOQUE DE BASALTO DESLIZADO .....	356

## TABLAS

TABLA 2.1: PERFORACIONES EJECUTADAS POR EL CONSORCIO IECI PARA AYEE (1977-1978) .....	34
TABLA 2.2: PERFORACIONES EJECUTADAS POR LA UTE ESIN-IATASA ENTRE 2006 Y 2007 .....	35
TABLA 3.1: CUADRO ESTRATIGRÁFICO* Y MORFOESTRATIGRÁFICO DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS PRESENTES EN EL MARCO REGIONAL Y LOCAL.....	49
TABLA 5.1: SONDEOS EXPLORATORIOS SERIE SAK – CAMPAÑA 2015.....	74
TABLA 5.2: SONDEOS EXPLORATORIOS SERIE PRK – CAMPAÑA 2015.....	75


	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 12 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

TABLA 5.3: NIVELES DE PRESIÓN EN ENSAYOS DE PERMEABILIDAD LUGEON.....	77
TABLA 5.4: CLASIFICACIÓN DE PERMEABILIDAD PROPUESTA POR <i>DEERE</i> .....	79
TABLA 5.5: ENSAYOS LUGEON EN SONDEOS AGRUPADOS SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DE PERMEABILIDAD PROPUESTA POR <i>DEERE</i> .....	80
TABLA 5.6: ENSAYOS LUGEON EJECUTADOS EN LAS CAMPAÑAS ANTERIORES AGRUPADOS SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DE PERMEABILIDAD PROPUESTA POR <i>DEERE</i> .....	81
TABLA 5.7: COMPORTAMIENTO DEL MACIZO DURANTE LOS ENSAYOS LUGEON.....	83
TABLA 5.8: RESUMEN DE ENSAYOS LEFRANC - CAMPAÑA DE INVESTIGACIONES 2015.....	84
TABLA 5.9: CLASES DE PERMEABILIDAD DE SUELOS SEGÚN <i>TERZAGHI Y PECK (1967)</i> .....	85
TABLA 5.10: RESUMEN DE ENSAYOS LEFRANC - CAMPAÑA DE INVESTIGACIONES AYEE.....	86
TABLA 5.11: RESUMEN DE ENSAYOS LEFRANC - CAMPAÑA DE INVESTIGACIONES 2006.....	87
TABLA 5.12: SONDEOS DONDE SE EJECUTARON ENSAYOS <i>CROSSHOLE</i> .....	98
TABLA 5.13: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS <i>CROSSHOLE</i> EN LOS SONDEOS CI 01-CC 4.....	101
TABLA 5.14: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS <i>CROSSHOLE</i> EN LOS SONDEOS CC 1-CC 2.....	102
TABLA 5.15: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS <i>CROSSHOLE</i> EN LOS SONDEOS CD 02-CD 03.....	103
TABLA 5.16: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS <i>CROSSHOLE</i> EN LOS SONDEOS CI 31-CI 33.....	104
TABLA 5.17: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS <i>CROSSHOLE</i> EN EL SONDEO PRK10.....	105
TABLA 5.18: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS <i>CROSSHOLE</i> EN LOS SONDEOS PRK11.....	106
TABLA 5.19: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS <i>CROSSHOLE</i> EN EL SONDEO PRK 12.....	107
TABLA 5.20: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS <i>CROSSHOLE</i> EN EL SONDEO PRK13.....	108
TABLA 5.21: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS <i>CROSSHOLE</i> EN EL SONDEO PRK 16.....	109
TABLA 5.22: VALORES PROMEDIO Y DESVÍO ESTÁNDAR DE LOS PARÁMETROS DINÁMICOS DE LOS MATERIALES ESTUDIADOS EN EL EJE DEL MURO COLADO.....	110
TABLA 5.23: VALORES DE DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO Y BUZAMIENTO DE LAS FALLAS EN TR1 Y TR3.....	132
TABLA 5.24: VALORES DE R (REBOTE) OBTENIDOS CON EL ESCLERÓMETRO SCHMIDT EN EL POZO.....	146
TABLA 6.1: RELACIÓN DE RECURRENCIA PARA LAS DISTINTAS FUENTES.....	152
TABLA 6.2: RESULTADOS DEL ANÁLISIS PROBABILÍSTICO PARA LA PRESA N. KIRCHNER.....	154
TABLA 6.3: RELACIÓN ENTRE LOS COMPONENTES VERTICALES Y HORIZONTALES.....	158
TABLA 6.4: PARÁMETROS QUE DEFINEN EL ÍNDICE DE EXPLOSIVIDAD VOLCÁNICA.....	159
TABLA 6.5: REGISTRO DE LOS VOLCANES DEL AVZ.....	159
TABLA 6.6: REGISTRO CUANTIFICACIÓN POTENCIAL CRECIDAS DE LAGOS DE LA CUENCA DEL RÍO SANTA CRUZ.....	163
TABLA 6.7: PROPIEDADES ORIGINALES DEL PERFIL DE SUELO NOMINAL EN LA ZONA DE LA PRESA NK.....	166
TABLA 6.8: PROPIEDADES DEGRADADAS DEL PERFIL DE SUELO NOMINAL EN LA ZONA DE LA PRESA NK.....	166
TABLA 6.9: VALORES DE PGA DE LOS ACELEROGRAMAS UTILIZADOS PARA LA PRESA NK.....	166
TABLA 7.1: PROMEDIO DE YACIMIENTO CII Y DIÁMETROS CARACTERÍSTICOS.....	173
TABLA 7.2: GRANULOMETRÍA PROMEDIO Y DIÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE YACIMIENTO CIII.....	175
TABLA 7.3: GRANULOMETRÍA PROMEDIO Y DIÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE YACIMIENTO CB.....	176
TABLA 7.4: PROMEDIO PONDERADO Y DESVÍO ESTÁNDAR DE LOS SEDIMENTOS FLUVIALES O DEL VALLE DEL YACIMIENTO C IV.....	185
TABLA 7.5: PROMEDIO PONDERADO Y DESVÍO ESTÁNDAR DE LOS SEDIMENTOS FLUVIALES DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO SANTA CRUZ – YACIMIENTO CA. CAMPAÑA AYEE-1980.....	190
TABLA 7.6: COORDENADAS DE LAS CALICATAS PROGRAMADAS EN MARGEN DERECHA, SECTOR CANAL DE ADUCCIÓN AGUAS ARRIBA, ESTRUCTURAS Y CANAL RESTITUCIÓN.....	197
TABLA 7.7: COORDENADAS DE LAS CALICATAS PROGRAMADAS EN LAS EXCAVACIONES OBLIGATORIAS DE MARGEN IZQUIERDA.....	197
TABLA 7.8: COORDENADAS DE LAS CALICATAS PROGRAMADAS EN YACIMIENTO CVI EN MARGEN IZQUIERDA.....	198
TABLA 8.1: LISTADO DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCAS DE LA CAMPAÑA 1977-1978 (CONSORCIO IECI PARA AYEE).....	201
TABLA 8.2: LISTADO DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCAS DE LA CAMPAÑA 2006 (CONSORCIO ESIN - IATASA).....	204
TABLA 8.3: LISTADO DE MUESTRAS PARA LOS ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCAS DE LA CAMPAÑA 2015.....	207
TABLA 8.4: RESULTADOS PRELIMINARES DE LOS ENSAYOS REALIZADOS SOBRE MUESTRAS DE ARENISCAS NEGRAS DE LA PRESA N. KIRCHNER (CAMPAÑA 2015).....	209
TABLA 8.5: RESULTADOS PRELIMINARES DE LOS ENSAYOS REALIZADOS SOBRE MUESTRAS DE ARENISCAS PELITICAS GRIS VERDOSAS DE LA PRESA N. KIRCHNER (CAMPAÑA 2015).....	209
TABLA 8.6: RESULTADOS PRELIMINARES DE LOS ENSAYOS REALIZADOS SOBRE MUESTRAS DE TOBAS GRISES CLARA DE LA PRESA N. KIRCHNER (CAMPAÑA 2015).....	209


 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 13 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

TABLA 8.7: RESULTADOS PRELIMINARES DE LOS ENSAYOS REALIZADOS SOBRE MUESTRAS DE ARCILITAS Y LIMOLITAS (PELITAS) GRIS VERDOSAS DE LA PRESA N. KIRCHNER (CAMPAÑA 2015)	210
TABLA 8.8: VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDAS VP MEDIDAS EN TESTIGOS DE ROCA DE LA PRESA NK	211
TABLA 8.9: RESUMEN DE LOS PARÁMETROS GEOMECAÑICOS DE LA ROCA INTACTA DEL CRITERIO DE RESISTENCIA MOHR-COULOMB PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS EN LABORATORIO DURANTE LA CAMPAÑA 2015	212
TABLA 11.1: COTAS DE LOS CONTACTOS CAR Y CRC EN TODOS LOS SONDEOS EJECUTADOS EN EL SITIO DE LA PRESA N. KIRCHNER	254
TABLA 12.1: DENSIDADES <i>IN SITU</i> SOBRE TILL	266
TABLA 12.2: RELACIÓN ENTRE LA DENSIDAD REALTIVA, EL NÚMERO DE GOLPES SPT Y EL ANGULO DE FRICCIÓN PARA MATERIALES GRANULARES (GEC 5, FHWA-IF-02-034, 2002)	267
TABLA 12.3: RESUMEN DE LOS PARÁMETROS DEL TILL	267
TABLA 12.4: PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE	270
TABLA 12.5: PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE	272
TABLA 12.6: ENSAYOS DE PERMEABILIDAD LEFRANC TILL MARGEN DERECHA – SONDEOS CAMPAÑA 1970-80 AYEE	272
TABLA 12.7: ENSAYOS DE PERMEABILIDAD LEFRANC TILL MARGEN DERECHA – SONDEOS CAMPAÑA 2006 ESIN IATASA	273
TABLA 12.8: ENSAYOS DE PERMEABILIDAD LEFRANC TILL MARGEN DERECHA – SONDEOS CAMPAÑA 2015 UTE REPRESAS	274
TABLA 12.9: RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE PERMEABILIDAD LEFRANC TILL MARGEN DERECHA	274
TABLA 12.10: ENSAYOS DE PERMEABILIDAD LUGEON – MACIZO ROCOSO MARGEN DERECHA – SONDEOS CAMPAÑA 1970-80 AYEE	274
TABLA 12.11: ENSAYOS DE PERMEABILIDAD LUGEON – MACIZO ROCOSO MARGEN DERECHA – SONDEOS CAMPAÑA ESIN IATASA 2006	275
TABLA 12.12: ENSAYOS DE PERMEABILIDAD LUGEON – MACIZO ROCOSO MARGEN DERECHA – SONDEOS CAMPAÑA 2015	275
TABLA 12.13: PARÁMETROS DE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA ADOPTADOS	278
TABLA 12.14: CAUDAL QUE PASA POR EL MEDIO NATURAL EN LOS DIFERENTES ESCENARIOS (L= 0M)	278
TABLA 12.15: CAUDAL QUE PASA POR EL MEDIO NATURAL EN LOS DIFERENTES ESCENARIOS DE L DEL MURO (K DEL TILL INFERIOR, 1X10 <sup>-3</sup> CM/S)	278
TABLA 12.16: CAUDAL QUE PASA POR EL MEDIO NATURAL EN LOS DIFERENTES ESCENARIOS DE L DEL MURO (K DEL TILL INFERIOR, 1X10 <sup>-2</sup> CM/S)	278
TABLA 13.1: RESULTADOS MASW CON V <sub>s</sub> NORMALIZADA – ALUVIÓN MARGEN DERECHA	290
TABLA 13.2: RESULTADOS MASW CON V <sub>s</sub> NORMALIZADA – ALUVIÓN MARGEN DERECHA	291
TABLA 13.3: DENSIDADES <i>IN SITU</i> , PESO ESPECÍFICO SÓLIDO PONDERADO Y RELACIÓN DE VACIOS, 1° ETAPA	293
TABLA 13.4: PARÁMETROS DE DEFORMABILIDAD DINÁMICO Y ESTÁTICO PARA EL ALUVIÓN DE FUNDACIÓN DE LA PRESA	294
TABLA 13.5: PERMEABILIDAD LEFRANC DE LOS ALUVIONES EN LOS SONDEOS DE LA CAMPAÑA DE AYEE	294
TABLA 13.6: PERMEABILIDAD LEFRANC DE LOS ALUVIONES EN LOS SONDEOS DE LA CAMPAÑA DE 2006	295
TABLA 13.7: COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD DE LOS MATERIALES	302
TABLA 13.8: CAUDALES OBTENIDOS POR FINGER DRAINS PARA DIFERENTES SITUACIONES DE ANÁLISIS	304
TABLA 13.9: CRITERIOS DE FUNDACIÓN PARA PLINTOS (ICOLD 141)	304
TABLA 14.1: RESISTENCIA AL CORTE EN EL MACIZO: COHESIÓN (C <sub>MACIZO</sub> ) Y ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (Φ <sub>MACIZO</sub> )	318
TABLA 14.2: PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE LAS ROCAS DEL ESTRATO SUPERIOR	319
TABLA 14.3: PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE LAS ROCAS DEL ESTRATO INFERIOR	319
TABLA 14.4: PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE LAS ARENISCAS GRISÁCEAS DEL ESTRATO MEDIO	319
TABLA 14.5: PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE LOS ESTRATOS DE FUNDACIÓN DE LA TOMA Y CENTRAL	321
TABLA 14.6: DETERMINACIÓN DE MÓDULOS [MPA] A PARTIR DE ENSAYOS CROSSHOLE (CIM 2006)	322
TABLA 14.7: DETERMINACIÓN DE MÓDULOS [MPA] A PARTIR DE ENSAYOS CROSSHOLE (CIM 2006)	322
TABLA 14.8: DETERMINACIÓN DE MÓDULOS [MPA] A PARTIR DE ENSAYOS MASW (2015)	322
TABLA 14.9: PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE DE LA TOMA	324
TABLA 14.10: COMBINACIONES DE CARGA	326
TABLA 14.11: TENSIONES RESULTANTES EN LA ROCA DE FUNDACIÓN	326
TABLA 14.12: CATEGORIAS DE PERMEABILIDAD	326
TABLA 14.13: PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE LOS ESTRATOS DE FUNDACIÓN DEL VERTEDERO	336
TABLA 14.14: PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE DEL VERTEDERO	338
TABLA 14.15: COMBINACIONES DE CARGA	339
TABLA 14.16: TENSIONES RESULTANTES EN LA ROCA DE FUNDACIÓN	339
TABLA 14.17: CATEGORIAS DE PERMEABILIDAD	340
TABLA 14.18: PARÁMETROS DE RESISTENCIA PARA VERIFICACIÓN DE EXCAVACIONES	348
TABLA 14.19: GEOMETRÍA DE LOS TALUDES DE EXCAVACIÓN	348
TABLA 14.20: PARÁMETROS GEOTÉCNICOS USADOS EN LA VERIFICACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES	357



	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 14 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

TABLA 14.21: ENSAYOS DE PERMEABILIDAD EN EL ESTRATO DE ARENISCA FRIABLE LIMONITIZADA ..... 358

## ANEXOS

- ANEXO 1 – PLANO DE UBICACIÓN DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS CAMPAÑAS 1970-1980 Y 2006-2007 (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P001)
- ANEXO 2 – INFORME INVESTIGACIÓN GEOLOGICA, SEDIMENTOLOGICA, ESTRATIGRAFICA Y GEOMORFOLÓGICA. VALLE DEL RÍO SANTA CRUZ. PROVINCIA SANTA CRUZ - ARGENTINA
- ANEXO 3 – PLANO DE UBICACIÓN DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS CAMPAÑA 2015 (NK-A.CV-PL.GT(OG-00-00)-P002)
- ANEXO 4 – INFORME CAMPAÑA DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS CAMPAÑA 2015 (NK-A.CV-ES.GT-(OG-00-00)-P001)
- ANEXO 5 – INFORME SOBRE ENSAYOS MASW CAMPAÑA 2015 Y ENSAYOS DE PULSO EO EN TESTIGOS DE ROCA
- ANEXO 6 – RESULTADOS NORMALIZADOS DE LOS ENSAYOS MASW CAMPAÑA 2014 Y 2015
- ANEXO 7 – INFORME ENSAYO SISMICO ENTRE POZOS CROSSHOLECAMPAÑA - PROINGEO
- ANEXO 8 – INFORME GEOLÓGICO DE LA TRINCHERA EXPLORATORIA DE MARGEN IZQUIERDA PRESA (NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P002-0A)
- ANEXO 9 – INFORME GEOLÓGICO DEL POZO EXPLORATORIO DE MARGEN IZQUIERDA PRESA (NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001-0A)
- ANEXO 10 – INFORME FINAL PELIGROSIDAD SISMICA Y VOLCÁNICA (GE-A.CV-ES.RS-(OG-00-00)-P001-0B)
- ANEXO 11 – INFORME FINAL OLEAJES INDUCIDOS POR SISMO(GE-A.CV-ET.RS-(OG-00-00)-P900)
- ANEXO 12 – ESTUDIO SOBRE LOS YACIMIENTOS DE MATERIALES DE LA PRESA (NK-A.CV-IV.GT-(PR-00-00)-P001)
- ANEXO 13 – INFORMES DE LOS LABORATORIOS IDIA E IMS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN
- ANEXO 14 – ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO (NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900)
- ANEXO 15 – INFORME SOBRE TIPOLOGIAS, GENESIS Y EDAD DE LOS MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA QUE SE LOCALIZAN EN EL PROYECTO DE CIERRE DE LA PRESA NÉSTOR KIRCHNER
- ANEXO 16 – PLANOS DE CONTACTO ALUVIÓN-TILL/ROCA ALTERADA (CAR) Y CONTACTO ROCA ALTERADA/ROCA COMPETENTE (CRC)
- ANEXO 17 – PERFILES GEOLÓGICOS
- ANEXO 18 – MEMORIA DE CALCULO PARAMETROS GEOTECNICOS MATERIALES MARGEN DERECHA (NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P001)
- ANEXO 19 – MEMORIA DE CALCULO ESTABILIDAD DE TALUDES PERMANENTES MARGEN DERECHA (NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P002)
- ANEXO 20 – MEMORIA TECNICA CAPACIDAD DE CARGA OBRA DE DESVIO Y DESCARGADOR (NK-A.CV-MT.FE-(DD-00-00)-P001)
- ANEXO 21 – MEMORIA DE CÁLCULO FILTRACIONES MURO COLADO MARGEN DERECHA (NK-A.CV-MC.GT-(PR-07-00)-P002)
- ANEXO 22 – MEMORIA TECNICA DEFORMABILIDAD DE MACIZOS ROCOSOS.(NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900)
- ANEXO 23 – INFORME DE LABORATORIO MATERIAL ALUVIONAL DE LA FUNDACIÓN DE LA PRESA (NK-A.CV-IL.GT-(PR-00-00)-P002)
- ANEXO 24 – INFORME SOBRE CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA FUNDACIÓN DE LA TOMA, CENTRAL Y VERTEDERO (NK-A.CV-MT.GT-(CH-00-00)-P902)
- ANEXO 25 – MEMORIA TÉCNICA DE CAPACIDAD DE CARGA DE LA TOMA (NK-A.CV-MT.FE-(TC-00-00)-P001)
- ANEXO 26 – MEMORIA TÉCNICA DE CAPACIDAD DE CARGA DEL VERTEDERO (NK-A.CV-MT.FE-(VE-00-00)-P001)
- ANEXO 27 – MEMORIA GEOTECNICA DE LA FUNDACION DE LA RAPIDA Y CUENCO DEL VERTEDERO (NK-A.CV-MT.GT-(VE-00-00)-P903)
- ANEXO 28 – MEMORIA GEOTECNICA CANAL DE ADUCCIÓN (NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P901)

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 15 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

## RESUMEN EJECUTIVO

La presa Néstor Kirchner se ubica en valle del río Santa Cruz, en el km 250. Se trata de una presa tipo CFRD con coronamiento en cota 180 m. El cuerpo de la presa será levantado con las gravas fluviales del propio río.

- 1) Desde el punto de vista geológico el sector se compone de las siguientes formaciones geológicas:
  - a. Fm. 25 de Mayo, sedimentitas marinas del terciario, en ambiente marino somero y transicional. No alforan en el sector de la presa y solo fueron reconocidas en los sondeos profundos ejecutados en el valle del río. Existen afloramientos aislados en la quebrada del Mosquito fuera del ámbito del embalse. Subyacen a las rocas de la Fm. Santa Cruz en contacto gradacional;
  - b. Fm. Santa Cruz, sedimentitas continentales de edad terciaria, formadas durante la regresión marina provocada por el alzamiento de la Cordillera al oeste. La instalación de un arco volcánico en los primordios de la Cordillera Patagónica y los vientos constantes desde el oeste, son los responsables de la depositación de capas de tobas y de la gran parte de la fracción clástica que forman los estratos de esta formación. Está formada por la sucesión de estratos de arcilitas y limolitas grises a gris verdosas, areniscas pelíticas, tobas y areniscas negras friables, todas depositadas en regímenes fluviales y lacustres. Esta formación constituye el macizo de fundación de todas las estructuras de hormigón de la presa: desvío y descargador de fondo, toma, central y vertedero, además de los muros de cierre en margen derecha e izquierda,
  - c. Coladas de Basalto Condor Cliff y Co. Fortaleza. Se trata de una serie de coladas de composición basálticas depositadas desde el terciario tardío hasta el holoceno. Forman paquetes en donde se han reconocido hasta 8 derrames. En el sector del cierre de margen derecha, las coladas de Co. Fortaleza están muy distantes y no ejercen influencia alguna en los criterios de diseño. En la Margen izquierda, el cuerpo principal, ubicado en la terraza alta, estas coladas tienen una influencia marginal sobre las obras, afectando puntualmente al camino permanente. La terraza intermedia ubicada en cota 220 msnm influye, puntualmente, en la estabilidad de los taludes superiores del canal de aducción. Lo que sí ejerce una fuerte influencia en la estabilidad de los taludes del canal de aducción y del vertedero, son los basaltos desprendidos de la terraza intermedia mediante procesos de remoción en masa denominados expansión lateral.
  - d. Depósitos glaciares y fluvioglaciares. Las acciones glaciares e interglaciares se suceden en la región desde antes de los derrames basálticos. De hecho en la base del basalto Co. Fortaleza y Cónдор Cliff es posible observar los restos calcinados de gravas fluviales del interglacial Ea. La Fructuosa. Posterior a las efusiones, se desarrollaron eventos glaciares e interglaciares que dejaron su impronta, sea en el tipo de depósitos como en las geoformas. No todos estos eventos pueden ser identificados en el sitio de la presa pues la mayoría se reconocen entre el sitio y el lago Argentino.
  - e. Los depósitos más importantes se ubican en la margen derecha y conforman la terraza de cota 220-230 msnm. La misma está constituida por depósitos de rodados y gravas arenosas muy permeables entre cotas 230 m y 175-180 m y que fueron denominados till superior y till medio. Hacia abajo se desarrolla el llamado till inferior que cuenta con dos facies, una de gravas soportadas en matriz arenosa y la de abajo formado por depósitos material limo arcilloso plástico con grandes bloques y rodados de basalto flotando en esa matriz. La permeabilidad del till inferior es baja a moderada.
  - f. En la margen izquierda los depósitos de till son muy complejos composicionalmente pues es posible identificar depósitos de gravas y arenas limpias mezcladas con fragmentos de roca de la Fm. Santa Cruz y con bloques de basalto, conjunto todo con rasgos de deformaciones debidos a los empujes del glaciar. Apoyan de manera discordante sobre rocas alteradas de la Fm. Santa Cruz.
  - g. Los fenómenos de remoción en masa (deslizamientos rotacionales y expansiones laterales) han afectado tanto los depósitos glaciares y glacioluviales y como parte de las rocas alteradas de la Fm. Santa Cruz. El fenómeno que desencadenó estos procesos está relacionado con la ruptura del paleolago formado durante el evento glaciario Arroyo Verde (25.000 años), es decir después del paso del glaciar Ea. La Fructuosa y Co. Fortaleza en el sitio de la presa.
  - h. Finalmente, los últimos depósitos cuaternarios encontrados en el sitio son los suelos coluviales y de avalanchas de detritos ubicados al pie de las laderas del valle y las gravas fluviales que rellenan el valle de hasta 40 m de profundidad.



2) El arreglo general de la obra se muestra en la Figura 1.1:

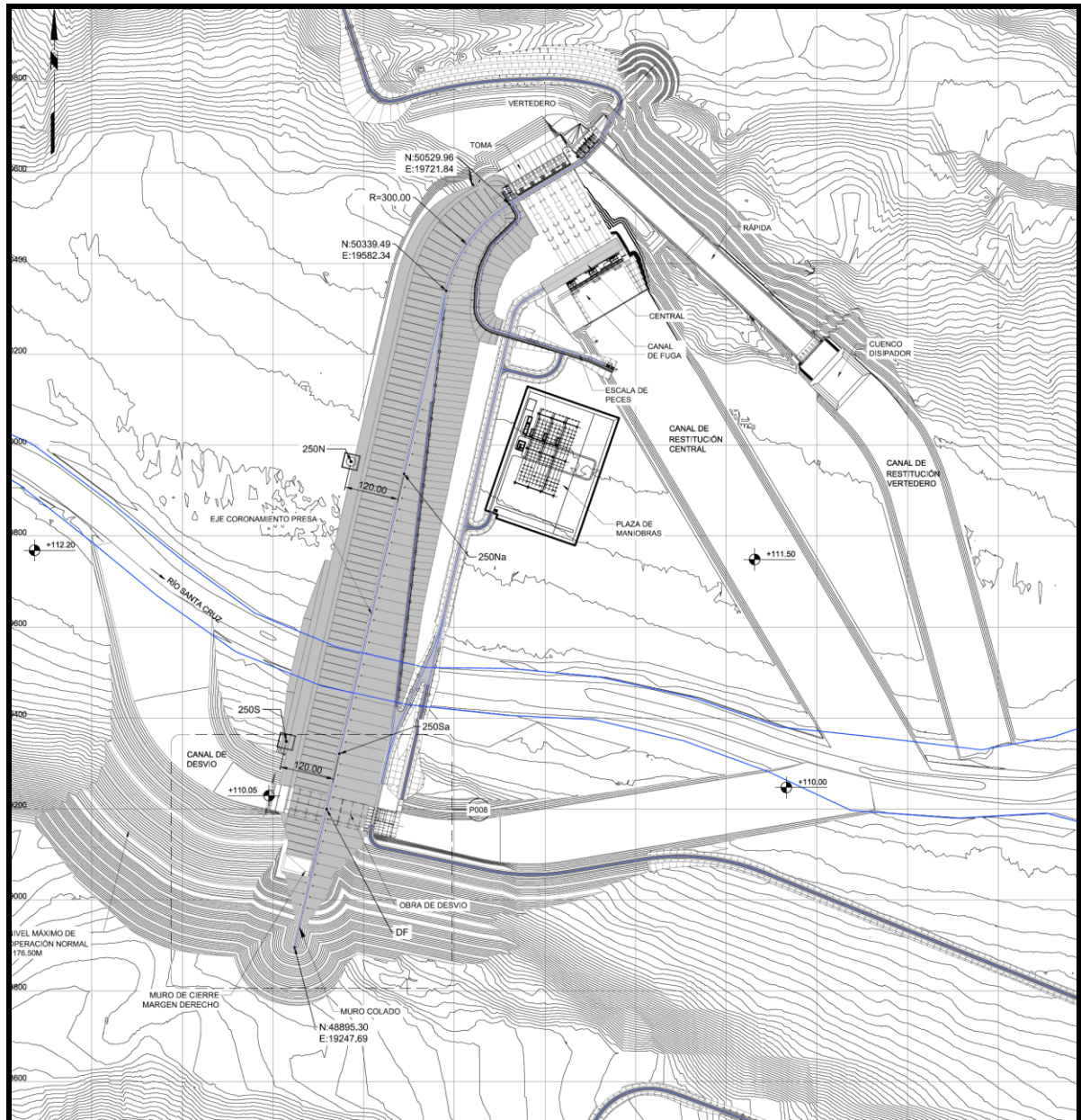


Figura 1.1: Arreglo general de la presa Néstor Kirchner

- 3) En la margen derecha se ubica la estructura de desvío y el descargador de fondo asociados al canal de entrada y salida. El cierre de margen derecha se realiza con un muro de cierre (hormigón gravedad) y un muro colado de 150 m de longitud empotrado en los depósitos de till medio e inferior.
- 4) La presa CFRD se apoya directamente en el aluvión del valle del río y la estanqueidad es lograda con un muro colado empotrado 7 m en la roca vinculado con un plinto flotante que se conecta a la cara de hormigón de la presa.
- 5) El plinto en general es flotante en el valle fluvial pero se apoya en roca cuando la presa entra en la ladera de la margen izquierda. La estanqueidad de la presa se completa con una pantalla de impermeabilización mediante inyecciones.

- 6) En la margen izquierda se ubican las estructuras de hormigón del circuito de generación (toma, conductos de presión, central y canal de restitución) y las estructuras de control de excedencias (vertedero, rápida, cuenco y canal de restitución).
- 7) Otra estructura de importancia es el canal de aducción por el impacto de las excavaciones en la estabilidad del macizo donde se encuentra el bloque de basalto desprendido de la terraza basáltica intermedia.
- 8) Las investigaciones geológicas datan de la década del 1970-80 con los trabajos del consorcio ETIA STIG para AyEE a nivel de prefactibilidad. Posteriormente, en 2006-2007, la Provincia de Santa Cruz contrato al consorcio ESIN IATASA para profundizar las investigaciones a nivel de proyecto básico en los sitios elegidos en la fase anterior. Finalmente, con la obra licitada por el Gobierno Nacional en 2012, la UTE Represas Patagonia realizó las investigaciones complementarias en el año 2015-2016 para la definición del diseño ejecutivo. (Ver Figura 1.2)

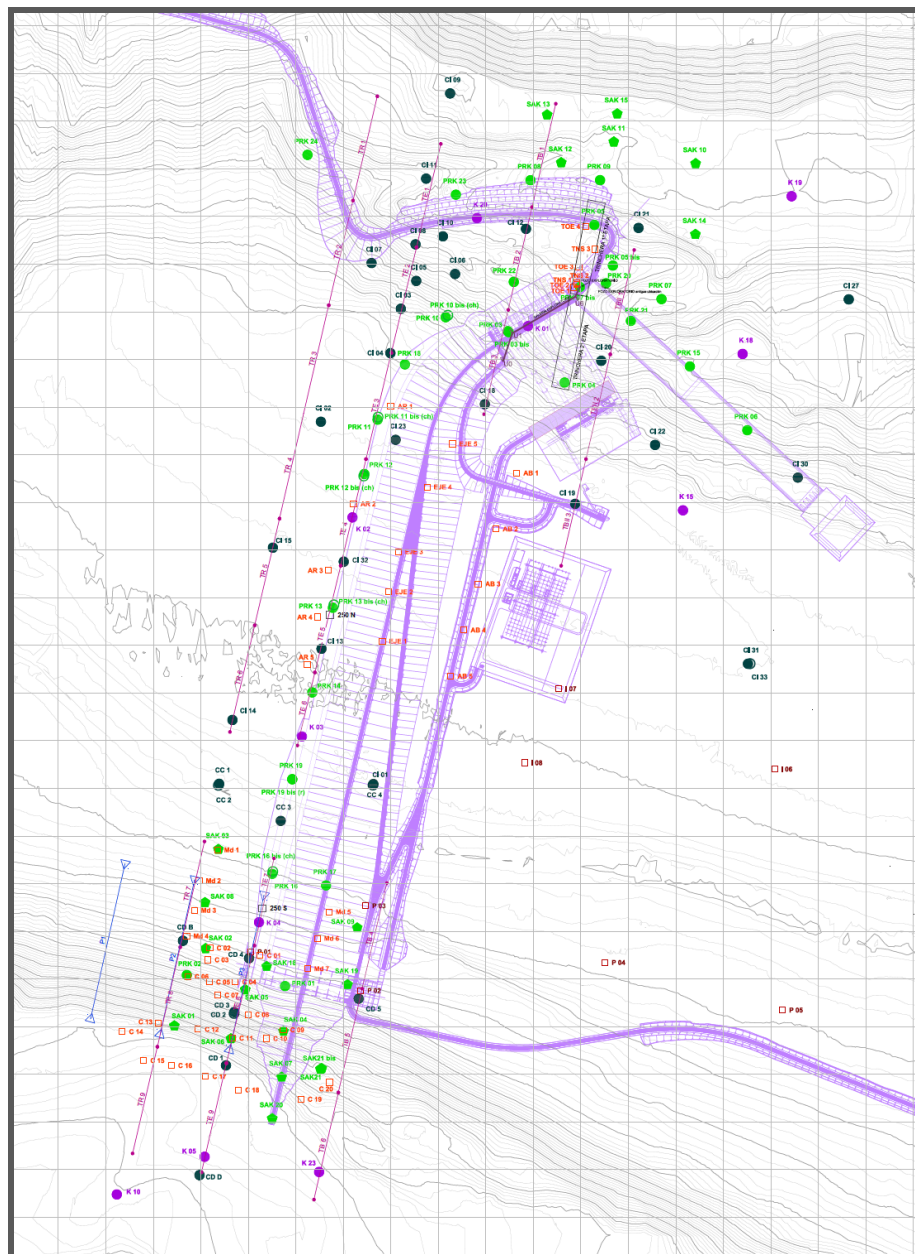



Figura 1.2: Plano de investigaciones geotécnicas realizadas en diferentes campañas

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 18 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

En el estudio de AyEE se ejecutaron 13 perforaciones con recuperación de núcleos y ensayos de permeabilidad (Tabla 1).

**Tabla 1: Perforaciones ejecutadas por el Consorcio IECI para AyEE (1977-1978)**


Sondeos Campaña 1970-1980			
Sondeo	Coordenadas		
	y	x	z
K 01	19789	50570	170,8
K 02	19419	50169	123,6
K 03	19313	49709	118,7
K 04	19222	49319	132,2
K 05	19108	48827	235,2
K 10	18923	48748	240,5
K 15	20115	50184	120,7
K 18	20240	50512	186,0
K 19	20344	50842	229,8
K 20	19681	50796	199,2
K 21	19648	51291	314,0
K 23	19349	48795	230,7
K 25	19045	48531	252,7

Se perforaron 942,42 m, siendo 438,70 m en sedimentos cuaternarios y 503,72 m en roca.

En la campaña de los años 2006 y 2007 realizada por la UTE ESIN S.A.- IATASA las tareas consistieron en levantamientos topográficos, estudios geológicos de superficie, perforaciones en suelo y roca; ensayos *in situ* y sobre muestras en laboratorio e investigación geofísica. Se ejecutaron 10 perforaciones con recuperación de núcleos en margen derecha y 25 en margen izquierda incluidos los sondeos en el cauce (Tabla 2). Adicionalmente se realizaron ensayos de permeabilidad *in situ* tipo Lefranc en aluviones/till y Lugeon en roca.

**Tabla 2: Perforaciones ejecutadas por la UTE ESIN-IATASA entre 2006 y 2007**

Sondeos Campaña 2006-2007			
Sondeo	Coordenadas		
	y	x	z
CC 1	19138	49610	112,2
CC 2	19137	49605	112,0
CC 3	19268	49532	113,4
CC 4	19462	49606	118,3
CI 01	19463	49609	118,2
CI 02	19353	50369	126,2
CI 03	19521	50606	136,5
CI 04	19499	50513	131,0
CI 05	19553	50665	158,0
CI 06	19635	50679	171,5
CI 07	19459	50702	156,6
CI 08	19552	50742	180,0
CI 09	19625	51058	240,9
CI 10	19609	50758	185,2
CI 11	19574	50879	195,0
CI 12	19784	50774	193,3
CI 13	19354	49893	121,2
CI 14	19166	49744	120,0
CI 15	19251	50105	121,7
CI 18	19698	50406	127,1
CI 19	19888	50197	124,5
CI 20	19943	50497	173,4
CI 21	20021	50776	214,9
CI 22	20056	50321	137,1
CI 23	19510	50331	126,0
CI 27	20464	50626	199,8
CI 30	20357	50252	140,3
CI 31	20252	49861	124,9
CI 32	19401	50076	122,1
CI 33	20256	49861	125,0
CD 01	19153	49019	233,1
CD 02	19170	49127	179,7
CD 03	19170	49131	179,4
CD 04	19201	49244	140,7
CD 05	19432	49159	143,6
CD B	19062	49280	142,3
CD D	19097	48789	237,6

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA		Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 19 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC		Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

Se ejecutaron cuatro (4) líneas de sísmica de refracción, una (1) paralela al muro colado, otra paralela al eje de la presa y dos más cortas, una en cada margen en el sector de la implantación de las estructuras de hormigón y las terrazas yuxtapuestas al cauce actual. Se realizaron cuatro (4) ensayos crosshole, uno en la margen derecha del valle, otro sobre la terraza superior de MD, el tercero en el cauce del río y el cuarto en la terraza inferior de la margen izquierda del río. En total se perforaron 2 207,89 m, de los cuales se ejecutaron aproximadamente 1 100 m en suelo y 1 107,89 m en roca.

La campaña de 2015 se inició en febrero de 2015 y finalizó en junio de 2016. Las investigaciones tuvieron como objetivo principal obtener información complementaria de carácter geológico y geotécnico apuntando a consolidar el modelo geomecánico de implantación de las obras principales de la Presa Pdte. Néstor Kirchner. Se programó una campaña de investigaciones más amplia que la originalmente prevista en los documentos de licitación y que incluyeron estudios especializados de:

- Estratigrafía y geomorfología,
- Mapeos geomorfológicos de detalle,
- Sondeos exploratorios con recuperación de testigos (**Tabla 3 y Tabla 4**);
- Ensayos *in situ* de permeabilidad en sondeos
- Ensayos crosshole,
- Perfiles sísmicos de velocidad de ondas de corte (MASW),
- Excavación de una trinchera exploratoria y
- Pozo y galería de exploración y muestreo.

Los resultados de la campaña 2015 se detallaran en el Capítulo 5.

**Tabla 3: Sondeos exploratorios serie SAK – Campaña 2015.**

Sondeos Campaña 2015										
Sondeos exploratorios superficiales										
SAK										
Sondeo	Coordenadas			Ubicación	Estructura	Posición	Profundidad m	Ensayos Lefranc	Ensayos Lugeon	Ensayos SPT
	y	x	z							
SAK 01	19044	49102	214.7	MD	Estribo derecho - Till	Vertical	72	2	1	
SAK 02	19110	49264	141.9	MD	Estructura de desvío	Vertical	45.47	3		
SAK 03	19137	49472	119.0	MD	115 m aguas arriba del Muro colado	Vertical	10			
SAK 04	19274	49091	179.8	MD	Estribo derecho - Till	Vertical	40.5			
SAK 05	19193	49178	155.3	MD	Estribo derecho - Till	Vertical	37			
SAK 06	19163	49075	207.6	MD	Estribo derecho - Till	Vertical	65.2			
SAK 07	19270	48994	218.0	MD	Estribo derecho - Till	Vertical	76.5	3	1	
SAK 08	19109	49361	130.2	MD	125 m aguas arriba del Muro colado	Vertical	34.25	1		
SAK 09	19429	49308	127.7	MD	Presa: 85 m aguas abajo del eje	Vertical	29.7			
SAK 10	20142	50911	231.4	MI	Terrazas superiores	Vertical	33.7			
SAK 11	19969	50957	228.2	MI	Terrazas superiores	Vertical	27.6			
SAK 12	19859	50913	222.4	MI	Terrazas superiores	Vertical	59.15			
SAK 13	19829	51013	235.5	MI	Terrazas superiores	Vertical	24.6			
SAK 14	20141	50763	223.9	MI	Terrazas superiores	Vertical	33.5			
SAK 15	19977	51015	236.2	MI	Terrazas superiores	Vertical	26.1			
SAK 16 (SPT)	21725	49208	116.2	MI	Puente	Vertical	29.7			14
SAK 17 (SPT)	21677	48999	117.4	MD	Puente	Vertical	17.6			19
SAK 17 bis (SPT)	21689	49048	114.1	MD	Puente	Vertical	29.5			17
SAK 18	19238	49226	141.2	MD	Estribo derecho - Till	Vertical	45.5			
SAK 19	19409	49188	140.4	MD	Estribo derecho - Till	Vertical	46.05		4	
SAK20	19250	48907	230.9	MD	Estribo derecho - Till	Vertical	85.3	1		
SAK21	19352	49011	202.3	MD	Estribo derecho - Till	Vertical	49	2		
SAK21 BIS	19354	49012	202.2	MD	Estribo derecho - Till	Vertical	66.5	1	1	

Tabla 4: Sondeos exploratorios serie PRK – Campaña 2015.

Sondeos Campaña 2015										
Sondeos exploratorios profundos										
PRK										
Sondeos		Coordenadas			Ubicación	Estructura	Profundidad m	Ensayos Lugeon	Crosshole	
		y	x	z						
1ª Etapa	PRK 01	19277	49185	145,8	MD	Desvío-Descargador	55,0	5		
	PRK 02	19070	49208	160,6	MD	Canal de entrada-Desvío	70,0	4		
	PRK 03	19746	50559	158,6	MI	Toma	50,0	6		
	PRK 03 bis	19748	50557	158,7	MI	Toma	60,0	8		
	PRK 04	19866	50452	152,3	MI	Casa de Máquinas	75,0	12		
	PRK 05	19928	50782	198,5	MI	Estribo izquierdo	85,0	13		
	PRK 05 bis	19967	50697	194,7	MI	Vertedero	85,0	13		
	PRK 06	20250	50351	160,2	MI	Cuenca amortiguador	58,0	7		
2ª Etapa	PRK 07	20070	50627	208,3	MI	Muro lat. izq. Rápida-vertedero	63,0	3		
	PRK 07 bis	19898	50652	186,2	MI	Entre central y vertedero	86,0	3		
	PRK 08	19794	50876	220,3	MI	Inclinómetro Estribo izquierdo	67,3	4		
	PRK 09	19940	50876	228,6	MI	Piezómetro Estribo izquierdo	80,4	4		
	PRK 10	19615	50589	146,5	MI	Muro Colado - Plinto	35,0	5		
	PRK 10 bis (ch)	19620	50593	147,0	MI	Muro Colado - Plinto	35,0			1
	PRK 11	19472	50374	126,6	MI	Muro Colado - Plinto	30,4	3		
	PRK 11 bis (ch)	19473	50379	126,6	MI	Muro Colado - Plinto	30,0			1
	PRK 12	19444	50260	124,9	MI	Muro Colado - Plinto	35,4	5		
	PRK 12 bis (ch)	19443	50255	124,8	MI	Muro Colado - Plinto	35,0			1
	PRK 13	19378	49979	121,2	MI	Muro Colado - Plinto	50,0	4		
	PRK 13 bis (ch)	19380	49985	121,2	MI	Muro Colado - Plinto	50,0			1
	PRK 14	19335	49801	119,7	MI	Muro Colado - Plinto	50,0	2		
	PRK 15	20129	50485	179,6	MI	Rápida-Vertedero	60,0	10		
	PRK 16	19250	49421	120,0	MD	Muro Colado - Plinto	55,1	4		
	PRK 16 bis (ch)	19251	49425	119,8	MD	Muro Colado - Plinto	55,0			1
PRK 17	19364	49396	119,5	MD	Eje de Presa (Till)	40,0	3			
PRK 18	19530	50490	129,5	MI	Muro Colado - Plinto	45,2	5			
PRK 19	19292	49619	115,5	Lecho del río	Muro Colado - Plinto	42,0	1			
PRK 19 bis (r)	19292	49619	115,5	Lecho del río	Muro Colado - Plinto	52,0	2			
PRK 20	19953	50660	193,3	MI	Rápida vertedero	40,0	2			
PRK 21	20005	50581	205,0	MI	Rápida vertedero	53,0				
PRK 22	19759	50663	177,6	MI	Entrada de la central	50,0	5			
PRK 23	19637	50846	204,5	MI	Estribo izquierdo	81,0	11			
PRK 24	19325	50929	188,1	MI	Estribo izquierdo	60,1	9			

- 9) El estudio de peligrosidad sísmica definió los siguientes valores de *PGA* (aceleración máxima del terreno) para distintos períodos de recurrencia (Tabla 6.2 y Tabla 5).


Tabla 5. Resultados del análisis probabilístico para la presa N. Kirchner

Sismo	Presa N. Kirchner	
	En gals	En g
TR 144	35	0.036
TR 475	73	0.074
TR 1 950	182	0.186
TR 4 950	290	0.296
TR 9 950	383	0.390

La relación entre las componentes verticales y las horizontales se resumen en la Tabla 6.

Tabla 6. Relación entre los componentes verticales y horizontales

Tiempo de retorno	Presa N. Kirchner
TR144	0.50
TR475	0.73
TR1950	0.66
TR4950	0.71
TR9950	0.72

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 21 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

- 10) El estudio sobre peligrosidad volcánica indica que existen al menos 5 volcanes activos en la cordillera. Los fenómenos derivados que podrían afectar la operación de las hidroeléctricas son: caída de cenizas volcánicas y aumento súbito del caudal del río por derretimiento del campo de hielo por alguna erupción. Con respecto al primer fenómeno, hay registros históricos que muestran plumas de cenizas afectando el sitio de la presa NK. Sin embargo se estima que dicho fenómeno afectaría minimamente la operación de la presa en sus aspectos electromecánicos. Con relación a un eventual derretimiento del campo de hielo por la erupción del volcán Viedma, los cálculos indican que la creciente que se podría producir no supera en caudal el generado por la ruptura del Lago Argentino.
- 11) Según los resultados del estudio de oleaje sísmico, la amplitud máxima sobre la superficie media del embalse de las olas inducidas por la excitación sísmica adoptada para el diseño en ningún caso supera 0,42 m (0,84 m de altura valle-pico suponiendo una ola simétrica). La incorporación en los acelerogramas de componentes de baja frecuencia que no afectan los espectros de respuesta usados para el diseño, y que son consistentes con las demandas sísmicas en bajas frecuencias, produce la excitación de los primeros modos del embalse, lo cual genera que la amplitud máxima de las olas alcance 1,22 m, y con hipótesis más pesimistas hasta 2,26 m. Por otro lado, la amplitud máxima de la ola generada por un desplazamiento permanente del fondo o de una de las márgenes del embalse es aproximadamente igual a 0.80 m para un desplazamiento de 1 m.
- 12) Con relación a los materiales granulares para el relleno de la presa, se estudiaron con mayor detalle los materiales de los yacimientos Ca (margen izquierda) y CIV (margen derecha, así como los depósitos de margen derecha en el eje de la presa (Ver Figura 1.3, Figura 1.4 y Figura 1.5). Las principales conclusiones son:
- Los materiales provenientes de la terraza aluvial del río Santa Cruz suministran gravas arenosas, bien o pobremente graduadas, de buena calidad para la construcción de la presa CFRD en el emplazamiento previsto para la presa Néstor Kirchner.
  - Dentro de los yacimientos oportunamente estudiados por AyEE los denominados CIV y Ca pueden suministrar material apto para la construcción de la presa.
  - La información disponible del yacimiento Ca permiten identificar que los materiales disponibles son aptos para la construcción de la presa, así como para producir los materiales seleccionados necesarios a definir por el proyecto de la misma, necesarios para las zonas 2A, 2B y D.
  - El yacimiento CIV, según las calicatas desarrolladas por AyEE involucra tanto a materiales aluviales como glaciofluviales. En este último caso la información disponible permite identificar zonas que presentan excesos de materiales finos y no cumplirían con los requerimientos necesarios para la construcción de la presa.
  - Los materiales provenientes de los yacimientos Ca y CIV pueden ser utilizados, sin tratamiento alguno, para la zona denominada 3B, posibilidad que para el yacimiento CIV se limita a las gravas arenosas pobre y bien graduadas.
  - Para los materiales 2A y 2B, deberán ser realizados cortes retirando la fracción más gruesa, por sobre 1" y 3", respectivamente. No se descarta que algún tipo de corrección complementaria pueda ser necesaria a partir de los nuevos estudios a desarrollar.
  - Para el material D, deberá ser realizado un corte retirando las fracciones más finas, por debajo del tamiz 4 o 1/2", a definir según la granulometría que cumpla con las leyes de filtro como se define en el documento NK-A.CV-MT.GT-(PR-01-00)-P002.
  - Se realizará una campaña de investigaciones adicional para confirmar que los materiales provenientes de las excavaciones del canal de aproximación para el desvío del río y de los canales de restitución de la central y del vertedero o nuevas áreas de yacimientos sean los adecuados para su uso en los rellenos de presa.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A

Fecha: 29-09-16

Página: 22 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

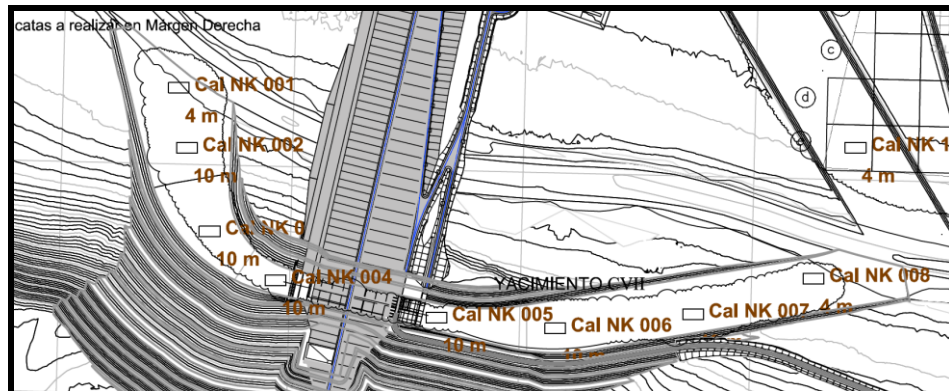


Figura 1.3: Calicatas en canal de aducción, estructuras y canal de restitución.

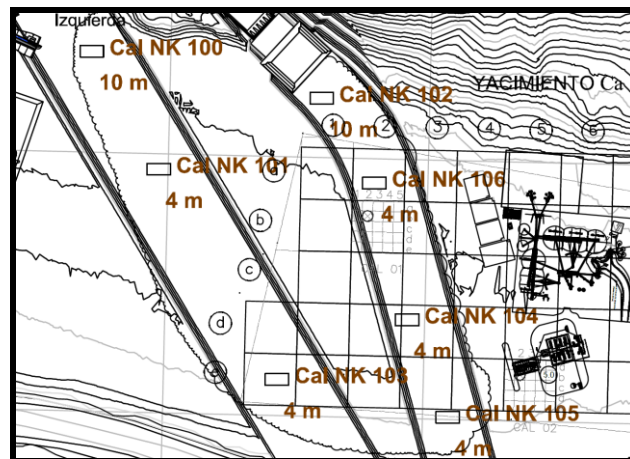


Figura 1.4: Calicatas en las excavaciones obligatorias en margen izquierda

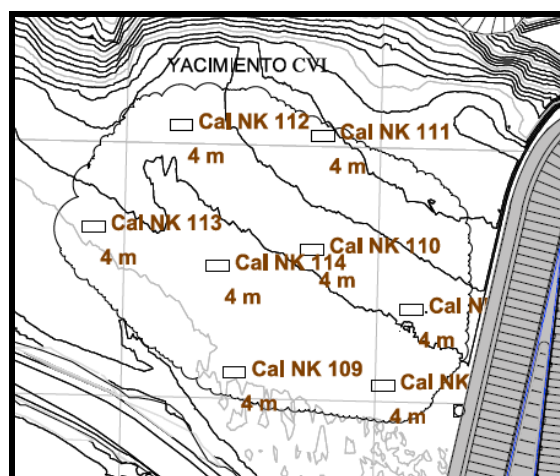



Figura 1.5: Calicatas en Yacimiento CVI en margen izquierda.

- 13) En el Capítulo 8 se discuten los resultados de los ensayos de laboratorio de mecánica de rocas. En la Tabla 7 se muestran los resultados de aquellos ensayos que fueron utilizados posteriormente para definir los parámetros del macizo rocoso.





	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 24 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

- 14) En el Capítulo 9 se desarrolla el tema de los fenómenos de remoción en masa, que recién fueron estudiados con mucha profundidad en la campaña 2015-2016, si bien los mismos fueron identificados en las campañas anteriores.

Las observaciones realizadas a partir del análisis de imágenes remotas, los afloramientos de la trinchera exploratoria y del pozo exploratorio y los testigos de los sondeos PRK5, PRK5b y PRK7bis, pusieron de manifiesto una serie de rasgos morfológicos con características similares a las observadas en procesos de remoción en masa (deslizamientos y expansiones laterales) tales como cicatrices curvas y depresiones topográficas en el dorso de las terrazuelas, estratos inclinados, numerosas fallas normales, planos de fractura subverticales y matriz rocosa altamente alterada (colores pardos) y de mas baja resistencia que la roca intacta. Estas evidencias permitieron asegurar que los fenómenos de remoción en masa se manifiestan en la parte superficial del macizo afectando tanto los depósitos glaciares y fluvio-glaciares y parte de las rocas alteradas de la Fm. Santa Cruz subyacentes, que la profundidad en general no excede los 25 m de profundidad y que la superficie se desarrolla por encima de los niveles de fundación de las estructuras de hormigón que se construirán en el sector.

Respecto de los factores deflagadores de estos fenómenos, el estudio geomorfológico de detalle lo atribuye al efecto de desconfinamiento por erosión de las laderas producido por el paso de un flujo de alta energía producto del desague repentino del Paleolago existente hace 25 000 años en el valle del río Santa Cruz. Es posible que ventos de remoción en masa menores y secundarios sean el producto local de presiones de poros localmente altas y/o la acción sísmica.

- 15) El Capítulo 10 esta dedicado a la presentación resumida de los modelos geológicos y geotécnicos presentados en las campañas anteriores. Se presentan las definiciones principales a las que se arribaron en esas fases de investigación, así como los aspectos que debían ser estudiados en las campañas futuras.
- 16) En el Capítulo 11 se discuten los principales criterios y conceptos que permitieron definir las superficies de contacto aluvián/till-roca alterada (CAR) y la superficie de contacto roca alterada-roca competente (CRC). Esta última superficie es de vital importancia pues permitió definir los niveles de fundación de las estructuras de hormigón.
- 17) En el Capítulo 12 se presenta el modelo geológico y geotécnico de la margen derecha, que incluye la fundación de la estructura de desvío, del muro de gravedad de cierre, muro colado y excavaciones en el till. En la Figura 3.6 se muestra el modelo geológico de margen derecha en la sección del eje de la presa.

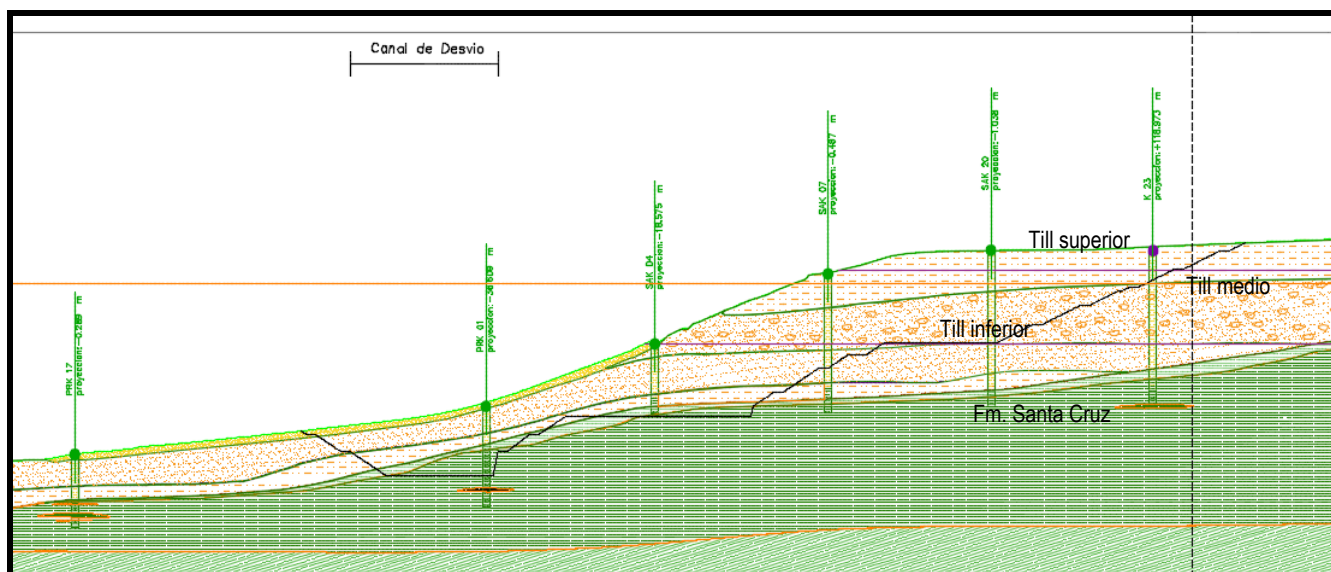



Figura 1.6: Modelo geológico-geotécnico de la margen derecha. Se destacan los depósitos de till superior, medio e inferior, suprayaciendo de manera discordante las rocas de la Fm. Santa Cruz.

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 25 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

Los parámetros de resistencia de los depósitos de till fueron estimados con base a correlaciones empíricas basadas en la velocidad de onda de corte de los materiales (ensayos *MASW* y *crosshole*) y en la densidad *in situ* de los mismos. El resumen de los resultados se muestra en la Tabla 8.

**Tabla 8: Resumen de los parámetros del Till**

Parámetro	Densidad (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesión (MPa)	Angulo de Fricción
Till Indiferenciado	20,3	0	40°

De acuerdo con el informe NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00) P001 0B (Anexo 18) los parámetros de resistencia y deformación para las rocas de fundación son:

$$\delta = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 0,3 \text{ MPa}$$

$$\phi = 30^\circ$$

Módulo de deformabilidad  $E$  entre 2 300 y 2 900 MPa.

La capacidad de carga admisible fue estimada usando el criterio de falla local por corte descrito por la ecuación de Terzaghi considerando un  $F_s$  de 3 para el cálculo de la capacidad de carga admisible para cargas permanentes y de 2 para cargas transitorias o inusuales. Los resultados obtenidos para las diferentes condiciones de carga se muestran en la Tabla 12.5

**Tabla 9: Resultados de la capacidad de carga admisible**

Tipo de combinación	$\sigma_{adm}$ [MPa]
Normal	2.04
Excepcional	3.06
Extrema (SMD)	4.07*

Para el análisis de infiltraciones del muro colado de cierre en margen derecha, se consideraron las siguientes conductividades hidráulicas (Tabla 12.13):


**Tabla 10: Parámetros de Conductividad hidráulica adoptados**

Material	K (cm/seg)
Roca base (Sta. Cruz)	$1 \times 10^{-7}$
Muro	$1 \times 10^{-9}$
Depósitos glaciales	$1 \times 10^{-2}$
Till superior (Gl. Co. Fortaleza)	$1 \times 10^{-2}$
Till Inferior (Gl. La Frutuosa)	$1 \times 10^{-2}$ a $1 \times 10^{-5}$

18) En el Capítulo 13 se presenta el modelo geológico y geotécnico de la presa que incluye la fundación de la presa en el aluvión del valle y del muro colado en el tramo comprendido entre la estructura de desvío al sur y la estructura de la toma al norte.

Las principales conclusiones respecto de las propiedades geotécnicas del aluvión del río son:

- El material puede ser clasificado como una grava bien graduada, con 2 a 7 % de cantos rodados mayores a 10 cm, 15 a 35 % de arenas y bajo contenido de finos (<5 %).
- Presenta su mayor espesor en proximidades del cauce actual, alcanzando casi 40 m de espesor. Hacia los laterales norte y sur va disminuyendo su espesor y se interdigita con los depósitos de till y coluviales desarrollados en las terrazas vecinas.

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 26 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

- La densidad relativa del aluvi3n es >70 % y muy pr3ximo a 100 %, lo cual le da alta compacidad y comportamiento dilatante. La densidad natural promedio es de 21,7 kN/m<sup>3</sup>, la densidad de s3lidos promedio es 26,6 kN/m<sup>3</sup> y la relaci3n de vac3os var3a entre 0,12 y 0,3.
- El m3dulo de corte dinámico ( $G_d$ ) var3a de 100 MPa en superficie a casi 1 000 MPa a 40 m de profundidad. Los m3dulos de deformabilidad dinámico y estático utilizados para el análisis de estabilidad de la presa var3an entre 90 y 1 700 MPa y 70 y 1 300 MPa para sismo de TR 144 a3os y TR 9 950 a3os respectivamente.
- La permeabilidad es variable conforme la naturaleza de la capa o lente que integra el aluvi3n, los cuales están directamente relacionados con los procesos fluviales que le dieron origen. La misma var3a de 1 cm/s para las gravas limpias m3s permeables a 1.10<sup>-7</sup> cm/s para dep3sitos limo arcillosos de llanura de inundaci3n. Se asumi3 una permeabilidad promedio de 1.5.10<sup>-2</sup> cm/s.

Los análisis de infiltraci3n del muro colado tuvieron como objetivo la verificaci3n y dimensionamiento del sistema de drenaje interno de la presa, bajo diferentes hip3tesis relacionadas con da3os que pudiesen originarse en la cara de hormig3n y el muro colado. Paralelamente, se utilizaron para evaluar el comportamiento y eficiencia del muro colado bajo diferentes profundidades de empotramiento en la roca de fundaci3n.

El sistema de drenaje propuesto para la Presa es del tipo dren chimenea inclinado que se conecta a nivel de fundaci3n (cota 125 m) con un manto drenante horizontal tipo Finger drains con dimensiones de 15m de ancho, 1,8m de altura y separados cada 150m.

Se analizaron diferentes escenarios:

- Situaci3n normal, con empotramiento del muro colado en roca de 0 m, 2 m, 5 m, 7 m y 10 m.
- Fisuraci3n de la cara de hormig3n
- Fisuraci3n del muro colado

Los caudales obtenidos de los análisis se muestran en la Tabla 11.

**Tabla 11: Caudales obtenidos por finger drains para diferentes situaciones de análisis**

Caso	Caudales Unitarios [l/s/m]					Caudales x 150m [l/s]				
	Secci3n 1	Secci3n 2	Secci3n 3	Secci3n 4	Secci3n 5	Secci3n 1	Secci3n 2	Secci3n 3	Secci3n 4	Secci3n 5
Muro Colado a Roca Sana	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0	32	37	7	9
Muro Colado 2m en Roca Sana	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0	21	26	4	6
Muro Colado 5m en Roca Sana	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0	16	21	3	6
Muro Colado 7m en Roca Sana	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0	15	20	3	6
Muro Colado 10m en Roca Sana	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0	13	18	2	5
Fisuraci3n de cara ( $K_d = 0.01$ m/s)	6.3	5.4	7.6	3.7	3.9	945	804	1139	557	585
Fisuraci3n de cara ( $K_d = 0.1$ m/s)	8.3	9.5	9.7	8.7	8.3	1245	1430	1455	1302	1239
Fisuraci3n Muro Colado ( $K_d = 0.01$ m/s)	0.5	5.1	5.4	1.6	2.6	79	761	807	243	396
Fisuraci3n Muro Colado ( $K_d = 0.1$ m/s)	0.4	6.3	6.4	3.0	5.0	63	950	954	450	750

Puede observarse que el m3ximo caudal que podr3 solicitar a un finger drain es 1 455 l/s y se corresponde con el caso de fisuraci3n de la cara de hormig3n. De los modelos se verific3 que los gradientes medios m3s bajos que se producen en el dren son del orden de 0,05 a 0,1 en general para todos los casos. Comparando el caudal solicitante (1.455 l/s) contra el caudal m3ximo que puede extraer el dren (2 700 l/s), el factor de seguridad es del orden de 1,9 (2 700/1 455), lo cual implica que el sistema de drenaje propuesto es suficiente para asegurar el correcto funcionamiento frente a los caudales de evacuaci3n, aun para el caso extremo de fisuraci3n de la cara de hormig3n en una altura de 30 m y una longitud continua de 150 m.

Los gradientes para diferentes empotramientos del muro colado con carga hidr3ulica entre 56 m y 58 m son:

- Empotramiento 2 m – Gradiente = 11,7
- Empotramiento 5 m – Gradiente = 5,4
- Empotramiento 7 m – Gradiente = 3,9
- Empotramiento 10 m – Gradiente = 2,8

En función de los criterios del boletín 141 del ICOLD se adoptó, para esta etapa del proyecto ejecutivo, un gradiente admisible máximo de 4 desde el contacto aluvión-roca (CAR), para definir el empotramiento del muro colado. Este valor adoptado resulta conservador ya que se esperan mejores condiciones en el macizo donde se empotra el muro colado por lo expuesto anteriormente, por lo que el gradiente admisible podría ser mayor. Comparando los gradientes calculados anteriormente para diferentes empotramientos del muro colado, puede verse que con 7 m de empotramiento se satisface que el gradiente de infiltración sea menor que 4 ( $i = 3,9$ ).

19) En el Capítulo 14, ítem 14.3, se presenta el modelo geológico y geotécnico de las estructuras de la toma+central. En la Figura 1.7 se presenta el modelo geológico de la toma y central en una sección.

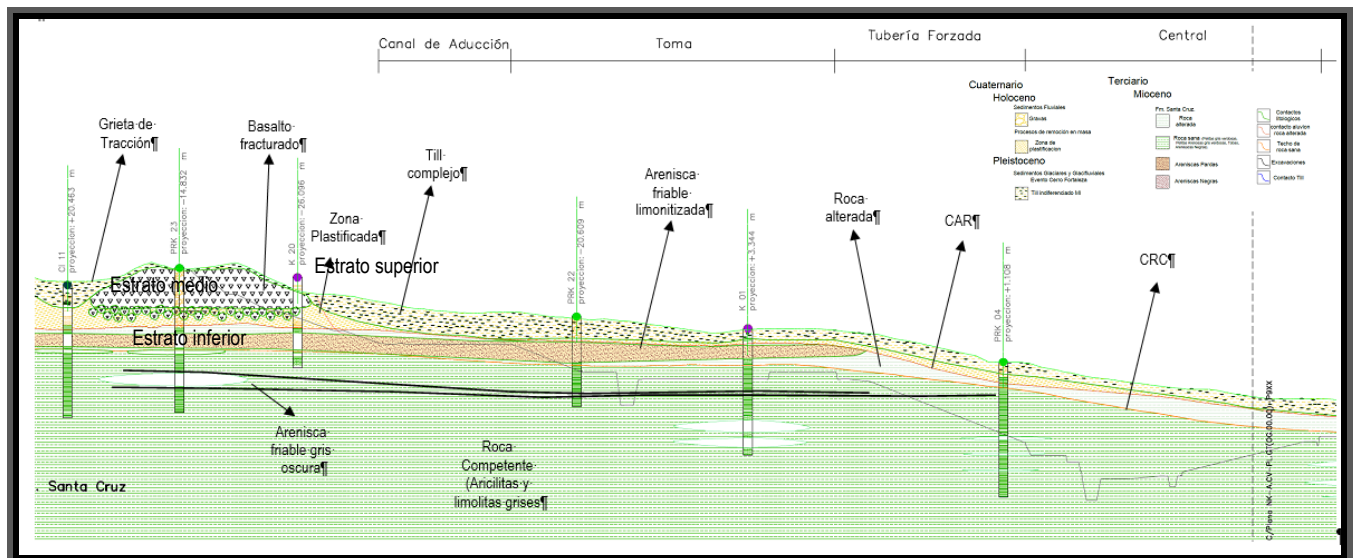


Figura 1.7: Modelo geológico-geotécnico de la toma y central

Arriba de la superficie CAR se disponen los depósitos de till, roca alterada afectada por la remoción en masa y el basalto desprendido por expansión lateral. Entre las superficies CAR y CRC se ubica la roca alterada. Abajo del CRC la roca competente fue subdividida en 3 estratos: superior, medio e inferior, a los efectos de la definición de los parámetros geotécnicos de fundación de las estructuras de hormigón (Tabla 12).

Tabla 12: Propiedades geotécnicas de los estratos de fundación de la Toma y Central

	Superior	Medio cementado	Medio sin cementar	Inferior	GLOBAL
$\phi$ (°)	42.9	35.0	35.0	36.8	30
c (MPa)	0,3	0,3	0	0,4	0,3

El módulo de deformabilidad para el macizo rocoso de fundación de las estructuras de margen izquierda fue calculado usando las velocidades de onda de corte obtenidas en los ensayos crosshole MASW. Para los análisis de estabilidad tensión-deformación de las estructuras se aplicó un módulo variable entre 1 800 y 2 500 MPa.

Los resultados de los cálculos de la capacidad de carga de las estructuras se muestran en la Tabla 13.

**Tabla 13: Tensiones resultantes en la roca de fundación de la toma**

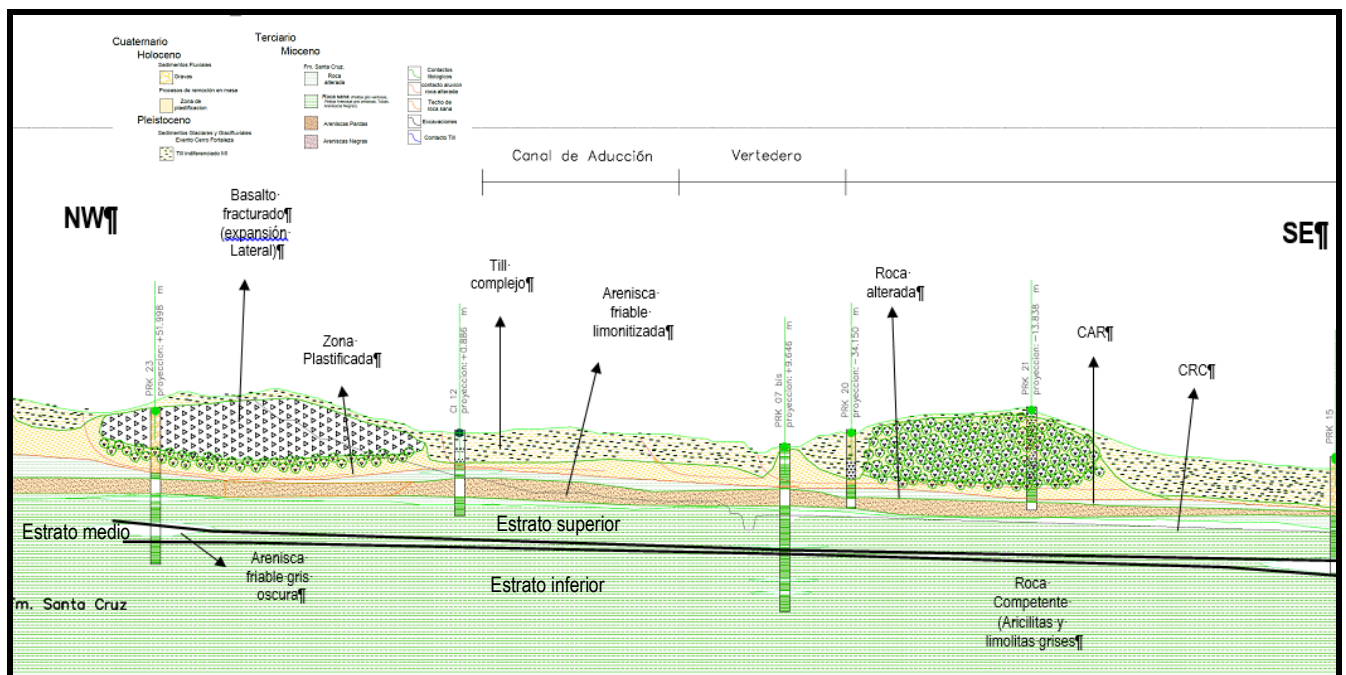
Nº Combinación de Carga	Tipo de Combinación	$\sigma_{m\acute{a}x}$ [MPa]	Excentricidad [m]	$\sigma_{adm}$ [MPa]
2	Normal	0.629	10.4	2.10*
4	Excepcional	0.648	13.8	3.16**
9	Extrema (SMD)	0.747	13.0	4.21***

Se concluye que las tensiones transmitidas por las estructuras son menores que las tensiones admisibles.

La permeabilidad del macizo rocoso en el sector del diente de la toma muestra por lo general valores muy bajos y localmente absorciones que llegan a 6,8UL. Se puede considerar el macizo como muy poco permeable.

El canal de restitución de la central será excavado parcialmente en roca competente en su tramo inicial y en los aluviones del río en el tramo medio a inferior.

20) En el Capítulo 14, ítem 14.4, se presenta el modelo geológico-geotécnico del conjunto vertedero+rápida+cuenco. En la Figura 1.8 se presenta el modelo geológico del Vertedero



**Figura 1.8: Modelo geológico-geotécnico del vertedero**

El modelo de 3 estratos definido para la toma, se repite para el vertedero por lo que los parámetros de resistencia son los de la Tabla 12 y el módulo de deformabilidad variable entre 1 800 y 2 500 MPa.

Los resultados de capacidad de carga obtenidos para las diferentes condiciones de carga del vertedero se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14: Tensiones resultantes en la roca de fundación del vertedero

Nº Combinación de Carga	Tipo de Combinación	$\sigma_{m\acute{a}x}$ [MPa]	Excentricidad [m]	$\sigma_{adm}$ [MPa]
2	Normal	0.479	4.48	1.89*
4	Excepcional	0.561	5.86	2.89**
8	Extrema (SMD)	0.853	9.99	4.02***

Con relación a la permeabilidad en el eje del vertedero, se aprecia que las mayores permeabilidades fueron medidas en las areniscas negras friables limonitizadas del sondeo PRK 23 y PRK 20 (UL entre 4,6 y 25), en las areniscas pelíticas del PRK 23 (UL = 14) y en las areniscas negras entre cotas 130 m y 135 m del sondeo PRK 07 bis. Las rocas pelíticas grises competentes han mostrado en general muy bajas permeabilidades (<1UL).

21) El modelo geológico de las excavaciones del cuenco se muestra en la Figura 1.9:

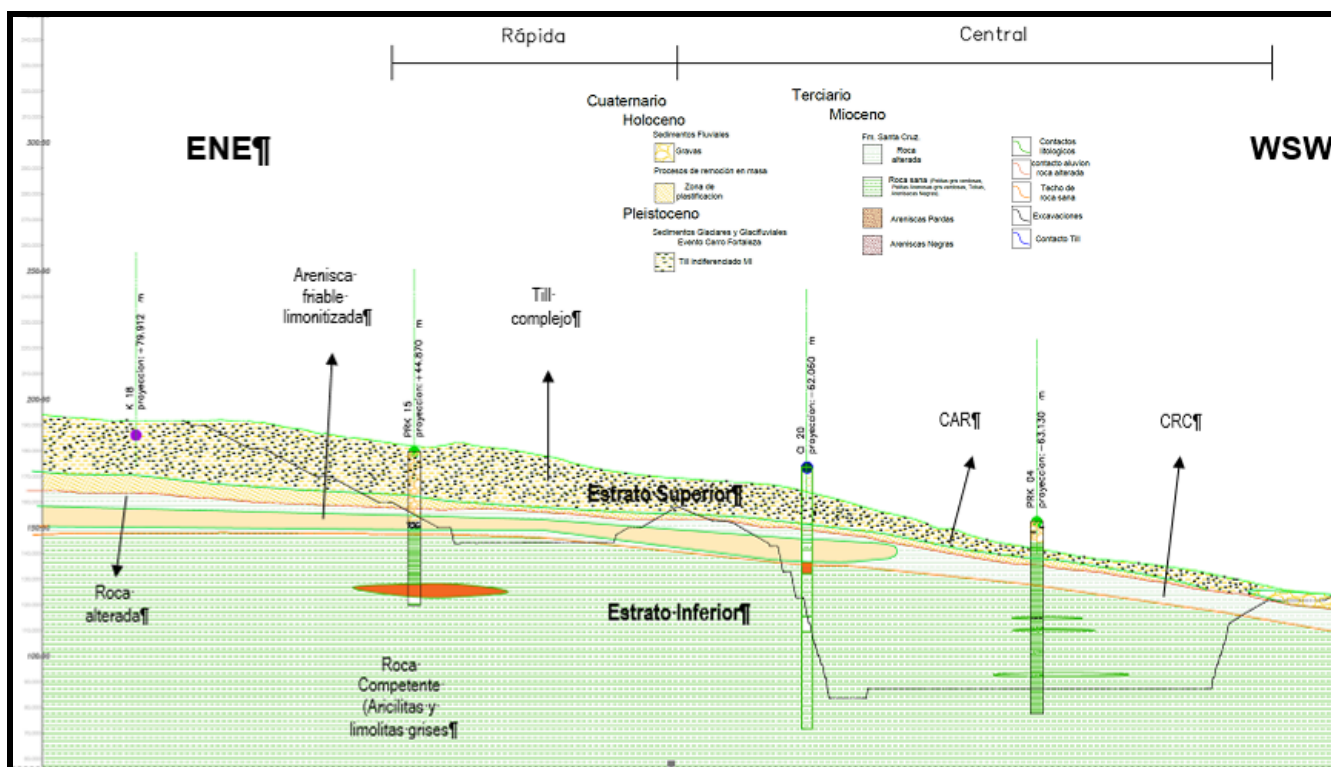


Figura 1.9: Modelo geológico-geotécnico del cuenco disipador

El modelo ha sido dividido en dos estratos: superior e inferior. El superior está formado por depósitos coluviales y glaciares alguno de los cuales han sufrido deslizamientos por lo que se consideran propiedades geomecánicas residuales (cohesión nula). El estrato inferior se sitúa por debajo del precedente y está constituido por pelitas grisáceas y tobas con alteración superficial, en los primeros cinco a diez metros desde el techo de roca. En forma intercalada se observan lentes de areniscas grises y verdes. Para los depósitos coluviales y glaciares del estrato superior, los parámetros de resistencia considerados se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Parámetros de resistencia para verificación de excavaciones de cuenco y rápida

	Superior	Inferior
$\phi$ (°)	40	39
c (MPa)	0	0,3



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A

Fecha: 29-09-16

Página: 30 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Doc. N°

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

22) El modelo geológico de las excavaciones del canal de aducción se muestra en la Figura 1.10 correspondiente a la sección 0+310.

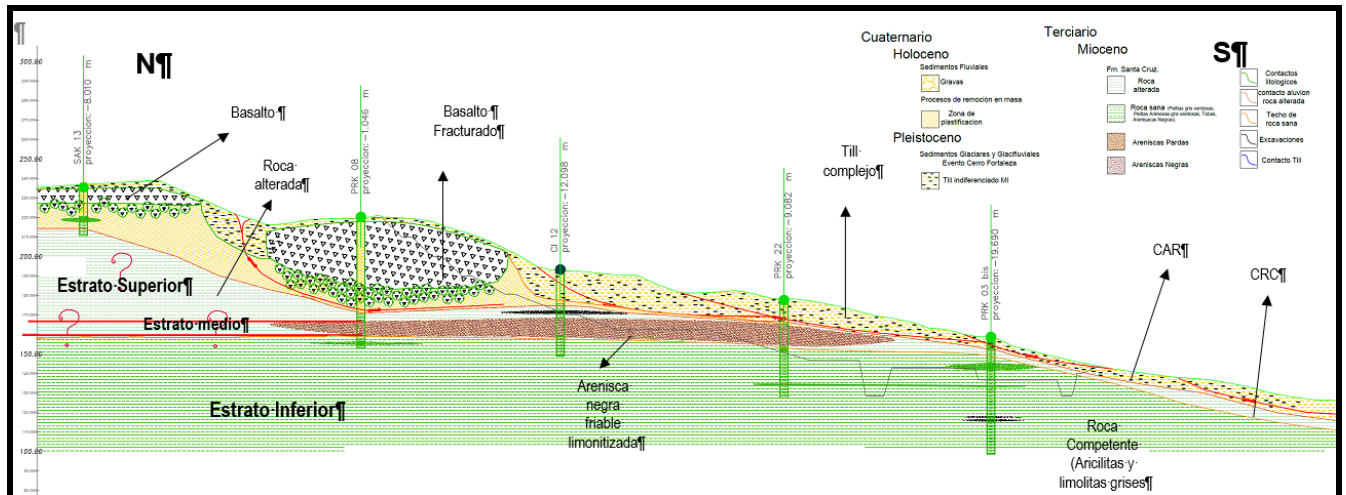


Figura 1.10: Modelo geológico-geotécnico del canal de aducción


Los parámetros geomecánicos para la roca competente (estrato Inferior), la arenisca friable limonitizada entre cotas 160 y 170 m (estrato medio), las pelitas del estrato superior, la roca alterada y el material plastificado se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16: Parámetros geotécnicos usados en la verificación de la estabilidad de los taludes

Macizo Rocoso	Parámetros Geomecánicos	
	c (MPa)	$\Phi$ (°)
Basalto Fracturado	0,5	57
Roca alterada	0,13	25
Estrato superior	0,17	31
Arenisca friable sin cementar (estrato medio)	0	30
Arenisca cementada (estrato medio)	0,3	37
Estrato Inferior	0,42	36

La permeabilidad del macizo es muy baja. La capa de arenisca negra friable limonitizada tiene una permeabilidad medida en ensayos Lugeon y Lefranc variable entre 0 y 5,2 UL, lo cual se considera muy bajo. Sin embargo, dada la heterogeneidad litológica de la arenisca, esta propiedad será verificada con sondeos exploratorios adicionales antes de la ejecución del muro.

Las Tabla 17 y Tabla 18 muestran resumidamente los parámetros geomecánicos de los suelos granulares (aluvión, till) y rocas descriptos en el modelo geológico.

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA		Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 31 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC		Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

**Tabla 17: Parámetros geotécnicos de los materiales granulares**


Presa Pdte Néstor Kirchner									
Parámetros geotécnicos recomendados para el Aluvión de la presa y el till de margen derecha									
Estructura	Ubicación	Material Aluvional	Ángulo de fricción interna	Cohesión	Módulo	Densidad in situ	Densidad de sólidos	Relación de vacíos	Ensayos Lefrac
			$\phi$ (°)	$c$ MPa	$E$ MPa	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\rho_s$ kg/m <sup>3</sup>	$e$	$k$ cm/s
Aluvión Fundación Presa	Valle del río (*)	GW-(GP)	32	0	70 A 1900 (Según TR de los sismos y la profundidad)	1 950	2,66	0,12 - 0,3	1,5x10 <sup>-2</sup>
Till Margen derecha	Terrazas cota 230m (**)	GP-GW	40			2 000	2 670		1x10 <sup>-2</sup> a 1x10 <sup>-4</sup>
Documento de referencia para los parámetros			NK-A.CV-MC.FE-(PR-01-00)-P001		NK-A CV-MT FE-(OG-00-00)-P001	NK-A.CV-MC.FE-(PR-01-00)-P001	NK-A.CV-IL.GT-(PR-00-00)-P002	NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P900 y P901	
			NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P001			NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P001			

**Tabla 18: Parámetros geotécnicos de las rocas**

Presa Pdte Néstor Kirchner									
Parámetros geotécnicos recomendados para el Macizo Rocoso									
Estructura	Ubicación	Roca	Cota	Ángulo de fricción interna	Cohesión	Módulo	Peso específico	Permeabilidad Lugeon	
			m	$\phi$ (°)	$c$ MPa	$E$ MPa	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	UL	
Desvío y descarg.	Margen derecha (****)	Fm Santa Cruz	-	30	0,3	2300 - 2900	20	Ver Perfiles	
Toma + Central	Margen Izquierda (*)	Estrato Superior	> 134	43	0,30	1800 - 2500	19		
		Estrato Medio	134-a 132	35	0 - 0,3				
		Estrato Inferior	< 132	37	0,4				
Vertedero	Margen Izquierda (*)	Estrato Superior	> 134	43	0,30	1800 - 2500	19		
		Estrato Medio	134-a 132	35	0 - 0,3				
		Estrato Inferior	< 132	37	0,4				
Rapida + Cuenco	Margen Izquierda (**)	Estrato Superior (Till)	Variable	40	0	1800 - 2500	19		
		Estrato inferior		39	0,3				
Canal de aducción	Margen Izquierda (***)	Basalto Fracturado	>165 (variable)	57	0,5	1800 - 2500	19		
		Roca alterada	>165 (variable)	25	0,13				
		Estrato superior	>165 (variable)	31	0,17				
		Arenisca friable sin cementar (estrato medio)	165 - 155	30	0				
		Arenisca cementada (estrato medio)	165 -155	37	0,3				
		Estrato Inferior	<155	36	0,42				
Documento de referencia para los parámetros			(*) NK-A.CV-MT.GT-(CH-00-00)-P902		NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900		NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P900 a P927		
			(**) NK-A.CV-MT.GT-(CH-00-00)-P903						
			(***) NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P901						
			(****) NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P001		(****) NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P001				

Para las unidades se utiliza Sistema Métrico Legal Argentino (SIMELA)




 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 32 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

### 23) Investigaciones Futuras:

Si bien se considera que el modelo geológico y geotécnico propuesto para el diseño ejecutivo de la presa Nestor Kirchner es sólido con el nivel de información disponible de las 3 campañas de investigaciones ejecutadas, se estima necesario realizar algunas actividades de investigación complementarias:


- a. Terminar el pozo exploratorio hasta su cota final 126,5 msnm
- b. Ejecución de la trinchera exploratoria en margen derecha para clasificar geotécnicamente los niveles del till inferior.
- c. Continuación del sondeo K 21, situado en la parte alta de la terraza basáltica superior en margen izquierda, para detectar el contacto entre el basalto y la Fm. Santa Cruz.
- d. Ejecutar perforaciones exploratorias con recuperacion de testigos y ensayos de permeabilidad en los sondeos de instalación de la instrumentación geotécnica de margen izquierda (inclinómetros y piezómetros)
- e. Completar la campaña de investigación de yacimientos para materiales de la presa haciendo espacial hincapié en los niveles mas profundos de los aluviones (>4 m).
- f. Ejecutar ensayos triaxiales en las gravas para el relleno para confirmar los parámetros mecánicos adoptados en el diseño.

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 33 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

## 1. OBJETO DEL DOCUMENTO

Este documento tiene el objeto de presentar toda la información geológica y geotécnica disponible relacionada del proyecto de la presa Presidente Nestor Kirchner (NK), obtenida del estudio de los antecedentes disponibles en la licitación y de las investigaciones geológicas y geotécnicas realizadas por la UTE desde 2014 a la fecha. Estos incluyen sondeos exploratorios con recuperación de testigos y ensayos de permeabilidad *in situ*, ensayos SPT en los estribos de apoyo del puente de servicio, ensayos crosshole a lo largo del trazado del muro colado, medición de ondas de corte por el método *MASW*, excavación de una trinchera exploratoria en el trazado del vertedero en margen izquierda y la excavación de un pozo exploratorio en la intersección del eje del vertedero con el eje de la estructura de toma. Queda pendiente terminar 18m de excavación en el pozo e iniciar la excavación de una galería exploratoria, así como terminar la campaña de evaluación de yacimientos para los materiales de la presa y para el hormigón.

En este informe se integraran todos los resultados disponibles de ensayos de campo y laboratorio para la elaboración final del modelo geológico-geotécnico de la presa. Al presente, por no contarse con varias de las actividades aún en curso, el presente informe tendrá el carácter de preliminar para la presentación del Proyecto Ejecutivo.

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 34 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Documentación de Licitación

Las fases de investigación geológica y geotécnica anteriores a la licitación se dividen en aquella ejecutada por el Consorcio IECI para AyEE entre los años 1977 y 1978 (anteproyecto) y en la ejecutada por el Consorcio IECI entre los años 2006 y 2007 contratado por la Provincia de Santa Cruz (Diseño básico).

En el estudio de AyEE se ejecutaron 13 perforaciones con recuperación de núcleos y ensayos de permeabilidad (Tabla 2.1) en el sitio del km 250 cuyas posiciones pueden consultarse en el plano NK-A.CV-PL.G-(OG-00-00)-P001 (Anexo 01).

**Tabla 2.1: Perforaciones ejecutadas por el Consorcio IECI para AyEE (1977-1978)**

Sondeos Campaña 1970-1980			
Sondeo	Coordenadas		
	y	x	z
K 01	19789	50570	170,8
K 02	19419	50169	123,6
K 03	19313	49709	118,7
K 04	19222	49319	132,2
K 05	19108	48827	235,2
K 10	18923	48748	240,5
K 15	20115	50184	120,7
K 18	20240	50512	186,0
K 19	20344	50842	229,8
K 20	19681	50796	199,2
K 21	19648	51291	314,0
K 23	19349	48795	230,7
K 25	19045	48531	252,7

De estas perforaciones se dispone las planillas de registro geológico en formato pdf, incluyendo la descripción de los tipo litológicos encontrados, descripción de parámetros de la roca (alteración y competencia) y de las discontinuidades, recuperación total y *RQD* y los resultados de los ensayos de permeabilidad Lefranc para los sedimentos cuaternarios (aluviones en general y depósitos glaciáricos), y Lugeon para las rocas subyacentes de la Fm. Santa Cruz. No se cuenta con las fotos de los núcleos de perforación ni las planillas de los ensayos de permeabilidad. Adicionalmente se realizaron levantamientos geológicos de superficie a diferentes escalas, con énfasis en la identificación de las unidades litológicas principales y de los rasgos geomorfológicos activos (remoción en masa).

Se perforaron 942,42 m, siendo 438,70 m, en sedimentos cuaternarios y 503,72 m en roca.


De este estudio se obtuvieron algunas conclusiones importantes que condicionaron las campañas de investigaciones siguientes, inclusive la actual. La principal conclusión fue que de los 3 ejes estudiados (km 283, km 257 y km 250), el que reunía las mejores condiciones de implantación sería el del km 250.

Para este sitio se definieron los siguientes condicionantes geotécnicos:

- existencia de deslizamientos críticos en la ladera de la margen izquierda,
- condiciones de espesor y permeabilidad de aluviones críticos,
- espesor y permeabilidad del till de margen derecha.

El estudio concluye con la sugerencia de intensificar el conocimiento ejecutando 2 perforaciones profundas en margen derecha, labores, piques y galerías en margen izquierda y la ejecución de un estudio sobre los deslizamientos.

Entre los años 2006 y 2007 la Provincia de Santa Cruz contrató a la UTE ESIN S.A.- IATASA para realizar la Inspección del programa de investigaciones geológico-geotécnicas complementario en el sitio actual de

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 35 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

emplazamiento de la presa en el km 250. Estos estudios tuvieron por finalidad efectuar una actualización y ampliación del conocimiento geológico y geotécnico del sector para elaborar los documentos necesarios para la licitación de las obras.


Las tareas consistieron en levantamientos topográficos, estudios geológicos de superficie, perforaciones en suelo y roca; ensayos *in situ* y sobre muestras en laboratorio e investigación geofísica. La distribución de las investigaciones realizadas puede consultarse en el plano NK-A.CV-PL.G-(OG-00-00)-P001 (Anexo 01).

Se ejecutaron 10 perforaciones con recuperación de núcleos en margen derecha y 25 en margen izquierda incluidos los sondeos en el cauce (**Tabla 2.2**). Adicionalmente se realizaron ensayos de permeabilidad *in situ* tipo Lefranc en aluviones/til y Lugeon en roca.

**Tabla 2.2. Perforaciones ejecutadas por la UTE ESIN-IATASA entre 2006 y 2007**

Sondeos Campaña 2006-2007			
Sondeo	Coordenadas		
	y	x	z
CC 1	19138	49610	112,2
CC 2	19137	49605	112,0
CC 3	19268	49532	113,4
CC 4	19462	49606	118,3
CI 01	19463	49609	118,2
CI 02	19353	50369	126,2
CI 03	19521	50606	136,5
CI 04	19499	50513	131,0
CI 05	19553	50665	158,0
CI 06	19635	50679	171,5
CI 07	19459	50702	156,6
CI 08	19552	50742	180,0
CI 09	19625	51058	240,9
CI 10	19609	50758	185,2
CI 11	19574	50879	195,0
CI 12	19784	50774	193,3
CI 13	19354	49893	121,2
CI 14	19166	49744	120,0
CI 15	19251	50105	121,7
CI 18	19698	50406	127,1
CI 19	19888	50197	124,5
CI 20	19943	50497	173,4
CI 21	20021	50776	214,9
CI 22	20056	50321	137,1
CI 23	19510	50331	126,0
CI 27	20464	50626	199,8
CI 30	20357	50252	140,3
CI 31	20252	49861	124,9
CI 32	19401	50076	122,1
CI 33	20256	49861	125,0
CD 01	19153	49019	233,1
CD 02	19170	49127	179,7
CD 03	19170	49131	179,4
CD 04	19201	49244	140,7
CD 05	19432	49159	143,6
CD B	19062	49280	142,3
CD D	19097	48789	237,6

De los testigos de roca se obtuvieron muestras para ensayos de laboratorio de mecánica de rocas (ensayos de compresión uniaxial y triaxial), cuyos resultados se discutirán en el ítem 6.8.

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 36 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

Se realizaron cuatro (4) líneas de sísmica de refracción, una (1) paralela al muro colado, otra paralela al eje de la presa y dos más cortas una en cada margen en el sector de la implantación de las estructuras de hormigón y las terrazas yuxtapuestas al cauce actual (Anexo 01).

Con el propósito de cuantificar los parámetros de densidad y deformabilidad de la cubierta sedimentaria, se realizaron cuatro (4) ensayos *crosshole* que se ubicaron en la margen derecha del valle (CD 02-CD 03), sobre el talud entre la terraza inferior y la terraza superior, en el cauce del río (CC 1-CC 2 y CI 01-CC 4) y en la terraza inferior de la margen izquierda del río (CI 31-CI 33).

En total se perforaron 2 207,89 m, de los cuales 1 100 m fueron realizados en suelo y 1 107,89 m en roca.

## 2.2. Campaña de Investigaciones 2015 – UTE Represas Patagonia

En el documento NK-A.CV-MT-G-(OG-20-00)-P001 Campaña de Investigaciones Geológicas - Presa Presidente Néstor Kirchner - Provincia De Santa Cruz, entregado en febrero de 2015 se enunciaron los objetivos, lineamientos generales y los detalles de la campaña de investigaciones que se comenzaba a desarrollar como soporte al Proyecto Ejecutivo y a la Ingeniería de Detalle de la Presa.

Esta campaña estuvo estructurada en función de:

- lo previsto en el Pliego de Licitación,
- el programa de investigaciones complementarias presentado en la Oferta,
- la propuesta de optimización del Proyecto Básico,
- las recomendaciones surgidas del Panel de Expertos y
- las reuniones mantenidas con la Inspección.


Las investigaciones tuvieron como objetivo principal obtener información complementaria de carácter geológico y geotécnico apuntando a consolidar el modelo geomecánico de implantación de las obras principales de la presa pdte. Néstor Kirchner.

Los asuntos principales a estudiar fueron:

- Investigar zonas sin información, detectadas con los estudios de los antecedentes disponibles de las fases de investigación anteriores así como de los estudios realizados por la UTE en 2014.
- Investigar la inestabilidad del macizo rocoso de margen izquierda que presenta marcas o cicatrices de deslizamientos. Verificar si los mismos afectan superficialmente o son de ruptura profunda.
- Estudiar con mayor precisión los contactos aluvión-till y roca para el diseño de la margen derecha.
- Verificar la distribución areal y permeabilidad del till para implantar un modelo hidrogeológico de percolación en esa margen junto con un análisis de estabilidad de las excavaciones.
- Estudiar las fundaciones en roca para la implantación de la Toma, Casa de Máquinas y Vertedero en la margen izquierda y la estructura del Desvío para margen derecha.
- Obtener los parámetros de las rocas para la caracterización del macizo y obtención de parámetros para las excavaciones, fundaciones y tratamientos.
- Estudiar los materiales de construcción

Se programó una campaña de investigaciones más amplia que la originalmente prevista en los documentos de licitación y que incluyen estudios especializados de:

- Estratigrafía y geomorfología,
- Mapeos geológicos de detalle,
- Sondeos exploratorios con recuperación de testigos y
- Ensayos *in situ* de permeabilidad,

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA		Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 37 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC		Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

- Ensayos *crosshole*,
- Perfiles sísmicos de velocidad de ondas de corte (*MASW*),
- Excavación de una trinchera exploratoria y
- Pozo y galería de exploración y muestreo.

Los fundamentos de esta ampliación fueron:

- Previsión de obras de hormigón en la margen derecha, donde antes no las había;
- Previsión de no excavar totalmente el material de margen derecha (Till), estudiándose un tratamiento especial para el mismo, que requiere analizar su permeabilidad y estabilidad bajo la acción del embalse;
- Indicios de deslizamientos en la margen izquierda que podrían afectar la estabilidad de las obras.

Los resultados de la campaña 2015 se detallaran en el ítem 5.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 29-09-16  
Página: 38 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

### 3. GEOLOGÍA REGIONAL

#### 3.1. Evolución tectónica

La región del río Santa Cruz donde se ubican los cierres proyectados para las presas Presidente Dr. Néstor Carlos Kirchner y Gobernador Jorge Cepernic se encuentra dentro de una región de la Patagonia Austral Extraandina, en área de cierta tranquilidad tectónica al menos desde el Neógeno (Figura 1.3 y Figura 3.2).

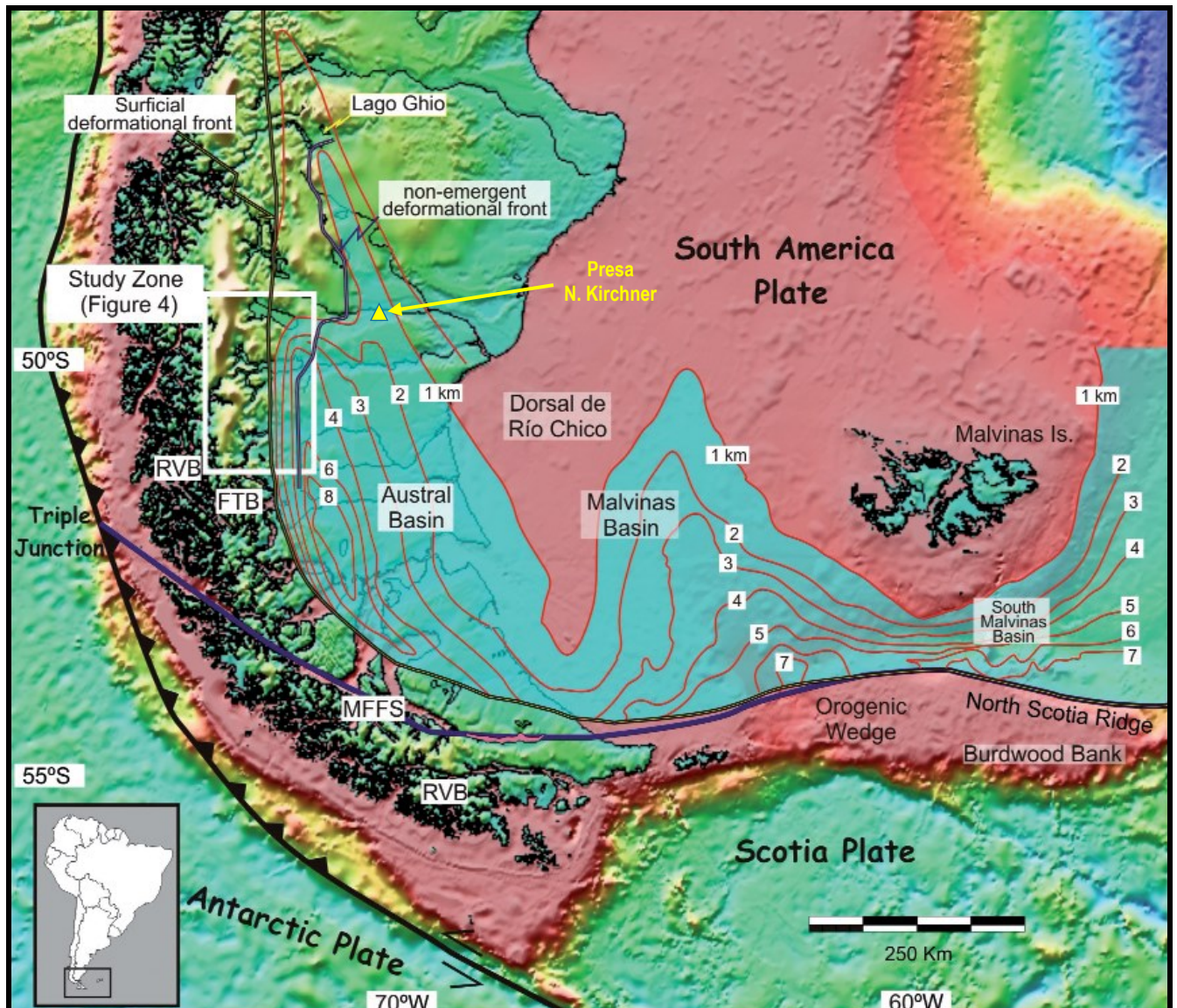


Figura 3.1: Distribución morfoestructural de la cuenca austral o magallánica y demarcación de los frentes de deformación emergentes y no emergentes a la latitud del Río Santa Cruz (tomado de Ghiglione et al 2009). Recuadro pertenece a Figura 2.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 29-09-16  
Página: 39 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Doc. N°

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

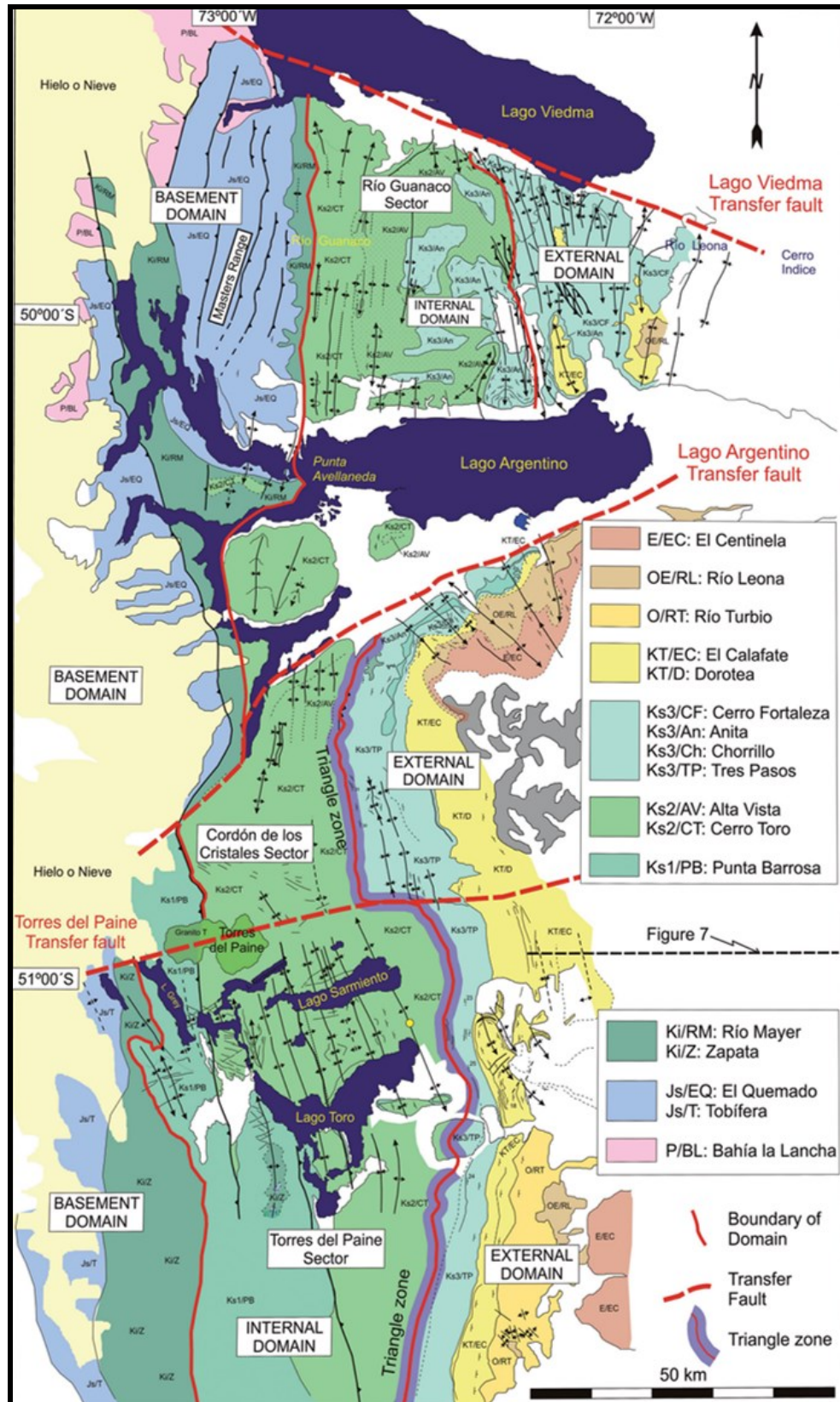

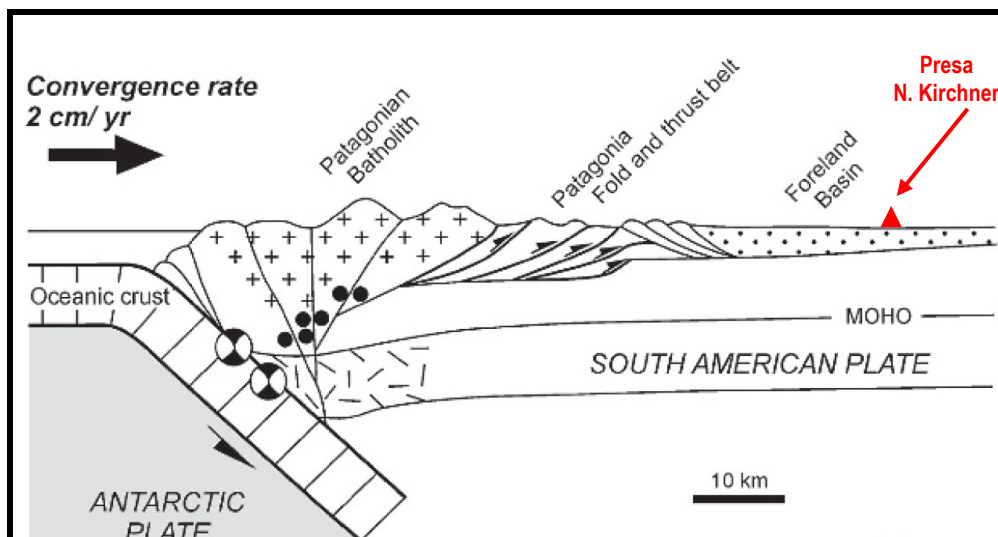


Figura 3.2: Mapa geológico tomado de la región cordillerana (véase recuadro en figura 1) a la latitud del área de estudio (Ghiglione et al 2009).



	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 40 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

La misma se ubica dentro de la plataforma estable de la Cuenca Austral (Ghiglione et al., 2009) caracterizada por una sismicidad escasa a nula (Figura 3.3).



**Figura 3.3: Marco geológico y perfil esquemático de la Patagonia argentina contrastando la región interna (hinterland) representada por la actual Cordillera Patagónica de la región externa o tranquila del antepaís (foreland).**

En sentido estricto, la región del emplazamiento de estas obras corresponde al antepaís flexural donde, alternativamente ocurre hundimiento (subsistencia) o alzamiento (epirogénico) como producto de una estructuración en bloques relativamente rígidos, asociada con la dinámica de un domamiento periférico que afecta a la placa sudamericana. En relación con los procesos geodinámicos (subducción) que afectan al borde de la placa sudamericana, la región ha venido desarrollando un fuerte vulcanismo basáltico (Figura 3.4), en general poco localizado y asociado con fusión mantélica (Kay *et al.*, 1994). Esto, sin dudas, repercute directamente en los productos volcánicos (coladas, escorias y cineritas) y geoformas constructivas (plateau) tan comunes en la región y que actúan como condicionantes de los procesos superficiales y labrado de paisajes (e.g., mesadas) y pendientes (e.g., escarpas erosivas) en la región.

La región cordillerana, a esta latitud, ha sufrido un fuerte alzamiento a partir del Mioceno responsable, en cierta medida, tanto del deterioro climático progresivo producto de la interrupción de los Faja de Vientos húmedos del Oeste (Westerlies) como del desarrollo de intrusiones marinas generalizadas (Figura 3.5) y el anclado de las glaciaciones patagónicas (Mercer, 1976; Möner, 1991; Singer *et al.*, 2004; Rabassa, 2008). Esto último ha ejercido una fuerte influencia en el área ubicada inmediatamente al oeste de la región cordillerana (Figura 3.6), la cual habría estado bajo una fuerte influencia de las glaciaciones llegando a afectar directamente la zona de estudio (Strelin, 1995; Strelin y Malagnino, 1996; Strelin *et al.*, 1999). Las glaciaciones cuaternarias han alcanzado el sitio de emplazamiento de la Presa N. Kirchner hasta una distancia de 5km hacia el este del eje estudiado (aguas abajo).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 29-09-16  
Página: 41 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Doc. N°

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

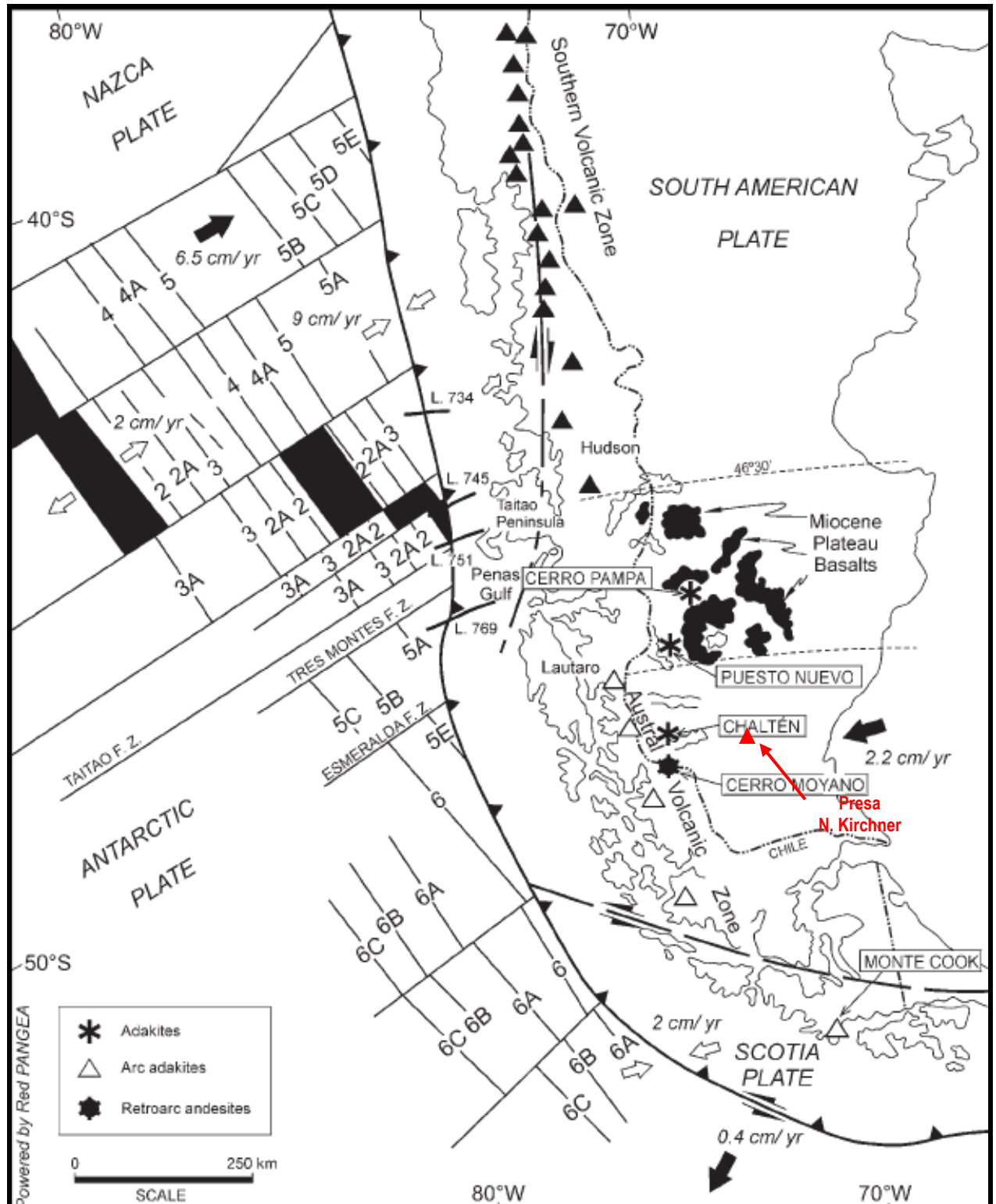


Figura 3.4: Marco geológico y principales rasgos geotectónicos de la Patagonia argentina (Tomado de Ramos y Ghiglione, 2008).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 29-09-16  
Página: 42 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

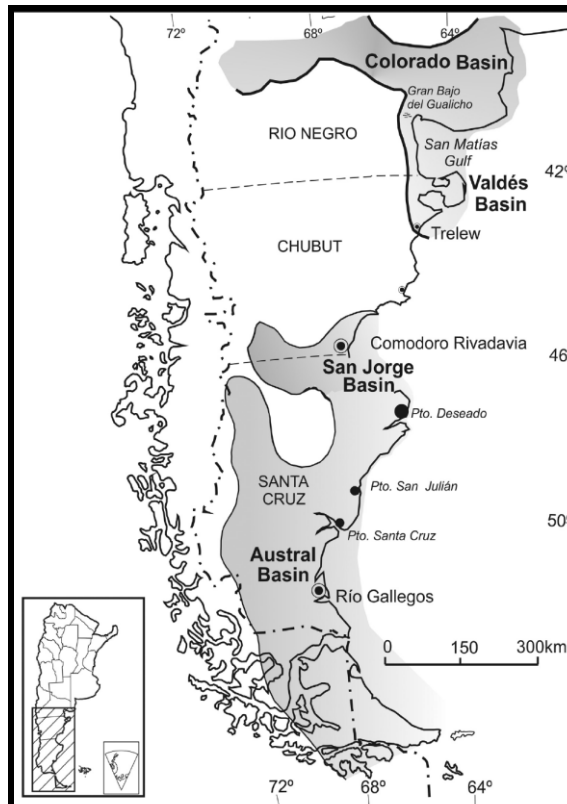


Figura 3.5: Mapa paleogeográfico mostrando la distribución de ingresiones marinas miocenas en la Patagonia (tomado de Del Río et al., 2013).

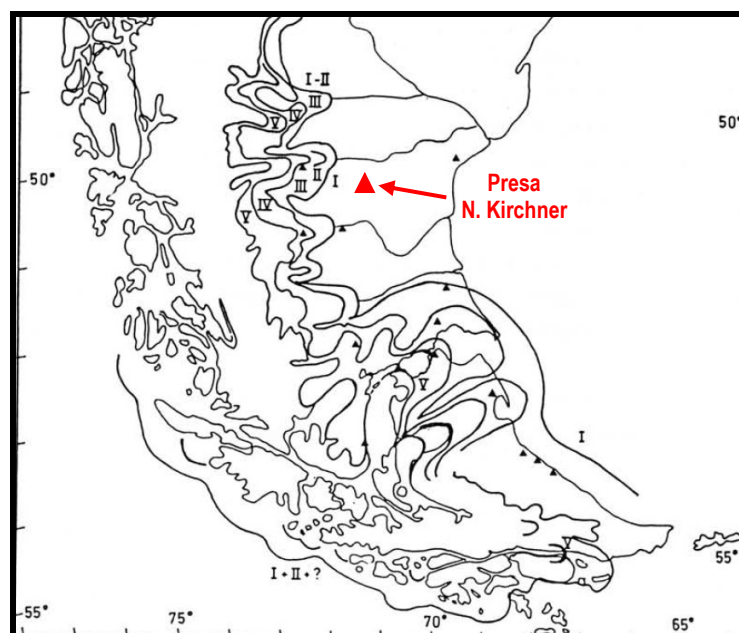



Figura 3.6: Mapa redibujado de Caldenius (1932) mostrando la extensión máxima que alcanzaron las glaciaciones Pleistocenas en Patagonia (tomado de Mörner, 1991).

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 43 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

### 3.2. Estratigrafía

La estratigrafía de la región Extraandina de Santa Cruz es relativamente simple y la mayor parte de las unidades tienen buena expresión areal a excepción de aquellas contraladas por el ingreso del mar y por la acción fluvial y fluvioglaciaria. Ambos tipos de depósitos si bien poseen características muy diferentes han sido controlados por la topografía incisa de cañones y valles que normalmente surcan la Patagonia con dirección este-oeste. Mientras que los depósitos marinos terciarios del Patagónico obedecen a momentos geológicos de nivel de mar alto con la consiguiente inundación de valles y la formación de estuarios y rías, los depósitos fluviales representan etapas de fuerte incisión del paisaje y caída relativa del nivel del mar que operan a escalas de cientos de miles de años. Intercalados con estos procesos de naturaleza superficial (transporte y sedimentación) ocurrieron en la Patagonia episodios de volcanismo localizado que pueden tener gran expresión areal y composiciones muy variadas. Si bien en el área de estudio dominan cuerpos mantiformes reconocidos como derrames y coladas, en general, basálticas y equivalentes volcánoclasticas (depósitos de conos de escoria, cinders, lapillis y cenizas), también en el registro estratigráfico han quedado preservadas numerosas etapas de volcanismo ácido, representado por tobas y tobas retrabajadas. Mientras que el volcanismo basáltico de la región se asigna fundamentalmente al Plioceno (es decir más joven que 5,333 Ma y anteriores a 2,588 Ma) y ocurrió en la región de la meseta patagónica, que abarca esta región, el volcanismo ácido (explosivo) habría alcanzado la región fundamentalmente por vía aérea, a manera de lluvias de cenizas (granulometrías variables entre lapilli y chonitas), aportadas desde erupciones localizadas en la región cordillerana durante el Oligoceno y Mioceno (esto es aproximadamente entre 23 Ma) y el Plioceno. Una potencial consecuencia de la sedimentación volcánoclastica es que los fenómenos de meteorización química pueden producir notables modificaciones tanto mineralógicas como físicas en estos materiales, débilmente consolidados y pobremente cementados.

La unidad basal está representada por la **Fm. Estancia 25 de Mayo** (nombre relativamente nuevo equivalente a la Fm. Monte León) la cual presenta escasos y reducidos afloramientos en los tramos del valle del río Santa Cruz con relación directa a las obras de cierre y embalses proyectados. Se trata de un depósito heterogéneo, notablemente estratificado que puede alcanzar más de 400 metros de espesor. Las litologías más frecuentes son limolitas, areniscas, areniscas tobáceas, pelitas, tobas y tufitas de colores pardos, verde claros, gris verdosos y blanquecinos. La Fm. Estancia 25 de Mayo se asigna al Mioceno inferior (Neógeno, intervalo superior dentro del Terciario) a partir de la datación de una toba en su sección superior, la cual arrojó una edad radiométrica de aproximadamente 19,5 Ma (Figura 3.7).

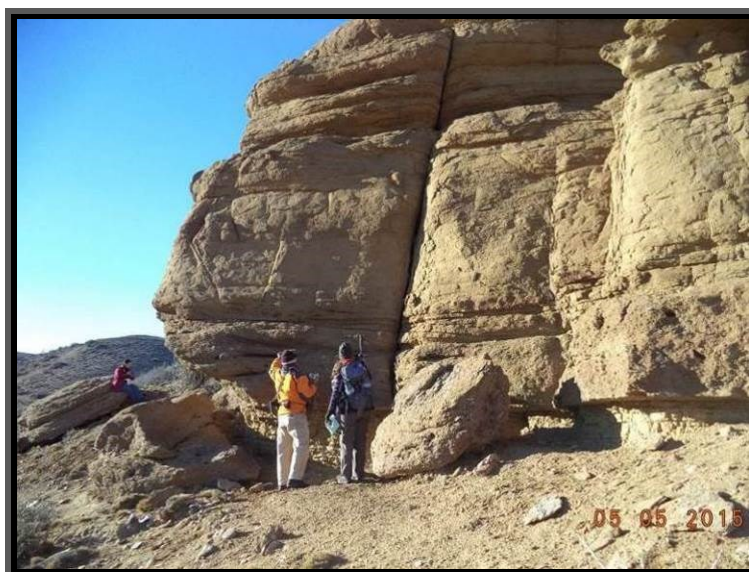


Figura 3.7: Afloramiento de areniscas de la Fm 25 de Mayo en la Quebrada del Mosquito sobre Ruta Provincial 17.

En la unidad se intercalan niveles con fauna de invertebrados marinos (horizontes de coquinas calcáreas) también con abundante cemento carbonático (Figura 3.8).


	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 44 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902



Figura 3.8: Fósiles marinos de la Fm 25 de Mayo en la Quebrada del Mosquito sobre Ruta Provincial 17.


En aparente transición por encima de la Fm. Estancia 25 de Mayo se dispone la **Fm. Santa Cruz**, caracterizada por depósitos de areniscas y areniscas conglomerádicas blanquecinas del Mioceno medio a tardío (Cuitiño y Scasso, 2010).

Coronan la sucesión sedimentaria **coladas basálticas** que se ubican sobre las terrazas altas y los niveles más elevados del valle del río Santa Cruz. Los asomos de basaltos tienen marcado predominio sobre el flanco norte, como es el caso del sector correspondiente al futuro cierre de la presa Presidente Kirchner. En este área porciones de basalto deslizado constituyen terracetas discontinuas y arqueadas, algunas de ellas probablemente aún inestables en faldeos con suaves pendientes. Procesos de remoción en masa, asentamientos por traslación y deslizamientos rotacionales y caídas de bloques basálticos que se produjeron directamente desde el frente expuesto de la margen norte pueden aún no estar del todo inactivos, aun cuando existen autores que señalan su completa

Las unidades más modernas que se disponen en el valle del río Santa Cruz corresponden a **depósitos de edad cuaternaria** (Pleistoceno-Holoceno). Estos ocupan distintas posiciones topográficas formando parte de terrazas, asentamientos y depósitos de fondo de valle y han sido generados por atrincheramiento, actividad glaciaria, procesos de remoción en masa y acción fluvial. Dentro de estos últimos dominan los depósitos de gravas con variada composición intercalados con cuñas de arena.

Durante el Pleistoceno el máximo avance de los hielos aprovechó el paleovalle del río Santa Cruz. Los registros geomorfológicos y depósitos sedimentarios indicarían que los procesos glaciogénicos alcanzaron una posición intermedia entre el km 250 (Presa Presidente Nestor Carlos Kirchner) y el km 185 (Gobernador Jorge Cepernic), alcanzando aproximadamente el meridiano de 70° 28' O, entre la estancia Del Vapor sobre el flanco sur y la estancia La Libertad en el flanco norte del valle (Glaciación Estancia La Fructuosa). De acuerdo con esta hipótesis, es posible considerar que mientras la cubierta moderna en el entorno de la presa Presidente Dr. Néstor Carlos Kirchner sea presumiblemente glacial, la misma sería completamente aluvial en el cierre de la presa Gobernador Jorge Cepernic.

Que el sustrato en el segmento de interés, sobre el curso del Río Santa Cruz entre las dos presas proyectadas, haya sido alcanzado por uno de los avances de la glaciación pleistocena debe ser tenido en consideración a la hora del análisis de estructuras sedimentarias, en particular aquellas de deformación. Tanto los procesos de fondo asociados con la dinámica glaciaria y la cizalla que ejerce contra el fondo como los fenómenos de alta tasa de sedimentación asociados con la etapa de retracción, son proclives a generar una profusa deformación y perturbación en el registro sedimentario. Se trata de procesos tanto frágiles (fallamiento y escalonado) como dúctiles (plegamiento y estrangulamiento) que ocurren dentro del sedimento

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 45 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

próximo a la superficie y, a veces, ocasionan licuefacción, fluidización y homogeneización parcial o completa del sedimento. La alta tasa de sedimentación que ocurre en estos ambientes glacifluviales y glacialacustres conduce con frecuencia a procesos de deformación muy temprana. La compactación temprana (eodiagénesis) y el aumento de la presión de poros comúnmente desencadenan fenómenos de sobrepresurización, induciendo a una notable deformación y licuefacción sin necesidad de gatillos sísmicos.

La estratigrafía oligo-miocena está agrupada en tres unidades geológicas que, según los autores, han recibido distintas denominaciones pero que genéricamente se conocen como "Patagoniano o Patagoniense" (*D'Orbigny*, 1842). La unidad más antigua corresponde a la Fm. Río Leona (Barreda et al., 2009) depositada en un ambiente fluvial de tipo entrelazado gravoso que pasa a meandriforme hacia el tope (Marensi et al., 2005), donde conserva abundante material carbonoso (troncos de *Notofagáceas* – Pujano 2007, 2008) y restos palinológicos. Esta unidad pasa transicionalmente a la Fm. Estancia 25 de Mayo (*Cuitiño y Scasso*, 2010) que se caracteriza por contener niveles de ostras de origen marino y de amplia distribución en la Patagonia, particularmente en las costas y engolfamientos. Por encima y también en concordancia se asienta la Fm. Santa Cruz (*Zambrano y Urien*, 1970) de origen continental fluvial. De esta manera la estratigrafía terciaria representa un típico ciclo transgresivo - regresivo, con intervalos marinos o estuarinos en el sector medio para culminar con un retorno a condiciones continentales dominadas por sistemas fluviales. En conjunto estas unidades forman parte del relleno de la cuenca de antepaís Austral o Magallánica que ocupó la actual región patagónica desde Tierra del Fuego hasta el Macizo del Deseado. Dicha cuenca de antepaís se desarrolló en respuesta al régimen compresivo dado por la interacción de las placas de Nazca (Farallón), Aluk y Antártica con la placa Sudamericana (Ramos, 1989). La edad del inicio del régimen compresivo y, por lo tanto, de la deformación y exhumación andina está datada en el Cretácico Superior (Turoniano); sin embargo, el relleno de la cuenca continuó hasta el Mioceno tardío (*Biddle et al.*, 1986; *Ghiglione et al.*, 2009). Vale destacar que los estudios estructurales regionales (*Ghiglione et al.*, 2009; entre otros) muestran que el avance de la faja plegada y corrida no emergente no habría alcanzado la región de los proyectos en cuestión, lo que implica que cualquier estructuración de esta edad en la región debería responder a una dinámica de bloques y sutiles fracturas compatibles con la deformación que afecta a domamientos periféricos.

### 3.2.1. Fm. Estancia 25 de Mayo

También conocida como Fm. Centinela (Furque y Camacho, 1972) y es equivalente a la Fm. Monte León (piso Leonense de Ameghino, 1898) definida en el área costera de Patagonia (véase Bertels, 1970; Legarreta y Uliana, 1993). La Fm. Estancia 25 de Mayo se asienta en transición sobre la Fm. Río Leona (Barreda et al., 2009) y pasa también transicionalmente a la Fm. Santa Cruz.

La unidad aflora en una faja occidental desde el Lago Posadas hasta Río Turbio, los afloramientos más orientales conocidos corresponden a los del Cañadón El Mosquito sobre el río Santa Cruz (Cuitiño, 2011) (Figura 3.7 y Figura 3.8). El alto contenido de material volcánico y la abundancia de niveles con alta concentración de ostras de gran tamaño la distinguen de otros intervalos marinos de la región patagónica (Cuitiño, 2011).


La Fm. Estancia 25 de Mayo tiene un espesor promedio de 180 m y ha sido dividida en base a las características sedimentológicas en un miembro basal Quien Sabe y un miembro cuspidal Bandurrias, separados por una discontinuidad sedimentaria (Cuitiño y Scasso, 2010).

El conjunto de facies sedimentarias ha sido interpretado como indicadores de un ambiente estuárico dominado por mareas (Cuitiño y Scasso, 2010).

### 3.2.2. Fm. Santa Cruz

Esta unidad está formada por pelitas, areniscas, niveles de cenizas volcánicas y progresivamente incluye una mayor abundancia de lentes de conglomerados depositados en un ambiente fluvial. El espesor de esta unidad en el Lago Posada es de aproximadamente 500 – 600 m (Blisniuk et al., 2005). Cuitiño (2011) señala un pasaje en transición desde la infrayacente Fm. Estancia 25 de Mayo, colocando el límite arbitrariamente el límite entre ambas formaciones donde aparece el último nivel con banco con ostras.

La Fm. Santa Cruz está integrada por bancos lenticulares a intermedios de conglomerados finos a areniscas conglomerádicas, con gradación normal, areniscas finas macizas, areniscas medianas a gruesas con estratificación cruzada tabular planar, niveles heterolíticos, pelitas oscuras macizas a laminadas bioturbadas con marcas de raíces y moteados. Además, presenta frecuentes restos de briznas vegetales y abundante

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 46 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

material carbonoso preservado en los niveles finos. En esta sucesión también se intercalan niveles distintivos dados por tobas y tobas retrabajadas con coloración blanquecina-amarillenta (Figura 3.9).




Figura 3.9: Facies sedimentarias de la Fm. Santa Cruz en el sitio Cordón Alto.

En base a las características sedimentológicas se ha interpretado que esta unidad habría sido formada a partir de la acumulación de material volcanoclástico de grano fino, que incluye el desarrollo de paleosuelos inmaduros, depositados en llanuras de inundación y llanuras costeras asociados lateralmente a cinturones o fajas de canales de sistemas meandriformes (Brown y Fleagle, 1993; Blisniuk et al., 2005). La Fm. Santa Cruz presenta una rica fauna de vertebrados que dio lugar a la propuesta de una edad Mamífero (SALMA) “Santa Crusense” (Flynn y Swisher, 1995). En la sección inferior de esta unidad, la asociación de taxones de mamíferos, *Caudiverbera*, *Microbiotheriidae*, *Echimyidae*, *Erethizothidae*, *Atelidae*, de hábitos arborícolas y semi-arborícolas son indicadores de climas templados cálidos y húmedos. Mientras que, hacia la parte superior de la sucesión sedimentaria la asociación de taxones de mamíferos indican condiciones cálido templadas bajo un régimen más seco y el pasaje de una vegetación arbórea y arbustiva a pastizales de herbáceas (Pascual, 1984; Tauber 1999). Estas observaciones concuerdan con las interpretaciones efectuadas a partir del análisis de isótopos estables de C13 y O18 en nódulos carbonáticos de paleosuelos (Blisniuk et al., 2005). Estos autores interpretan que las condiciones de mayor aridez habrían sido relacionadas con efectos de barrera orográfica por un incremento en la tasa de alzamiento de la cadena andina entre los ~15-16 Ma.

### 3.2.3. Estratigrafía volcánica

La historia volcánica cenozoica de la región es compleja (Corbella y Lara, 2008) y está vinculada con la evolución geodinámica de la Patagonia Austral y la subducción de la dorsal de Chile (Gorring et al., 1997; Ramos y Ghiglione, 2008). Corbella y Lara (2008) indican los siguientes lapsos efusivos: 11-10 Ma, 7,3-7,8 Ma, 5,6-4,8 Ma, 4,0-3,8 Ma, 3,2-3,0 Ma, 2,4Ma, 1,7 Ma, 1,35 Ma, 1,0 Ma, 750 Mil años, 490-330 Mil años y 109-66 Mil años.

A nivel general, las diferentes coladas y episodios eruptivos han sido agrupados por su edad y características geoquímicas en distintas etapas efusivas (Kay et al., 2004): 1) Paleoceno/Eoceno, 2) Oligoceno/Mioceno temprano; 3) Mioceno tardío/Plioceno y Plioceno/Reciente. Los ciclos efusivos del Mioceno tardío/ Plioceno y del Plioceno/Reciente son los que interesan describir en este informe por su localización en el área de estudio. Ambos forman parte del plateau de lavas, pero se distinguen porque el

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 47 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

primer ciclo (Mioceno tardío/Plioceno) es más extenso y voluminoso (Plateau principal) mientras que el segundo ciclo (Plioceno/Reciente), que se identifica como basaltos de post-plateau (Gorring et al 1997; Corbela y Lara, 2008), es de menor envergadura y se encuentra canalizados o rellenando topografías más bajas.

Las lavas del plateau principal son las que forman las mesetas de la Muerte, Belgrano, Central, Meseta Pampa Alta. Están formadas por basaltos tolheíticos y andesitas basálticas (Gorring y Kay, 2001). En los cortes de acantilados se pueden reconocer el apilamiento vertical de varias unidades de enfriamiento (cuerpos de lava que se han depositado y enfriado individualmente) entre 2 a 10 metros de espesor cada una y formando paquetes de entre 20 y 40 metros (Figura 3.10).



**Figura 3.10: Superposición de coladas de basalto en el sitio Co Fortaleza – Margen derecha del eje de la presa.**

Estas unidades con marcada disyunción columnar son generalmente macizas hacia la base y con mayor vesicularidad hacia el tope (Ramos y Kay, 1992; Gorring et al., 1997) (Figura 3.11).

La efusión de estas lavas ha sido asociada a un incremento en la deformación en el retro arco (Kay et al., 2004).

Por otro lado, las lavas post-plateau ocurren de manera más restringida como conos de escoria menores y unidades de flujos y flujos piroclásticos más localizadas y con frecuencia canalizadas y rellenando paleovalles o paleocanales. Si bien esta unidad (más joven) ocurre temporalmente por encima de los basaltos del plateau principal, forma pequeñas mesetas topográficamente menos elevadas (Gorring et al., 1997), hecho relacionado con el permanente reajuste de los niveles de base en la región. En afloramientos se distinguen unidades de enfriamiento de 1 a 3 metros de espesor aunque, localmente, pueden alcanzar los 10 metros de espesor, especialmente en los pequeños plateau (Gorring et al., 1997).




	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 48 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902



Figura 3.11: Detalle de las coladas de basalto de Co. Fortaleza

### 3.3. Unidades morfoestratigráficas y depósitos glaciares

La zona del Alto Valle del Río Santa Cruz, se encuentra emplazada en la región extraandina de la Provincia de Santa Cruz entre los 49° 30' y los 51° 30' de latitud Sur. De acuerdo a la recopilación bibliográfica realizada surge que sobre las sedimentitas neógenas marinas regresivas a continentales de las formaciones Estancia 25 de Mayo y Santa Cruz se disponen niveles agradacionales de sedimentos glaciares, glaciares, glaciares y glaciares. Entre los diversos tipos de depósitos se destacan extensos y en algunos casos potentes mantos de rodados que se atribuye al aumento de la competencia y capacidad de carga de los ríos, producto del alzamiento de los Andes Patagónicos y a los aportes glaciares (outwash) de una serie de glaciaciones cuyos registros se remontan al Mioceno (Mercer, 1976). Estos eventos fundamentalmente agradacionales, que alternan con otros principalmente erosivos, ligados a períodos interglaciares y al alzamiento de la región extracordillerana (tectónico y glacioisostático), sumado al derrame de coladas basálticas (Plioceno-Pleistoceno), dominan desde dicho momento el modelado del paisaje (Strelin 1995; Strelin y Malagnino 1995; Strelin et al., 1999; Strelin y Malagnino, 2009).

Las unidades estratigráficas y morfoestratigráficas identificadas (Tabla 3.1 y Figura 3.12) configuran en su conjunto el marco geológico regional en el cual se localizan los sitios correspondientes a los cierres proyectados de las presas Néstor Kirchner y Jorge Cepernic.

A continuación se describen en forma general las características de las litologías y acumulaciones inconsolidadas de las unidades morfoestratigráficas pertenecientes al entorno temporal que se extiende desde el Mioceno superior hasta el Holoceno.

**Tabla 3.1: Cuadro estratigráfico\* y morfoestratigráfico de las unidades geológicas presentes en el marco regional y local.**

CUATERNARIO	HOLOCENO	<p>Depósitos coluviales Depósitos de llanura aluvial Depósitos de terraza aluvial Depósitos de remoción en masa Depósitos eólicos Depósitos lacustres</p>
	PLEISTOCENO	<p>Morenas El Tranquilo (ET) y sus depósitos de gravas, arenas y limo/arcillas glaciales y glacialacustres Morenas Arroyo Verde (AV) y sus depósitos de gravas, arenas y limo/arcillas glaciales y glacialacustres Morenas Cerro Fortaleza (CF) y sus depósitos de gravas, arenas y limo/arcillas glaciales y glacialacustres Morenas Chuñi Aike (ChA) y sus depósitos de gravas y arenas glaciales Morenas Estancia La Fructuosa (ELF) y sus depósitos de gravas y arenas glaciales Coladas de Basaltos pleistocenas</p>
	PLIOCENO MIOCENO sup	<p>Coladas de Basaltos pliocenas Terraza San Fernando y sus gravas y arenas glaciales Terraza La Australasia y sus gravas y arenas glaciales Morenas Pampa Alta y sus depósitos de gravas y arenas glaciales Terraza Cerro Cuadrado y sus gravas y arenas glaciales</p>
TERCIARIO	MIOCENO	Fm. Santa Cruz*
	MIOCENO EOCENO	Fm. 25 de Mayo*



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 29-09-16  
Página: 50 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

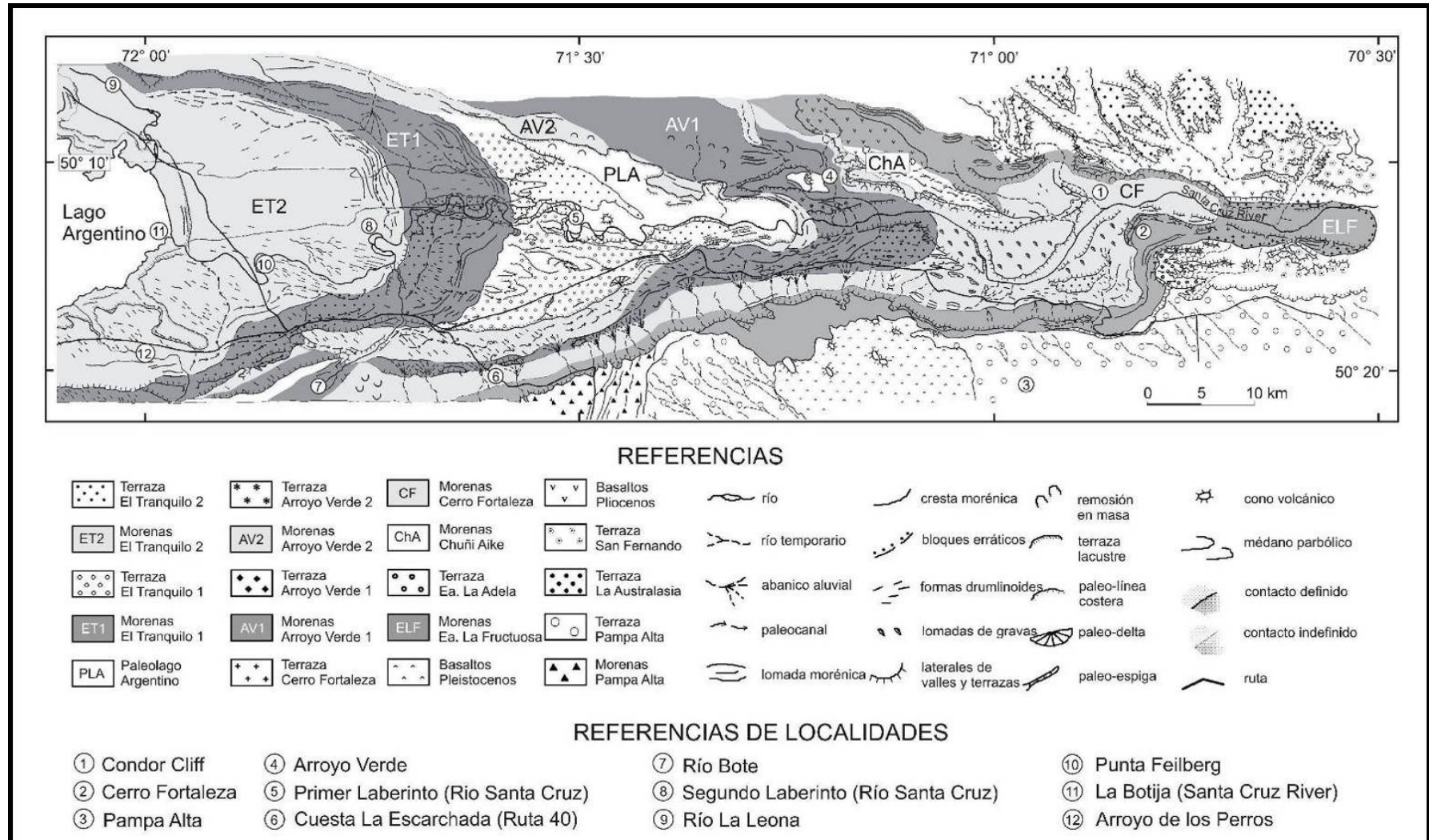



Figura 3.12: Distribución de las unidades morfoestratigráficas en el Alto Valle del río Santa Cruz (Strelin y Malagnino, 1996)

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 51 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

### 3.3.1. Terraza Cerro Cuadrado (TCC) y sus depósitos glacifluviales

Sobre ambas márgenes del Alto Valle del Río Santa Cruz cubriendo las mesetas Pampa Alta y La Meseta (Figura 3.12 y Figura 3.13), se preservan rastros del más antiguo de estos paisajes de rodados agradacionales. Estos relictos (cerros Cuadrado y La Criolla y probablemente la meseta de la Nortera) engranan hacia el norte con la meseta La Siberia (al este del lago San Martín) y al sur con la meseta Latorre (al este del seno Última Esperanza). Su origen se relaciona a un ambiente proglaciar con importantes aportes glacifluviales provenientes de un amplio campo de hielo que cubría las suaves geoformas de la antigua cordillera. Algunos depósitos limnoglaciarios podrían adscribirse a esta etapa de desarrollo del paisaje. En su conjunto configuran un antiguo sistema de transporte glacifluvial, actualmente inactivo y relíctico, de paleohábito megaentrelazado.

### 3.3.2. Terraza La Australasia (TLA) y sus depósitos glacifluviales

Según Strelin (1995) y Strelin et al. (1999), conforma una serie de terrazas, de las cuales la más expandida se corresponde altitudinalmente con la terraza labrada al pie del llamado Cordón Alto (Strelin, 1995), equivalente al Nivel II Pampa Alta - Meseta del Monte León de Feruglio (1950) (Figura 3.13 y Figura 3.14).

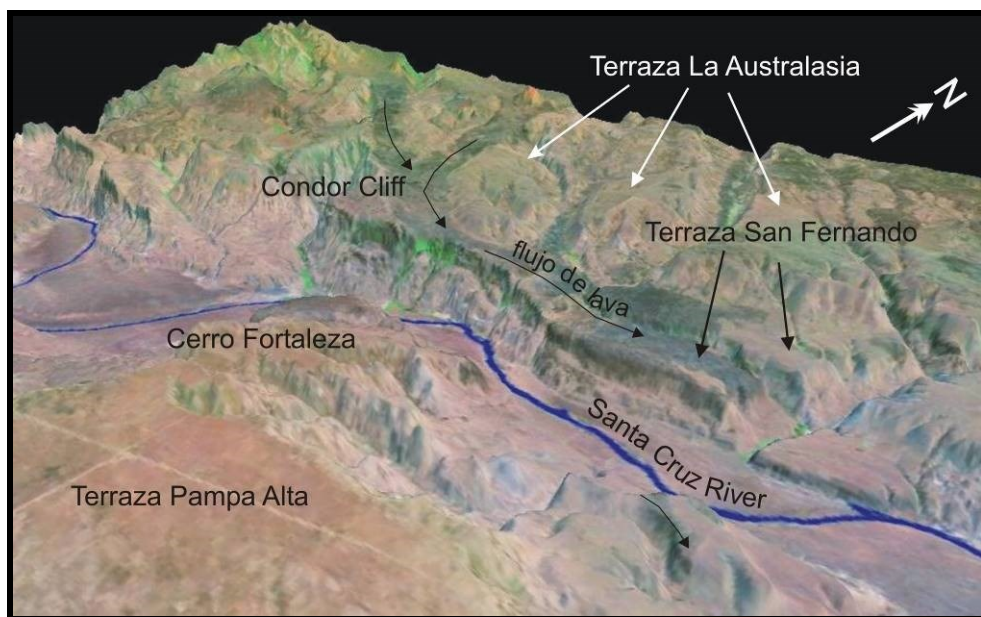


Figura 3.13: Posición de las terrazas Pampa Alta y La Australasia


	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 52 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902




Figura 3.14: Bloque errático enterrado en depósitos de la terraza La Australasia

### 3.3.3. Terraza San Fernando (TSF) y sus depósitos glaciafluviales

Durante un período interglaciar y/o probable fase diastrófica se produce reactivación de la erosión fluvial que labró un amplio y profundo valle de recorrido muy similar al del actual AVRSC. La erosión labró una importante terraza a lo largo del valle principal del río Santa Cruz, truncando las terrazas Pampa Alta, Cordón Alto y La Australasia (Figura 3.13). Este proceso erosivo, en el sector extra-andino se manifiesta en importantes aportes de rodados que agrandan la superficie de la terraza San Fernando y se reconoce también en el sector cordillerano donde coladas de basaltos alternan con till en el cerro Fraile (Feruglio, 1944).

A cotas del orden de los 300 m, en conformidad altimétrica con el Cerro Fortaleza y los riscos de Las Lascas, San Fernando y La Rampa, existen terrazas aluviales disectadas, coronadas por una capa de hasta 20 m de espesor compuesta por rodados y bloques polimícticos, en algunos casos facetados, de hasta 0,30 m de diámetro. Dichos rodados se hallan parcialmente cubiertos por coladas basálticas (Figura 3.14).

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 53 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902



**Figura 3.15: Basaltos de Co. Fortaleza cubriendo las gravas de la Terraza San Fernando**

De acuerdo el apilamiento lávico registrado en el cerro Fortaleza, el antiguo río Santa Cruz se habría entallado en erosión hasta alcanzar la cota de 200 m, apenas 70 m por encima del actual nivel del río. El sitio actualmente ocupado por los riscos se corresponde con un paleovalle labrado en la Fm. Santa Cruz relleno posteriormente con brechas piroclásticas de matriz palagonitizada, cubiertas por 10 a 15 m de lavas almohadilladas. Todo este conjunto es agradado por unas 12 capas lávicas que en su conjunto alcanzan 100 m de espesor. Estos niveles de terraza fueron asignados por Feruglio (1950) al nivel III (Cerro Fortaleza - La Barrancosa - Santa Cruz).

### **3.3.4. Coladas de basaltos pliocenas y pleistocenas**

Durante el Plioceno tardío, se produjo la erupción y el derrame de coladas basálticas que invadieron en parte los valles fluviales tributarios y parte del valle principal del antiguo río Santa Cruz. Erupciones volcánicas subsecuentes ocurridas durante el Pleistoceno medio produjeron derrames lávicos que cubrieron en parte la terraza Pampa Alta (Figura 3.13), encauzándose en cañadones ajustados al nivel de base de la terraza de La Australasia (edad máxima).

Todo este conjunto de coladas es cubierto por exponentes morénicos de la glaciación Estancia La Fructuosa, cuya edad mínima es considerada pleistocena temprana a media (Strelin, 1995; Strelin y Malagnino, 1996).

### **3.3.5. Morenas Estancia La Fructuosa (ELF) y sus depósitos glacifluviales**

Con posterioridad a estos últimos episodios volcánicos los glaciares alcanzaron su máxima expansión hacia el este a los 70° 27' de longitud oeste, dejando los depósitos de las morenas de la glaciación ELF y depósitos glacifluviales relacionados (Strelin, 1995; Strelin y Malagnino, 1996) (Figura 3.16).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

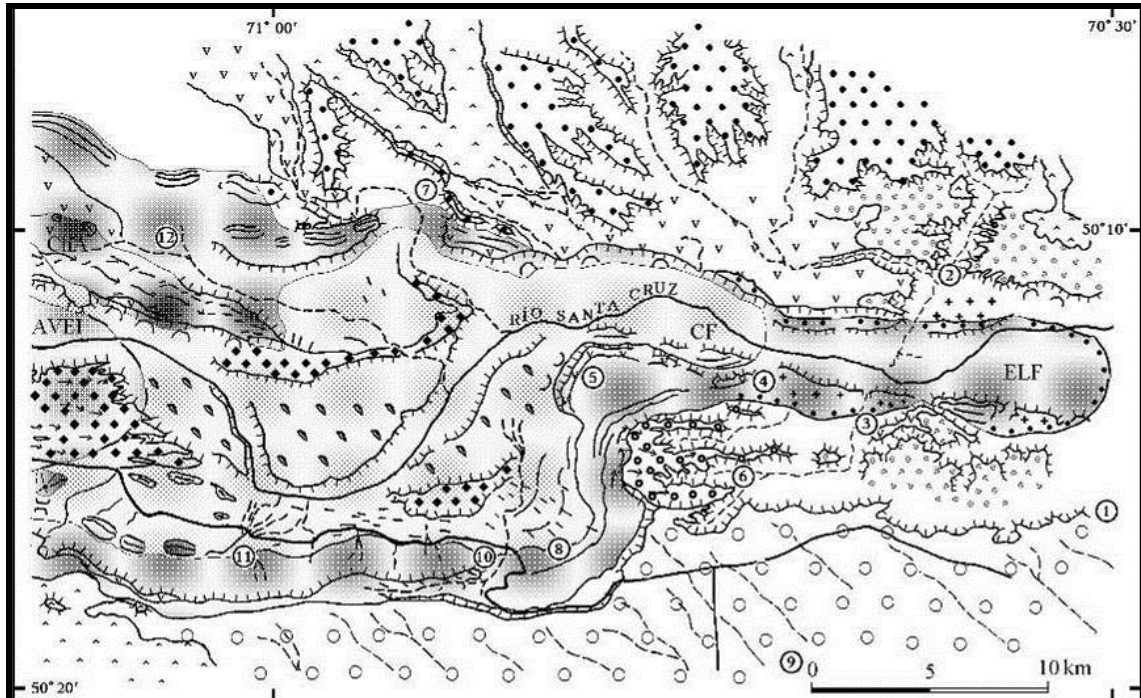
Revisión: 0A  
Fecha: 29-09-16  
Página: 54 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902




REFERENCIAS DE LOCALIDADES

- |                          |                         |                         |                         |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| ① Estancia El Vapor      | ④ Riscos de Las Lascas  | ⑦ Riscos Condor Cliff   | ⑩ Estancia La Enriqueta |
| ② Puesto Ea. La Frutuosa | ⑤ Riscos Punta de Vacas | ⑧ Estancia Los Criollos | ⑪ Estancia El Refugio   |
| ③ Riscos San Fernando    | ⑥ Estancia La Adela     | ⑨ Meseta Pampa Alta     | ⑫ Estancia Chuñi Aike   |

Figura 3.16: Morenas Estancia La Frutuosa (ELF), Chuñi Aike (ChA) y Co Fortaleza (CF) (Strelin y Malagnino 1996)

Sobre los laterales norte y sur, cubriendo en parte las planicies que bordean el AVRSC, son claramente visibles una serie de lomadas y crestas morénicas dispuestas en forma aproximadamente paralela al desarrollo del valle principal (Figura 3.17).

Sobre la vertiente sur del valle, entre las estancias Las Torcazas y Los Criollos, los depósitos morénicos ELF (Figura 3.16) alcanzan la arista superior del valle confundiendo en su parte más elevada (cota 800 m) con los depósitos más antiguos de las morenas PA (Strelin, 1995). A la altura de la estancia El Refugio los depósitos morénicos cubren coladas basálticas y los faldeos de algunos conos volcánicos de presumible edad pleistocena (Strelin, 1995; Strelin y Malagnino, 1996). El espesor del till es aquí del orden de los 20 metros y se caracteriza por la presencia de erráticos y de bloques de basaltos autóctonos que superan los 2 m de diámetro, inmersos en una matriz limosa de color grisáceo. Hacia el oeste de la estancia La Enriqueta (Figura 3.16), los niveles de till descienden de la Pampa Alta para continuar su recorrido sobre el lateral alto del valle a una cota del orden de los 500 m. En la angostura del antiguo valle glaciario, al este de la estancia Los Criollos, los depósitos morénicos yacen a una cota del orden de los 490 m. En la Figura 3.17 se muestran los niveles aterrazados de La Frutuosa cerca de la Ea Condor Cliff en margen izquierda del río Santa Cruz.

	<p>MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA</p>	<p>Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 55 de 389</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902</p>



**Figura 3.17: Depósitos de terrazas La Fructuosa en cercanía de la Ea. Cóndor Cliff**

Teniendo en cuenta ambos márgenes del valle, todo parecería indicar que el cierre morénico correspondiente a estos primeros dos pulsos glaciares se localiza al este de la angostura cerro Fortaleza - riscos Cóndor Cliff entre los cierres programados para las presas Néstor Kirchner y Jorge Cepernic”.

### **3.3.6. Morenas Chuñi Aike (ChA) y sus depósitos de gravas y arenas glaciales**


Esta glaciación no superó hacia el este la angostura de los Riscos Cóndor Cliff y puede corresponder a un estadal de las glaciaciones que depositó las morenas La Fructuosa y las morenas Cerro Fortaleza (Strelin, 1995; Strelin et al., 1999).

Se manifiestan como dos arcos morénicos que quedaron aislados por eventos erosivos posteriores. Las morenas ChA fueron también reconocidas en los valles vecinos del Coyle y Viedma. Sus depósitos se localizan sobre una meseta que bordea la margen norte del AVRSC entre las Estancias El Mosquito y Chuñi Aike (Figura 3.16). Los dos arcos morénicos que la constituyen son aproximadamente paralelas entre sí y poseen una marcada tendencia a cerrar el valle principal al oeste de los Riscos Cóndor Cliff. Las morenas ChA se hallan tapizadas por erráticos y drumlins. La disposición de estos últimos acompaña la geometría curvada de las crestas. Los depósitos alcanzan una cota máxima de 550 m y su espesor se estima superior a los 30 m. En algunos cortes del terreno pudo observarse parte del till basal que posee un predominio de matriz limosa compacta de color gris claro en el cual se hallan inmersos bloques de composición predominantemente basáltica, facetados y estriados, de hasta 1,5 m de diámetro.

### **3.3.7. Morenas Cerro Fortaleza (CF) y sus depósitos de glaciales y glaciales**

Las morenas Cerro Fortaleza (Figura 3.12 y Figura 3.16) se encuentran casi totalmente encauzados en el amplio valle del río Santa Cruz. Cortan a los remanentes de la glaciación anterior y a las mesas basálticas alcanzando los 70° 46' de longitud oeste. Es muy probable que durante esta etapa el glaciar modelara localmente un perfil longitudinal de valle con forma de cubeta, que fuera posteriormente ocupado por uno o varios lagos.



	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 56 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

A cotas que fluctúan entre los 650 y 550 m en las adyacencias del río Bote y que 80 km al este al pie de los Riscos de Las Lascas (Figura 3.16) descienden a 220 m, se dispone una serie de depósitos morénicos vinculables a un mismo evento glaciario.

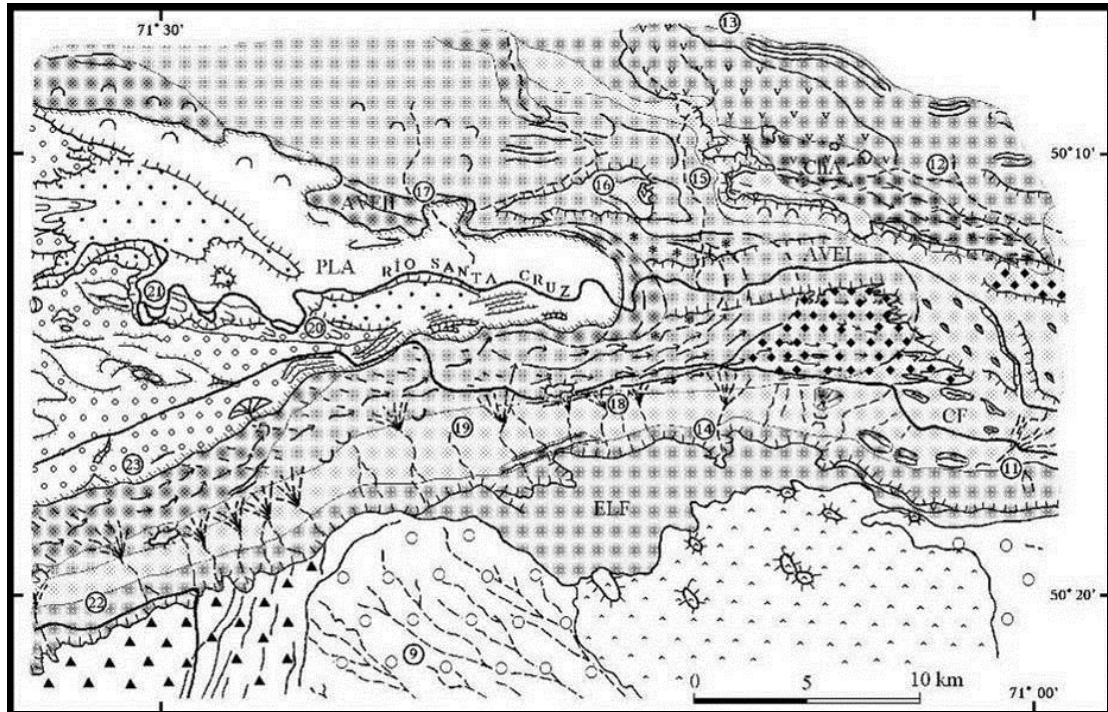
En el sector de la angostura del cerro Fortaleza, los depósitos morénicos no alcanzan a cubrir la mesa basáltica, indicando que la lengua del glaciar principal fue desviada y encauzada al pie de los riscos (Figura 3.12). En forma similar a lo que ocurrió durante la Glaciación ELF, el glaciar atravesó la angostura del cerro Fortaleza-riscos Cóndor Cliff, para alcanzar luego su máxima expansión al pie de los riscos de Las Lascas (Figura 3.16). Al pie de dichos riscos se pueden distinguir aun claramente dos crestas morénicas subparalelas que tienden a cerrar el valle. En un corte pronunciado del terreno aflora una capa de till de 25 m de espesor que asienta sobre un nivel de rodados glaciafluviales. El till se compone mayoritariamente de bloques basálticos de hasta 2 m de diámetro y exóticos, de tamaños similares, inmersos en una matriz limosa de color gris claro. A 5 m del tope del perfil se advierte la intercalación de una capa limosa gris clara de 0,5 m de espesor que contiene esporádicos guijarros y pequeños bloques de composición principalmente basáltica. Los bloques incorporados en las secciones superficiales del till presentan gruesas costras calcáreas que tapizan sus bases y en algunos casos los cementan entre sí. Los remanentes del nivel proglaciar de dicha glaciación se extienden río abajo de los riscos de Las Lascas a cotas del orden de los 200 m. Se trata de terrazas cubiertas con aluvio que incorporan grandes bloques retrabajados de un till más antiguo.

### 3.3.8. Morenas Arroyo Verde (AV) y depósitos glaciafluviales y glacialacustres

Estas morenas se resuelven en dos ciclos estadiales (AV1 y AV2) separados por un interestadial muy marcado (Figura 3.18). El límite entre los dos eventos es definido por un importante retroceso glaciario y posterior reavance durante el cual el glaciar excavó una profunda cubeta que posteriormente fue ocupada por un extenso lago.

Los exponentes del Estadial AV1 se encuentran muy bien preservados sobre ambas márgenes del AVRSC (Figura 3.12 y Figura 3.18). Sobre la margen norte se localizan entre la estancia El Mosquito y el valle del arroyo Verde, mientras que sobre la sur los depósitos morénicos se pueden seguir en forma ininterrumpida desde la estancia Las Torcazas hasta la estancia La Rosita (Figura 3.12 y Figura 3.18). Los escapes fluviales relacionados a los sucesivos pulsos de este estadial dieron lugar a un potente depósito glaciafluvial que en el sector proximal supera los 100 m de potencia. El espesor del aluvio decrece rápidamente río abajo donde la terraza glaciafluvial converge con el nivel proglaciar más antiguo. La máxima agradación de sedimentos glaciafluviales se alcanzó durante el tercer pulso glaciario y se asocia a una terraza que asciende a una cota de 280 m en las proximidades del frente morénico. Este nivel puede seguirse claramente hasta las inmediaciones de la estancia Los Criollos donde a cota 250 m trunca en parte los depósitos de las morenas Cerro Fortaleza.

Las morenas del ciclo Estadial AV2 se encuentran al pie del cerro Nunatak, sobre su faldeo sur, donde los depósitos alcanzan una cota máxima de 320 m (Figura 3.18). Se distinguen aquí al menos tres cierres morénicos, el último de los cuales produjo el endicamiento de un paleolago. Río abajo, sobre ambas márgenes del valle, se disponen los correspondientes depósitos glaciafluviales que truncan en parte a las morenas del estadial anterior.



REFERENCIAS DE LOCALIDADES

- |                       |                        |                         |                           |
|-----------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|
| ⑨ Meseta Pampa Alta   | ⑭ Estancia La Rosita   | ⑱ Estancia La Victoria  | ⑳ Primer Laberinto        |
| ⑪ Estancia El Refugio | ⑮ Arroyo Verde         | ⑲ Estancia Las Torcazas | ㉑ Cuesta de La Escarchada |
| ⑫ Estancia Chuñi Aike | ⑯ Cerro Nunatak        | ㉒ Estancia Los Porteños | ㉒ Estancia La Martina     |
| ⑬ Puesto La Nortera   | ⑰ Estancia El Mosquito |                         |                           |

Figura 3.18: Morenas Arroyo Verde 1 (AVI), Arroyo Verde 2 (AVII), Paleo Lago Argentino (PLA) (Strelin y Malagnino 1996)

Los depósitos morénicos del lateral norte del valle, desdibujados en gran parte por fenómenos de remoción en masa, alcanzan nuevamente mayor altura que los del lateral opuesto, disponiéndose a cotas máximas del orden de los 500 m. Numerosos drumlins de disposición oblicua al eje del valle cubren un amplio escalón que se extiende al pie de la meseta Pampa Alta y que en el sector de la Cuesta de La Escarchada alcanza cotas comprendidas entre los 340 y 280 m.

Sobre ambas márgenes del valle, entre las estancias La Victoria y La Martina se distinguen claramente una serie de geformas de origen lacustre correspondiente al Paleolago Argentino (PLA). Se relacionan a un antiguo lago proglaciar cuyo origen y límite oriental corresponden al tercer arco morénico del estadal AV2. Su límite occidental se desconoce ya que fue cubierto por los depósitos morénicos frontales del estadal El Tranquilo 1. El nivel máximo del paleolago alcanzó la cota de 280 m y las geformas más conspicuas se ubican sobre su orilla sur. Se trata de una serie de paleolíneas de costa, paleoplayas, tres espigas y un delta.

Las espigas, líneas costeras y playas se componen fundamentalmente de rodados de gravas y bloques de entre 0,05 a 0,40 m de diámetro. La mayor parte de ellos se asocia al retrabajo de sedimentos glaciogénicos previos, pudiendo existir algunos aportados por balseo en témpanos. El antiguo río Santa Cruz, emisario que nacía al este del gran paleolago, cortó las morenas frontales del estadal AV2 y sus correspondientes depósitos glacioclastos provocando el paulatino vaciado del cuerpo de agua.

Caracteriza al conjunto de estos depósitos la fuerte deformación postdeposicional producto de la presión ejercida por los hielos durante episodios glaciarios posteriores (El Tranquilo). A causa de empuje glaciectónico se generaron complejas mezclas de sedimentos que llegan a reunir en una misma masa till, varves y rodados glacioclastos.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 29-09-16  
Página: 58 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

### 3.3.9. Morenas El Tranquilo (ET) y sus depósitos glaciafluviales y glacialacustres

Dichas morenas fueron depositadas durante una glaciación que se resuelve en dos estadales (ETE I Y ETE II), seguidos por un retroceso continuo del glaciar a lo largo de un intervalo de tiempo indeterminable (Figura 3.19). El endicamiento del lago Argentino se debe a los cierres morénicos de estos primeros dos pulsos glaciares. Un tercer estadal de esta misma glaciación corresponde al reavance póstumo que depositó los arcos morénicos de Puerto Bandera que bloquearon los distintos brazos del lago Argentino.

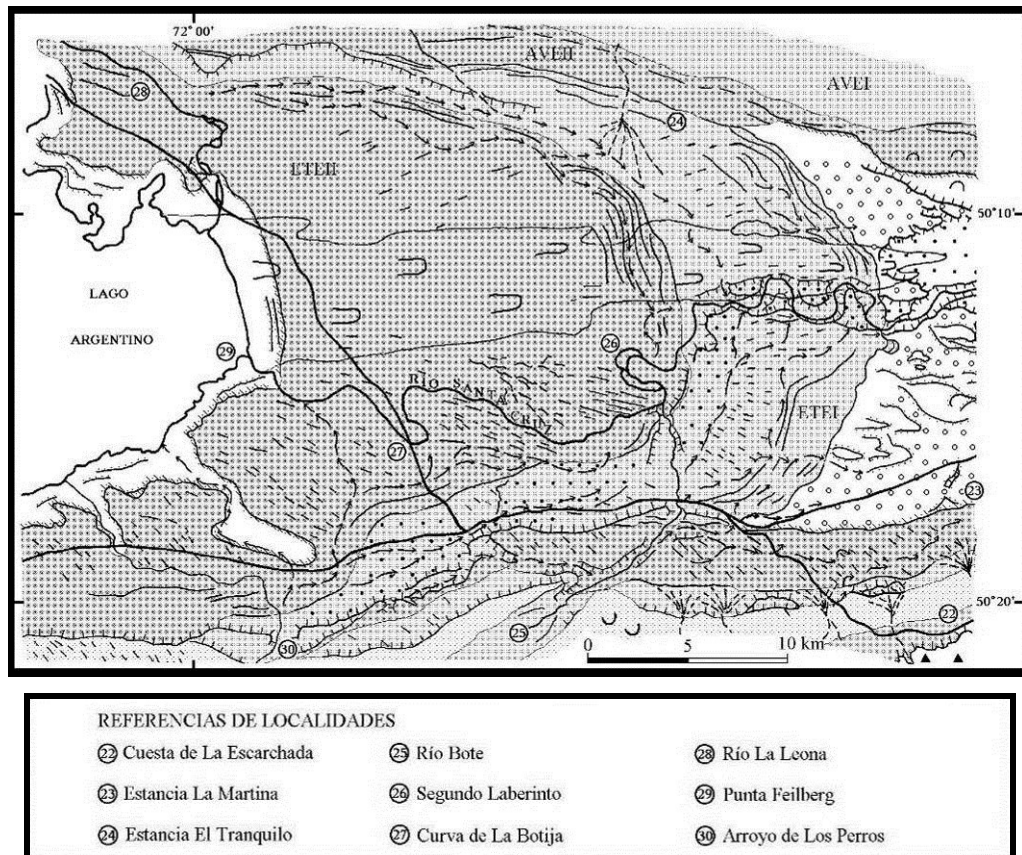



Figura 3.19: Morenas El Tranquilo, Estadal 1 (ETE I), El Tranquilo Estadal 2 (ETE II) (Strelin y Malagnino 1996)

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 29-09-16 Página: 59 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

#### 4. GEOLOGÍA LOCAL

En la Figura 4.1 se presenta el mapa geológico del sitio de emplazamiento de la Presa Nestor Kirchner.

Bajo el eje de la represa NK y dentro del registro de rocas cenozoicas bajo la tapada se identifican las formaciones 25 de Mayo y Santa Cruz. Ambas unidades poseen contactos transicionales y a los efectos prácticos se optó por considerar el techo de la Fm. 25 de Mayo como la aparición de la última coquina.

Los análisis composicionales de DRX y petrográficos indican que no habría diferencias sustanciales entre las formaciones 25 de mayo y Santa Cruz. Esto indicaría que las procedencias y aportes detríticos no habrían cambiado, siendo en gran medida dominadas por aportes volcanoclásticos y su retrabajo. La diferencia entre estas unidades (aspecto, colores, estratofábricas) estaría dada fundamentalmente por los ambientes sedimentarios y procesos deposicionales contrastados.

Según el registro analizado, la Fm. 25 de Mayo (de naturaleza marina a transicional) se desarrolla en un rango de cotas entre 73 m y 54 m a inferiores y no aflora en el sitio de la presa. Por encima, en todos los casos, sucede un potente paquete policromo perteneciente a la Fm. Santa Cruz (de naturaleza continental-planicies fluviales) por debajo de la tapada cuaternaria glacial y glaci-fluvial representada por sedimentos friables, en general de granulometrías gruesas.

El análisis de la topografía aparente de la superficie de contacto (tomada como la aparición de una última coquina) entre las formaciones 25 de Mayo y Santa Cruz permite determinar irregularidades sutiles compatibles con la existencia de paleotopografías primarias, propias de un paisaje fluvial, sin poder determinar un patrón definido ni predecible. Interpretar una implicancia estructural de esta irregularidad representaría una subjetividad infundada.

A nivel general, el policromatismo que presenta la Fm. Santa Cruz permite diferenciarla de la Fm. 25 de Mayo que es de coloración más homogénea, verde oliva amarronado (Figura 3.7). El policromatismo de la unidad superior se debe a la alternancia entre materiales areniscosos gruesos, tobáceos relativamente pedogenizados y de tobas con poca perturbación, que respectivamente, muestran tonalidades grises oscuras a medias, verde-grisáceas claras y blanquecinas-amarillentas.

La alternancia y contraste entre areniscas gruesas y materiales tobáceos (incluyendo tobas y limo-arcilitastobáceas) dentro de la Fm. Santa Cruz genera una fuerte anisotropía vertical que impacta en la preservación superficial y patrones de meteorización como así también en variables de interés geotécnico como la permeabilidad y el consecuente control de freáticas potenciales dentro de la unidad.

La geometría lenticular (en sentido transversal, N-S) a cordoniforme (en sentido longitudinal E-W) de los principales cuerpos de arena hacen impredecible la ubicación espacial de dichos cuerpos y dificulta la posibilidad de establecer correlaciones lineales entre areniscas. La geometría tabular de los mantos de tobas (menos perturbados) y su agrupamiento en secciones distintivas puede permitir, en cambio, afinar la correlación entre pozos y secciones próximas.

Las rocas de la Fm. Santa Cruz afloran de manera restringida en algunos sectores de la margen izquierda, especialmente donde se han realizado excavaciones para los accesos a las plataformas de sondeos. Se observó con mayor grado de detalle en la Estancia Cerro Fortaleza (margen izquierda) y en la Estancia Cordon Alto (margen derecha en proximidades de la Presa Jorge Cepernic. Se destaca en el paisaje por presentar una sucesión sedimentaria fuertemente estratificada y disposición horizontal (a modo de "torta") o con escasa inclinación de entre 3° y 8°, donde alternan bancos de pelitas, areniscas y tobas de colores claros pasteles (blancos, grises y amarillentos) y colores grises oscuros (Figura 3.9).



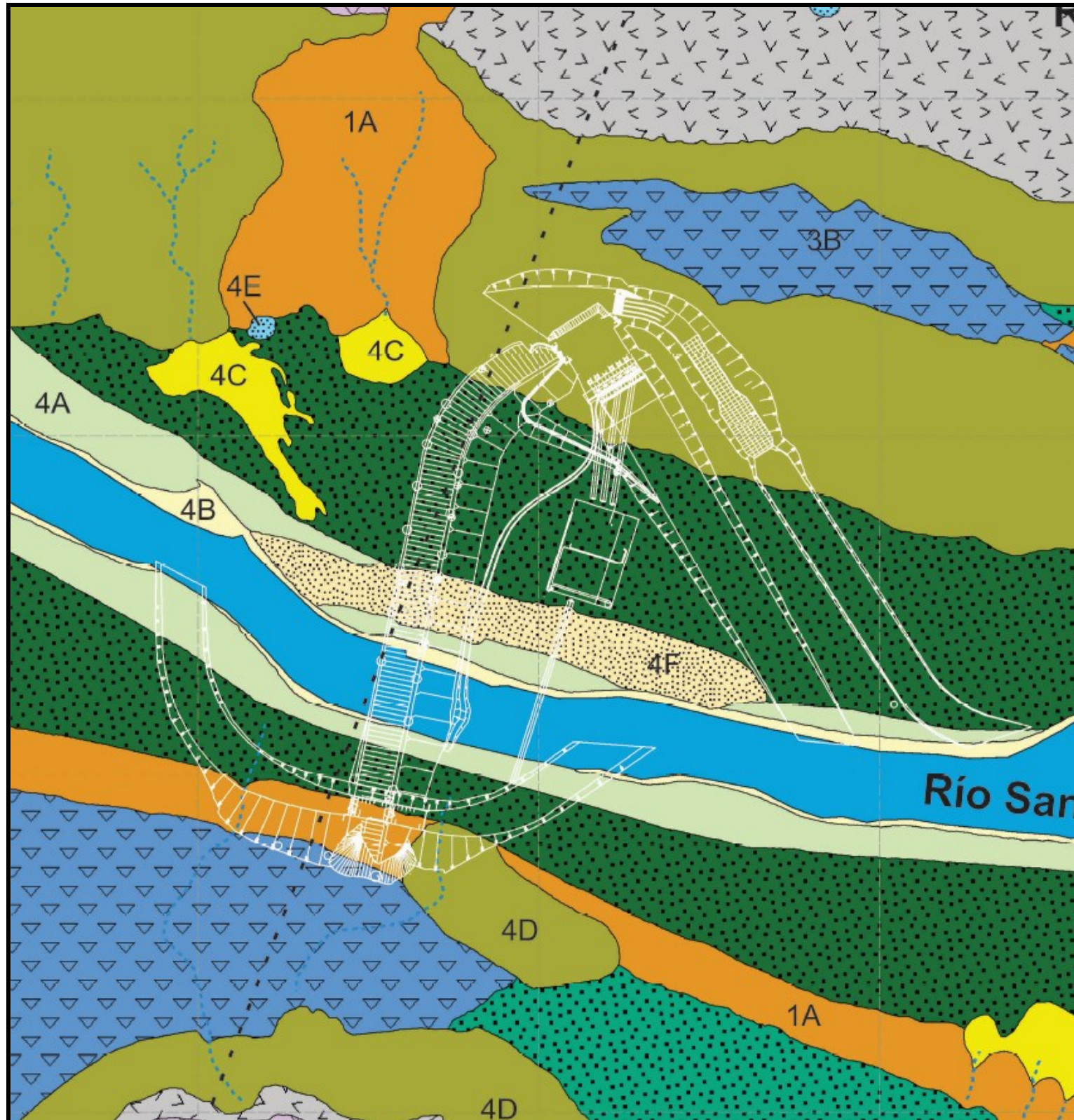
REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Revisión: 0A  
Fecha: 29-09-16  
Página: 60 de 389

Doc. N°  
NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902



#### (4) HOLOCENO

- (F) Depósitos eólicos
- (E) Depósitos lacustres
- (D) Depósitos de remoción en masa
- (C) Depósitos de cono aluvial
- (B) Depósitos de llanura aluvial
- (A) Depósitos de terraza aluvial

#### (3) PLEISTOCENO

- (D) Depósitos glaciafluviales de la Terraza El Tranquilo y Arroyo Verde
- (C) Depósitos glaciafluviales de la Terraza Cerro Fortaleza
- (B) Morenas Cerro Fortaleza
- (A) Morenas La Fructuosa


#### (2) PLIOCENO-MIOCENO SUPERIOR

- (C) Basaltos Cóndor Cliff
- (B) Depósitos glaciafluviales de la Terraza San Fernando
- (A) Depósitos glaciafluviales de la Terraza La Australiasia

#### (1) MIOCENO

- (A) Formación Santa Cruz

Figura 4.1: Mapa Geológico de la presa Néstor Kirchner

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 61 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

Los tipos litológicos reconocidos son:

- 1) Niveles de **areniscas gruesas laminadas gris oscuro a gris claro**, con material más fino intersticial. La geometría es lenticular a fuertemente lenticular, con bases erosivas y espesores de bancos que varían entre 0,5 cm hasta 5-6 m) (Figura 4.2).



**Figura 4.2: Areniscas gris oscuro con estratificación entrecruzada. Estancia Cordón Alto**

- 2) Hacia la base presentan granos muy gruesos de arena y conglomerados finos (2 a 4 mm) y gradan hacia la parte superior a arenas gruesas y medianas. Los granos y gránulos están compuestos por líticos de origen volcánico, granos de cuarzo e intraclastos de tobas y fangolitas. Internamente presentan muy buen desarrollo de estratificación cruzada en artesas, estratificación cruzada planar o estratificación paralela. Localmente estas areniscas poseen profuso desarrollo de concreciones redondeadas que pueden tener desde decímetros hasta centímetros de diámetro y se distribuyen diferencialmente en ciertos niveles más cementados disponiéndose aisladamente o agrupadas, coalesciendo y formando racimos. Estas rocas se habrían formado como relleno de canales fluviales de moderada profundidad e incisos en una llanura de inundación fangosa cohesiva y vegetada. Las paleocorrientes observadas en afloramientos son persistentes y dirigidas en sentido oeste-este, de manera que los ríos claramente fluían desde la incipiente cordillera andina hacia la actual región costera. El sedimento transportado mayormente es de origen volcánico y, en menor medida granítico y sedimentario, compatible con un área de aporte cordillerana. Las concreciones son de origen diagenético, pero indican que durante el soterramiento existió porosidad y permeabilidad diferencial importantes.
- 3) Niveles de **areniscas finas limosas de colores gris oscuro a claro y blanquecino**, dispuestas en cuerpos tabulares (Figura 4.3) con espesores que varían entre 30 a 50 cm. Se destaca porque internamente desarrollan un moteado de óxidos de hierro y concreciones carbonáticas que le imprimen a la roca un aspecto "pseudobrechoso". Algunos niveles presentan alta concentración de nódulos carbonáticos formando capas continuas, endurecidas conocidas como "toscas".

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 62 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902




**Figura 4.3: Areniscas finas limosas gris oscuro a claro**

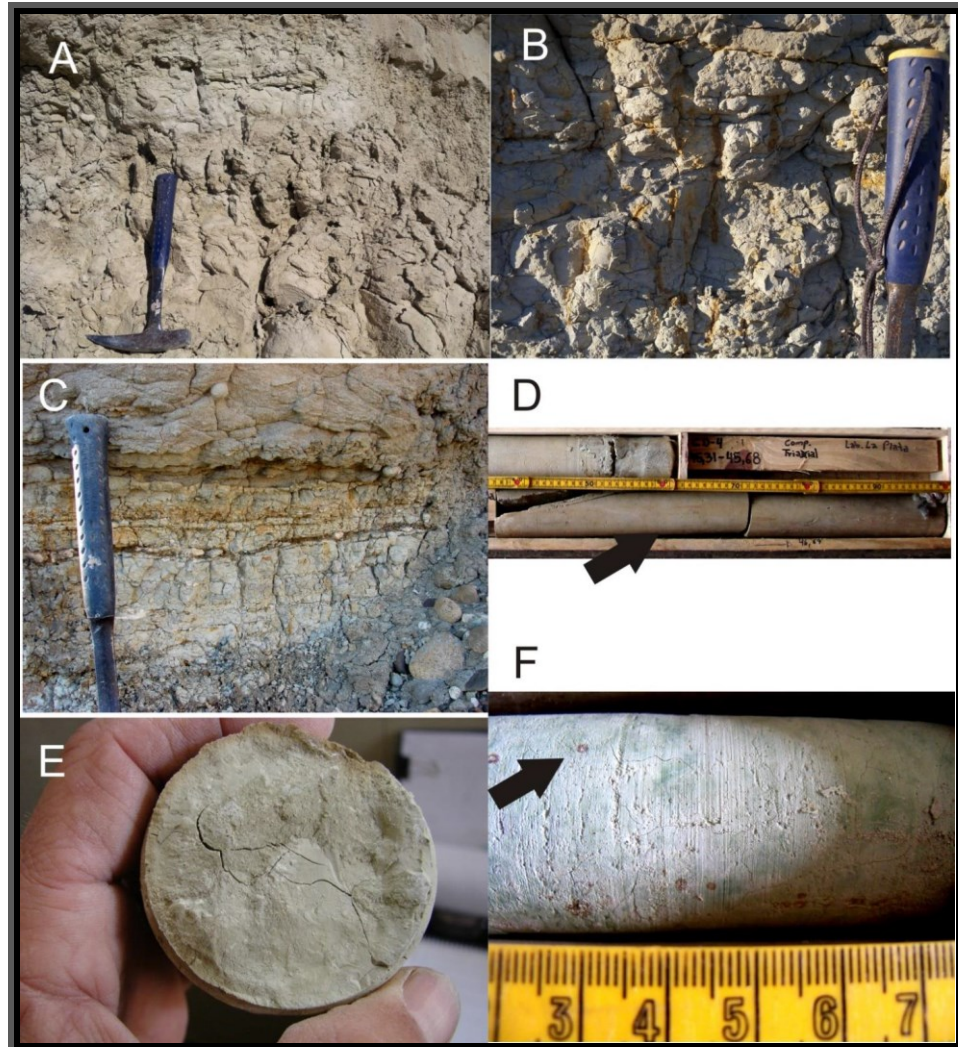
Se interpreta que estos materiales areno-limosos representan depósitos de desbordamiento (derrames) desde canales principales hacia la llanura de inundación en épocas de crecidas. Al retornar a su condición normal las planicies son colonizadas por vegetación y en parte quedan bajo la influencia de la freática siendo transformadas en ambientes palustres. En etapas con mayor aridez acumulan carbonato desarrollando nódulos y calcretes comunes de suelos calcimorfos.

- 4) Niveles de **limolitas tobáceas moteadas** con porcentajes variables de arcilla y arena fina dispuestos en bancos tabulares, cuyos espesores varían entre 20-30 y 70-80 cm, de colores gris claro a gris verdoso claro (Figura 4.4).

El aspecto es homogéneo, macizo, no obstante en detalle se observan moteados y estructuras de bioturbación (Figura 4.4 E), trazas y moldes de raíces y canalículos generalmente rellenos con el mismo material, también en algunos niveles se observan motas de óxidos de hierro que le imprimen tonalidades ocre (Figura 4.4 D y F) y nódulos de carbonatos. El índice de bioturbación varía entre moderado y alto (50 a 80%). Con frecuencia se observaron texturas en bloques con pátinas superficiales (cutanes) y desarrollos de slickensides en las superficies.

Este material forma parte de las llanuras de inundación adyacentes a los cursos principales, los que se encontraban permanentemente colonizados por vegetación y organismos logrando desarrollar paleosuelos producto de actividad pedogenética. En este sentido los cutanes, slickensides y nodulaciones indican procesos de traslocación y movilidad de finos y carbonatos a partir de procesos de iluviación-eluviación y expansión-contracción y desecación.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 63 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902




**Figura 4.4: Limolitas tobáceas. A, B y C: Aspecto en afloramientos, bancos tabulares, gris blanquecino a verdoso con bioturbaciones y trazas de raíces con óxidos de hierro. A, Estancia Fortaleza B y C. Cordón Alto. En testigos estas rocas se observan D. Homogéneas o con motas ocres Pozo CD-4 cajón 14. E. Marcas de bioturbaciones que se observa por los parches de arena y arcilla. Pozo CI-11 Cajón 15. F. motas de óxidos de hierro, con alto índice de bioturbaciones Pozo CI-11, cajón 23**

- 5) Niveles de **Arcillitas tobáceas laminadas a bandeadas**. Son arcillitas plásticas dispuestas en capas tabulares, de espesores entre 20 cm y 1 m, de colores gris blanquecino a gris oscuro y niveles en los que alternan láminas gris claro a gris oscuro (Figura 4.5). Las laminaciones son milimétricas o bien se produce un bandeado de capas de 1-2 cm de espesor de arcillitas y areniscas finas gradadas formando una estratificación heterolítica.

Estos depósitos indican sedimentación por decantación en ambiente subáqueo, posiblemente representando etapas lacustres o palustres o encharcamientos someros asociados a planicies de inundación o por el abandono de cursos fluviales divagantes (ríos meandriformes). En esta situación se producen lagos de reducida extensión y duración, pero lo suficientemente restringidos como para evitar la colonización del fondo por organismos. La preservación de la laminación y bandeado son evidencias de ellos, así como la presencia de restos de materia orgánica que indican escasa oxigenación y anoxia próxima a la superficie. La presencia de grietas de desecación y la formación de paleosuelos al tope representan la exposición subaérea de estos sustratos.



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 64 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

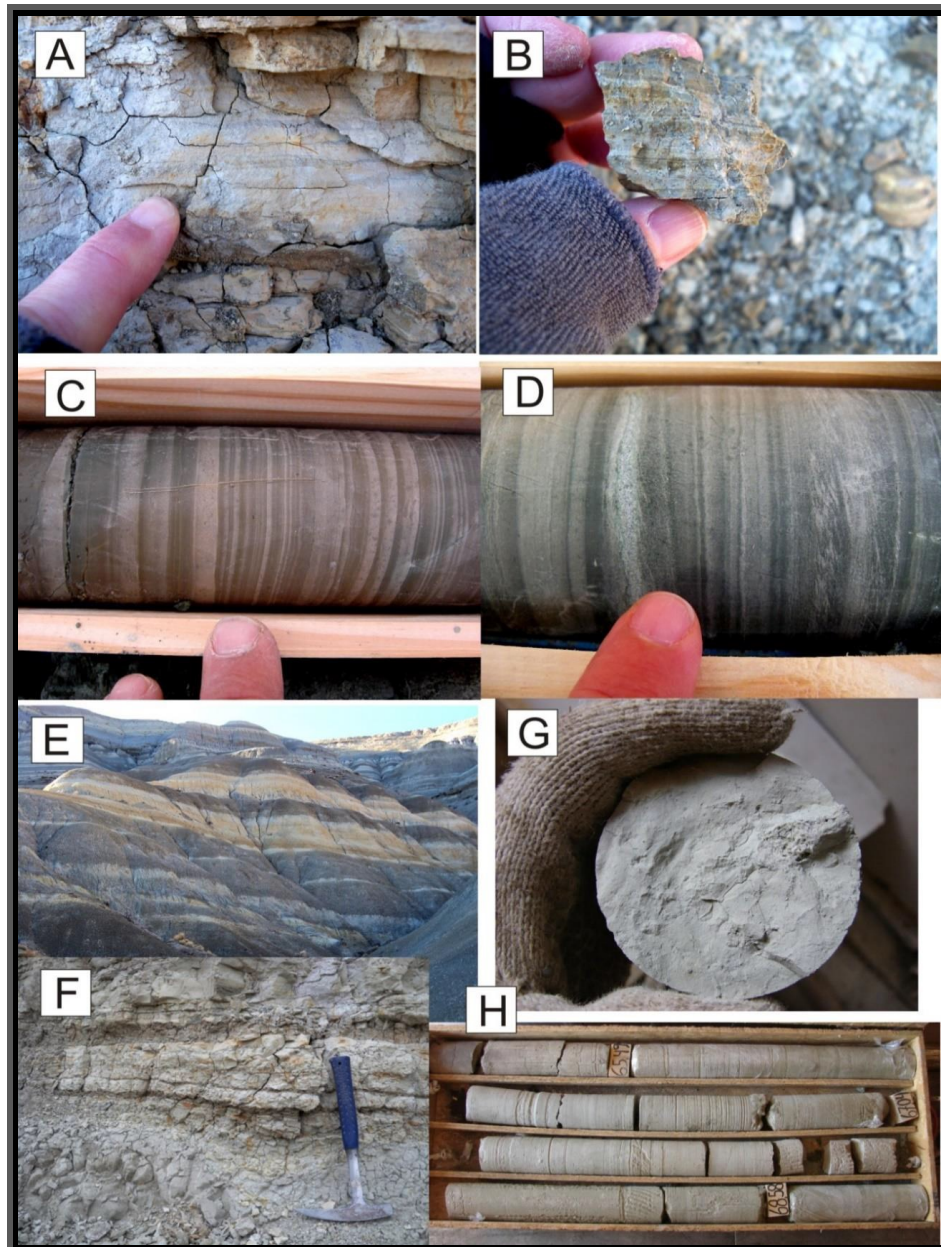



Figura 4.5: Arcilitas tobáceas laminadas a bandeadas. A y B. Niveles tabulares laminados. Cordón Alto. C y D. Testigo Pozo PRK 01 caja 5, bandas de arenisca fina gradada con micro ondulitas y niveles de arcilitas laminadas oscuras. E y F. Tobas, aspecto de campo, Cordón Alto. G y H Tobas en los pozos CD-4 Cajón 17 y CD-3 cajón 18, respectivamente.

- 6) Niveles de **Tobas blanquecinas amarillentas de grano fino, con altos porcentajes de arcillas**. Se trata de bancos de escasos centímetros (5-6 cm) a varios decímetros (60-70 cm) de geometría tabular y gran continuidad lateral (centenares de metros). Sus contactos basales son normalmente netos mientras que los cuspidales son graduales a otras litologías y poseen notable perturbación pedognética. En afloramientos generalmente las tobas son truncadas por fases erosivas (migración de canales) o pedogenizadas de modo gradual generando transiciones. Se distinguen por los colores amarillos ocres que destacan en el paisaje mientras que en testigos secos se distinguen por los colores blanco tiza o blanco grisáceo y en roca húmeda son amarillos a ocres o grises más oscuros. Estas rocas son notablemente plásticas cuando humedecidas y en seco se tornan frágiles y tienen notable desarrollo de fracturación concoidea. Si bien localmente preservan laminación primaria o son macizas,

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 65 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

generalmente, se encuentran muy bioturbadas y con desarrollo de suelos.. Excepcionalmente poseen granos dispersos de mayor tamaño y color blanquecino que recuerdan fragmentos de pómez, siendo estas de mayor granulometría y compatibles con tobas lapilíficas.

Estos niveles representan la caída de ceniza volcánica (cineritas), que se deposita rápidamente a partir de eventos eruptivos y tapizan el paisaje a modo de manto. La granulometría del material volcánico es variable pudiendo representar niveles muy finos (choníticos) a más gruesos (tobas arenosas) y hasta lapilíficas. Los mismos en general se encuentran todos muy transformados a arcilitas altamente plásticas.

En los testigos PRK 01, PRK 02, CD 04, CD 03 y CC 1 se reconocieron, además de las rocas ya descriptas, los siguientes tipos litológicos:

- 7) Niveles de **Limo-arcilitas con láminas de areniscas finas brechadas**. De colores gris verde oscuro a claro, e integrada por fragmentos angulosos a subangulosos, algunos rotados o ligeramente movidos de su posición original (Figura 4.6 A, B, C, D). Los fragmentos se encuentran rodeados por material arenoso o limoarcilloso, homogéneo; correspondiente al material ubicado inmediatamente por encima o por debajo del intervalo brechado, lo que sugiere el rápido relleno del espacio interparticular por descenso o ascenso, respectivamente. Estos niveles presentan asimismo otras perturbaciones como inflexiones, grietas irregulares y morfologías en cuña rellenas con material arenoso o limo arcilloso indicando que hubo movilidad de material después de la consolidación.
- 8) Niveles de **areniscas gruesas gradadas y mal seleccionadas de colores gris, gris verdoso y gris claro**. Internamente contienen granos líticos, especialmente intraclastospelíticos verdosos e intraclastos de tobas amarillentas. Además de la gradación normal (Figura 4.6 A, E y F) desde arenas gruesas a medianas y finas que pasan transicionalmente a material pelítico, se observaron bioturbaciones aisladas. Las areniscas son sucias con material muy fino a modo de matriz (aparentemente infiltrada) alrededor de los granos arenosos.

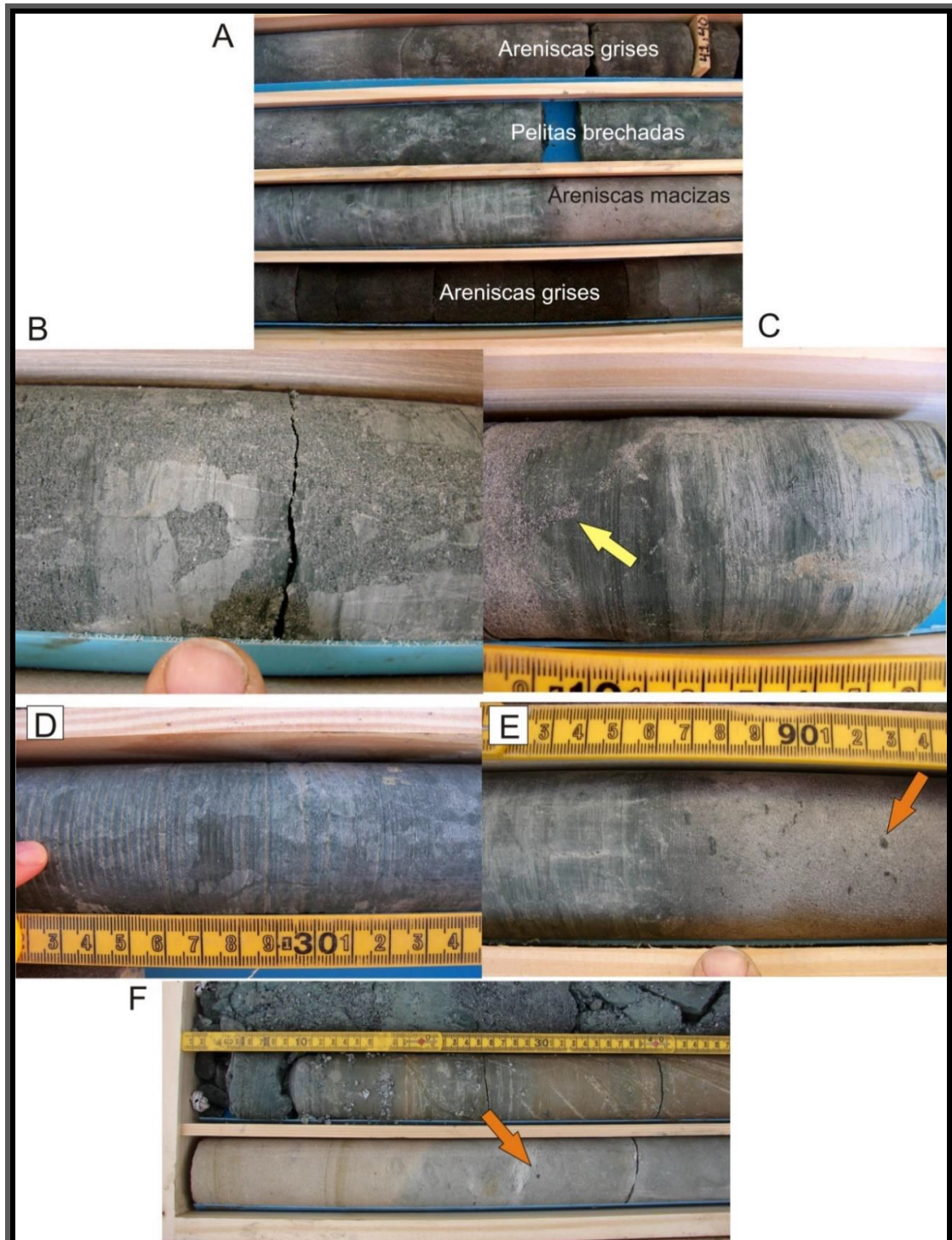



Figura 4.6: A. Foto cajón 5 del pozo PRK 01. Se observa la relación entre areniscas gruesas grises, pelitas laminadas brechadas y areniscas gradadas. B, C y D Pelitas laminadas verdes con brechadas, nótese los fragmentos angulosos y la introducción de material arenoso relleno de las grietas (flecha amarilla). E y F, Areniscas gradadas ricas en limo con intraclastos pelíticos (flechas naranjas) del pozo PRK 02, cajón 4.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 67 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

- 9) Niveles con **alternancia de areniscas muy finas laminadas y pelitas**. Se trata de paquetes de reducido espesor (entre 0,30 y 1,2 m de espesor máximo) intercalados entre las facies anteriores compuesta de una intercalación de pelitas grises verdosas y delgados niveles de areniscas finas y muy finas de colores gris claro con gradación normal o con desarrollo de laminación ondulática (Figura 4.7). La laminación milimétrica permite detectar estructuras aisladas de deformación (tipo slumping) o perturbaciones por bioturbación. Pueden intercalar bandas de fangolitas macizas de 1-2 cm de espesor. Todo el conjunto se encuentra escasamente bioturbado.



**Figura 4.7: Intervalo con alternancia de areniscas muy finas laminadas y pelitas de origen lacustre. Nótese la gradación normal en las bandas de arena y la estructura de deformación sinsedimentaria (foto superior derecha) dentro del intervalo.**

Desde el punto de vista de los procesos primarios representan un predominio de decantación de material fino en cuerpos de agua tranquilos y relativamente restringidos afectados periódicamente por corrientes tractivas de baja y muy baja energía (que alcanzan a movilizar arena fina y genera ondulitas) al cual periódicamente ingresan flujos densos (hiperpícnicos) de sedimentos finos depositando los intervalos de areniscas finas y muy finas gradadas. Estos depósitos lacustres pueden ocurrir en sectores de planicies de inundación deprimidos o en espiras de meandro abandonadas

Los componentes tobáceos de la Fm. Santa Cruz alterados en arcillas esmectíticas con notable expansividad y plasticidad superficial retienen humedad y generan típicos paisajes de badlands con fluencia y reptación por pendiente (creep). En superficie y dentro de estos intervalos tobáceos fueron observados sumideros y hoyos de colapso que favorecen procesos subsuperficiales de piping que contribuyen a acelerar los procesos erosivos y generan un boxwork de cavidades y conductos hasta niveles permeables por donde emergen freáticas (vegas) a diferentes alturas dentro de las terrazas actuales del río Santa Cruz (Figura 4.8).

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 68 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902



**Figura 4.8: Sumideros por efecto de piping en rocas tobáceas**


Los conos o embudos de sumideros alcanzan varios metros de diámetro en superficie y su generación puede haber tenido lugar reiteradas veces a lo largo de la historia cuaternaria y acentuada en períodos más húmedos que el actual.

Mientras que las arcillitas y tobas constituyen barreras naturales de permeabilidad, en contraste, las areniscas gruesas abiertas (en general muy poco cementadas), actúan como niveles de tránsito de freáticas confinadas o libres según su posición bajo la cubierta cuaternaria o los mantos lávicos-basálticos. Perturbaciones de cualquier naturaleza ayudarían a incrementar notablemente la presión poral e inducir deslizamientos o fluidización.

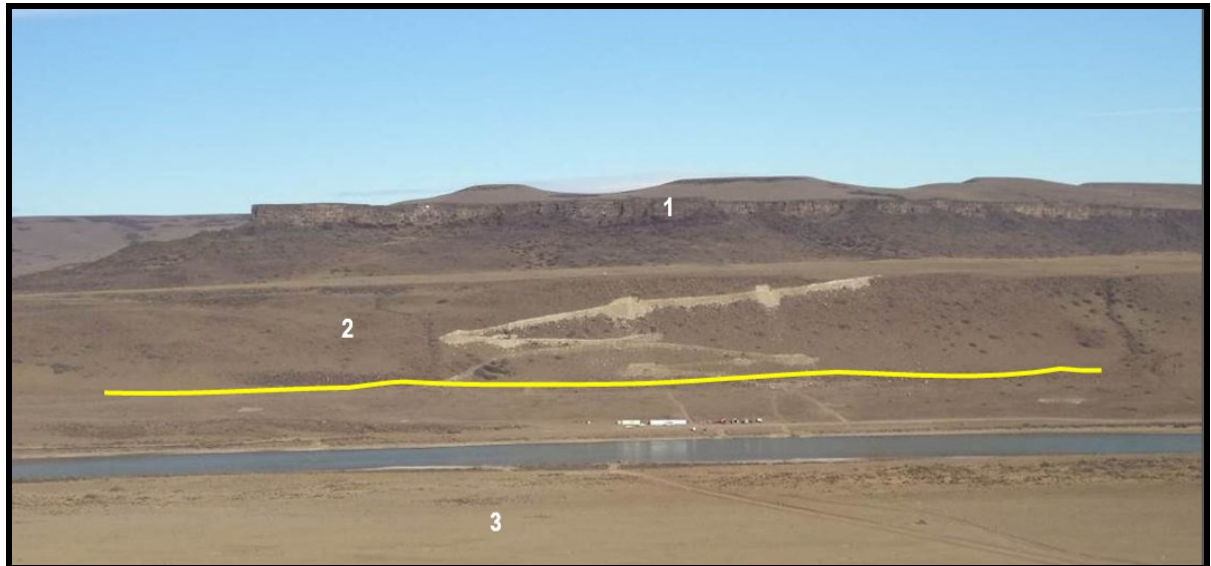
La buena recuperación de testigos y las precisiones sedimentológicas junto a la estratofábrica predominantemente horizontal de los registros de pozo de la Fm. Santa Cruz permiten sostener que la misma no ha sido en general afectada por planos de cizallamiento o brechamiento en profundidad por debajo del contacto con la tapada. Sólo en la proximidad con la cubierta cuaternaria y dentro de los aproximadamente 5 primeros metros de su registro se ha observado un cierto grado de desorden, incluyendo distorsiones de colores, deformaciones plásticas y brechamiento e infiltraciones de material suelto del cuaternario que indicarían perturbaciones próximas a la interfase entre roca y cubierta. Estos fenómenos pueden tentativamente, asignarse a productos de meteorización o/y cizalla por deslizamiento.

La correlación estratigráfica de alta resolución bajo el eje de la presa no muestra evidencias de perturbación profusa ni de desplazamiento significativo de la estratigrafía analizada lo que permite concluir que ni tectonismo, ni cizallas profundas subhorizontales han afectado al registro de rocas. En función de esto, se propone que, en general, los deslizamientos y asentamientos que afectan fundamentalmente la margen izquierda, son superficiales y se concluye que no existen evidencias suficientes para suponer una tectónica activa en la región. Por el contrario, los datos generales de sismicidad disponibles, las evidencias de campo superficiales y nuestro análisis de rocas indicarían una actividad neotectónica nula estando la mayor parte de las estructuras observadas (plegamiento de cubierta y fallas de empuje y planos de fractura con slickensides inversos y normales) asociadas preferencialmente a glacitectonismo y a relajación por descarga y exhumación. Basado en la madurez de la materia orgánica se estima que los estratos de la Fm. Santa Cruz habrían sufrido un soterramiento considerable de entre 1 000 y 1 500 m como mínimo. Esto último indicaría que el destape o destechado entre el Mioceno Superior y el Plio-Pleistoceno ha sido considerable y consistente con las diferencias diagenéticas entre la roca y la cubierta.

Las unidades Morfoestratigráficas de mayor relevancia para los fines del estudio y que configuran el medio geológico en el cual se localizara directamente el cierre de la presa Néstor Kirchner son las coladas volcánicas pertenecientes a los Basaltos Cóndor Cliff y las acumulaciones glaciogénicas correspondientes a las Morenas

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 69 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

Cerro Fortaleza y las Morenas Estancia La Fructuosa (Figura 4.9). Las mismas apoyan en diferentes localidades sobre las sedimentitas pertenecientes a la Fm. Santa Cruz.




**Figura 4.9: Vista de la margen derecha (sur) de la presa en donde se observa al fondo la meseta basáltica (1), los depósitos glaciales aterrizados (2) y los depósitos aluviales del río Santa Cruz (3)**

En el estudio realizado se prestó especial atención a las particularidades estructurales de las rocas volcánicas y las propiedades estructurales, sedimentológicas, granulométricas, de permeabilidad, tenacidad y compactación, entre otras particularidades, de las sedimentitas y acumulaciones presentes en la sección del cierre y sus áreas aledañas y el papel que las mismas tienen, en concurrencia con otros factores, en la materialización de los procesos de remoción en masa que afectan la comarca.

Bajos este análisis se prestó especial atención a las acumulaciones glaciares vinculadas con las Morenas Cerro Fortaleza ya que los estribos de ambas márgenes de la presa proyectada se situaran sobre estas unidades. Teniendo en cuenta este aspecto se realizó el levantamiento de perfiles de detalle sobre las acumulaciones morénicas pertenecientes a las Morenas Cerro Fortaleza, los que permitieron elaborar un modelo sobre la dinámica glaciaria y los ambientes de acumulación asociados con ella.

La información obtenida permitió constatar que se observa una asimetría muy pronunciada entre las acumulaciones glaciares pertenecientes a las Morenas Cerro Fortaleza situadas en la margen sur del valle, cuando se las compara con las correspondientes localizadas sobre la margen norte. En el primer caso (margen sur) se trata de una sucesión regular de acumulaciones de gravas, bloques y arenas de compactación intermedia que corresponden a acumulaciones marginales del tipo till de ablación con algunos niveles subordinados de till parcialmente alojado, que se interestratifican con gravas y arenas que se acumularon en un medio glaci-fluvial muy cercano al frente del glaciar, estando el conjunto muy poco perturbado por el empuje del hielo y por movimientos de remoción en masa durante y posteriores al retiro del glaciar. Estas particularidades permiten constatar que en ésta margen sur del valle los paquetes permeables correspondientes a las gravas glaci-fluviales presenten una alta continuidad a lo largo de un rumbo este-oeste. Aproximadamente el till inferior de ablación (Figura 4.10) se desarrolla hasta las cotas 170 a 175 m, pasando a un depósito fluvio-glacial permeable que se extiende hasta cota aproximada 200 m (Figura 4.11) y finalizando con un till alojado hasta la superficie.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 70 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902



**Figura 4.10: Depósito de till de ablación expuesto en la plataforma del sondeo SAK5 (cota 155m) – Margen derecha**



**Figura 4.11: Depósito fluvio-glacial expuesto en la plataforma del sondeo SAK 6 (cota 205m) – Margen derecha**

En el segundo caso (margen norte) las acumulaciones glaciogénicas presentan una característica muy distintiva que se manifiesta en la existencia de cuerpos de sedimentología y estructura compleja al estar conformados por prismas sobrecorridos de till de diversa tipología en contacto con niveles de gravas y arenas glaci-fluviales con estratificación deformada por procesos glaci-tectónicos e incluso, niveles de acumulaciones lacustres (varves) también intensamente deformados por el empuje del hielo (Figura 4.12).

	<p>MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA</p> <p>SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA</p> <p>SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 30-09-16</p> <p>Página: 71 de 389</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902</p>



**Figura 4.12: Depósito varvítico plegado por efecto de la acción de empuje del glaciar – Margen izquierda**

A esta situación de deformaciones singénicas se suman las que se vinculan con los movimientos de remoción en masa de variada tipología que ocurrieron durante y luego del retiro del glaciar y que desbastaron esta pendiente del valle, de tal forma que solo han quedado libres de estos procesos superficies muy limitadas (Figura 4.13). Las particularidades referidas han dado lugar en esta margen norte del valle a una menor persistencia lateral y vertical en la permeabilidad del depósito glaciogénico.



**Figura 4.13: Estratos de la Fm. Santa Cruz inclinados hacia el NW producto de un deslizamiento rotacional – Margen izquierda**



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 72 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

El modelo dinámico establecido implica la existencia de un glaciar en retroceso oscilante donde cada repliegue (interstadial) es seguido de un re-avance menor (Estadial) que en general no llega a trasponer el depósito de recesión previo. La referida oscilación da lugar en forma alternada a acumulaciones que se sitúan en medios de depositación glacialacustres y glacialfluviales encauzados, localizados entre el frente del hielo oscilante y la espalda del arco morénico externo integrado por un till de variada tipología (alojado y de ablación). En cada pulso de re-avance, las referidas acumulaciones estratificadas (glacialfluviales y glacialacustres) son empujadas, deformadas y finalmente adosados contra la espalda del arco morénico referido.

El análisis detallado de las formas del relieve permitió determinar en la zona del cierre proyectado, especialmente en las pendientes correspondientes al lateral norte del valle, la existencia de geoformas relacionadas con movimientos de remoción en masa de variada escala y tipología entre los que se destacan deslizamientos rotacionales, avalanchas de rocas, flujos densos y la caída de rocas, aunque también están presentes en menor porcentaje expansiones laterales y otras formas de mayor complejidad.

Las tipologías de mayor presencia son los deslizamientos rotacionales, especialmente vinculados con pendientes donde las sedimentitas de la Fm. Santa Cruz y de los depósitos glacialfluviales aterrizados San Fernando, están coronadas por coladas lávicas pertenecientes a los Basaltos Cóndor Cliff. Otros tipos observados son expansiones laterales vinculadas con comportamientos particulares de los niveles plásticos y/o comportamiento tixotrópico situados en el cuerpo de la Fm. Santa Cruz, flujos relacionados con removilizaciones de bloques previamente deslizados y fuertemente fracturados y caída de rocas. Si bien todos estos movimientos propiciaron una disminución de la inclinación original de la pendiente que podría mejorar su estabilidad, como consecuencia de ellos han aparecido nuevos factores desestabilizantes tales como el aumento de fracturas y la formación de cuencas cerradas en la pendiente que favorece la acumulación de agua con el consiguiente mantenimiento de presiones porales elevadas. Estos nuevos factores, sumados a los preexistentes, propician nuevas removilizaciones en las pendientes. Esta situación explica la recurrencia y modernidad que tienen las áreas afectadas por movimientos de remoción en masa.

Teniendo en cuenta que la mayor parte del lateral norte del valle en el cual serán instaladas las estructuras de la presa Néstor Kirchner está afectadas por movimientos de remoción en masa de diversa tipología, se consideró de importancia crítica no solamente establecer una clasificación tipológica de los mismos, sino además identificar los factores que posibilitan su materialización. Bajo este aspecto, para cada tipo de movimiento de remoción en masa identificado se establecieron cuáles son los factores Externos e Internos de origen natural que contribuyen a incrementar el stress y la caída de las pendientes. Entre ellos se destacan: a) Remoción del apoyo lateral o subyacente por corte de pie de pendiente; b) Variaciones climáticas de mediano y largo plazo; c) Stress transitorio por sismo, solamente efectivo para el caso de caída de rocas local; d) Bajo grado de cohesión por incremento de la presión interna o poral; e) Existencia de potenciales planos de deslizamiento; f) Bajo grado de cohesión interna por baja cimentación de las sedimentitas; g) Plasticidad de algunos bancos de sedimentitas, especialmente las relacionadas con la Fm. Santa Cruz que es la que aflora mayoritariamente en la comarca relevada; h) Susceptibilidad a la tixotropía de algunos bancos de sedimentitas; i) Bajo grado de agregación entre los componentes clásticos; j) Exposición de Corona o cicatriz generada por deslizamiento rotacional y k) Congelifracción.

Debe tenerse en cuenta que las actividades relacionadas con la construcción de la presa (corte de pendientes, vibraciones, modificaciones de la escorrentía superficial, etc.) y las derivadas de la generación del lago artificial en el aspecto de las aguas subterráneas, van a incorporar nuevos factores que en su mayor parte implican un incremento del stress en pendientes que actualmente se caracterizan por ser inestables y potencialmente inestables, de tal forma que podrían reactivarse los movimientos gravitacionales existentes e incluso tener lugar otros nuevos

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 73 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

## 5. INVESTIGACIONES REALIZADAS ENTRE 2014 Y 2016

### 5.1. General

Con el propósito de resolver las incertidumbres surgidas en los estudios anteriores de la prefactibilidad y del diseño básico se ha programado una campaña de investigaciones más amplia que la originalmente prevista en el pliego y que incluye:

- Estudios especializados de estratigrafía y geomorfología;
- Sondeos exploratorios con recuperación de testigos y ensayos *in situ* de permeabilidad;
- Ensayos cross hole en el eje del muro colado;
- Perfiles sísmicos de velocidad de ondas de corte (MASW);
- Excavación de una trinchera exploratoria en margen izquierda;
- Excavación de pozo y galería de exploración en margen izquierda;
- Ensayos de laboratorio de mecánica de rocas.

### 5.2. Estudios Especializados de Estratigrafía y Geomorfología

El Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra (CICTERRA) dependiente del CONICET y de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, realizó un estudio cuyos resultados finales se presentan en el Anexo 02 de este informe. Un resumen de los resultados se ha presentado en los capítulos de geología regional y geología local de este informe.

Las conclusiones principales de estos informes pueden resumirse en los siguientes puntos:

- a. La estratigrafía de la fundación de las estructuras de hormigón principales indica que las mismas se apoyaran en rocas sedimentarias de edad terciaria correspondientes a la Fm. Santa Cruz de ambientes continentales.
- b. Las rocas de la Fm. 25 de Mayo (equivalente a la Fm. Monte León), de edad terciaria y de origen marino, no afectan la fundación de la presa y sus estructuras de hormigón.
- c. Las rocas de la Fm. Santa Cruz corresponden a areniscas finas limosas de colores gris oscuro a claro y blanquecino, areniscas gruesas laminadas líticas gris a gris oscuro, limolitas tobáceas moteadas, arcillitas tobáceas laminadas a bandeadas, tobas blanquecinas amarillentas de grano fino, limo-arcillitas con láminas de areniscas finas brechadas, areniscas gruesas gradadas y mal seleccionadas de colores gris, gris verdoso y gris claro, alternancia de areniscas muy finas laminadas y pelitas (varvitas)
- d. La secuencia normal tiene posición subhorizontal, levemente inclinada hacia el SE
- e. No fueron detectados niveles guía que permitiesen la correlación lateral de las unidades litológicas.
- f. El examen de los testigos muestran que, a las cotas de fundación de las estructuras en margen izquierda, la secuencia no estaría perturbada por los fenómenos de remoción en masa detectados en el sector.
- g. La acción glaciaria impuso una fuerte impronta en el sector desde el punto de vista de la estratigrafía (depósitos de till) y de la geomorfología (geoformas glaciarias y glaciectónica)
- h. Los depósitos glaciarios de margen derecha pueden dividirse en 3 facies, el till inferior, facies fluvio-glacial intermedio y el till superior. Se trata de materiales heterogéneos en donde predominan

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 74 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

las gravas y cantos rodados, a veces matriz soporte y otros clasto soporte. El espesor del paquete sedimentario puede alcanzar los 60 m.

- i. En margen izquierda los fenómenos de remoción en masa estarían afectando los materiales de till y rocas de la Fm. Santa Cruz hasta una profundidad de 20 a 30 m.
- j. Los fenómenos de remoción en masa consisten en deslizamientos rotacionales, expansión lateral, flujo de detritos, flujos densos y caída de bloques.

El estudio se completó con un mapa geológico, un mapa geomorfológico y secciones transversales típicas (Anexo 02).


### 5.3. Sondeos Exploratorios

La campaña de perforaciones exploratorias contempló la ejecución de 56 sondeos, 33 denominadas PRK y 23 denominadas SAK (Tabla 5.1 y Tabla 5.2) y cuya ubicación se muestra en el plano NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P002 (Anexo 03).

En el Anexo 04 se presentan todos los resultados (NK-A.CV-ES.GT-(OG-00-00)-P001-0A), incluyendo los registros de perforación, las fotos de los testigos, las planillas con los ensayos de permeabilidad Lefranc y Lugeon y los partes diarios. En total se perforaron 2803,32 m (1818,9 m en los sondeos PRK y 984,42 m en los sondeos SAK), se ejecutaron 5 ensayos crosshole (PRK 10, 11, 12, 13 y 16), 160 ensayos de permeabilidad Lugeon, 13 ensayos Lefranc y 50 SPT (Tabla 5.1 y Tabla 5.2).

**Tabla 5.1: Sondeos exploratorios serie SAK – Campaña 2015.**


Sondeos Campaña 2015										
Sondeos exploratorios superficiales										
SAK										
Sondeo	Coordenadas			Ubicación	Estructura	Posición	Profundidad m	Ensayos Lefranc	Ensayos Lugeon	Ensayos SPT
	y	x	z							
SAK 01	19044	49102	214.7	MD	Estribro derecho - Till	Vertical	72	2	1	
SAK 02	19110	49264	141.9	MD	Estructura de desvío	Vertical	45.47	3		
SAK 03	19137	49472	119.0	MD	115 m aguas arriba del Muro colado	Vertical	10			
SAK 04	19274	49091	179.8	MD	Estribro derecho - Till	Vertical	40.5			
SAK 05	19193	49178	155.3	MD	Estribro derecho - Till	Vertical	37			
SAK 06	19163	49075	207.6	MD	Estribro derecho - Till	Vertical	65.2			
SAK 07	19270	48994	218.0	MD	Estribro derecho - Till	Vertical	76.5	3	1	
SAK 08	19109	49361	130.2	MD	125 m aguas arriba del Muro colado	Vertical	34.25	1		
SAK 09	19429	49308	127.7	MD	Presa: 85 m aguas abajo del eje	Vertical	29.7			
SAK 10	20142	50911	231.4	MI	Terrazas superiores	Vertical	33.7			
SAK 11	19969	50957	228.2	MI	Terrazas superiores	Vertical	27.6			
SAK 12	19859	50913	222.4	MI	Terrazas superiores	Vertical	59.15			
SAK 13	19829	51013	235.5	MI	Terrazas superiores	Vertical	24.6			
SAK 14	20141	50763	223.9	MI	Terrazas superiores	Vertical	33.5			
SAK 15	19977	51015	236.2	MI	Terrazas superiores	Vertical	26.1			
SAK 16 (SPT)	21725	49208	116.2	MI	Puente	Vertical	29.7			14
SAK 17 (SPT)	21677	48999	117.4	MD	Puente	Vertical	17.6			19
SAK 17 bis (SPT)	21689	49048	114.1	MD	Puente	Vertical	29.5			17
SAK 18	19238	49226	141.2	MD	Estribro derecho - Till	Vertical	45.5			
SAK 19	19409	49188	140.4	MD	Estribro derecho - Till	Vertical	46.05		4	
SAK20	19250	48907	230.9	MD	Estribro derecho - Till	Vertical	85.3	1		
SAK21	19352	49011	202.3	MD	Estribro derecho - Till	Vertical	49	2		
SAK21 BIS	19354	49012	202.2	MD	Estribro derecho - Till	Vertical	66.5	1	1	

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 75 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

**Tabla 5.2: Sondeos exploratorios serie PRK – Campaña 2015.**

Sondeos Campaña 2015										
Sondeos exploratorios profundos										
PRK										
Sondeos		Coordenadas			Ubicación	Estructura	Profundidad m	Ensayos Lugeon	Crosshole	
		y	x	z						
1° Etapa	PRK 01	19277	49185	145,8	MD	Desvío-Descargador	55,0	5		
	PRK 02	19070	49208	160,6	MD	Canal de entrada-Desvío	70,0	4		
	PRK 03	19746	50559	158,6	MI	Toma	50,0	6		
	PRK 03 bis	19748	50557	158,7	MI	Toma	60,0	8		
	PRK 04	19866	50452	152,3	MI	Casa de Máquinas	75,0	12		
	PRK 05	19928	50782	198,5	MI	Estribo izquierdo	85,0	13		
	PRK 05 bis	19967	50697	194,7	MI	Vertedero	85,0	13		
	PRK 06	20250	50351	160,2	MI	Cuenco amortiguador	58,0	7		
	PRK 07	20070	50627	208,3	MI	Muro lat. izq. Rápida-vertedero	63,0	3		
PRK 07 bis	19898	50652	186,2	MI	Entre central y vertedero	86,0	3			
2° Etapa	PRK 08	19794	50876	220,3	MI	Inclinómetro Estribo izquierdo	67,3	4		
	PRK 09	19940	50876	228,6	MI	Piezómetro Estribo izquierdo	80,4	4		
	PRK 10	19615	50589	146,5	MI	Muro Colado - Plinto	35,0	5		
	PRK 10 bis (ch)	19620	50593	147,0	MI	Muro Colado - Plinto	35,0			1
	PRK 11	19472	50374	126,6	MI	Muro Colado - Plinto	30,4	3		
	PRK 11 bis (ch)	19473	50379	126,6	MI	Muro Colado - Plinto	30,0			1
	PRK 12	19444	50260	124,9	MI	Muro Colado - Plinto	35,4	5		
	PRK 12 bis (ch)	19443	50255	124,8	MI	Muro Colado - Plinto	35,0			1
	PRK 13	19378	49979	121,2	MI	Muro Colado - Plinto	50,0	4		
	PRK 13 bis (ch)	19380	49985	121,2	MI	Muro Colado - Plinto	50,0			1
	PRK 14	19335	49801	119,7	MI	Muro Colado - Plinto	50,0	2		
	PRK 15	20129	50485	179,6	MI	Rápida-Vertedero	60,0	10		
	PRK 16	19250	49421	120,0	MD	Muro Colado - Plinto	55,1	4		
	PRK 16 bis (ch)	19251	49425	119,8	MD	Muro Colado - Plinto	55,0			1
	PRK 17	19364	49396	119,5	MD	Eje de Presa (Till)	40,0	3		
	PRK 18	19530	50490	129,5	MI	Muro Colado - Plinto	45,2	5		
PRK 19	19292	49619	115,5	Lecho del río	Muro Colado - Plinto	42,0	1			
PRK 19 bis (r)	19292	49619	115,5	Lecho del río	Muro Colado - Plinto	52,0	2			
PRK 20	19953	50660	193,3	MI	Rápida vertedero	40,0	2			
PRK 21	20005	50581	205,0	MI	Rápida vertedero	53,0				
PRK 22	19759	50663	177,6	MI	Entrada de la central	50,0	5			
PRK 23	19637	50846	204,5	MI	Estribo izquierdo	81,0	11			
PRK 24	19325	50929	188,1	MI	Estribo izquierdo	60,1	9			

Las perforaciones en material inconsolidado (suelos, aluvión, till, etc) se ejecutó en general con el sistema ODEX con las maquinas SOILMEC 525 y 400 (Figura 5.1). En algunos casos puntuales se perforo con rotación a diamantina. Los tramos en roca se perforaron a rotación con el sistema wire line con los equipos Longyear LF90 y LX6 (Figura 5.2).

 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA</p> <p>SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA</p> <p>SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 30-09-16</p> <p>Página: 76 de 389</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902</p>



**Figura 5.1: Perforadora SOILMEC SM-525**



**Figura 5.2: Perforadora LONGYEAR LF90**

El detalle de los equipos y los procedimientos usados se presentan en el Anexo 03 en el informe NK-A.CV-ES.GT-(OG-00-00)-P001.

Los objetivos de estas perforaciones fueron:

- Obtener información geológica complementaria sobre las condiciones de excavación y fundación de las estructuras de la presa: canal de desvío en margen derecha y vertedero y circuito de generación en la margen izquierda.

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 77 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

- Caracterizar el estado geomecánico del macizo rocoso en la zona alterada en el contacto con el aluvión;
- Definir los límites de distribución del till y medir las propiedades de permeabilidad;
- Obtener muestras para la realización de ensayos de laboratorio
- Medir la permeabilidad del macizo rocoso
- Definir la profundidad del aluvión en el eje del muro colado
- Medir algunas propiedades mecánicas del aluvión y de la roca en la región del muro colado (módulo de deformación, velocidades sísmicas, etc.) mediante ensayos de crosshole (PRK 10, 11, 12, 13 y 16)
- Instalar 1 piezómetro (Sondeo PRK 09) y 1 inclinómetro (Sondeo PRK 08) antes de iniciar la obra en la margen izquierda para acompañar la evolución del nivel piezométrico y la estabilidad del bloque de basalto de la expansión lateral identificada en el sector durante la construcción.

Las muestras para ensayos de laboratorio se recuperaron en sacatestigos triples diámetro HQ3 y se almacenaron en tubos de plástico especialmente diseñados para la preservación de la muestras en su condición natural y para asegurar su integridad durante el traslado al laboratorio.

## 5.4. Pruebas de Permeabilidad Lugeon y Lefranc

### 5.4.1. Ensayos Lugeon

Con el fin de obtener registros de la absorción de agua en los diferentes niveles de roca, se realizaron ensayos de inyección de agua a presión, Lugeon en todos los sondeos correspondientes. Se aplicó la norma IRAM 10532.

Para asegurar la correcta obturación del packer y evitar fugas de agua por el contacto aluvión - roca o zonas fracturadas de la roca alterada, estos ensayos se realizaron sobre roca sana.


Los ensayos se ejecutaron en tramos máximos de 5 m de longitud, y en los tramos ensayados donde la absorción de agua fue considerada alta, se repitió el ensayo en tramos de menor longitud, acotando los mismos a la zona con alta permeabilidad.

Para su realización se inyectó agua de manera continua utilizando 5 escalones de presiones efectivas, siendo dos ascendentes, una máxima y dos descendentes (Tabla 5.3). Los períodos de ensayo correspondieron a 10 min en c/u.

Tabla 5.3: Niveles de presión en ensayos de permeabilidad Lugeon

$P_{inicial} = 0,2 \text{ kg/cm}^2$
$P_{1ascendente} = 0,50 P_{max}$
$P_{2ascendente} = 0,75 P_{max}$
$P_{max} = 0,25 \text{ kg/cm}^2 \times \text{metro de profundidad}$
$P_{2descendente} = 0,75 P_{max}$
$P_{1descendente} = 0,50 P_{max}$
$P_{final} = 0,2 \text{ kg/cm}^2$

Al efecto de realizar los ensayos mencionados se utilizó un packer tipo Bimbar, sistema wire-line con obturador y sistema de inflado hidráulico. Para el registro de los volúmenes de agua inyectados y las presiones de inyección, se contó con un caballete compuesto por llaves de descarga, mangueras de alta presión, pulmón, manómetros y caudalímetros de precisión suficiente para obtener datos confiables de las

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 78 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

absorciones de agua en el tramo de sondeo ensayado. Con el objetivo de obtener una mejor calidad en las lecturas, se utilizaron dos manómetros conectados en serie de 10 bar y 25 bar.

Es importante destacar que para el cálculo de las presiones efectivas se utilizó en los ensayos realizados en los sondeos (PRK 01, PRK 02, PRK 03 y PRK 07 bis), un factor de 0,25 kg/cm<sup>2</sup> por metro de profundidad. Posteriormente, debido a los resultados obtenidos en los primeros ensayos y por solicitud de la inspección de obra, el cálculo de la presión máxima fue de 0,20 kg/cm<sup>2</sup> por metro de perforación hasta el techo de la cámara de ensayo, la carga hidráulica de la tubería también se consideró a la profundidad de inicio del tramo de ensayo y no se tuvo en cuenta la disminución por pérdida de carga.

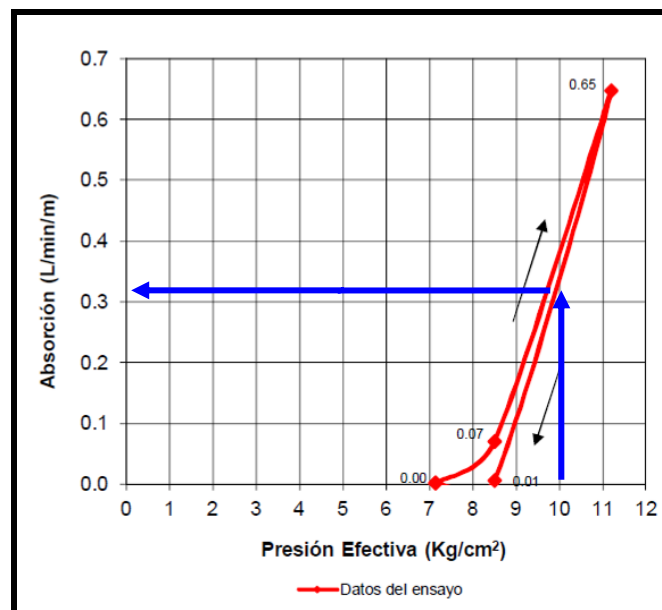
Los resultados se expresan en unidades Lugeon (UL), donde 1 Lugeon es una unidad equivalente a 1 litro por minuto por metro a una presión de 10 kg/cm<sup>2</sup>. Empíricamente se acepta que 1UL es aproximadamente igual a 10<sup>-5</sup> cm/seg.

Las unidades Lugeon se evaluaron con la siguiente fórmula:

$$UL = [\text{absorción (l/min/m)} / \text{Presión efectiva (kg/cm}^2\text{)}] \times 10$$

Con los datos obtenidos, se confeccionó la curva Absorción (l/min/m) – Presión (Kg/cm<sup>2</sup>).

En todos los casos la definición del valor de UL se realizó gráficamente. En los ensayos cuya presión máxima excedió la presión de referencia de 10 kg/cm<sup>2</sup>, la definición gráfica del UL consistió en determinar la absorción correspondiente a esa presión medida directamente en la curva del ensayo (Figura 5.3).



**Figura 5.3: Determinación del UL en ensayos con presión máxima > 10 kg/cm<sup>2</sup> (ej. 0,33UL)**

En los ensayos cuya presión máxima no alcanza la presión de referencia de 10 kg/cm<sup>2</sup>, la definición gráfica del UL consistió en extender la tendencia de la curva gráfica hasta la presión de 10 kg/cm<sup>2</sup> (Figura 5.4).

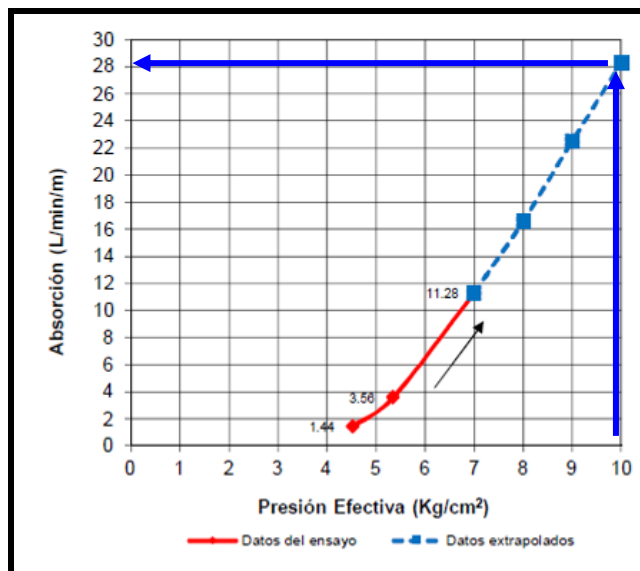


Figura 5.4: Determinación del UL en ensayos con presión máxima <10 kg/cm<sup>2</sup>

Se ejecutaron en total 160 ensayos de permeabilidad Lugeon (Tabla 5.1 y Tabla 5.2)

De acuerdo con la propuesta de *Deere*, la permeabilidad, en unidades Lugeon, puede clasificarse de la siguiente manera (Tabla 5.4):

Tabla 5.4: Clasificación de permeabilidad propuesta por *Deere*


UL	Absorción
Menor 0.5	Muy baja
0.5-1	Baja
1-3	Moderada Baja
3-5	Moderada Alta
5-8	Alta
Mayor 8	Muy Alta

Del total de ensayos válidos (147) ejecutados, el 59% presentó permeabilidad menor que 1 UL. El 12% presentó permeabilidad entre 1 y 3 UL, el 2% entre 3 y 5 UL, 2% entre 5 y 8 UL y el 25% mayor que 8 UL (Tabla 5.5). Esto quiere decir que el 73% de los macizos ensayados presentan baja permeabilidad y el 27% alta permeabilidad.

Se observa, en la Tabla 5.5, que los ensayos con las mayores absorciones se sitúan en la zona de la Toma (PRK 03 y 3bis), Central (PRK 04), canal de aducción (PRK 23 y 24) y rápida del vertedero (PRK 15).

Los ensayos realizados en el eje del muro colado, mostraron muy baja a baja permeabilidad (PRK 18, 11, 12, 13, 14, 16 y 19).



	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 80 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

**Tabla 5.5: Ensayos Lugeon en sondeos agrupados según la Clasificación de permeabilidad propuesta por Deere**

Sondeos	Ensayo Lugeon (UL)				
	<1	1-3	3-5	5-8	>8
PRK1	3				
PRK2	1	1		1	1
PRK3		2			2
PRK3 Bis		1			7
PRK4	2	1		1	6
PRK5	11	1	1		
PRK 5 bis	11	1	1		
PRK6	3	1			2
PRK7	2	1			
PRK 7 bis	1	2			
PRK8	3		1		
PRK9	3	1			
PRK10	3				1
PRK11	3				
PRK12	5				
PRK13	4				
PRK14	2				
PRK15	2				6
PRK16	3				
PRK17	2	1			
PRK18	3			1	1
PRK19		1			
PRK19 bis	2				
PRK20	1	1			
PRK22	4	1			
PRK23	4				7
PRK24	6				2
SAK1					1
SAK7	1				
SAK19	1	2			
SAK21bis		1			

En la Tabla 5.6 se muestran los resultados de las campañas antecedentes también agrupados según las clases de permeabilidad propuestas por *Deere*. Se observa coherencia con los resultados obtenidos en la campaña 2015 en el sentido que el 77% presentó permeabilidad menor que 1 UL. El 9% presentó permeabilidad entre 1 y 3 UL, el 5% entre 3 y 5 UL, 1% entre 5 y 8 UL y el 8% mayor que 8 UL (Tabla 5.7). Esto quiere decir que el 91% de los macizos ensayados presentan baja permeabilidad y el 9% alta permeabilidad. Se destaca que las perforaciones con mayores absorciones se ubican en la parte alta de la margen izquierda y que en el sector del muro colado la permeabilidad es menor que 1 UL.

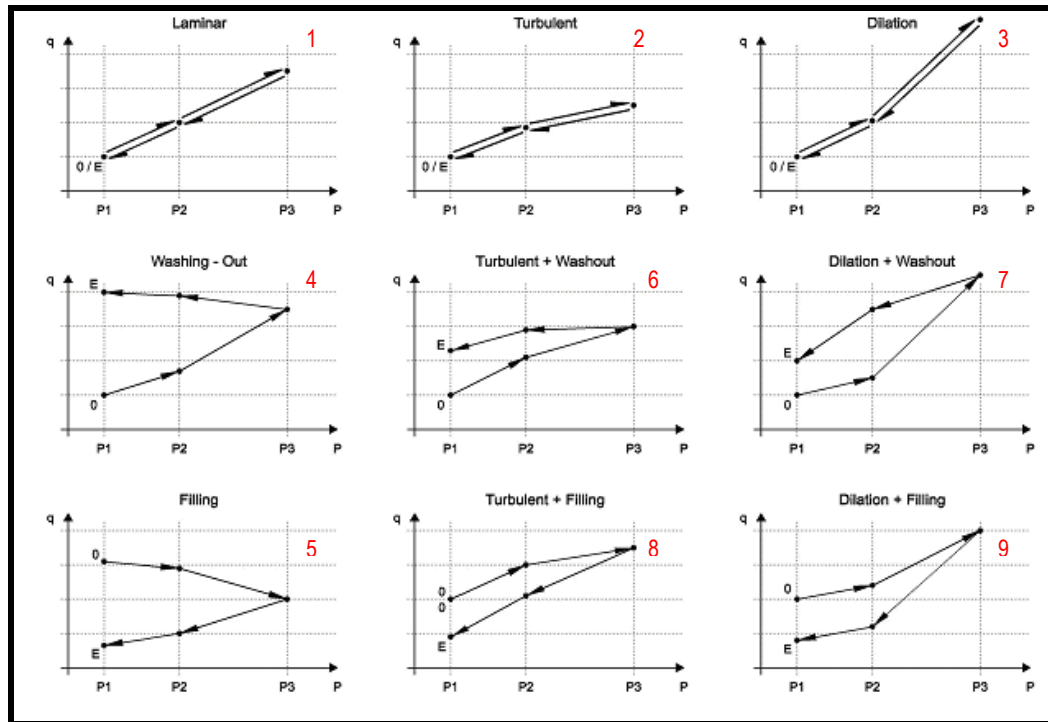
**Tabla 5.6: Ensayos Lugeon ejecutados en las campañas anteriores agrupados según la Clasificación de permeabilidad propuesta por Deere.**

Sondeos	Ensayo Lugeon (UL)				
	<1	1-3	3-5	5-8	>8
CC 1	2				
CC 3	3				
CI 01	8		1		
CI 02	2		1	1	
CI 03	5				1
CI 04	5	1			1
CI 05	2				2
CI 06	2				2
CI 07	3			1	
CI 08	3				2
CI 09	5				1
CI 10	3				1
CI 11	8	1	1		
CI 12	4				
CI 13	4				
CI 14	10				
CI 15	2	1	1		
CI 18	6	1			
CI 19	7				
CI 20	6	1			
CI 21	2	1	1		2
CI 22	7	1		1	1
CI 23	4				
CI 27	5				
CI 30	7				
CI 31	2	1			
CI 32	10				1
CD 1	2				
CD 3	8		1		
CD 4	7	3			
CD 5	6	1	1		
CD B	1	1			
CD D	4				
K 01	6	1	3		2
K 02	9				
K 03	5	2	1		
K 04	7				
K 15	4	2	1		3
K 18	5	2			
K 19	2				
K 20		2			

Otro dato importante referido al comportamiento mecánico del macizo rocoso cuando es sometido a un ensayo de inyección de agua, se obtiene del análisis de la forma de los gráficos absorción vs. presión efectiva. En general se consideran cinco casos típicos y que están ampliamente descriptos en la literatura técnica (Figura 5.5):

- Caso 1: Flujo laminar (*Laminar Flow*)
- Caso 2: Flujo turbulento debido a fracturas abiertas (*Turbulent Flow*)
- Caso 3: Expansión de la fractura en la roca o fractura hidráulica (*Dilation*)
- Caso 4: Lavado del relleno en las fracturas de la roca (*Washing-Out*)

- Caso 5: Taponamiento de las fisuras en la roca (*Filling*)



**Figura 5.5: Gráficas típicas de ensayos de permeabilidad Lugeon (tomado de la norma ISO/DIS 22282-3)**

Existen curvas con mecanismos combinados como el caso 6 de la Figura 5.5 que representa flujo turbulento con lavado de relleno, el caso 7 dilatación con lavado de relleno, caso 8 flujo turbulento con taponamiento y el caso 9 dilatación con taponamiento.

En la Tabla 5.7 se muestra la distribución de los diferentes comportamientos del macizo rocoso en los ensayos Lugeon deducidos de las curvas absorción vs presión efectiva. Los mecanismos más comunes fueron el de dilatación del macizo (26%), flujo turbulento (17%) y taponamiento (16%). No se identificaron procesos de lavado de rellenos y escasamente flujo laminar. Los casos mixtos con flujo turbulento representan el 17% y los mixtos con dilatación 16%.

En el capítulo de presentación detallada de los resultados, se discutirá el significado y la importancia de estos comentarios.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 83 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

**Tabla 5.7: Comportamiento del macizo durante los Ensayos Lugeon**

Sondeos	Ensayos Lugeon								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Laminar	Turbulento	Dilatación	Lavado relleno	Taponamiento	Turbulento y Lavado	Dilatación y Lavado	Turbulento y Taponamiento	Dilatación y Taponamiento
PRK1							2		
PRK2		1					1		
PRK3		3					1		
PRK3 Bis		2	4				1		
PRK4	2	2	3				2	3	
PRK5	3		2		2				
PRK6		1	4			1			
PRK7					3				
PRK 7 bis		1	1						
PRK8		1	1						
PRK9					3				
PRK10		1	1		1		1		
PRK11			2		1				
PRK12		2			1				
PRK13		1	2				1		
PRK14			2		2				
PRK15			1			4			1
PRK16			1		1			1	
PRK17			1		1				1
PRK18	1	1	1					1	1
PRK19	1								
PRK19 bis									2
PRK20									1
PRK22			1						
PRK23	2	1	2			2		1	1
PRK24		1			1			2	
SAK1		1							
SAK7					1				
SAK19					1		2		
SAK21bis									1

#### 5.4.2. Ensayos Lefranc

Para medir la permeabilidad en el aluvión y/o en depósitos morrénicos presentes, se realizaron, en la campaña 2015, ensayos Lefranc conforme con la norma IRAM 10531 (Tabla 5.8).

Los ensayos se ejecutaron de manera descendente siempre dejando encamisada la perforación para evitar que eventuales derrumbes de las paredes perjudicasen el sondeo. Al momento de ejecutar el ensayo, la camisa era subida la altura requerida, por lo general 1 m, para dejar expuesto el material en el bulbo de ensayo. Los ensayos en su mayoría fueron del tipo carga constante, excepto en el sondeo SAK 02. Los equipos de ejecución y lectura fueron convenientemente calibrados para dar confiabilidad a los resultados.

El ensayo Lefranc consiste en aislar un tramo del macizo de suelo (cámara filtrante) y aplicar en él una carga hidráulica constante midiendo el volumen de agua infiltrada en intervalos de tiempo fijos hasta establecerse una velocidad de infiltración uniforme.

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 84 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

**Tabla 5.8: Resumen de Ensayos Lefranc - Campaña de Investigaciones 2015**

SONDEO	TIPO DE ENSAYO	PROFUNDIDAD m	COTA m	PERMEABILIDAD cm/s		FORMACIÓN GEOLÓGICA
SAK 01	Carga Constante	25,5-26,5	189,2-188,2	1,00E-01	3,80E-03	Till medio
	Carga Constante	39-40	175,7-174,7	1,10E-01	2,70E-03	till inferior arenoso
SAK 02	Carga Constante	29-30	112,9-111,9	1,40E-03		till inferior cohesivo
	Carga Variable	29-30	112,9-111,9	2,20E-05		till inferior cohesivo
	Carga Variable	37-41,6	104,9-100,3	7,40E-05		till inferior cohesivo
SAK 07	Carga Constante	25-28	193-190	4,40E-02	1,70E-03	Till medio
	Carga Constante	35-36	183-182	9,85E-02	2,80E-03	Till medio
	Carga Constante	48-49	170-169	9,80E-02	2,00E-03	till inferior arenoso
SAK 08	Carga Constante	36,15-37,15	94,05-93,05	2,50E-03		till inferior cohesivo
SAK 20	Carga Constante	37-38	195-194	4,70E-02	1,20E-03	Till medio
SAK 21	Carga Constante	23,5-24,5	178,7-177,7	2,50E-03		till inferior arenoso
	Carga Constante	37-40	165,2-162,2	4,90E-02	1,30E-03	till inferior arenoso
SAK 21bis	Carga Constante	29-30	173,3-172,3	1,00E-01	3,40E-03	till inferior arenoso

El coeficiente de permeabilidad del suelo se calcula de manera simple con alguna de las siguientes fórmulas extraídas de la norma IRAM 10531 (Figura 5.6):

$$k = Q \frac{1}{H \cdot C} \quad C = \frac{2\pi \cdot L}{\ln \frac{2L}{D}}$$

$$k = \frac{Q \cdot \ln (2L / D)}{2\pi \cdot H \cdot L}$$

donde:

**k = coeficiente de permeabilidad (cm/s)**

**Q = gasto (cm<sup>3</sup>/s)**

**H = carga hidráulica (cm)**

**C = coeficiente de forma (cm<sup>-1</sup>)**

**D = Diámetro interno camisa (cm)**

**h = Nivel de agua inicial desde BDP (cm)**

**hf = Nivel freático desde BDP (cm)**

**hNf = Nivel freático desde terreno natural (cm)**

**B = Altura de camisa sobre terreno (cm)**

**A = Longitud de la camisa (cm)**

**L = Longitud del bulbo (cm)**

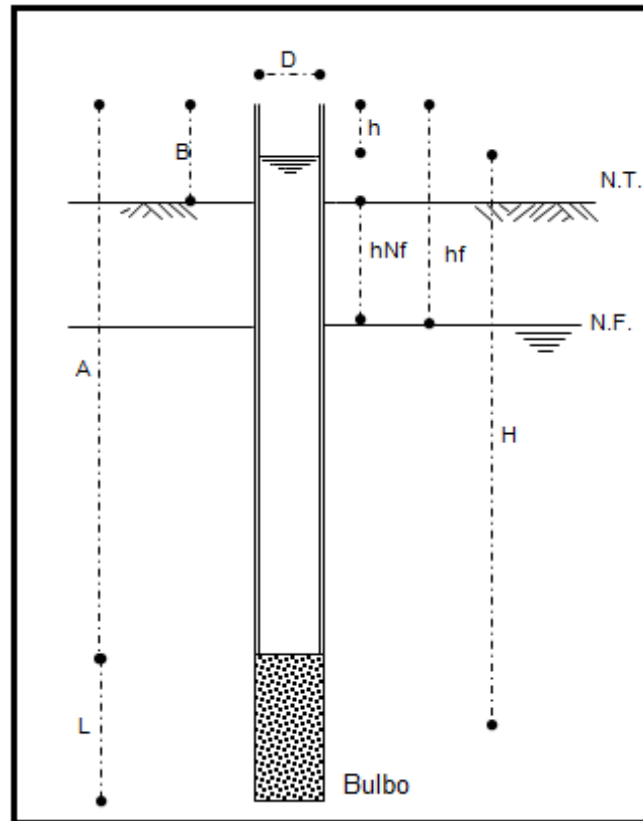


Figura 5.6: Parámetros geométricos del ensayo de permeabilidad Lefranc

Terzaghi y Peck (1967) proponen la clasificación de los suelos según sus coeficientes de permeabilidad (Tabla 5.9).

Tabla 5.9: Clases de permeabilidad de suelos según Terzaghi y Peck (1967)

Permeabilidad elevada o muy permeable	$>10^{-1}$ cm/s
Permeabilidad media o moderadamente permeable	$10^{-1}$ a $10^{-3}$ cm/s
Permeabilidad baja o poco permeable	$10^{-3}$ a $10^{-5}$ cm/s

Según Casagrande y Fadum, hasta una permeabilidad de  $10^{-4}$  cm/s lo considera buen drenaje (*good drainage*), estimando que para una mezcla de arena limpia y grava puede resultar un coeficiente de permeabilidad entre  $10$  y  $10^{-3}$  cm/seg.


El Manual de Suelos del *Navy Facilities de USA* señala en forma certera: “La permeabilidad o coeficiente de permeabilidad es el parámetro geotécnico que presenta mayores variaciones en su valor. La medición de la permeabilidad es altamente sensible a las condiciones naturales del suelo y a las condiciones de ensayo. Las dificultades inherentes a los ensayos *in situ* requiere de un gran cuidado para minimizar la fuente de errores y permitir ser correctamente evaluados y poder compensar posibles desviaciones.”

En la Tabla 5.10, donde se resumen los ensayos de permeabilidad ejecutados en los materiales morrénicos de la margen derecha de la presa, muestran que tanto el till medio como el till inferior muestran en general permeabilidad media variable en promedio entre  $7 \cdot 10^{-2}$  y  $2 \cdot 10^{-3}$  cm/s.

Durante la campaña de AyEE (1977-78) se ejecutaron los ensayos resumidos en la Tabla 5.10 y los ensayos realizados en la Campaña 2006 por ESIN-IATASA en la Tabla 5.11.

Tabla 5.10: Resumen de ensayos Lefranc - Campaña de investigaciones AyEE

SONDEO	TIPO DE ENSAYO	PROFUNDIDAD m	COTA m	PERMEABILIDAD cm/s	FORMACIÓN GEOLÓGICA
K1	Carga Constante	3	167,8	6,30E-02	Morrenas Margen Izquierda
K2	Carga Constante	3	120,6	1,90E-02	Aluvion rio Terr.Inf. MI
	Carga Constante	6	117,6	1,10E-02	
	Carga Constante	9	114,6	3,10E-02	
	Carga Variable	12	111,6	2,70E-04	
	Carga Constante	15	108,6	5,00E-04	
	Carga Constante	18	105,6	4,30E-02	
K3	Carga Constante	3	115,7	S/A	Aluvion rio Terr.Inf. MI
		6	112,7	S/A	
		9	109,7	6,30E-05	
		12	106,7	2,30E-05	
		15	103,7	2,40E-05	
		18	100,7	1,00E-03	
		21	97,7	4,30E-04	
		24	94,7	1,10E-02	
		27	91,7	2,50E-05	
		30	88,7	1,00E-04	
		33	85,7	6,20E-04	
K4	Carga Constante	36	82,7	2,30E-04	Aluvion rio Terr.Inf. MD
		6	126,2	2,70E-04	
		9	123,2	6,50E-04	
		12	120,2	1,90E-03	
		14,8	117,4	1,20E-03	
		18	114,2	2,50E-02	
		21	111,2	1,50E-04	
		24	108,2	S/A	
		31,5	100,7	5,20E-04	
		34,5	97,7	3,50E-04	
K5	Carga Constante	37,5	94,7	2,30E-04	Morrenas Margen Izquierda
		31	204,2	1,30E-03	
		34	201,2	2,10E-03	
		37	198,2	5,10E-05	
		40	195,2	4,80E-04	
		43	192,2	5,00E-04	
		46	189,2	1,40E-05	
		49	186,2	1,30E-05	
		52	183,2	4,00E-05	
		55	180,2	9,10E-06	
		59	176,2	3,80E-05	
62	173,2	1,60E-05			
65	170,2	4,80E-05			
68	167,2	4,00E-05			
K15	Carga Constante	3	117,7	1,40E-03	Aluvion Margen izquierda
		6	114,7	1,80E-05	
K18	Carga Constante	3	183	1,50E-05	Morrenas Margen Izquierda
		6	180	5,20E-05	
		9	177	3,90E-06	
		10	176	5,90E-06	
		13	173	2,90E-05	
		16	170	1,50E-05	
		23	163	8,60E-04	
K20	Carga Constante	27	159	1,40E-05	Morrenas Margen Izquierda
		3	196,2	2,20E-04	
		6	193,2	1,60E-04	
		9	190,2	4,40E-05	
		12	187,2	1,90E-04	
		15	184,2	6,00E-05	
		18	181,2	2,00E-06	
21	178,2	1,70E-05			
24	175,2	1,10E-05			

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 87 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

**Tabla 5.11: Resumen de ensayos Lefranc - Campaña de investigaciones 2006**

Muy Permeable ( $k > 10^{-1}$ cm/s)
Moderada Permeabilidad ( $k = 10^{-1}$ a $10^{-3}$ cm/s)
Permeabilidad baja ( $k = 10^{-3}$ a $10^{-5}$ cm/s)
Impermeable ( $k < 10^{-5}$ cm/s)

SONDEO	TIPO DE ENSAYO	PROFUNDIDAD	COTA	PERMEABILIDAD		FORMACIÓN GEOLÓGICA
		m	m	cm/s		
CI 01	Carga Constante	6,45	111,75	Alta absorción		Aluvion MI Lecho del rio
	Carga Constante	12,45	105,75	Alta absorción		
	Carga Constante	16,45	101,75	Alta absorción		
	Carga Constante	20,45	97,75	Alta absorción		
	Carga Constante	25	93,2	Alta absorción		
	Carga Constante	29	89,2	Alta absorción		
	Carga Constante	33	85,2	Alta absorción		
	Carga Constante	37,34	80,86	Alta absorción		
	Carga Constante	41,09	77,11	5,10E-02		
CI 02	Carga Constante	5	121,2	3,10E-01	4,80E-01	Aluvion Norte MI
	Carga Constante	9	117,2	7,40E-04	1,00E-03	
	Carga Constante	13	113,2	Alta absorción		
	Carga Constante	15	111,2	Alta absorción		
	Carga Constante	18,45	107,75	Alta absorción		
CI 03	Carga Constante	3	133,5	2,10E-02	2,40E-02	Morrenas MI eje muro
	Carga Constante	9,2	127,3	2,20E-03	2,90E-03	
	Carga Variable	5,9	130,6	3,10E-07		
CI 04	Carga Constante	3,7	127,3	7,30E-04	3,10E-04	Limite aluvión-morenas MI
	Carga Constante	5,4	125,6	2,90E-04		
	Carga Constante	8,2	122,8	5,20E-03	4,50E-03	
	Carga Variable	11	120	1,30E-06		
CI 05	Carga Constante	4,45	153,55	3,90E-02		Morrenas Eje muro MI
	Carga Constante	8,75	149,25	6,70E-03		
	Carga Constante	14,2	143,8	Alta absorción		
	Carga Constante	18,5	139,5	Alta absorción		
	Carga Variable	21,93	136,07	1,20E-05		
CI 06	Carga Variable	6,95	164,55	1,90E-04		Pie expansion Lateral
	Carga Variable	10,66	160,84	5,30E-05		
	Carga Variable	14,05	157,45	5,70E-05		
CI 07	Carga Constante	4,62	151,98	2,10E-02		Morrenas aguas arriba MI
	Carga Constante	9,32	147,28	6,80E-03	7,60E-03	
	Carga Constante	14,52	142,08	6,40E-03	7,30E-03	
	Carga Constante	18,65	137,95	2,20E-03	3,30E-03	
	Carga Variable	21,45	135,15	8,40E-06		
CI 08	Carga Constante	3	177	3,10E-02		Morrena MI - Pie Exp. Lateral
	Carga Constante	6	174	1,40E-02	1,60E-02	
	Carga Constante	9,15	170,85	5,20E-03		
	Carga Variable	12	168	5,00E-05		
	Carga Variable	15,15	164,85	1,75E-05		
	Carga Variable	17,63	162,37	2,70E-05		
	Carga Variable	21,25	158,75	4,80E-05		
CI 09	Carga Constante	5	235,9	4,30E-03	4,60E-03	Terraza basalto MI
	Carga Constante	11	229,9	7,60E-02		
	Carga Constante	15	225,9	Alta absorción		
	Carga Constante	19	221,9	Alta absorción		
	Carga Constante	28	212,9	Alta absorción		
	Carga Constante	32	208,9	Alta absorción		
	Carga Constante	36	204,9	Alta absorción		
	Carga Variable	40	200,9	4,80E-07		






CI 10	Carga Constante	4	181,2	2,00E-02	2,50E-02	Pie Expansión Lateral
	Carga Constante	7,1	178,1	2,30E-03	2,50E-03	
	Carga Constante	10,1	175,1	6,20E-04	1,10E-03	
	Carga Variable	13,1	172,1	7,90E-05		
	Carga Variable	12,18	173,02	9,50E-05		
	Carga Variable	20,75	164,45	5,20E-05		
CI 11	Carga Variable	25,85	159,35	3,10E-05		Grieta traccion expansión lateral
	Carga Variable	5,4	189,6	2,90E-05		
	Carga Variable	9	186	1,10E-04		
	Carga Variable	14,95	180,05	9,10E-05		
	Carga Variable	18,5	176,5	2,50E-05		
CI 12	Carga Variable	23,12	171,88	2,20E-06		Morrena MI - Pie Exp. Lateral
	Carga Constante	5,3	188	3,60E-02	5,20E-02	
	Carga Constante	12,65	180,65	5,60E-03	8,30E-03	
	Carga Variable	17,65	175,65	6,25E-05		
CI 13	Carga Variable	21,85	171,45	8,80E-06		Aluvion MI
	Carga Constante	4,45	116,75	Alta absorción		
	Carga Constante	8	113,2	7,30E-03	9,10E-03	
	Carga Variable	12	109,2	5,50E-06		
	Carga Constante	16	105,2	Alta absorción		
	Carga Constante	20	101,2	9,20E-02	9,60E-02	
CI 14	Carga Constante	24	97,2	Alta absorción		Aluvion MI
	Carga Constante	28,5	92,7	1,53E+00		
	Carga Constante	4,5	115,5	9,40E-02		
	Carga Constante	10,05	109,95	Alta absorción		
	Carga Constante	15,75	104,25	Alta absorción		
	Carga Constante	22,1	97,9	Alta absorción		
CI 15	Carga Constante	29,2	90,8	5,10E-01	6,40E-01	Aluvion MI
	Carga Constante	37	83	Alta absorción		
	Carga Constante	4	117,7	Alta absorción		
	Carga Variable	8	113,7	2,20E-05		
	Carga Constante	12	109,7	Alta absorción		
CI 18	Carga Constante	16	105,7	Alta absorción		Aluvion MI
	Carga Constante	20	101,7	Alta absorción		
	Carga Constante	4	123,1	Alta absorción		
	Carga Constante	8	119,1	Alta absorción		
CI 19	Carga Variable	12,03	115,07	3,10E-05		Aluvion MI
	Carga Variable	15,3	111,8	6,20E-07		
	Carga Constante	4	120,5	Alta absorción		
	Carga Constante	8	116,5	1,20E-02		
CI 20	Carga Constante	12	112,5	Alta absorción		Morrena MI Central
	Carga Variable	16,35	108,15	5,80E-07		
	Carga Constante	4	169,4	Alta absorción		
	Carga Constante	8	165,4	Alta absorción		
CI 21	Carga Variable	12	161,4	3,90E-06		Pie Expansión Lateral - Desliz
	Carga Variable	16	157,4	Impermeable		
	Carga Constante	4	210,9	Alta absorción		
	Carga Constante	8	206,9	Alta absorción		
CI 22	Carga Variable	12	202,9	2,70E-06		Morrena canal central
	Carga Variable	16,05	198,85	1,60E-04		
	Carga Constante	4	133,1	2,70E-02	3,20E-02	
CI 23	Carga Variable	15,8	121,3	Impermeable		Aluvion MI
	Carga Variable	12	125,1	Impermeable		
	Carga Constante	3	123	Alta absorción		
	Carga Constante	6	120	Alta absorción		
	Carga Constante	9	117	Alta absorción		
CI 27	Carga Constante	12	114	6,40E-02		Morrenas deslizamiento Cuenco
	Carga Variable	17,3	108,7	5,00E-05		
	Carga Constante	4	195,8	5,70E-01		
	Carga Constante	8	191,8	2,90E-02		
	Carga Constante	11,9	187,9	2,20E-02		
	Carga Constante	16	183,8	1,70E-02		
	Carga Constante	20,2	179,6	9,80E-03		
	Carga Variable	24,35	175,45	1,20E-05		
Carga Variable	28,35	171,45	Impermeable			
	Carga Variable	32,3	167,5	8,50E-06		



CI 30	Carga Constante	4	195,8	Alta absorción		Morr. MI Canal vertedero
	Carga Constante	8	191,8	5,60E-04		
	Carga Variable	12	187,8	Impermeable		
CI 31	Carga Constante	4	120,9	2,90E-02	3,10E-02	Aluvion MI
	Carga Constante	12,45	112,45	8,10E-04		
	Carga Constante	16,9	108	1,80E-02		
	Carga Constante	20,9	104	Alta absorción		
	Carga Constante	25,2	99,7	Alta absorción		
	Carga Constante	29,5	95,4	Alta absorción		
	Carga Variable	33,5	91,4	1,10E-04		
CI 32	Carga Constante	3	119,1	Alta absorción		Aluvion eje muro
	Carga Constante	6,2	115,9	6,30E-01	1,00E+00	
	Carga Variable	9,8	112,3	2,20E-05		
	Carga Constante	12,8	109,3	Alta absorción		
	Carga Constante	16,6	105,5	Alta absorción		
CC 01	Carga Constante	20,5	101,6	1,20E+00		Aluvión lecho rio
	Carga Constante	7,5	104,7	Alta absorción		
	Carga Constante	13,5	98,7	1,80E-01		
	Carga Constante	19,5	92,7	Alta absorción		
	Carga Constante	26,5	85,7	Alta absorción		
CC 03	Carga Constante	30,2	82	Alta absorción		Aluvión lecho rio
	Carga Variable	39,5	72,7	5,30E-05		
	Carga Constante	11	102,4	Alta absorción		
	Carga Constante	15	98,4	Alta absorción		
	Carga Constante	19	94,4	Alta absorción		
	Carga Constante	23	90,4	Alta absorción		
CD 01	Carga Constante	27	86,4	Alta absorción		Morrenas Terr. Alta MD
	Carga Constante	31	82,4	1,10E-01		
	Carga Constante	35,2	78,2	7,40E-02		
	Carga Constante	40	193,1	3,10E-03	3,40E-03	
	Carga Constante	43	190,1	Alta absorción		
	Carga Constante	48,5	184,6	2,36E-02		
	Carga Constante	54	179,1	Alta absorción		
	Carga Constante	59	174,1	Alta absorción		
	Carga Constante	63	170,1	2,70E-03	3,20E-03	
	Carga Constante	69	164,1	5,20E-03		
CD 03	Carga Variable	74,7	158,4	1,90E-05		Morrenas Terr. media MD
	Carga Variable	80,2	152,9	1,90E-06		
	Carga Variable	85,5	147,6	2,26E-06		
	Carga Constante	4	175,4	1,60E-02		
	Carga Constante	8	171,4	8,90E-03	1,02E-02	
	Carga Constante	12	167,4	5,10E-03	5,40E-03	
	Carga Constante	16	163,4	6,30E-03	6,80E-03	
	Carga Constante	20	159,4	5,10E-03	5,30E-03	
CD 04	Carga Constante	24	155,4	6,50E-03		Morrenas pie terr. MD eje
	Carga Constante	28	151,4	3,40E-02		
	Carga Variable	32,4	147	1,20E-05		
	Carga Constante	4	136,7	Alta absorción		
	Carga Constante	8	132,7	5,10E-01		
	Carga Constante	12,45	128,25	1,70E-02		
	Carga Constante	15,65	125,05	3,04E-01		
	Carga Constante	20,86	119,84	1,80E-04	3,20E-04	
CD 05	Carga Constante	25,25	115,45	6,10E-04		Morrenas pie terr. MD ag.ab
	Carga Constante	28,9	111,8	4,30E-03		
	Carga Variable	35,4	105,3	5,60E-05		
	Carga Constante	5	138,6	6,90E-01		
	Carga Constante	10	133,6	4,10E-03		
	Carga Constante	15	128,6	1,30E-02		
	Carga Constante	20	123,6	1,30E-02		
CDB	Carga Constante	25	118,6	6,30E-03		Morrenas pie terr. MD ag.arr
	Carga Constante	28,95	114,65	2,50E-04		
	Carga Variable	31,15	112,45	Impermeable		
	Carga Constante	4	138,3	Alta absorción		
	Carga Constante	8	134,3	Alta absorción		
	Carga Constante	14,45	127,85	Alta absorción		
	Carga Constante	16,15	126,15	Alta absorción		
	Carga Constante	20,2	122,1	Alta absorción		
CDD	Carga Constante	24	118,3	Alta absorción		Morrenas Terraza alta
	Carga Constante	28	114,3	Alta absorción		
	Carga Constante	32	110,3	5,40E-04		
	Carga Constante	36	106,3	1,60E-03		
	Carga Constante	49,2	188,4	6,10E-02	6,60E-02	
CDD	Carga Constante	64	173,6	7,60E-05	2,40E-04	Morrenas Terraza alta
	Carga Variable	54	183,6	3,30E-05		
	Carga Variable	60	177,6	3,80E-06		
	Carga Variable	69,5	168,1	2,40E-06		

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 90 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

## 5.5. Estudios Geofísicos - Velocidad de Onda de Corte por el Método MASW

### 5.5.1. General

Con el propósito de obtener parámetros geotécnicos dinámicos para el diseño del muro colado y la fundación de la presa, se ejecutaron 27 sondeos geosísmicos *MASW* (*Multichannel Spectral Analysis of Surfaces*) en la margen derecha y 22 sondeos en la margen izquierda, para la medición de la velocidad de corte del aluvión y la roca (Anexo 03).

Estos ensayos de análisis espectral de ondas de superficie permiten la determinación de la rigidez dinámica de los suelos y estimar la densidad relativa de las gravas, medida a través de la velocidad de las ondas de corte  $V_s$  en profundidad.

En el Anexo 05 se presenta el informe “Determinación Experimental del Perfil de Ondas de Corte del Suelo con el Método “*MASW*” Sitio de Emplazamiento de la Presa Nestor Kirchner Provincia de Santa Cruz” realizada por la empresa ENDEIC SRL, con los resultados de este estudio.

### 5.5.2. Procedimiento de Ensayo

Los ensayos citados consisten en registrar el paso de la onda superficial generada mediante un impacto en la superficie del suelo. Los puntos de medición se encuentran separados entre sí una distancia cuya magnitud “ $d$ ” es del mismo orden que al de la profundidad de los suelos cuyas propiedades pueden ser detectadas con el ensayo. El impacto se realiza mediante el accionamiento del balde de carga de una retroexcavadora que se golpea contra el suelo.

El impacto se efectúa en un punto colineal con los puntos de medición a una distancia del mismo orden que “ $d$ ” desde el sensor más cercano. Se utilizan distintas distancias “ $d$ ” para determinar las propiedades de los suelos en el rango de profundidades de interés.

Una vez adquiridos los registros del paso de la onda superficial, se realiza un análisis en el dominio de las frecuencias. Este análisis determina la diferencia de fase o desfase existente entre los puntos de medición para cada frecuencia  $f$ . De esta manera se calcula la velocidad de fase de la onda superficial  $V_R$  para cada frecuencia de análisis mediante la siguiente expresión.

$$V_R = \frac{2 \cdot \pi \cdot d \cdot f}{\phi_{12}^c}$$

Donde el denominador es la diferencia de fases corregida. Además se determina la longitud de onda correspondiente a la velocidad de fase  $V_R$  mediante la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{2 \cdot \pi \cdot d}{\phi_{12}^c}$$

Esto permite la construcción de la curva de dispersión entre  $V_R$  y  $\lambda$  de las fórmulas precedentes.

Para determinar el perfil de rigidez de los suelos en el sitio de estudio, se construye un modelo teórico de propagación de ondas del suelo, al cual se le determina su curva de dispersión teórica la que se compara con la determinada experimentalmente (Figura 5.7). Las propiedades de los suelos expresada por  $V_s$  en el modelo teórico son ajustadas en forma iterativa de manera tal que la curva de dispersión experimental y analítica finalmente coincidan. Las propiedades de suelos que ajustan la curva de dispersión experimental, son las que mejor representan las condiciones del sitio, obteniéndose entonces la variación de la rigidez dinámica de los suelos en profundidad.

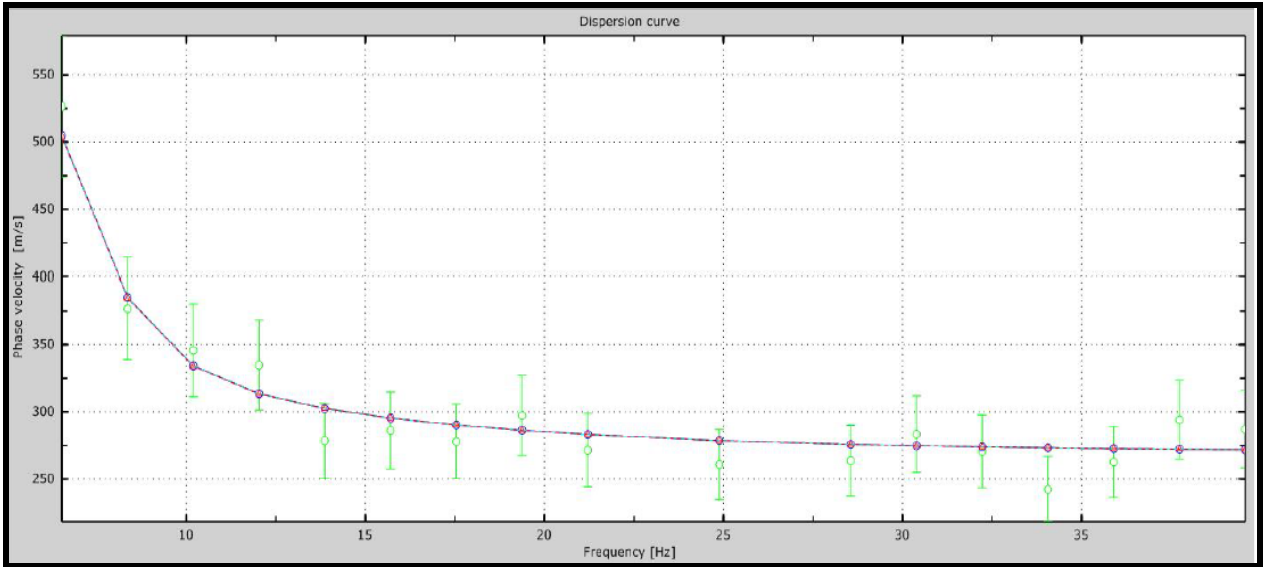


Figura 5.7: Curva de dispersión analítica experimental y su ajuste con la curva teórica.

Para cada perfil se obtiene un gráfico de variación de la velocidad de onda de corte  $V_s$  en profundidad como la mostrada en la Figura 5.8.

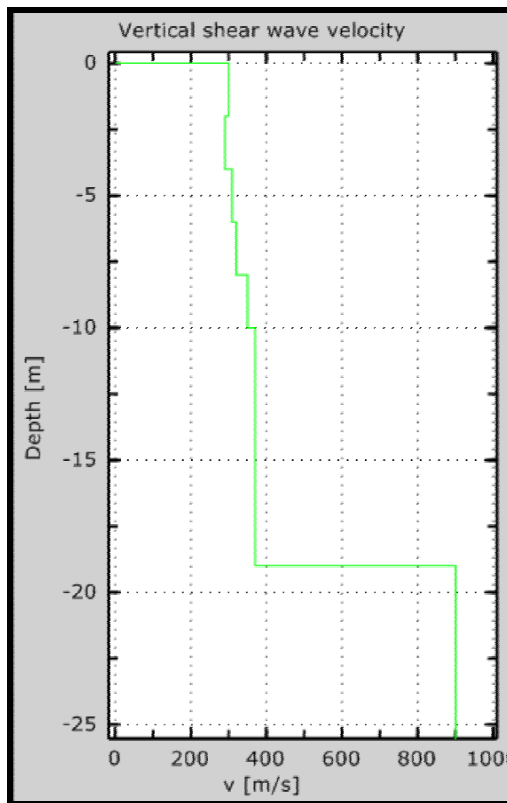



Figura 5.8: Variación de  $V_s$  en función de la profundidad

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 92 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

Conocido el valor de  $V_s$ , el módulo elástico dinámico del suelo para pequeñas deformaciones  $E$  puede ser obtenido de la expresión:

$$E = 2(1 + \nu) \rho (V_s)^2$$

En esta ecuación se puede apreciar que los valores de  $E$  asociados a los valores extremos del coeficiente de *Poisson* ( $\nu$ ) entre 0,2 y 0,5 se encuentran entre 2,4 a 3 veces del valor de  $(V_s)$ , es decir que la máxima variación posible es del 20%. Aún si se tomara un coeficiente de *Poisson* de 0,32, la diferencia entre ese valor genérico y los otros límites elásticos físicos sería del 10% solamente.

Algo similar sucede con el valor de la densidad del suelo ( $\rho$ ) a utilizar en la ecuación para calcular  $E$ . Esta depende del tipo de suelo y de la humedad y si bien presenta incertidumbres, la influencia es lineal, es decir que entre un valor genérico de la densidad y los valores extremos posibles, la influencia de este parámetro se mantiene acotada si se utilizan los datos disponibles de otro tipo de ensayos.


### 5.5.3. Ubicación de los perfiles

En el plano NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P002 (Anexo 03) se muestra la ubicación de los perfiles. En la Figura 5.9 se muestran los perfiles ejecutados en la margen derecha, comprendiendo aquellos en el cauce del río para estudiar la compacidad de los aluviones para ser considerados para el proyecto de la pantalla y aquellos perfiles hechos en el till para analizar su compacidad en donde encastrara la pantalla y el muro de la presa.



Figura 5.9: Perfiles *MASW* en margen derecha

En la Figura 5.10 se muestran los perfiles *MASW* ejecutados en la margen izquierda en el cauce y aquellos realizados en la trinchera de exploración para analizar los parámetros  $V_s$  de la roca con aquellos ejecutados en la terraza aluvial para evaluar las propiedades de los aluviones, a la vez de obtener los módulos dinámicos y de rigidez de este macizo.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 93 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

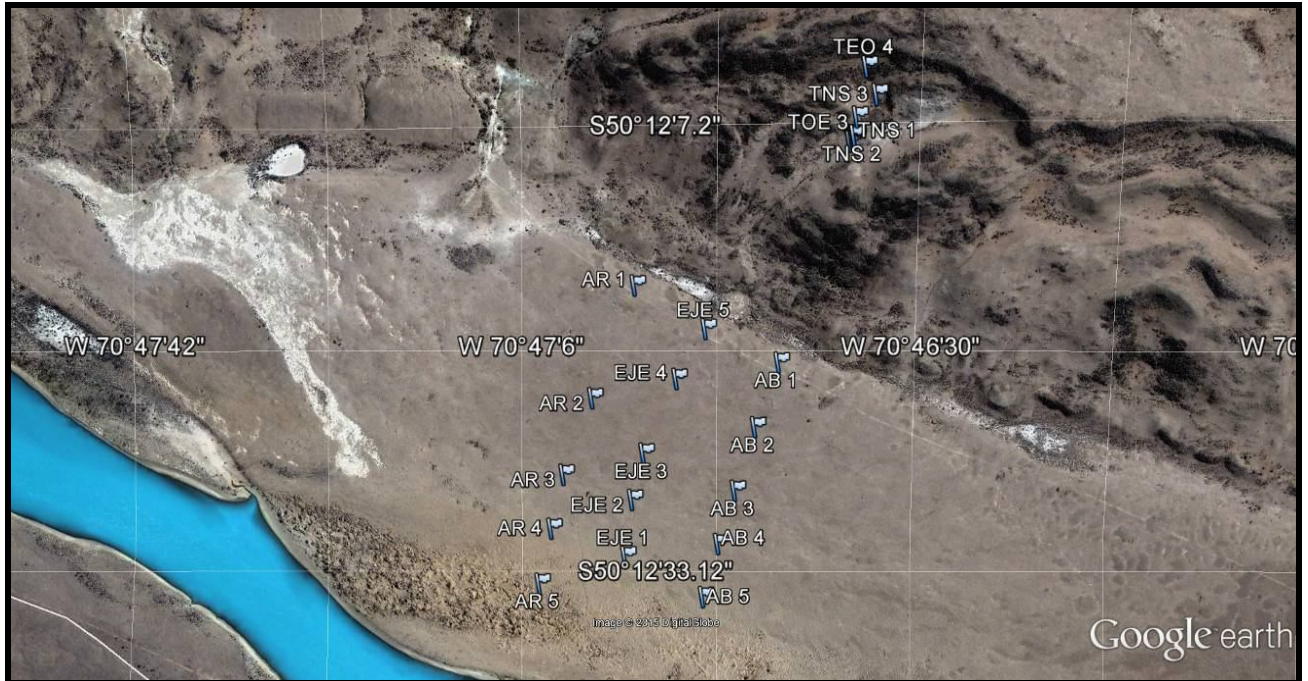


Figura 5.10: Perfiles MASW en margen izquierda

#### 5.5.4. Resultados

Los resultados originales se presentan en el Anexo 05.

Para poder evaluar las propiedades geotécnicas de los materiales aluvionales y fluvio glaciales, es necesario normalizar los resultados de  $V_s$  con relación a la profundidad, de manera de obtener  $V_{s1}$ .

Esto se logra mediante la expresión:

$$V_{s1} = V_s \times C_v = V_s \times \left( \frac{P_a}{\sigma'_v} \right)^{0,25}$$

donde:

**$C_v$ :** es el factor para normalizar con relación a la presión de tapada.

**$P_a$ :** es la presión atmosférica de referencia.

**$\sigma'_v$ :** presión efectiva de la tapada

El sentido de normalizar las velocidades  $V_s$  está relacionado con la necesidad de poder obtener una propiedad de cada grava en función de características de la misma, lo cual implica eliminar la influencia de la presión confinante en el valor de  $V_s$ . Esto permite poder comparar depósitos granulares diferentes profundidades.

La  $V_{s1}$  está relacionada con la densidad relativa de los suelos granulares, especialmente arenas limpias, tal como lo dejaron de manifiesto *Andrus et al* (2004) y *Yi* (2010) (Figura 5.11). La Figura muestra la relación obtenida en arenas limpias de distintos lugares del mundo, entre la  $V_s$  normalizada ( $V_{s1}$ ), la densidad relativa ( $D_r$ ) y el valor  $N_{spt}$ . Este tipo de enfoque se emplea para estudiar el potencial de licuación de arenas, donde se divide los suelos que son contractivos ( $D_r < 70\%$ ), de los que son dilatantes ( $D_r > 70\%$ ). Se observa que el límite de comportamiento contractivo-dilatante se presenta en una faja de  $V_{s1}$  entre 150 y 250 m/s. Se

observa allí que cuando  $V_{s1} > 250$  m/s, la Densidad Relativa alcanza alrededor del 100%. Si se toman en cuenta los resultados del crosshole del sondeo PRK 16 en la margen derecha abarcando aluvión y till inferior, los valores reportados tanto de  $V_s$  como de  $V_p$  son diferencialmente bastante más altos que los obtenidos con MASW. Los mismos sirven para afianzar la idea de que estamos en un macizo compacto.

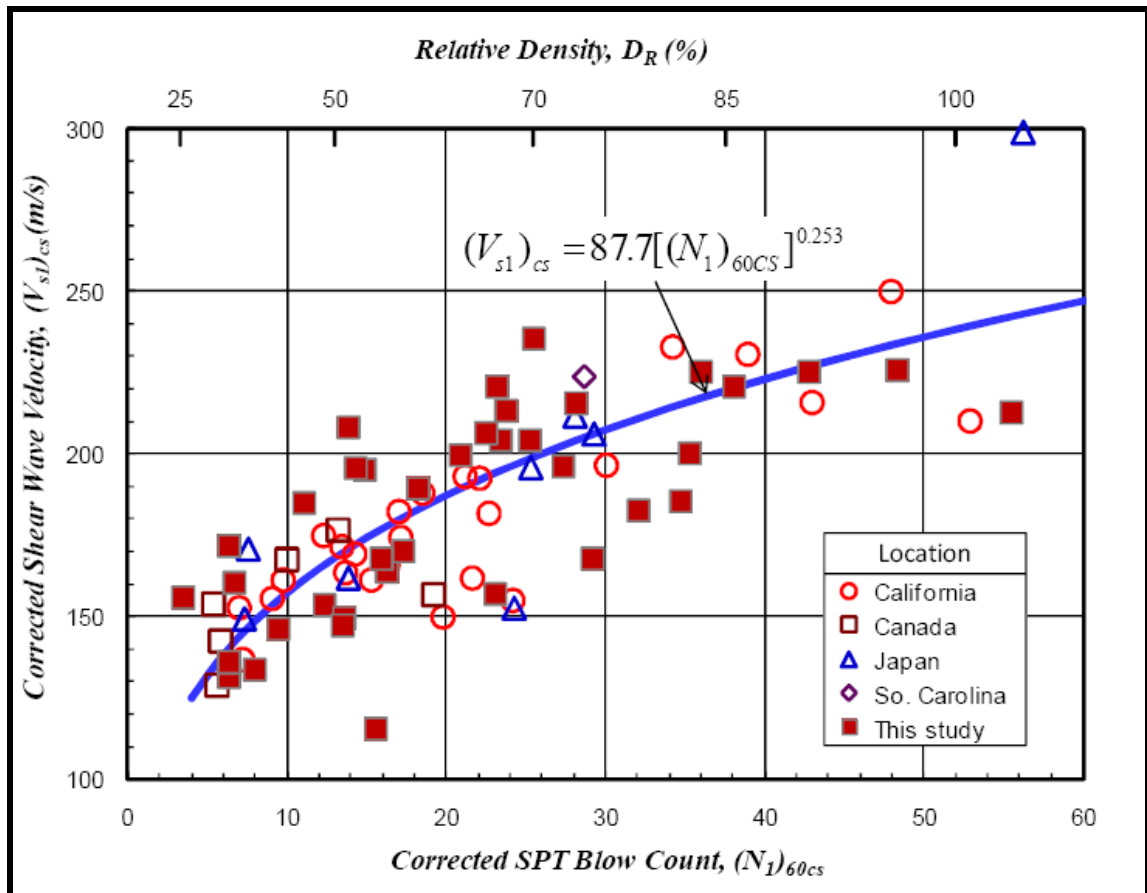


Figura 5.11: Correlación entre  $V_{s1}$ ,  $N_1$  y Densidad Relativa (Andrus 2004, Yi 2010)

En el caso de gravas, las correlaciones son menos claras y son dependientes de las características del origen de las mismas tal como lo dejó expresado *Bolognesi et al* (1997) a partir de estudios realizados en las gravas de Alicurá, Pichi Picun Leufú y Michihuao. Concluyeron que para establecer correlaciones entre estas gravas, era necesario normalizar  $V_s$  a una presión efectiva de confinamiento. Las correlaciones establecidas entre  $V_{s1}$  y la relación de vacíos ( $e$ ) y/o la densidad relativa  $D_r$  muestran una gran variabilidad (del orden de 1000%) confirmando "que el conocimiento de la velocidad de las ondas de corte en gravas no permite decisiones prácticas basadas solamente en el mismo". Consecuentemente, es necesario realizar mediciones de compacidad de los distintos tipos de estratos granulares.

Para los suelos con comportamiento granular, en especial gravas y arenas, la resistencia al corte está determinada por la compacidad de los mismos, ya que se aumentan los puntos de contacto entre partículas y permite transmitir mejor las solicitaciones. Esto ha llevado a la formulación de la carta de la Figura 5.12, donde se muestra la relación entre el ángulo de fricción interna efectivo de suelos granulares y la Densidad Relativa. En esta carta se puede observar que para cualquier grava, GP o GW, cuando se alcanza la  $D_r = 100\%$ , el ángulo de resistencia interna es superior a  $40^\circ$ .

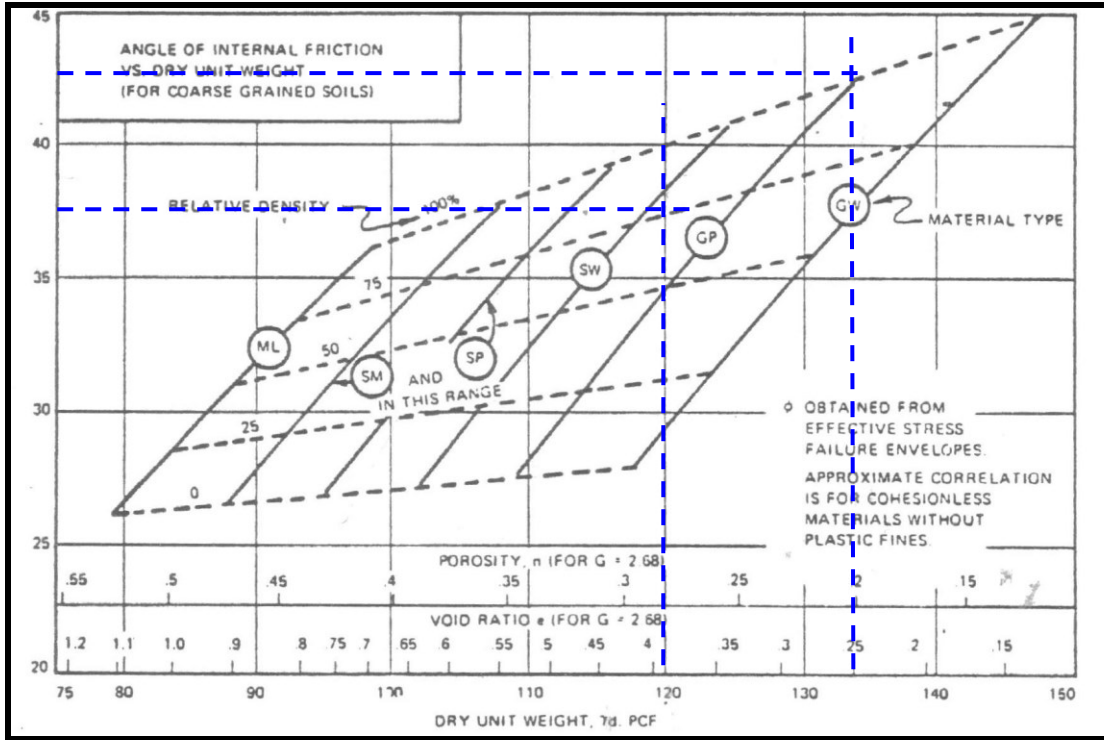


Figura 5.12: Correlación entre el ángulo de fricción en compresión triaxial y la densidad relativa, tamaño de grano y gradación (DM-7). 1 PCF = 16.01 kg/m<sup>3</sup>.

En el Anexo 06 se presentan los resultados normalizados de la velocidad de corte  $V_s$  obtenida en los perfiles divididos en los perfiles de margen derecha y margen izquierda.

Las Figura 5.13 y Figura 5.14 presentan la variación de la  $V_s$  y  $V_{s1}$  en función de la cota para los perfiles de margen derecha.

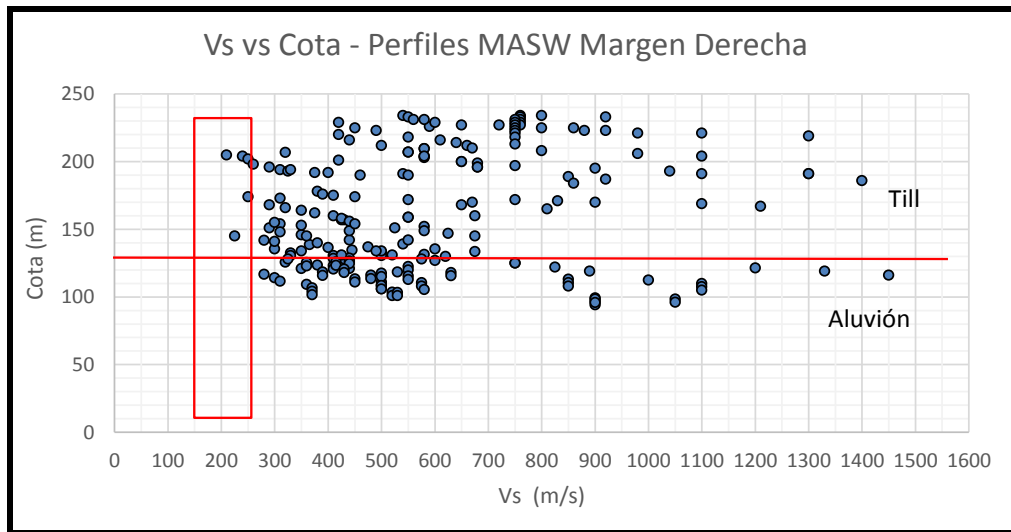

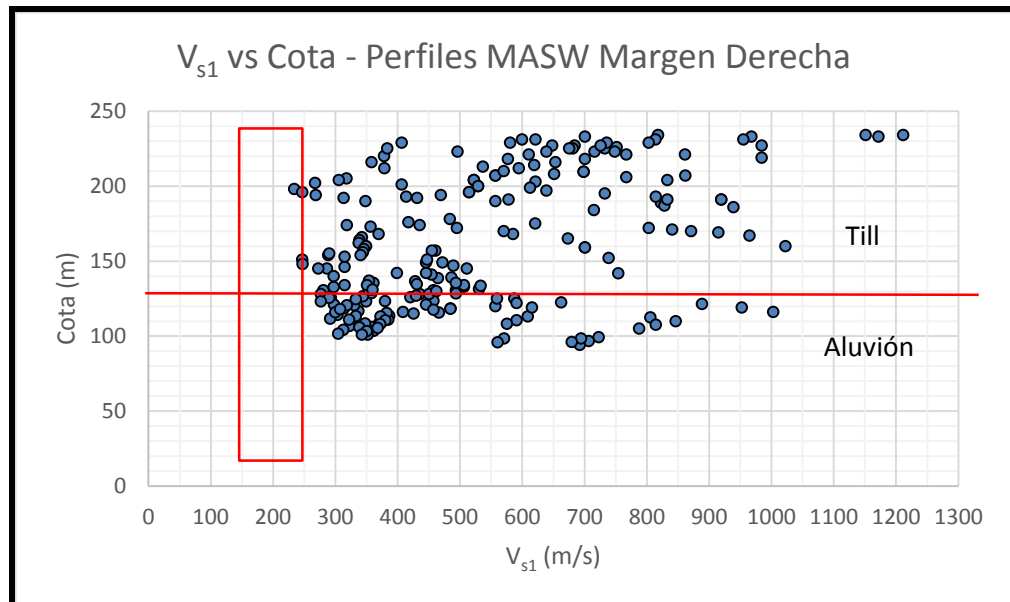


Figura 5.13: Correlación entre los valores medidos de  $V_s$  con la técnica MASW y la cota – Perfiles de margen derecha



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 96 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902



**Figura 5.14: Correlación entre los valores medidos de  $V_{s1}$  con la técnica MASW y la cota – Perfiles de margen derecha**

En ambas figuras se ha representado la faja de variación de la  $V_s$  entre 150 m/s y 250 m/s como siendo la faja de variación de suelos granulares con  $D_r > 70\%$ . También se representó una línea en cota 130 m separando los ambientes aluvional, asociados a la acción fluvial del río Santa Cruz, del ambiente fluvio-glacial donde se encuentran los depósitos de till. Los depósitos glaciales a su vez pueden subdividirse en el till inferior entre cotas 130 msnm y 175 msnm, till intermedio entre cotas 175 y 220 m y por encima de éstos el till superior.

En general, se puede observar que casi no existen depósitos contractivos, es decir con  $V_{s1}$  inferiores a 200 m/s. Esto asegura que al menos los materiales granulares tienen una  $D_r > 70\%$ .

Los ensayos para determinar la densidad *in situ* del till entre cotas (42 msnm y 215 msnm, muestran valores que oscilan entre 1,95 t/m<sup>3</sup> y 2,13 t/m<sup>3</sup>. Si se emplea la carta de la Figura 5.12, para el rango densidades naturales y de  $D_r$  entre 75 % y 100 %, se puede inferir que el ángulo de fricción interna puede variar entre 34° y 44°.

En las Figura 5.15 y Figura 5.16 se han representado los resultados de  $V_s$  en función de la cota de los perfiles MASW realizados de la margen izquierda. En ambas figuras se observan dos agrupaciones de datos claramente diferenciados en cota, el de cotas superiores correspondientes a depósitos de till y roca alterada de la zona de la trinchera exploratoria y los de cotas inferiores correspondientes a los depósitos aluviales del río.

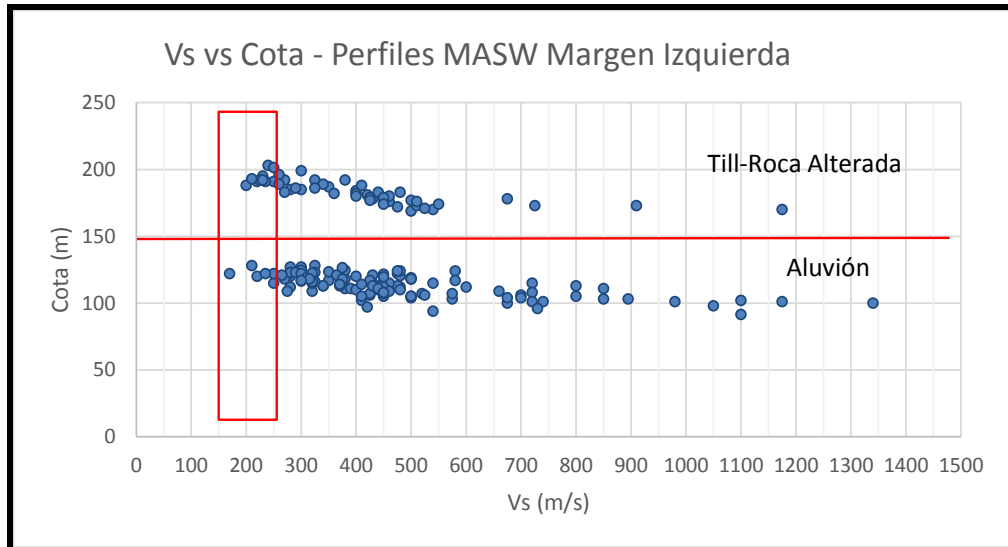


Figura 5.15: Correlación entre los valores medidos de  $V_s$  con la técnica *MASW* y la cota – Perfiles de margen izquierda.

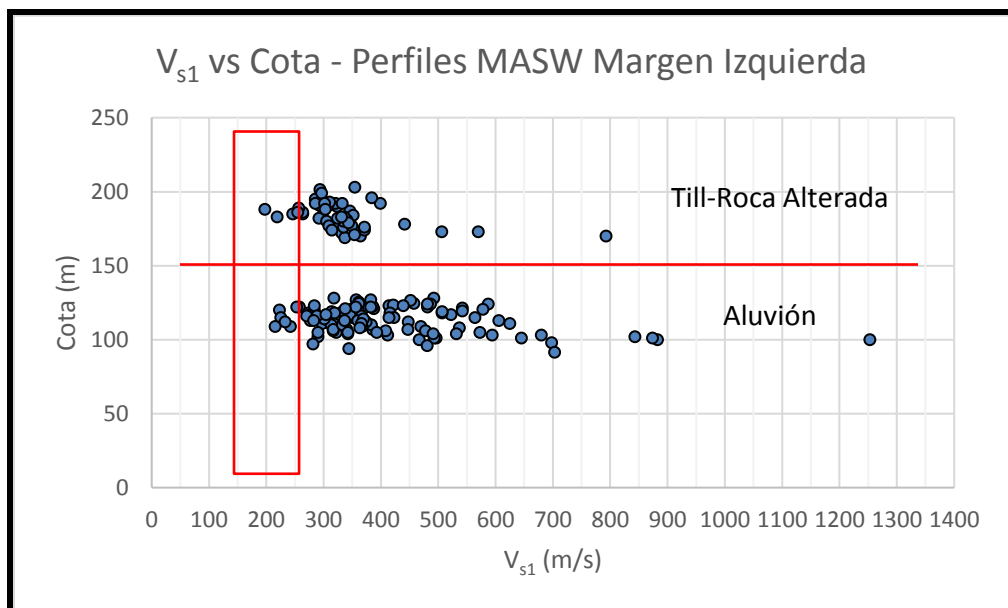


Figura 5.16: Correlación entre los valores medidos de  $V_{s1}$  con la técnica *MASW* y la cota – Perfiles de margen izquierda.

## 5.6. Ensayos Geofísicos - Crosshole

Con el objetivo de medir las propiedades dinámicas de los aluviones y de la roca de fundación del muro colado, se ejecutó una campaña de ensayos crosshole a finales del 2015. Esta campaña sirvió de complemento a la ejecutada con anterioridad en la campaña del año 2006.

En la Figura 5.17 se muestra la ubicación de los sondeos donde se ejecutaron los ensayos crosshole tanto en la campaña 2006 como en la de 2015 y en la Tabla 5.12 el detalle de los mismos.

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 98 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

**Tabla 5.12: Sondeos donde se ejecutaron ensayos *crosshole***

Campaña	Sondeo	Profundidad	Separación	Estructura
		del sondeo	entre sondeos	
		m	m	
2006	CC1-CC2	40	4,8	Aguas arriba muro colado
	CI1-CC4	40	3,8	Fundación presa
	CD2-CD3	38	4,6	Eje muro Colado
	CI31-CI33	28	4,4	Canal salida de la Central
2015	PRK 10	35	3	Eje muro Colado
	PRK 11	30	3	Eje muro Colado
	PRK 12	35	3	Eje muro Colado
	PRK 13	50	3	Eje muro Colado
	PRK16	55	3	Eje muro Colado

### 5.6.1. Metodología

Los módulos dinámicos de suelos y rocas se basan en la determinación de las velocidades de propagación de las ondas elásticas de compresión y de corte a distintas profundidades. La caracterización dinámica de los suelos permite obtener los Parámetros Elásticos Dinámicos de los materiales en las condiciones naturales en los que se encuentran en el subsuelo.

Tanto las ondas de compresión (ondas P) como las de corte (ondas S) son ondas de cuerpo que se propagan por el interior de los cuerpos sólidos, una, las ondas P, en dirección de la propagación de la onda, mientras que las ondas S en la dirección perpendicular a la misma. Por esto es que las velocidades de las ondas S son siempre menores que las de la onda P. Las velocidades de onda se obtienen por cálculo, midiendo las distancias entre receptores y emisores ubicados dentro de las perforaciones y los tiempos de viaje correspondientes con un equipo de registración de impulsos sísmicos.

Al no depender de la presencia de agua y del grado de saturación de los materiales, el dato de la velocidad de las ondas de corte es más representativo de los materiales de fundación que la velocidad de onda compresional y se correlaciona mejor con otros parámetros que se obtienen en los ensayos estandarizados.

Los métodos basados en la propagación de ondas mecánicas tienen la limitación de que los parámetros obtenidos se deducen a partir de fenómenos de muy bajas deformaciones relativas es decir dentro del comportamiento elástico. Sin embargo son usados ampliamente en la correlación con otros ensayos realizados en el sitio o en Laboratorio. En la Figura 5.17 se muestran las perforaciones usadas para ensayos cross hole tanto de la campaña 2006 como de la campaña 2015, cuyos resultados se muestran en títulos siguientes.

El ensayo crosshole esta normalizado por la ASTM D-4428 y tiene como objetivo la medición de las velocidades de propagación de las ondas P y S entre dos perforaciones contiguas distanciadas de 3 a 5 m entre sí (Figura 5.18).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 99 de 389

Doc. N°  
NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

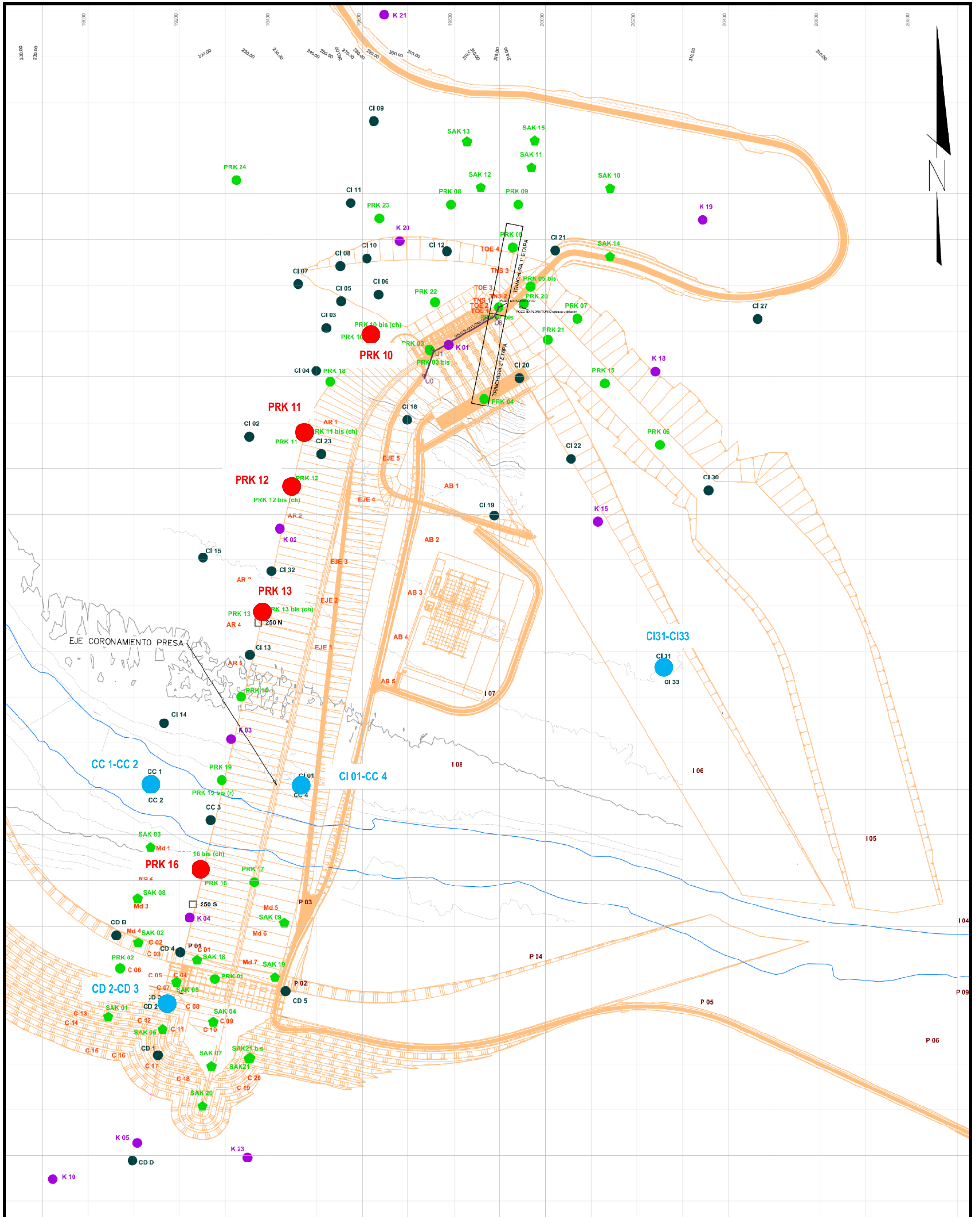


Figura 5.17: Ubicación de los sondeos con ensayos crosshole. En azul los crosshole de la campaña 2006 y en rojo los de la campaña 2015



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 100 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

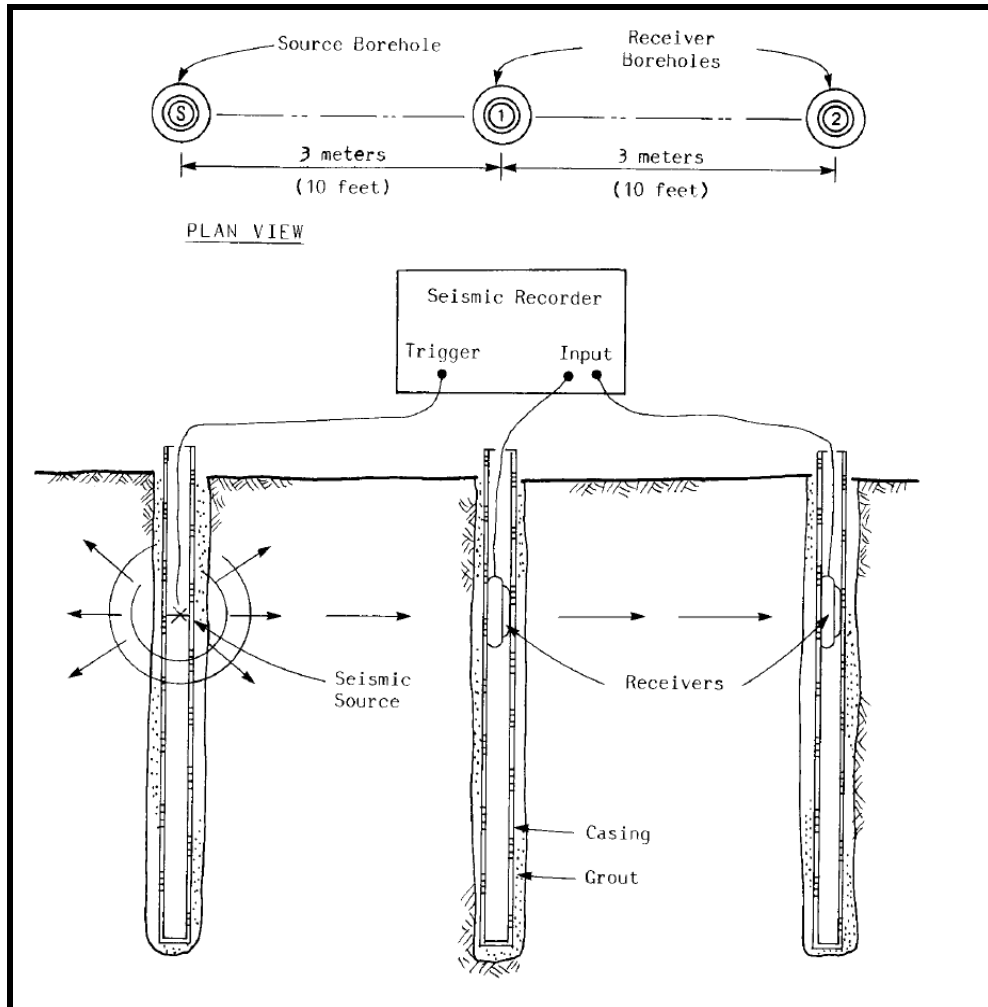


Figura 5.18: Esquema de ejecución de los ensayos crosshole (tomado de la norma ASTM D4428).

El ensayo consiste en medir los tiempos de propagación horizontal de las ondas sísmicas, a partir de un sondeo vertical, donde son generadas por una fuente, hasta otro sondeo cercano y paralelo, donde se aloja la sonda receptora (geófonos).

La fuente de energía, puede generar selectivamente ondas sísmicas compresionales (P) y de Corte (S), mediante un mecanismo electromecánico y/o manual, que es accionado desde la superficie.

Conociendo los valores de  $V_p$ ,  $V_s$  y densidad de los materiales ( $\delta$ ), se pueden obtener los parámetros dinámicos siguientes:

- Coeficiente de Poisson ( $\nu$ )

$$\nu = \frac{\left(\left[\frac{V_p}{V_s}\right]^2 - 2\right)}{\left(2x\left[\frac{V_p}{V_s}\right]^2 - 1\right)}$$

- Módulo de Elasticidad dinámico ( $E_d$ )

$$E_d = 2x\delta x V_s^2 x (1 + \nu)$$

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 101 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

- Módulo de Corte dinámico ( $G_d$ )

$$G_d = V_s^2 \times \delta$$

Las perforaciones deben estar perfectamente alineadas y revestidas, siendo que el espacio anular entre el revestimiento y las paredes de la perforación debe estar relleno sea con lechada de cemento o con gravilla, para permitir la correcta transmisión y recepción de las ondas.


### 5.6.2. Crosshole de la campaña 2006 (ESIN-IATASA)

Los ensayos crosshole de la campaña 2006 (Figura 5.17 y Figura 5.12) fueron ejecutadas por la empresa CIMediterranea en diciembre de 2006.

Se ejecutaron 4 ensayos en perforaciones cuyos resultados se exponen en las Tabla 5.13 a Tabla 5.16.

**Tabla 5.13: Resultados de los ensayos crosshole en los sondeos CI 01-CC 4**

CI 1 - CC4			Material	Vp/Vs	vdin	Gdin (MPa)	Edin (MPa)
Profundidad m	Vs m/s	Vp m/s					
1	550	820	Limo grava	1,5	0,06	586	1249
3	590	860	Grava limpia	1,5	0,04	675	1402
5	590	790	Grava arenosa	1,3	-0,08	675	1242
6	630	890	Arcilla	1,4	0,00	770	1537
7	630	920		1,5	0,04	770	1601
8	1110					2389	4778
9	1140					2520	5039
10	1140					2520	5039
11	990	1590		1,6	0,14	1900	4330
12	1060	1510		1,4	0,01	2178	4399
13	1040	1490		1,4	0,02	2097	4265
14	920	1470		1,6	0,13	1641	3724
15	990	1510		1,5	0,09	1900	4140
16	960	1450		1,5	0,08	1787	3856
17	1020	1450		1,4	0,01	2017	4062
18	1040	1470		1,4	0,00	2097	4191
19	960	1490		1,6	0,11	1787	3956
20	1020	1450		1,4	0,01	2017	4062
21	880	1440	Grava limpia	1,6	0,16	1501	3470
22	960	1440		1,5	0,07	1787	3829
23	930	1490		1,6	0,14	1677	3814
24	880	1480		1,7	0,18	1501	3537
25	990	1660		1,7	0,18	1900	4468
26	950	1620		1,7	0,19	1750	4159
27	990	1440		1,5	0,04	1900	3936
28	990	1640		1,7	0,17	1900	4431
29	1020	1550		1,5	0,09	2017	4379
30	880	1550		1,8	0,21	1501	3639
31	1040	1590		1,5	0,09	2097	4579
32	1200	1720		1,4	0,02	2792	5681
33	1150	1750		1,5	0,09	2564	5574
34	1220	1740		1,4	0,01	2886	5836
35	1220	2100		1,7	0,20	2886	6900
36	1180	2020		1,7	0,19	2842	6771
37	1040	2000	Till Inf.	1,9	0,27	2207	5587
38	1150	1940		1,7	0,18	2699	6371
39	1420	2150		1,5	0,08	4115	8902
40	1390	2160	R. Alt.	1,6	0,11	4140	9177

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 102 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

**Tabla 5.14: Resultados de los ensayos crosshole en los sondeos CC 1-CC 2**

CC1-CC2			Material	Vp/Vs	vdin	Gdin	Edin
Profundidad	Vs	Vp					
m	m/s	m/s				(MPa)	(MPa)
13	800	1410	Grava limpia	1,8	0,21	1241	3008
14	870	1430		1,6	0,16	1467	3403
15	890	1370		1,5	0,10	1536	3375
16	830	1370		1,7	0,16	1336	3106
17	820	1370		1,7	0,17	1304	3057
18	940	1360		1,4	0,03	1713	3526
19	830	1370		1,7	0,16	1336	3106
20	830	1320		1,6	0,13	1336	3020
21	830	1320		1,6	0,13	1336	3020
22	860	1320		1,5	0,10	1434	3143
23	810	1320		1,6	0,15	1272	2931
24	1220	1920		1,6	0,12	2886	6467
25	1270	1910		1,5	0,07	3127	6719
26	1210	2000		Till Inf.	1,7	0,16	2988
27	1140	2100	1,8		0,24	2652	6582
28	1120	1910	1,7		0,19	2560	6085
29	1200	2100	1,8		0,21	2939	7096
30	1200	1910	1,6		0,13	2939	6648
31	1170	2000	1,7		0,19	2794	6651
32	1320	1910	1,4		0,03	3556	7321
33	1290	1910	1,5		0,06	3396	7178
34	1260	1890	1,5		0,07	3240	6943
35	1290	1910	R.alt		1,5	0,06	3566
36	840	1360		1,6	0,15	1512	3467
37	820	1310	R. Comp	1,6	0,13	1509	3425
38	690	1370		2,0	0,28	1069	2741
39	690	1370		2,0	0,28	1069	2741
40	670	1370		2,0	0,30	1008	2613



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 103 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

Tabla 5.15: Resultados de los ensayos crosshole en los sondeos CD 02-CD 03

CD 3 - CD 2			Material	Vp/Vs	vdin	Gdin	Edin
Profundidad	Vs	Vp					
m	m/s	m/s				(MPa)	(MPa)
1	120	280	Arena gravosa	2,3	0,35	28	75
2	150	410		2,7	0,39	44	121
3	220	410		1,9	0,25	94	234
4	200	390		2,0	0,27	78	197
5	200	390	Grava arenosa	2,0	0,27	78	197
6	180	600		3,3	0,43	63	180
7	180	660		3,7	0,44	63	181
8	190				2,00	70	420
9	210	650		3,1	0,42	86	242
10	220				2,00	94	563
11	210				2,00	86	513
12	220	650		3,0	0,41	94	264
13	190				2,00	70	420
14	190	620		3,3	0,43	70	200
15	220	660		3,0	0,41	94	265
16	270	620		2,3	0,34	141	380
17	260	700	Gravas limpias	2,7	0,39	131	364
18	270				2,00	141	848
19	270				2,00	141	848
20	270	760		2,8	0,40	141	395
21	270	720		2,7	0,39	141	392
22	270	840		3,1	0,42	141	401
23	320	920	Grava arenosa	2,9	0,40	199	557
24	290	940		3,2	0,43	163	465
25	270	760	Till Inf.	2,8	0,40	149	416
26	290	720		2,5	0,37	172	469
27	260	720		2,8	0,40	138	385
28	270				2,00	149	893
29	610	1010	R. Alt.	1,7	0,17	759	1770
30	600	1010		1,7	0,18	771	1818
31	620	1010		1,6	0,15	824	1897
32	560	1010		1,8	0,23	672	1650
34	600	1010		1,7	0,18	771	1818
36	600	1010		1,7	0,18	771	1818
37	600	1010		1,7	0,18	771	1818



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 104 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

**Tabla 5.16: Resultados de los ensayos crosshole en los sondeos CI 31-CI 33**

CI31-CI33			Material	Vp/Vs	vdin	Gdin (MPa)	Edin (MPa)
Profundidad m	Vs m/s	Vp m/s					
1	180		Grava arenosa		2,00	53	317
3	220				2,00	79	474
5	220		Arena gravosa		2,00	79	474
6	230	1500	Grava arenosa	6,5	0,48	86	256
7	230	1500		6,5	0,48	86	256
8	200	1500		7,5	0,49	65	194
9	180	1500		8,3	0,49	53	158
10	190	1500		7,9	0,49	59	175
11	90	1500	Arcillas	16,7	0,50	13	40
12	90	1500		16,7	0,50	13	40
13	120	1500		12,5	0,50	24	70
14	100	1500		15,0	0,50	16	49
15	80	1500		18,8	0,50	10	31
16	90	1500		16,7	0,50	13	40
17	90	1500	Gravas limpias	16,7	0,50	13	40
18	250	2000		8,0	0,49	102	304
19	250	2000	Arena gravosa	8,0	0,49	102	304
20	250	2000		8,0	0,49	102	304
21	260	2000	Grava arenosa	7,7	0,49	110	328
22		2000					
23	220	2000		9,1	0,49	79	236
24		2000					
25	180	2000		11,1	0,49	53	158
26	200	2000		10,0	0,49	65	195
27	200	2000		10,0	0,49	65	195
28	180	2000		11,1	0,49	53	158

Puede observarse que los resultados de  $V_s$  de los materiales aluvionales (gravas y arenas) de los sondeos CI 01-CC 4 y CC 1-CC 2, son incompatibles para los valores esperados entre 150 y 600 m/s para esos materiales. Por otro lado, los resultados de  $V_s$  de los aluviones en los otros CH son más realistas variando entre 180 y 320 m/s. Estos resultados repercuten en los valores de módulo de deformabilidad y de corte de los materiales. Los valores del coeficiente de Poisson dinámico ( $v_{din}$ ) calculados son muy variables e inclusive algunos poco confiables.

### 5.6.3. Crosshole de la campaña 2015

En la campaña 2015 se ejecutaron 5 ensayos crosshole cuyos resultados se presentan en el informe del Anexo 04. En las Tabla 5.17 a Tabla 5.21 se muestra el resumen de dichos resultados y los valores de los parámetros dinámicos calculadas con las formulas expuestas en el ítem 5.6.1.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 105 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

Tabla 5.17: Resultados de los ensayos *crosshole* en el sondeo PRK 10

PRK 10			Vp/Vs	Material	vdin	Gdin	Edin
Profundidad	Vs	Vp					
m	m/s	m/s				(MPa)	(MPa)
1	143	385	2,7	Aluvión	0,39	40	110
2	185	526	2,8		0,40	66	186
3	200	532	2,7		0,39	78	215
4	227	556	2,4		0,36	100	272
5	250	602	2,4		0,36	121	329
6	294	714	2,4		0,36	168	456
7	321	833	2,6		0,38	200	551
8	350	1000	2,9		0,40	238	666
9	400	1190	3,0		0,41	310	875
10	455	1429	3,1		0,42	401	1140
11	463	1667	3,6	R. Alter.	0,44	459	1323
12	472	1724	3,7		0,44	477	1376
13	481	1923	4,0		0,45	496	1439
14	490	2000	4,1		0,45	515	1496
15	500	2041	4,1		0,45	536	1557
16	532	2066	3,9		0,45	606	1757
17	562	2058	3,7		0,44	677	1952
18	602	2083	3,5		0,43	777	2228
19	649	2083	3,2	0,42	903	2570	
20	704	2101	3,0	R. compet.	0,41	1113	3139
21	725	2110	2,9		0,41	1180	3318
22	746	2119	2,8		0,40	1249	3500
23	758	2128	2,8		0,40	1290	3607
24	781	2128	2,7		0,39	1369	3811
25	794	2146	2,7		0,39	1415	3934
26	794	2174	2,7		0,39	1415	3942
27	800	2203	2,8		0,39	1437	4006
28	806	2222	2,8		0,39	1458	4067
29	820	2242	2,7		0,39	1509	4204
30	820	2273	2,8		0,40	1509	4213
31	813	2273	2,8		0,40	1484	4147
32	806	2273	2,8		0,40	1458	4082
33	820	2294	2,8		0,40	1509	4219
34	813	2273	2,8		0,40	1484	4147
35	820	2273	2,8	0,40	1509	4213	



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 106 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

Tabla 5.18: Resultados de los ensayos *crosshole* en los sondeos PRK 11

PRK 11			Vp/Vs	Material	vdin	Gdin (MPa)	Edin (MPa)
Profundidad m	Vs m/s	Vp m/s					
1	149	390	2,6	Aluvión	0,38	43	119
2	180	473	2,6		0,38	63	174
3	206	511	2,5		0,37	82	225
4	231	560	2,4		0,36	103	282
5	251	595	2,4		0,35	122	331
6	267	641	2,4		0,36	138	375
7	273	679	2,5		0,37	144	395
8	276	695	2,5		0,37	148	405
9	279	704	2,5		0,37	151	414
10	281	721	2,6		0,38	153	422
11	294	730	2,5		0,37	168	458
12	296	749	2,5		0,37	170	466
13	302	759	2,5		0,37	177	485
14	339	801	2,4		0,35	223	603
15	372	888	2,4		0,36	268	727
16	412	1049	2,5		0,37	329	905
17	462	1154	2,5		0,37	414	1133
18	502	1282	2,6	R. Alter.	0,38	540	1486
19	577	1518	2,6		0,38	713	1974
20	589	1748	3,0		0,41	743	2096
21	595	1923	3,2	R. Comp.	0,42	795	2264
22	601	2061	3,4		0,43	811	2325
23	607	2098	3,5		0,43	827	2373
24	614	2137	3,5		0,44	846	2430
25	620	2137	3,4		0,43	863	2475
26	627	2177	3,5		0,44	883	2533
27	634	2219	3,5		0,44	902	2592
28	641	2219	3,5		0,43	922	2647
29	648	2263	3,5		0,44	943	2707
30	663	2308	3,5		0,44	987	2833



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 107 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

Tabla 5.19: Resultados de los ensayos *crosshole* en el sondeo PRK 12

PRK 12			Vp/Vs	Material	vdin	Gdin	Edin
Profundidad	Vs	Vp					
m	m/s	m/s				(MPa)	(MPa)
1	170	401	2,4	Aluvión	0,35	56	151
2	200	448	2,2		0,33	78	207
3	220	493	2,2		0,33	94	250
4	220	519	2,4		0,35	94	254
5	220	536	2,4		0,36	94	256
6	221	548	2,5		0,37	95	259
7	211	580	2,7		0,39	86	241
8	205	580	2,8		0,40	81	228
9	209	587	2,8		0,40	85	237
10	215	601	2,8		0,40	90	250
11	259	609	2,4		0,35	130	351
12	269	640	2,4		0,35	140	380
13	280	649	2,3		0,35	152	409
14	301	704	2,3		0,35	176	474
15	306	704	2,3		0,34	182	488
16	318	758	2,4		0,36	196	531
17	352	896	2,5		0,37	240	660
18	365	1096	3,0		0,41	258	729
19	411	1233	3,0		0,41	327	925
20	548	1494	2,7		0,39	582	1621
21	616	1761	2,9	R.ALTER.	0,40	813	2280
22	657	1826	2,8		0,40	925	2583
23	675	1972	2,9		0,41	976	2747
24	725	2143	3,0		0,41	1126	3174
25	783	2241	2,9	Roca Compt.	0,40	1376	3861
26	795	2272	2,9		0,40	1419	3979
27	822	2293	2,8		0,40	1517	4238
28	836	2293	2,7		0,39	1569	4372
29	843	2293	2,7		0,39	1595	4439
30	850	2348	2,8		0,39	1622	4525
31	865	2348	2,7		0,39	1680	4672
32	880	2405	2,7		0,39	1738	4841
33	896	2405	2,7		0,39	1802	5004
34	896	2465	2,8		0,39	1802	5024
35	913	2465	2,7		0,39	1871	5200

Tabla 5.20: Resultados de los ensayos crosshole en el sondeo PRK13

Profundidad m	PRK 13		Vp/Vs	Material	vdin	Gdin (MPa)	Edin (MPa)
	Vs m/s	Vp m/s					
1	150	444	3,0	aluvión	0,41	44	123
2	192	577	3,0		0,41	71	202
3	231	641	2,8		0,40	103	289
4	271	663	2,4		0,36	142	388
5	280	679	2,4		0,36	152	414
6	289	687	2,4		0,35	162	439
7	296	721	2,4		0,36	170	463
8	304	740	2,4		0,36	179	488
9	321	824	2,6		0,38	200	550
10	321	962	3,0		0,41	200	564
11	321	1374	4,3		0,46	200	583
12	339	1518	4,5		0,46	223	651
13	385	1603	4,2		0,46	287	837
14	444	1697	3,8		0,45	382	1106
15	481	1803	3,7		0,44	449	1296
16	502	1803	3,6		0,44	489	1407
17	502	1861	3,7		0,44	489	1410
18	511	1892	3,7		0,44	506	1461
19	525	1923	3,7		0,44	534	1541
20	544	1923	3,5		0,44	574	1650
21	550	1923	3,5		0,44	586	1684
22	550	1923	3,5		0,44	586	1684
23	550	1923	3,5		0,44	586	1684
24	571	1923	3,4		0,43	632	1809
25	577	1956	3,4		0,43	645	1848
26	577	1990	3,4		0,43	645	1851
27	589	2025	3,4		0,43	673	1929
28	601	2061	3,4	Ralterada	0,43	774	2219
29	607	2137	3,5		0,44	790	2269
30	620	2219	3,6	R. Competente	0,44	863	2484
31	620	2308	3,7		0,44	863	2492
32	634	2308	3,6		0,44	902	2601
33	648	2308	3,6		0,44	943	2712
34	671	2355	3,5		0,44	1011	2904
35	704	2404	3,4		0,43	1113	3188
36	712	2455	3,4		0,43	1138	3264
37	721	2435	3,4		0,43	1167	3340
38	721	2455	3,4		0,43	1167	3343
39	730	2455	3,4		0,43	1196	3423
40	730	2455	3,4		0,43	1196	3423
41	730	2466	3,4		0,43	1196	3424
42	740	2487	3,4		0,43	1229	3517
43	749	2498	3,3		0,43	1259	3600
44	759	2509	3,3		0,43	1293	3694
45	780	2520	3,2		0,42	1366	3891
46	780	2531	3,2		0,43	1366	3893
47	790	2520	3,2		0,42	1401	3986
48	790	2509	3,2		0,42	1401	3984
49	801	2509	3,1		0,42	1440	4089
50	801	2509	3,1		0,42	1440	4089



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 109 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ


Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

Tabla 5.21: Resultados de los ensayos crosshole en el sondeo PRK 16

Profundidad m	PRK 16		Vp/Vs	Material	vdin	Gdin (MPa)	Edin (MPa)
	Vs m/s	Vp m/s					
1	200	522	2,6	aluvión	0,38	78	214
2	210	545	2,6		0,38	86	236
3	227	584	2,6		0,38	100	275
4	247	623	2,5		0,37	118	325
5	264	662	2,5		0,37	135	370
6	290	686	2,4		0,35	163	441
7	313	718	2,3		0,34	190	510
8	341	726	2,1		0,31	225	592
9	368	736	2,0		0,29	263	675
10	380	749	2,0		0,28	280	716
11	403	784	1,9		0,27	315	801
12	423	813	1,9		0,27	347	878
13	436	840	1,9		0,27	369	934
14	444	865	1,9		0,27	382	973
15	465	888	1,9		0,26	419	1058
16	469	911	1,9		0,27	426	1084
17	492	933	1,9		0,26	469	1181
18	510	969	1,9		0,26	504	1270
19	517	992	1,9		0,26	518	1310
20	522	1010	1,9		0,27	528	1341
21	540	1043	1,9		0,27	565	1434
22	535	1074	2,0		0,29	555	1429
23	547	1095	2,0		0,29	580	1492
24	584	1120	1,9		0,26	661	1672
25	567	1133	2,0		0,29	623	1602
26	589	1151	2,0		0,27	673	1714
27	594	1159	2,0		0,27	684	1742
28	586	1166	2,0	Til Inferior	0,28	701	1799
29	601	1177	2,0		0,28	737	1880
30	602	1197	2,0		0,28	740	1898
31	616	1208	2,0		0,28	774	1976
32	619	1222	2,0		0,28	782	2001
33	633	1238	2,0		0,27	818	2084
34	636	1250	2,0		0,28	826	2108
35	637	1263	2,0		0,28	828	2122
36	649	1275	2,0		0,28	860	2195
37	659	1288	2,0		0,27	886	2258
38	661	1308	2,0		0,28	892	2283
39	666	1328	2,0		0,28	905	2325
40	670	1353	2,0	0,29	916	2364	
41	683	1377	2,0	Roca Alterada	0,29	1000	2578
42	697	1396	2,0		0,29	1041	2678
43	698	1415	2,0		0,29	1044	2698
44	705	1433	2,0	Roca Competente	0,29	1116	2886
45	708	1456	2,1		0,30	1125	2923
46	706	1469	2,1		0,30	1119	2919
47	716	1477	2,1		0,30	1151	2993
48	717	1490	2,1		0,30	1154	3009
49	727	1492	2,1		0,30	1186	3080
50	739	1496	2,0		0,29	1226	3167
51	754	1530	2,0		0,29	1276	3300
52	766	1583	2,1		0,30	1317	3428
53	793	1594	2,0		0,29	1412	3637
54	792	1643	2,1		0,30	1408	3669
55	799	1664	2,1		0,30	1433	3739

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 110 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

En la Tabla 5.22 se muestra el valor promedio y el desvío estándar de los parámetros dinámicos calculados.

**Tabla 5.22: Valores promedio y desvío estándar de los parámetros dinámicos de los materiales estudiados en el eje del muro colado**

Material	$v_{din}$	$G_{din}$	$E_{din}$
		(MPa)	(MPa)
Aluvión (*)	$0,37 \pm 0,01$	$325 \pm 30$	$900 \pm 100$
Till Inferior	0,27	$820 \pm 70$	$2100 \pm 180$
Roca Alterada	$0,41 \pm 0,05$	$760 \pm 210$	$2120 \pm 540$
Roca Competente	$0,4 \pm 0,05$	$1270 \pm 265$	$3545 \pm 725$
(*) Valores normalizados			

Para el aluvión, y para los PRK 16 y PRK 13, los valores a 4 a 5 m por encima del till y de la roca alterada alteran los promedios hacia mayores valores

## 5.7. Sísmica de Refracción Campaña AyEE 1976-1977

Entre noviembre y diciembre de 1976 y febrero y abril de 1977 la División de Geofísica del Departamento de Estudios y proyectos de AyEE, desarrollo la 1ª etapa de una extensa campaña de levantamientos geofísicos en las distintas alternativas de eje estudiados para la presa Néstor Kirchner ex Cóndor Cliff. En septiembre de 1977 se ejecutó la 2ª etapa. Los resultados están presentados en el Anexo 04 B del Volumen IV del informe de Prefactibilidad realizado por el Consorcio IECI para AyEE en el año 1978. Sin embargo los perfiles citados en el texto no constan en ningún plano y se desconoce su ubicación, razón por la cual los resultados no serán extensamente comentados.

Se sabe que el levantamiento geofísico de sísmica de refracción se realizó con dos sismógrafos ABEM-SIERA-49R de 12 canales cada uno, acoplados. También fue empleado un sismógrafo marca Western, modelo 1950 montado sobre camión Dodge. Los puntos de emisión de la onda mecánica se realizaron con explosivo tipo Gelamon.

Se destaca en la descripción la identificación de 3 capas, siendo las 2 superiores correspondientes a depósitos granulares de origen fluvial, glacial y mixto. El nivel inferior correspondería a las rocas de la Fm. Santa Cruz. Se observa además que las bajas frecuencias que caracterizan a la respuesta del terreno a la excitación elástica provocada por la explosión, es indicativa de que el material de la 3ª capa no posee la cohesión, cementación y/o consolidación de una buena roca sedimentaria. Esto indica que el bajo contraste entre las diferentes capas dificultó el trazado de sus límites y por lo tanto la definición del contacto aluvión-roca. Se adoptó en la época que la velocidad de 2 000 m/s constituiría el límite entre los depósito cuaternario y la roca de la Fm. Santa Cruz (Patagoniense)

El único perfil interpretativo que se encontró entre los documentos de la campaña de 1977, se presenta en la Figura 5.19. El perfil une las perforaciones K 19, K 18, K 01, K 02, K 03, K 04 y K 05 desde margen izquierda hacia margen derecha pasando por el eje de la presa. En el perfil se ha trazado, con línea discontinua gruesa, el techo de roca a partir de los sondeos y con línea discontinua fina el techo de roca inferido a partir de la geofísica. Ambas líneas prácticamente concuerdan en la margen izquierda entre los sondeos K 19 y K 02, diferenciándose mucho entre el K 02 y el K 05 en la margen izquierda, estando la línea de la geofísica muy por arriba del techo de roca definido con los sondeos.

El material de till en margen izquierda (MI) presenta velocidades de onda compresional  $V_p$  entre 550 m/s y 1 200 m/s, mientras que el till de margen derecha presenta  $V_p$  del orden de los 1 850 m/s en promedio.

El aluvión del valle muestra velocidades del orden de los 1 000 m/s. El macizo rocoso es uniforme en toda la sección variando de 2 000 m/s a 2 150 m/s.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 111 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELECTRICOS DEL RIO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

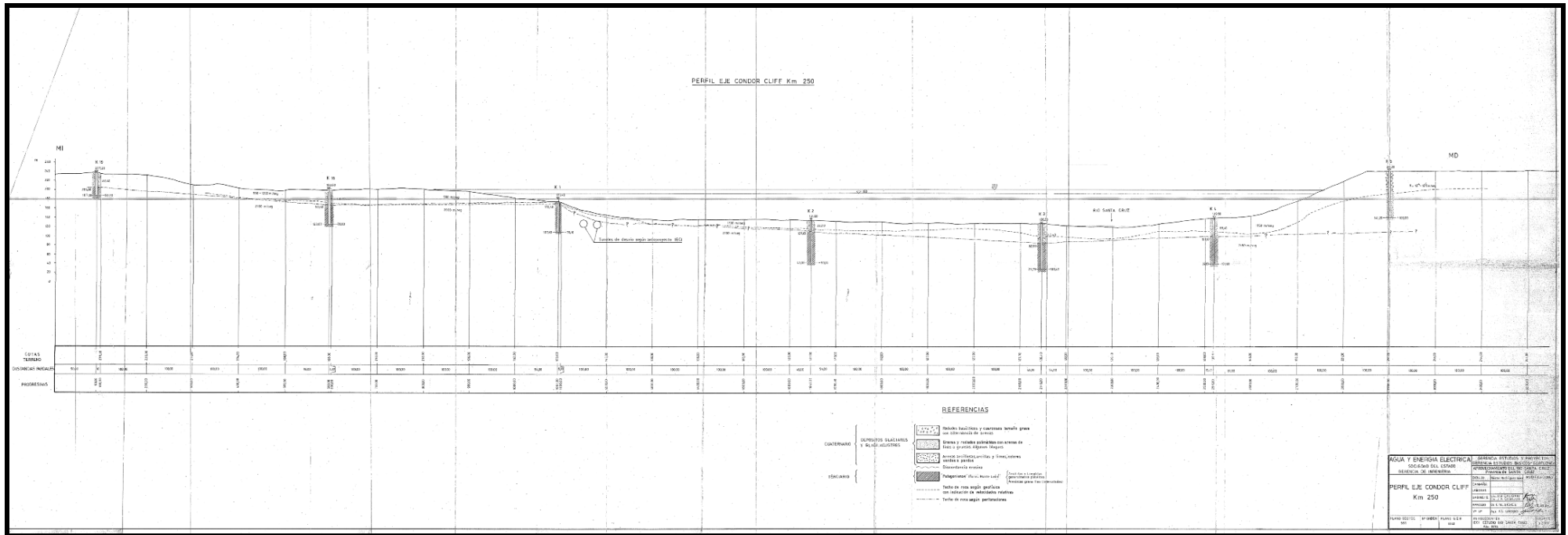



Figura 5.19: Perfil geofísico en el eje de la presa correspondiente a la campaña de AyEE (1977).



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 112 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

## 5.8. Sísmica de Refracción Campaña 2006

En la campaña del año 2006 se ejecutaron 27 tendidos de sísmica de refracción. La longitud de cada tendido se fijó en 230 m. La ubicación de los perfiles se muestra en el plano NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P001 en el Anexo 01.

El equipo de refracción utilizado fue el ES-1225 GEOMETRICS con registros de 24 canales simultáneos compuestos por 2 módulos de 12 canales de registro. La adquisición y procesamiento de los datos fue totalmente digital para los 24 canales de registro. Para la generación de la onda compresiva se empleó explosivo tipo Gelanita y un detonador eléctrico. El explosivo se colocó en un hoyo de 1 m de profundidad. Adicionalmente a la ejecución de los tendidos sísmicos se realizó una nivelación topográfica de todos los perfiles a lo largo de las líneas sísmicas.

Los 27 tendidos se identificaron mediante una numeración corrida y adicionando las letras TE para los tendidos en el eje de la presa, TB, TBI y TBII para los tendidos aguas abajo del eje y TR para los tendidos aguas arriba del eje (Figura 5.20 a Figura 5.23).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

APROVECHAMIENTOS HIDROELECTRICOS DEL RIO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 113 de 389

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

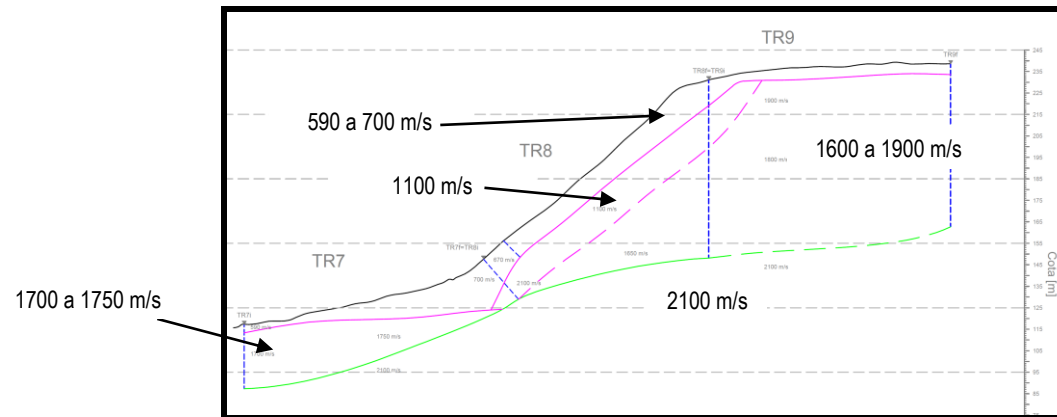
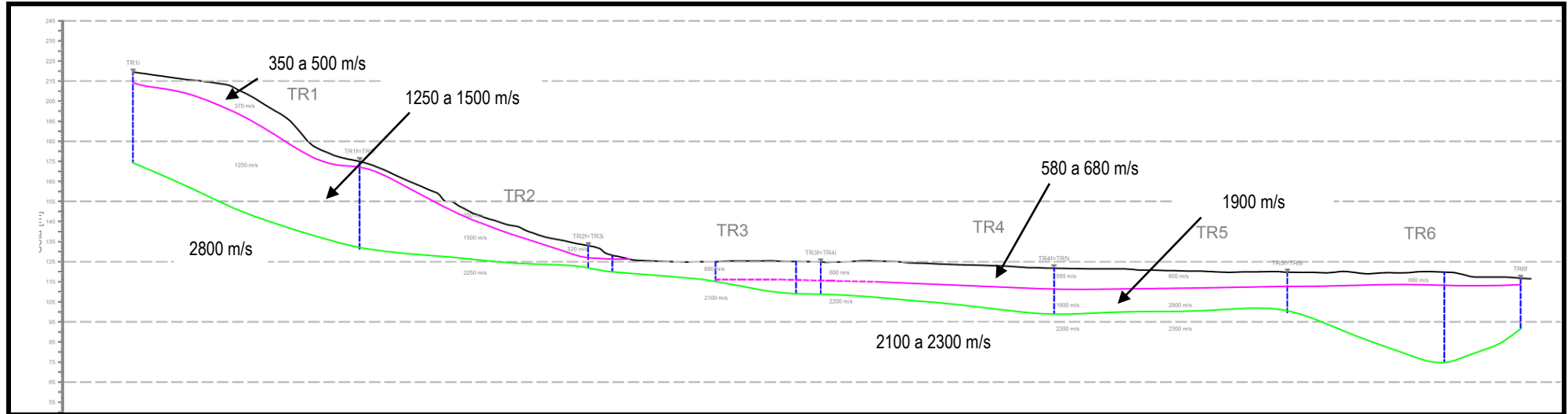


Figura 5.20: Perfil geofísico TR1 a TR9 140 m aguas arriba del muro colado correspondiente a la campaña de 2006.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

APROVECHAMIENTOS HIDROELECTRICOS DEL RIO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 114 de 389

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

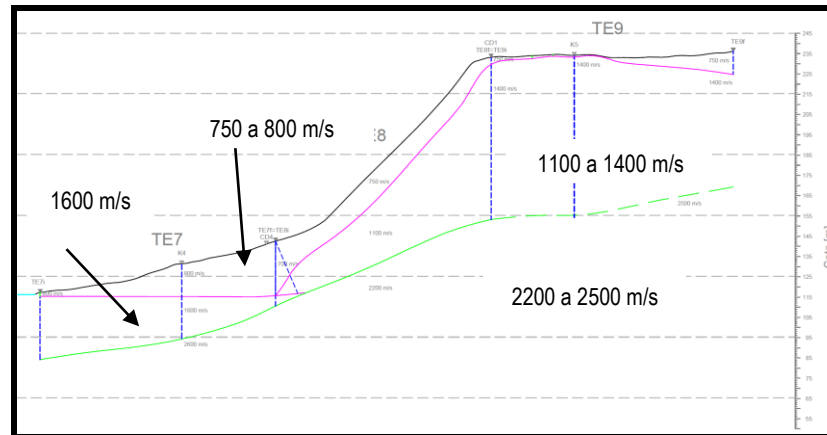
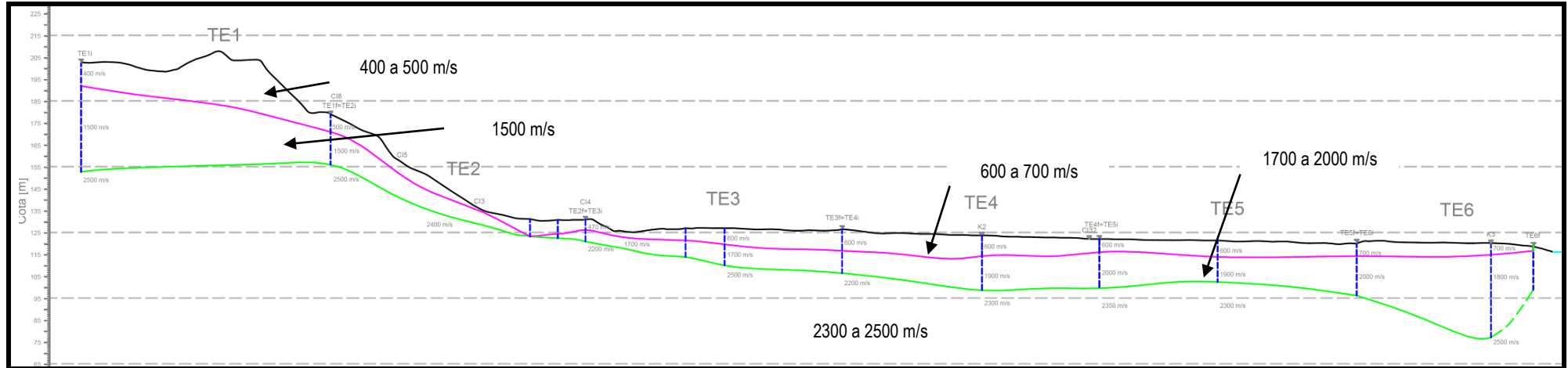


Figura 5.21: Perfil geofísico TE1 a TR9 en el eje del muro colado correspondiente a la campaña de 2006.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 115 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

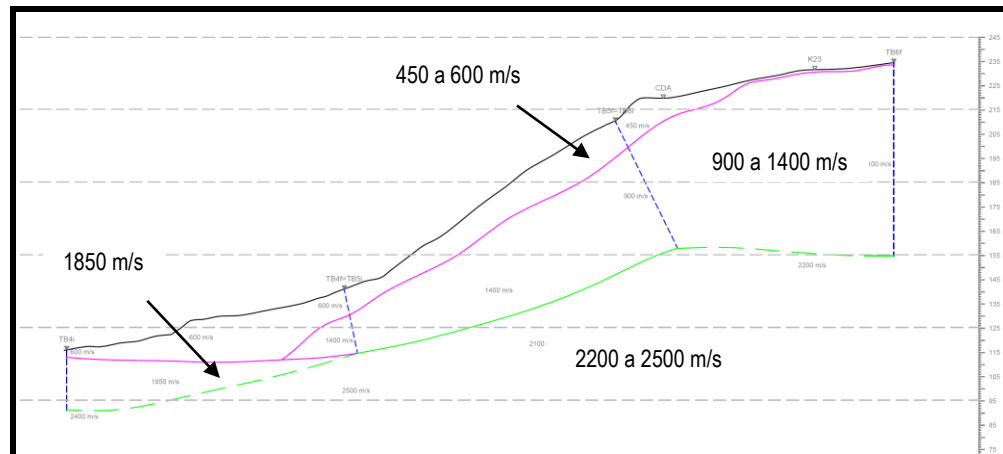
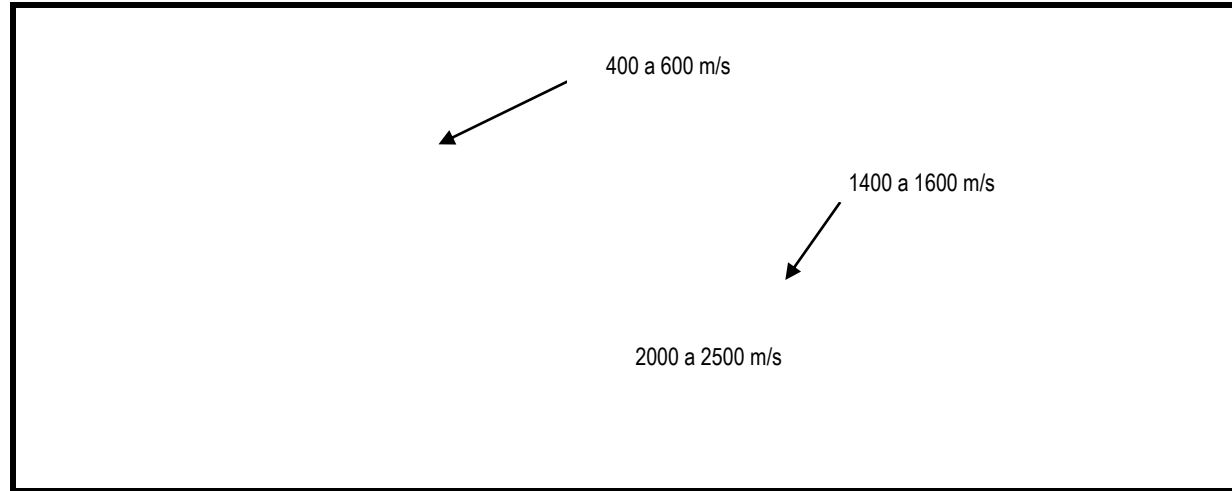


Figura 5.22: Perfil geofísico TB1 a TB6 140 m aguas abajo del eje de la presa correspondiente a la campaña de 2006.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 116 de 389

Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

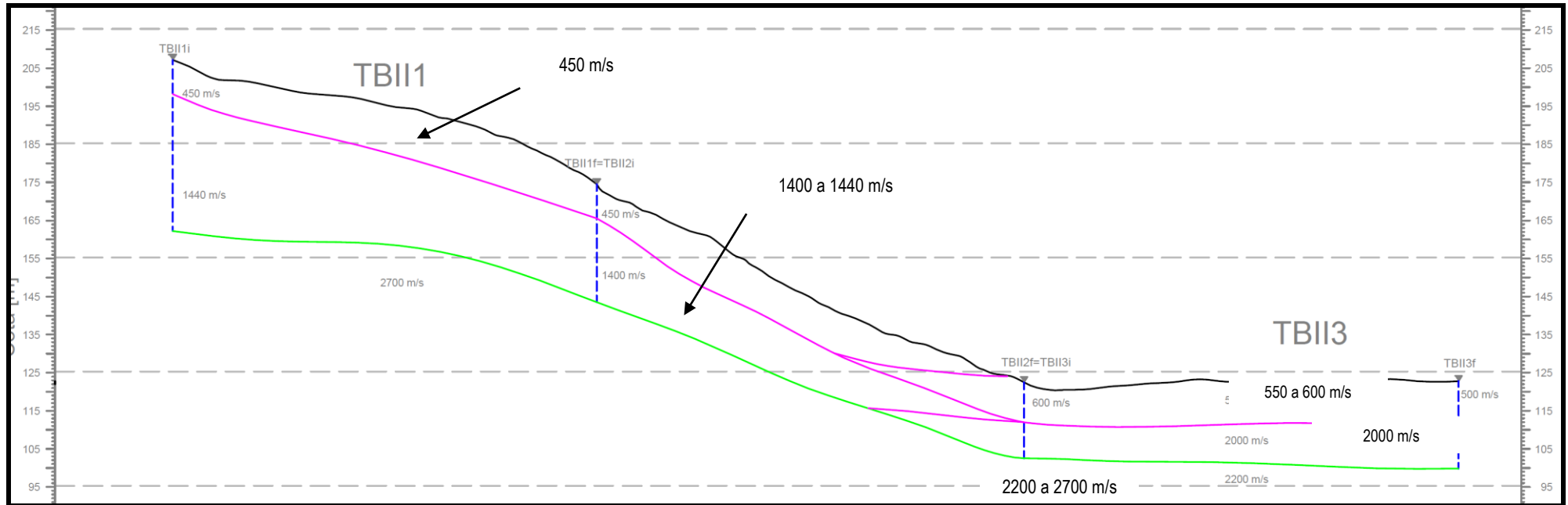



Figura 5.23: Perfil geofísico TBII1 a TBII3 situado entre el vertedero y la central en margen izquierda correspondiente a la campaña de 2006.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 117 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

La interpretación geosísmica simplifica la constitución geológica del sector en 3 capas cuyos límites son aproximados debido a la propia incertidumbre del método indirecto y a un relativo bajo contraste entre los materiales granulares y la roca blanda de fundación.

Los depósitos de till de margen derecha, estudiados en los perfiles TR7, 8 y 9 (Figura 5.20), TE7, 8 y 9 (Figura 5.21) y TB 4, 5 y 6 (Figura 5.22), presentan valores entre 900 m/s y 1900 m/s, indicando un grado de compacidad alto. La definición del método no permite identificar los 3 niveles de till definidos a partir de las observaciones de campo y de los sondeos, sin embargo en los perfiles TR7, TE7 y TB4, se ha delimitado un material de alta velocidad (1 600 a 1 850 m/s) que podría corresponder al till inferior con bloques de basalto y matriz cohesiva.

Cubriendo lateralmente la terraza de till de margen derecha, se han identificado depósitos coluviales con velocidades entre 450 y 800 m/s.

Subyaciendo el till se encuentran las rocas de la Fm. Santa Cruz con velocidades entre 2100 m/s y 2500 m/s.

En la zona del valle del río, estudiados en los perfiles TR3, 4, 5 y 6 y TE3, 4, 5 y 6, se le asigna una velocidad variable entre 2100 m/s y 2500 m/s para las rocas competentes de la Fm. Santa Cruz. Los depósitos aluvionales presentan una capa superior de aproximadamente 10 m de espesor con velocidades 600 m/s y 700 m/s correspondiente al aluvión no saturado y una capa inferior de hasta 35 m de profundidad con velocidades entre 1700 m/s y 2000 m/s correspondiente al aluvión saturado. El bajo contraste de velocidades de este estrato respecto de la roca subyacente ha dificultado significativamente el mapeo de la misma y por lo tanto allí se observan las mayores diferencias entre los estudios sísmicos y las perforaciones ejecutadas.

En la margen izquierda se ejecutaron los perfiles TR1, 2 y 3, TE1, 2 y 3, TB1, 2 y 3 y TBII1, 2 y 3. En esta margen los fenómenos de remoción en masa combinados con la acción glaciaria, configuraron el macizo de manera muy diferente a la margen derecha. La roca competente de la Fm Santa cruz presenta velocidades entre 2000 m/s y 2800 m/s, muy parecidos a las velocidades medidas en otros sectores del proyecto.

Los depósitos de till, mezcla de sedimentos granulares con fragmentos de Fm. Santa Cruz, presentan velocidades entre 350 m/s y 600 m/s en los primeros 15 m de profundidad. Hacia abajo el till pasa transicionalmente a rocas alteradas de la Fm Santa Cruz con velocidades que varían entre 1250 m/s y 1600 m/s.

Las principales limitaciones del estudio se refieren a la dificultad para la definición del techo de roca en el valle del río debido al bajo contraste de la velocidad de propagación de la onda compresiva entre el aluvión saturado y la roca de la Fm Santa Cruz.

## 5.9. Trinchera de Investigación en Margen Izquierda

Con el propósito de verificar la existencia de deslizamientos en el sector del eje del vertedero, se excavó una trinchera exploratoria de 400 m de largo y 100 m de ancho (Figura 5.24). En el Anexo 08 se presenta el informe completo con el código NK-A.CV-MT-GT-(OG-00-00)-P002

El objetivo de la trinchera fue contribuir al conocimiento sobre la naturaleza, extensión y profundidad de los fenómenos de remoción en masa que afectan la margen izquierda de la presa. El eje de la trinchera tiene dirección N-S y coincide con el eje antiguo del vertedero.

Para el mapeo geológico, la trinchera fue subdividida en tres zonas: TR1, TR2 y TR3 nombradas de sur a norte (Figura 5.25). Estas zonas a su vez se subdividieron en frentes según el número de paredes mapeadas (Figura 5.25).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 118 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902



Figura 5.24: Vista aérea lateral del sector de excavación de la trinchera exploratoria.

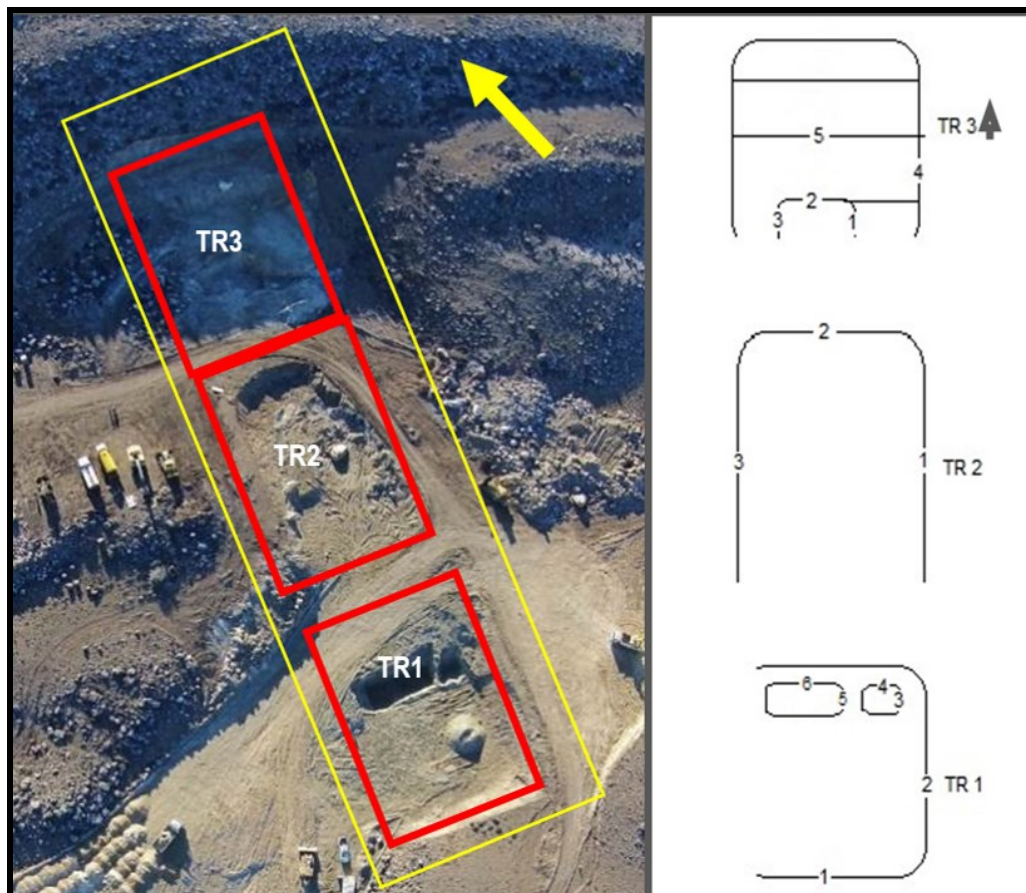



Figura 5.25: Esquema de las distintas secciones (TR1, TR2 y TR3) y los frentes en los que se subdividen.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 119 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

La zona TR1 se subdividió en 6 frentes de mapeo de los cuales los más interesantes desde el punto de vista de los fenómenos de remoción masa son los perfiles 3, 4, 5, 6 y 7.

El perfil TR1-3 corresponde a la pared oriental de una pequeña excavación que muestra una falla normal con orientación N125°/74°. (Figura 5.26), marcada por el desplazamiento de un estrato de arcillita color morado claro (Hb). Hacia el norte de la falla se encuentra una pelita masiva (arcillolimoso) (G) de color verdoso amarillento con moteados de óxidos de hierro y nódulos de carbonatos. Por encima del estrato arcillo limoso (G) se localiza un estrato con gradación normal de arena de grano media a limoarcillita en el techo (H) con color pardo grisáceo en la base y verdoso en el techo. Hacia el sur de la falla se encuentra, en la base, un estrato con gradación normal (H) y por encima se localizan depósitos sedimentarios, del tipo limo loésico arenoso pardo masivo con bloques angulosos a subredondeados (D). En las paredes de las fallas se observan estrías de movimiento de tipo normal con rumbo N123°. Entre las paredes se localiza un material clástico de relleno (L) del tipo dique clástico, cuyo origen, de acuerdo con el CICTERRA, indicarían que durante el movimiento de remoción en masa, existió un comportamiento fluido de parte de los estratos pelíticos inferiores bancos que componen el cuerpo de sedimentitas terciarias.

En el perfil TR1-4, ubicado en angulo recto respecto del perfil 3, se observan los estratos de la Fm. Santa Cruz basculados entre 15° y 20° hacia el NE (Figura 5.27) prueba inequívoca de su afectación por fenómenos de rotación debido a la remoción en masa.





REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 120 de 389

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

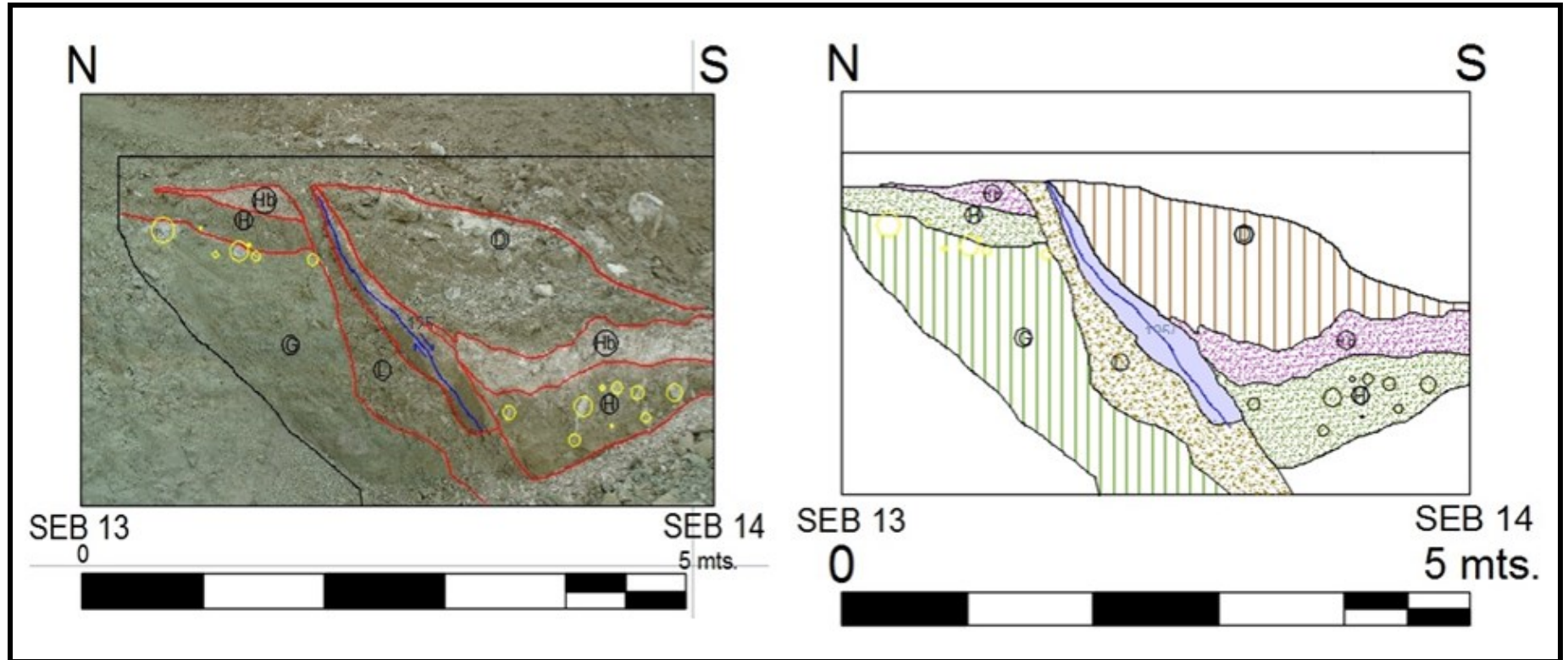


Figura 5.26: Fotografía del frente 3 (TR1) con los contactos entre litologías marcados con rojo, los círculos amarillos son las concreciones, el área azul los slickenside y la línea azul la falla.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 121 de 389

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

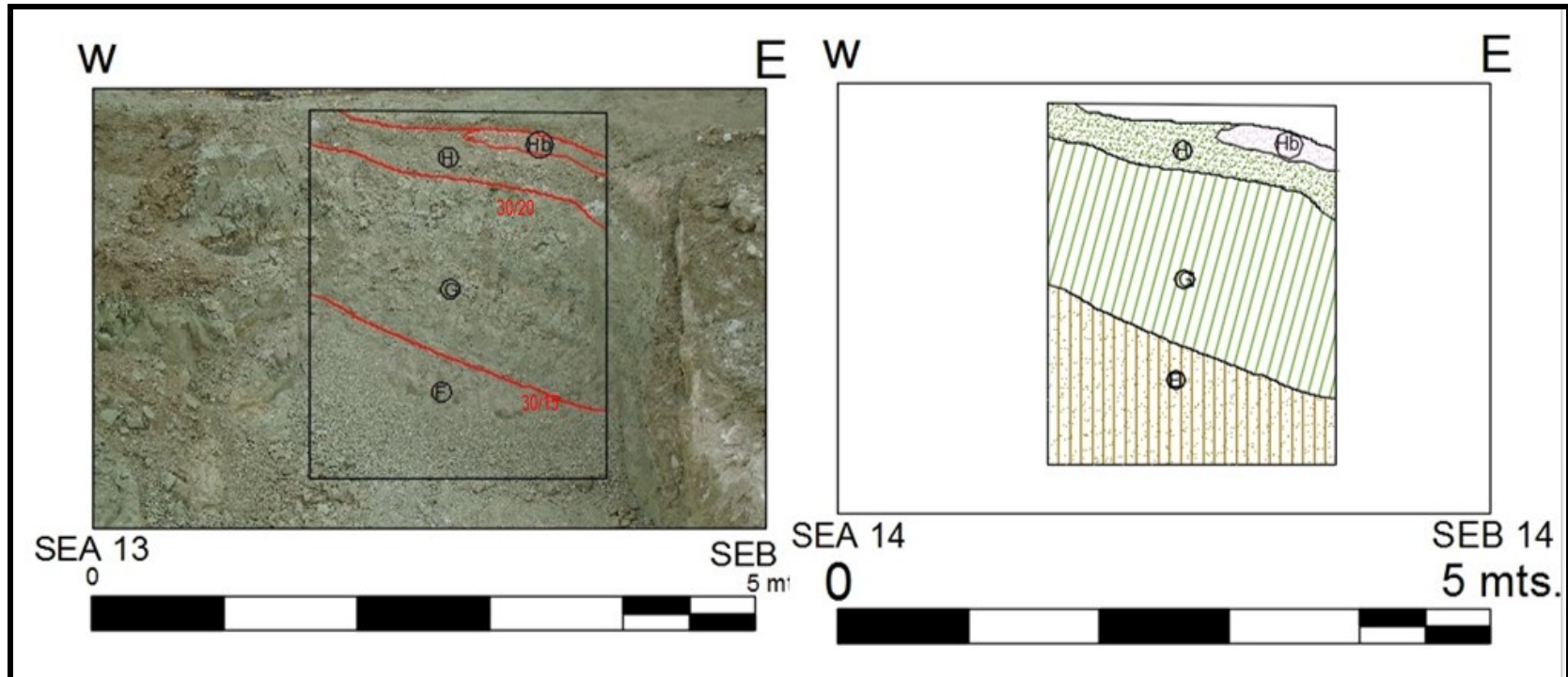



Figura 5.27: Fotografía del frente 4 TR1 con los contactos entre litologías marcados con rojo

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 122 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

Los frentes TR1 5, 6 y 7 (Figura 5.28 a Figura 5.30) muestran 5 estratos de la Fm. Santa Cruz basculados en general hacia el NNE y afectados por fallas de tipo normal con inclinación hacia el Norte que se destacan por el desplazamiento de los estratos y la presencia de estrías de falla en las paredes.

En la parte superior del perfil se encuentra loess con arena de grano fino parda, masiva con bloques subredondeados a angulosos de composición básica y ácida (D).

Debajo se dispone una arenisca media gris parda (K) visible solo en el perfil de la Figura 5.29: Fotografía del frente 6 TR1 con los contactos entre litologías marcados con rojo y con azul las fallas normales..

La secuencia hacia abajo continúa con una pelita verde claro masiva con abundantes óxidos y niveles de carbonatos (J).

Posteriormente sigue una pelita tobácea rosada masiva con nódulos de carbonatos de calcio (I)

Por debajo se encuentra una arenisca de grano medio con gradación normal a una limoarcilita (H). La coloración va de pardo grisáceo, en la arenisca, a gris verdosa en el techo. Entre las fracturas se observa la presencia de raíces y nódulos de carbonatos.

Por debajo de las areniscas gradadas se encuentra una pelita limosa verdosa amarillenta masiva con moteados de óxidos de hierro (G). Se le observa finas laminaciones en algunos sectores. Algunas fracturas se encuentran rellenas con carbonatos y se observa la presencia de raíces. También se encuentran algunos nódulos de carbonato de calcio.

El estrato denominado (F) corresponde a una arenisca fina limosa color pardo grisáceo con estructuras primarias de deposición. En el techo de la roca se encuentran nódulos de carbonatos de calcio.

En el perfil se observan 5 fallas normales, cuatro localizadas en el extremo W con buzamiento hacia el Oeste y una localizada al Este que buza hacia el Este.

En este sector se ejecuto el sondeo PRK 7 bis y el pozo exploratorio. Ambos confirman lo observado en la trinchera de que hasta los 21 m de profundidad el basculamiento de los estratos y las fallas normales responden a los movimientos de remoción en masa.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 123 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

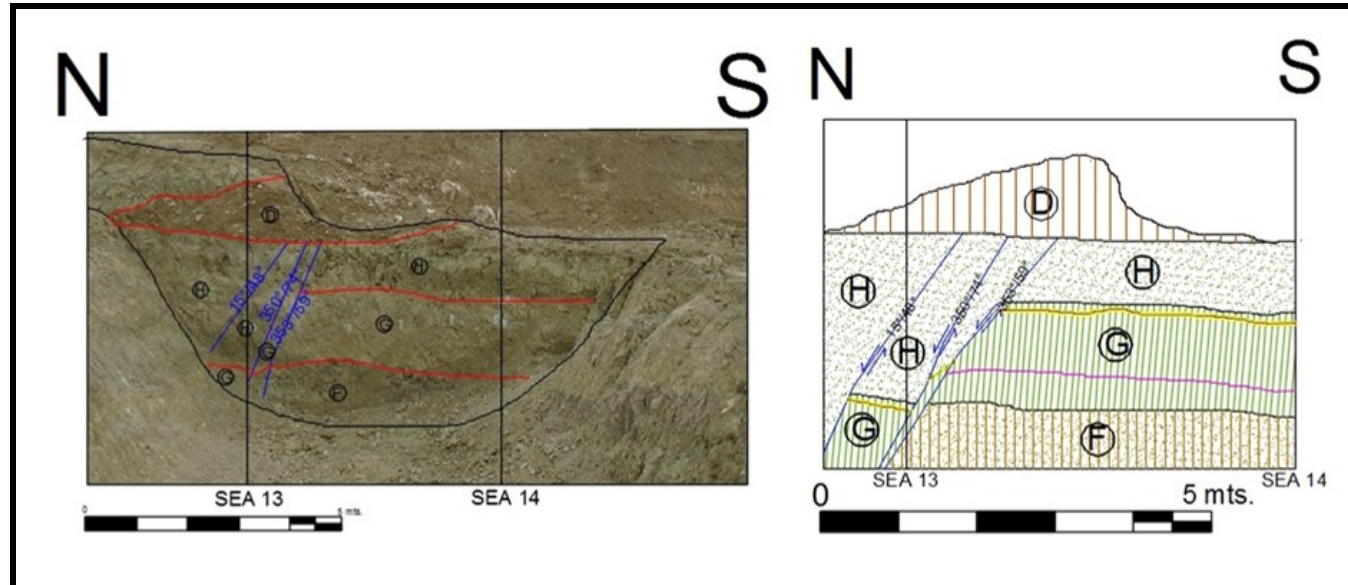


Figura 5.28: Fotografía del frente 5 TR1, con los contactos entre litologías marcados con rojo y con azul las fallas normales.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 124 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

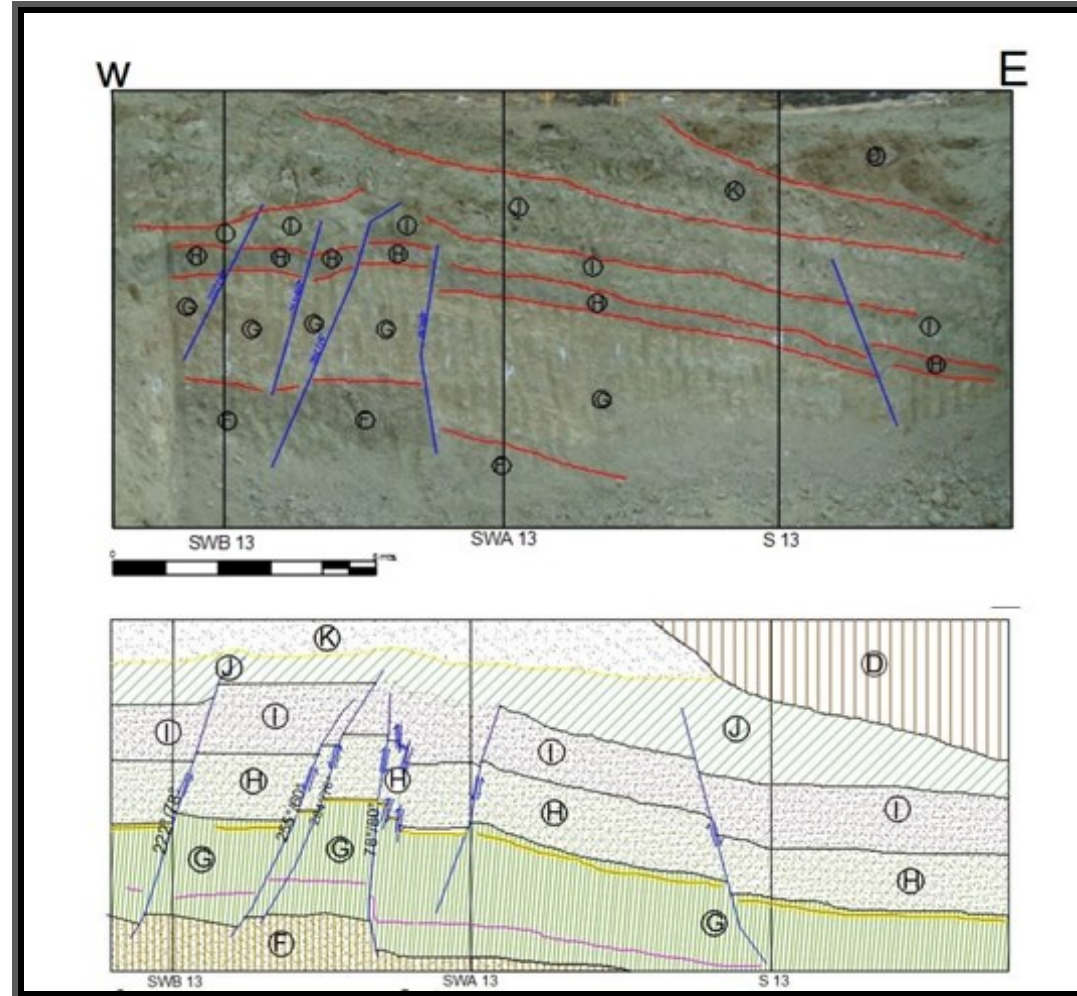


Figura 5.29: Fotografía del frente 6 TR1 con los contactos entre litologías marcados con rojo y con azul las fallas normales.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 125 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

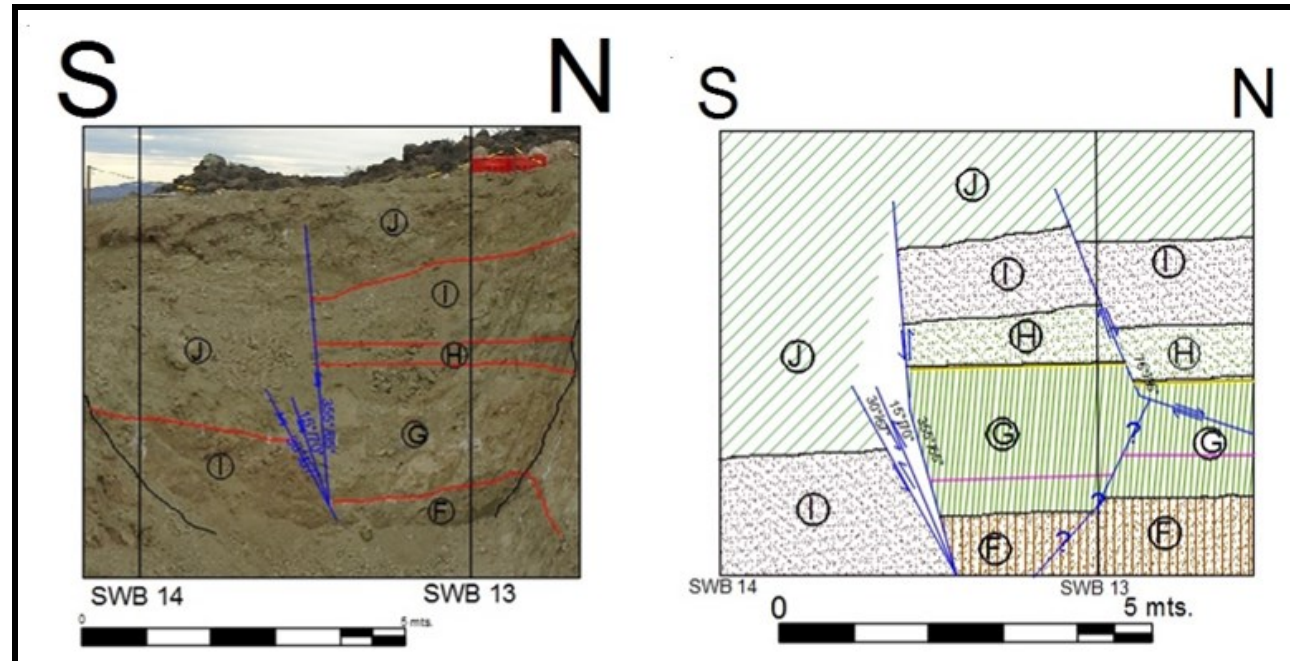


Figura 5.30: Fotografía del frente 7 TR1 con los contactos entre litologías marcados con rojo y con azul las fallas normales.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 126 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

La zona TR2 está formada principalmente por depósitos de till glaciario con grandes bloques de basalto los cuales algunos superan el metro y medio de altura (Figura 5.31). La matriz es de loess con arena de grano medio a fino de color pardo masivo que en algunos lugares se encuentra cementada con carbonatos. Alrededor de los bloques se forman patinas blanquecinas de carbonato de calcio. Al Norte se encuentra un sedimento limo arenoso pardo masivo con bloques de basalto subredondeados con una pátina blanca de carbonatos que los cubren completamente (D). La corta un estrato de limo arenoso muy poroso, cementado con carbonato de calcio (C). En el extremo sur se encuentran pelitas verdes grisáceas claras muy alteradas pertenecientes a la Fm. Santa Cruz.

En la zona TR3 las excavaciones han expuesto principalmente a las rocas de la Fm. Santa Cruz afectadas por las deformaciones del glaciario y a los procesos de remoción en masa desarrollados posteriormente. Las rocas de la Fm. Santa Cruz se relacionan espacialmente con depósitos de till.

En esta zona se realizó la perforación PRK 05 de 85 m de profundidad, ubicada entre los frentes 4 y 5 con coordenadas: X=19928,4; Y=50782,3 (X=2373204,2; Y=4437217,8)

En el frente TR3-1 se observa el contacto por falla entre un depósito de till (cuaternario) al sur y rocas políticas de la Fm. Santa Cruz al norte. El depósito de till está formado por una zona de bloques de basaltos de tamaños que varían de 10 cm a 70 cm, con una matriz de loes y arena de grano media a fina de color parda masiva (N). El till está en contacto con una pelita perteneciente a la Fm. Santa Cruz mediante una falla de tipo normal que se encuentra buzando hacia el S (N195/40) y estrías (184/61).

En el frente TR3-2 afloran rocas de la Fm. Santa Cruz con la secuencia buzando hacia el noroeste con un ángulo aproximado de 16° (Figura 5.32). En la parte superior se encuentra la capa de suelo con vegetación (A) y depósitos de grava en partes grano sostén y en otras matriz sostén con matriz arenolimososa (Ñ y O) clasificados con depósitos de till. Por debajo se encuentra:

- a. Pelita limosa gris verdosa clara muy alterada con la presencia de nódulos de carbonato y algunas fracturas cementadas perteneciente a la Fm Santa Cruz (P)
- b. Pelita arenosa media color verde oscuro masiva alterada y fracturada, algunas fracturas se encuentran cementadas con carbonatos (Q).
- c. Arenisca media tobácea oxidada de color violácea, alterada y fracturada, algunas fracturas se encuentran cementadas con carbonatos (R).
- d. Pelita arenosa gris verdosa masiva, alterada y fracturada, con algunas fracturas rellenas con carbonatos y se observan la presencia de nódulos de carbonatos (S).

La cara frontal del frente 2 corresponde con la falla normal que pone en contacto las rocas de la Fm Santa Cruz y los depósitos de till (N) (Figura 5.32).

El frente TR3-3 está formado por depósitos de till con bloques de basalto que van de los 20 cm a un metro de diámetro, con una matriz arenolimososa de color parda masiva.

El frente TR3-4 muestra todos los estratos se encuentran inclinados hacia el noroeste, como consecuencia de un deslizamiento rotacional (Figura 5.33). La descripción de la secuencia de norte a sur es la siguiente:

- a. Estrato de grava gruesa, grano sostén, con matriz arenolimososa, anguloso a subanguloso, mal seleccionada con presencia de clastos de basaltos principalmente. Los clastos se encuentran cubiertos por una pátina de carbonato de calcio. Esta grava es la misma encontrada en el frente 2 (Ñ). Depósito de till.
- b. Grava grano sostén con muy poca matriz, de tipo arenolimososa parda, los clastos son redondeados a subredondeados de composición ácida y algunos basaltos con gradación inversa. En algunas partes se encuentran cementadas con carbonatos. Esta grava es la misma encontrada en el frente 2 (O). Posiblemente correspondiente a las gravas de los depósitos glaciales de la Terraza San Fernando.
- c. Pelita limosa gris verdosa clara muy alterada con la presencia de nódulos de carbonato y algunas fracturas cementadas. Esta pelita también se encuentra en el frente 2 (P).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 127 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

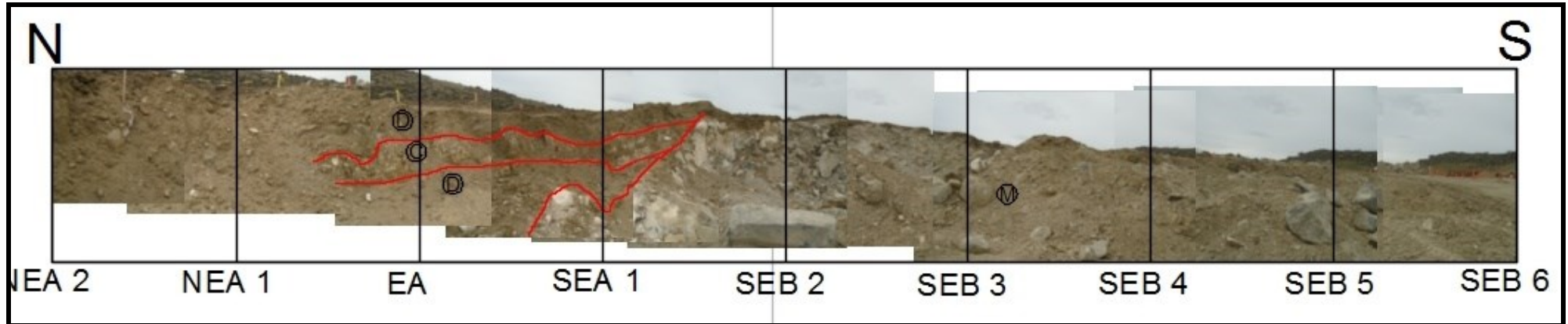


Figura 5.31: Fotografía del frente 1 TR2, con los contactos entre litologías marcados con rojo.





REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 128 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

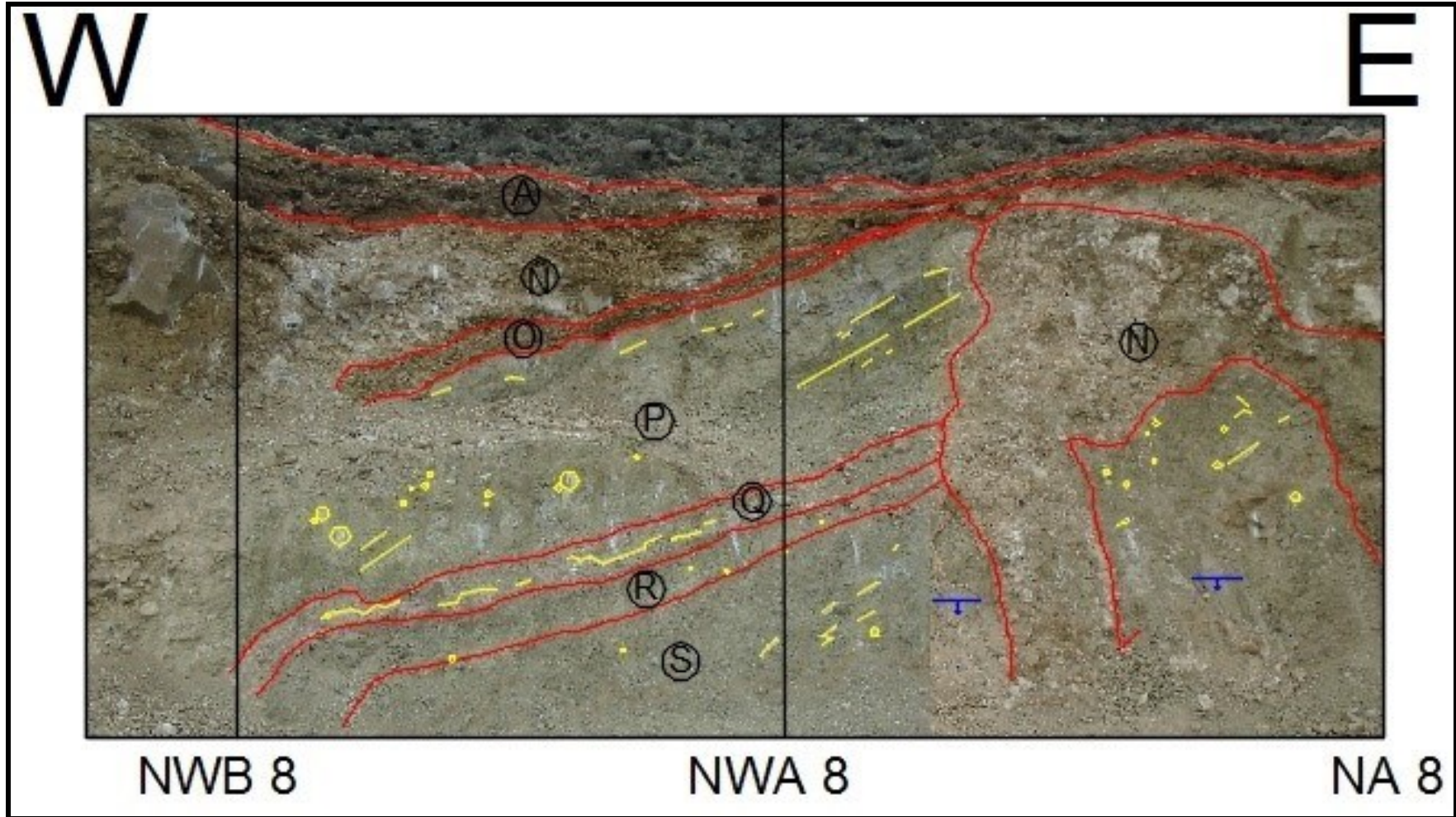



Figura 5.32: Fotografía del frente TR3-2 con los contactos entre litologías marcados con rojo, con una línea azul la falla, un área azul los slickenside y amarillo las fracturas con carbonatos y las concreciones.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 129 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

- a. Pelita arenosa de grano media color verde oscuro masiva alterada y fracturada, algunas fracturas se encuentran cementadas con carbonatos. Esta pelita se encuentra también en el frente 2 (Q). Se observa una falla de tipo normal, Rb/Bz 75°/55°N.
- b. Arenisca de grano medio tobácea oxidada de color violácea, alterada y fracturada, algunas fracturas se encuentran cementadas con carbonatos. Esta arenisca es la misma que se encuentra en el frente 2 (R).
- c. Pelita arenosa gris verdosa, masiva, alterada y fracturada, con algunas fracturas rellenas de carbonatos y se observan la presencia de nódulos de carbonatos. Esta pelita también se encuentra en el frente 2. (S)
- d. Pelita arenosa de color verde, masiva, alterada y contiene nódulos de carbonatos. (T)
- e. Arenisca tobácea de grano medio de color gris verdosa, alterada, masiva y fracturada. (U)
- f. Arenisca tobácea de grano medio de color pardo claro, masiva, alterada y fracturada. Esta arenisca posiblemente sea la misma que la anterior pero con la diferencia que se encuentra oxidada. (V)
- g. Pelita limosa de color verde grisácea, masiva y se encuentra muy fracturada. (W)
- h. Pelita arenosa de color violeta claro, masiva, muy alterada y fracturada. (X)
- i. Pelita limosa arenosa de color verde grisáceo clara, masiva, alterada y fracturada. (Y)
- j. Pelita limosa de color verde oscuro, masiva, alterada y muy fracturada. (Z)
- k. Pelita verde grisácea clara, masiva, muy alterada y muy fracturada. (AA)
- l. Pelita arenosa parda grisácea clara, masiva, muy alterada y fracturada. (AB)
- m. Pelita gris verdosa masiva, muy alteradas y fracturada con nódulos de carbonatos. (AC)

El frente TR3-5 está formado principalmente por un depósito de till con bloques de basalto de diversos tamaños que van de 20 cm a más de un metro. La matriz es arenolimsa de color parda, masiva. Los bloques y clastos se encuentran rodeados por una pátina de blanca de carbonato de calcio.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 130 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

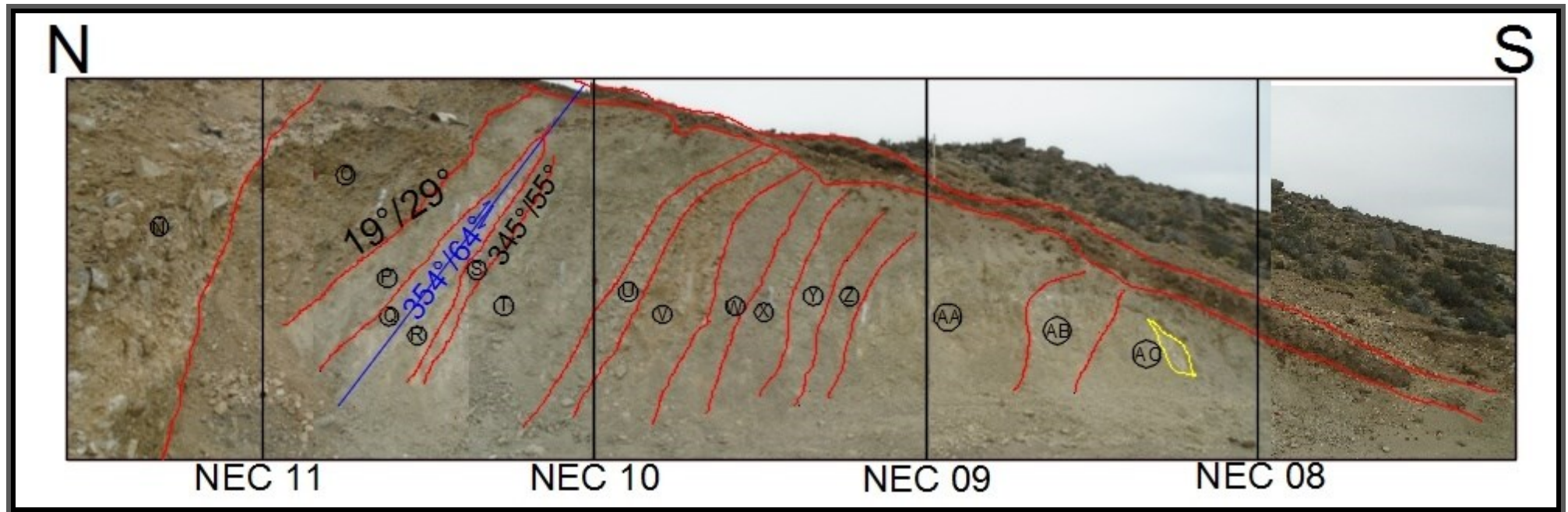



Figura 5.33: Fotografía del frente TR3-4 con los contactos entre litologías marcados con rojo, con azul las fallas y con amarillo los niveles con carbonato.

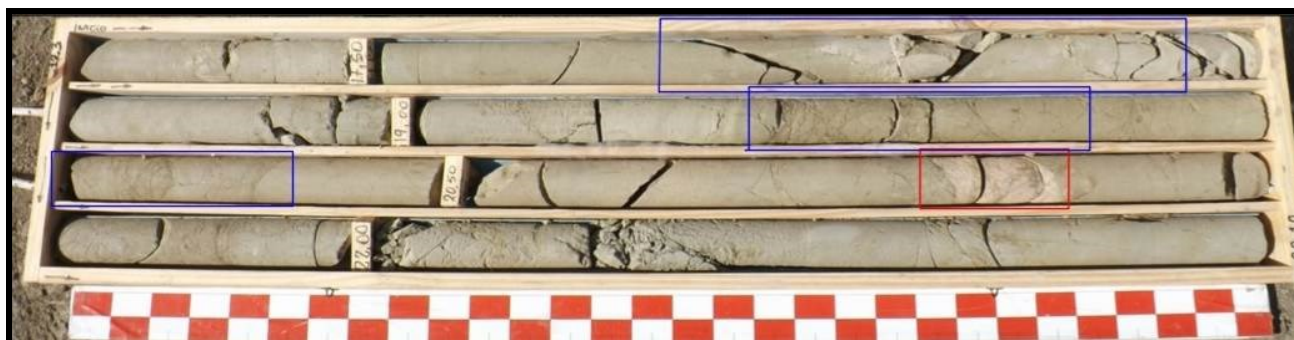
 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 131 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

Paralelamente a la excavación de la trinchera, se hicieron dos perforaciones, PRK 05 (Zona TR3) y PRK 07 bis (Zona TR1) y un pozo exploratorio (Zona TR1) dentro del área de la trinchera como estudios complementarios a la misma.

El PRK 05 se perforó en la zona TR3 con una cota de boca de pozo de 198,5 msnm. Esta perforación alcanzó una profundidad de 85 m (cota 113,5 m). En este sondeo se observaron indicios de deslizamientos hasta los 31,5 m de profundidad (cota 167 m).

Los indicios observados son:

- Contactos entre las rocas se encuentran de forma oblicua (Figura 5.34 en rojo);
- Gran número de fracturas oblicuas que se cortan entre sí (Figura 5.34 y Figura 5.35 en azul);
- Fracturas rellenas con carbonatos y óxidos;
- Concreciones de carbonatos (Figura 5.35 en amarillo);
- El grado de alteración de las rocas, que le da coloración parda



**Figura 5.34:** Foto del sondeo PRK 05, caja 6 de 16. Se observan contactos litológicos inclinados, en rojo y fracturas oblicuas, en azul.




**Figura 5.35:** Foto del sondeo PRK 05, caja 3 de 16. Se observan concreciones de carbonato en amarillo y fracturas oblicuas en azul.

El PRK 07 Bis se perforó en la zona TR1 con una cota de boca de pozo de 186,2 m. Esta perforación alcanzó unos 86 m de profundidad (cota 100,2 msnm). En este sondeo se observan algunos de los indicios que se encuentran en el PRK-05:

- Fracturas oblicuas que se cortan entre sí;
- Patinas de óxidos y carbonatos en las fracturas;
- Presencia de concreciones;
- Alto grado de alteración de la roca.

Estos indicios llegan hasta aproximadamente los 20 m de profundidad (cota 136 m).

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 132 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

El pozo exploratorio se está ejecutando en el mismo lugar que en PRK 07 Bis, con un diámetro de 2,5 m y una profundidad de 53 m. Se observaron varios indicios de que se encuentra un deslizamiento en la zona, corroborando algunos que se encontraron en el PRK 07 bis, como:

- Estratos inclinados,
- La roca se encuentra muy fracturada;
- Rellenos de carbonatos en las fracturas;
- Presencia de fallas entre los 12 y 16 m de profundidad;
- Agua surgente en una arenisca a los 18 m, indicando una conexión con la superficie;


Todos estos indicios llegan hasta los 21 m (cota 155,2 m), indicando que los fenómenos de remoción en masa están bien delimitados en los niveles superiores alterados de la Fm. Santa Cruz.

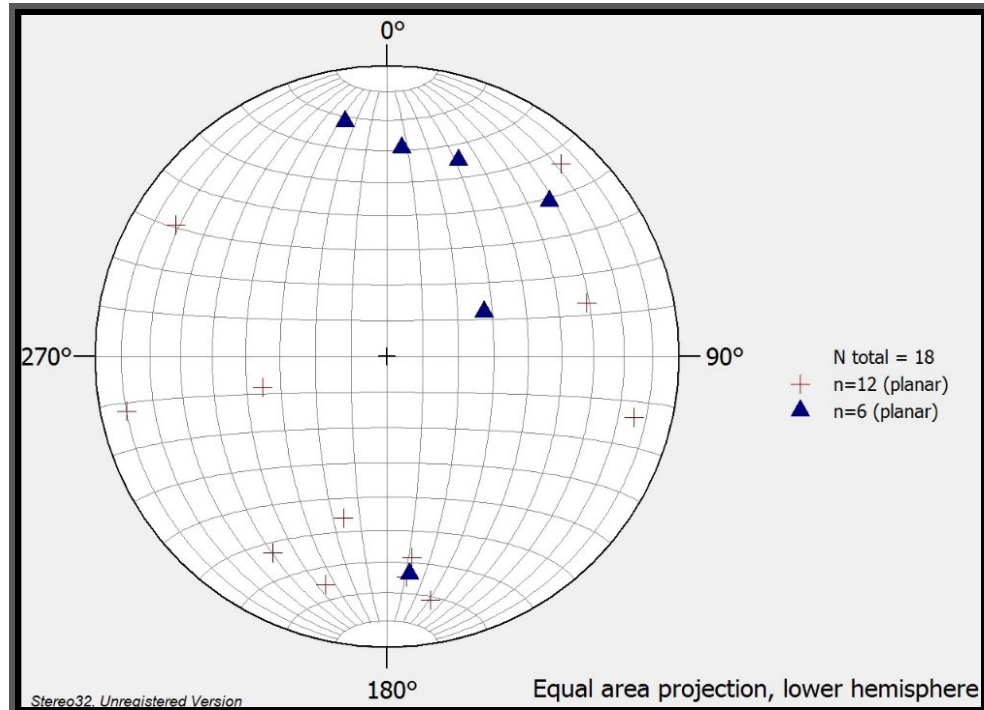
### 5.9.1. Análisis estructural de fallas

Las fallas proyecciones se mapeadas en la trinchera fueron tratadas con el programa Stereo32 v1.0.3. En las Tabla 5.23 se presentan los datos estructurales y en la Figura 5.36, la proyección estereográfica de los polos de dichas fallas.

**Tabla 5.23: Valores de dirección de buzamiento y buzamiento de las fallas en TR1 y TR3.**

Sector	Dirección de Buzamiento	Buzamiento
TR1	353	59
	350	74
	15	48
	222	78
	255	60
	284	76
	78	80
	76	36
	355	65
	15	70
	30	67
TR3	125	74
	184	61
	200	61
	226	66
	170	71
	245	30
354	64	

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 133 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902




**Figura 5.36: Proyección estereográfica de los polos de las fallas mapeadas en TR1 (cruces) y TR3 (triángulos).**

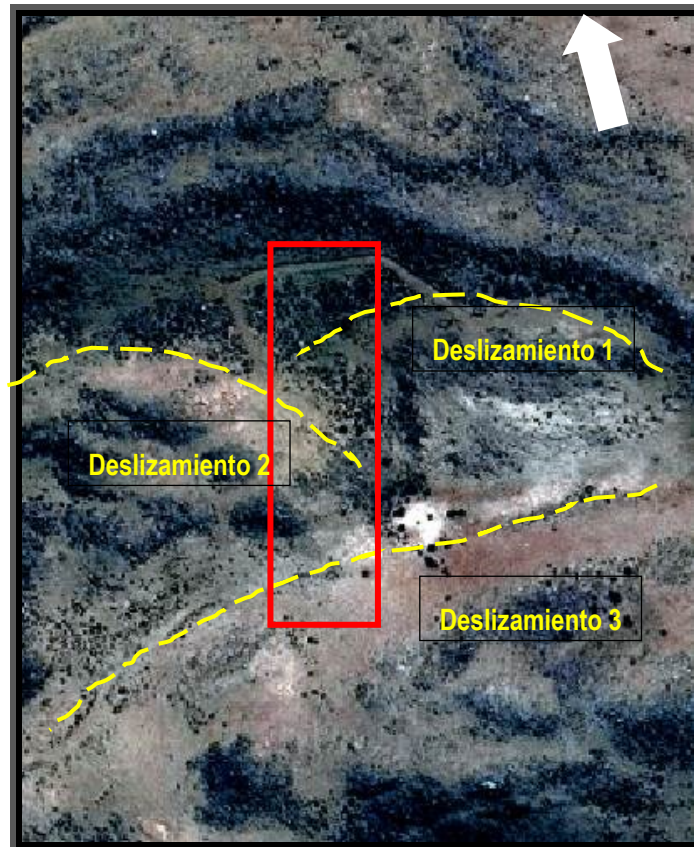
El diagrama estereográfico (Figura 5.36) muestra que hay 2 familias de fallas, las de que buzan en general hacia el N y NE y las que buzan en general hacia el S y SW, ambas con ángulos de buzamiento entre 60° y 80°. Estos resultados son coherentes con las direcciones estimadas de los deslizamientos hacia el S y SW pues es razonable la producción de fallas normales con dirección perpendicular a los movimientos extensionales generados al interior de los deslizamientos. Con la construcción de la trinchera se corrobora la existencia de deslizamientos en el área. Las evidencias que indican la existencia de estos fenómenos son:

- Estratos inclinados que van de 25° a 85°<sup>1</sup>
- La presencia de fallas del tipo normal al interior de las rocas de la Fm Santa Cruz y otras que ponen en contacto los depósitos de till con dichas rocas.
- El grado de fracturación y de alteración de la roca, inusual en la roca competente.
- Geoformas típicas de deslizamientos como las cicatrices curvas en las nacientes, las escarpas en los planos de ruptura y las depresiones asociadas en el dorso del bloque deslizado.

Dentro de la trinchera se pueden reconocer tres posibles deslizamientos, dos de ellos se pueden reconocer en el área TR3 y uno en TR1 (Figura 5.37).

<sup>1</sup> Cicterra.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 134 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902



**Figura 5.37: Superficies de deslizamiento deducidas de las observaciones geológicas realizadas en la trinchera exploratoria**

El primero se localiza al norte, en TR3 y está evidenciado por los estratos inclinados hacia el N y NW del frente 4 (Figura 5.33) y las fallas normales. Se estima que este deslizamiento tiene dirección de deslizamiento hacia el SE. El sondeo PRK 05 perforó en este deslizamiento y las evidencias, como contactos oblicuos de las rocas, fracturas oblicuas que se cortan entre sí, nódulos y rellenos de carbonatos y el grado de alteración de la roca, indican que tiene una profundidad de 31,5 m, llegando hasta la cota 167 m, aproximadamente, en este punto.

El segundo deslizamiento se desarrolla casi integralmente en la zona TR2 y afecta esencialmente depósitos de till y rocas de la Fm. Sta Cruz. En el frente TR3-1 se pueden observar una falla normal con rumbo E-W que pone en contacto los depósitos sedimentarios con la Fm. Santa Cruz (Figura 5.26). Esta falla indicaría el inicio del segundo deslizamiento.

El Tercer deslizamiento atraviesa la trinchera en la zona TR1 y sus efectos pueden observarse en las Figura 5.26 a Figura 5.30. En ellas se observan estratos basculados y frecuentes fallas normales, con dirección N-S y buzamiento al este, que afectan los estratos de la Fm. Santa Cruz. La presencia del dique clástico en el frente TR1-3 es indicativo de una inyección de material plástico entre las dos paredes de la falla durante el movimiento del deslizamiento. El sondeo PRK 07 Bis y el pozo exploratorio, en TR1, confirman la presencia del deslizamiento cuyo plano o faja de movimiento se ubicaría entre las cotas 165 y 166 m.

## 5.10. Pozo Exploratorio

El pozo exploratorio se encuentra en margen izquierdo de la presa, en la parte sur de la trinchera exploratoria (Figura 5.38) ubicado en el punto de inflexión del eje de la toma y el eje del vertedero.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 135 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902



**Figura 5.38: Ubicación aproximada del pozo exploratorio al sur de la trinchera**

Las coordenadas del centro del pozo son x: 19898 - y: 50652 - z: 186,2. Tiene un diámetro de 2,5 m y actualmente, su profundidad es de 53,3 m representando el 89% de ejecución. Está previsto que llegue a los 60 m hasta cota 126,2 m. Su construcción es de forma manual, con martillos neumáticos, pico y pala. El material se retira del mismo por medio de un balde-guinche. El método de sostenimiento consiste en los primeros 3 m de chapas liner y por debajo se colocan cotillas de acero con malla electrosoldada.

Los objetivos de la excavación fueron: a) atravesar la secuencia de materiales que componen los macizos de till y de roca, b) caracterizar la profundidad de los procesos de remoción en masa y los materiales afectados, c) exponer, por primera vez, el macizo de roca competente y d) obtener muestras para ensayos de laboratorio de mecánica de rocas en los niveles de fundación de las estructuras.

El informe completo se presenta en el Anexo 09 con el código NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001-0B.

Anterior al pozo se ejecutó una perforación, el PRK 07 bis, de 86 m de profundidad, ubicado el centro del mismo.

El mapeo geológico se ejecutó cada 2 m, aproximadamente, antes de la colocación del sostenimiento. La metodología se detalla en el informe del Anexo 09 pero esquemáticamente consiste en las siguientes etapas:

- a. Marcación topográfica de las cotas en la pared excavada;
- b. Marcación en la pared excavada de los 4 principales puntos cardinales (Norte, Este, Oeste y Sur)
- c. Levantamiento geológico de detalle con énfasis en las unidades litológicas, contactos y caracterización de discontinuidades, en la planilla de mapeo a escala 1:100. Para la orientación de las discontinuidades se utilizó la notación Clark (dirección de buzamiento/buzamiento);
- d. Obtención de fotografías secuenciales desde el norte en sentido horario

El mapeo actualizado se presenta en la Figura 5.39.





REPRESAS PATAGONIA  
E.L.I.N.G.-C.G.G.C.-H.C.S.A.-U.T.E.

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 136 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

## MAPEO POZO EXPLORATORIO

### SIMBOLOGÍA

- So = Planos de estratificación
- S = Superficie de fractura
- 154/38 = Rb/Bz
- F = Zona de falla o falla discreta
- PL = Sup.Plana
- Li = Sup.Lisa
- Rg = Sup.Rugosa
- SR = Sin relleno
- CO<sub>r</sub> = Relleno CaCO<sub>3</sub>
- On = Sup. Ondulada
- = Contacto litológico
- ▲ = Golpe con esclerometro

### DESCRIPCIONES

#### ARENISCA

#### ARENISCA FINA

- a- Arenisca arcillosa, Parda clara, blanda.
- b- Areniscas laminadas, varvitas.
- c- Arenisca limoarcillosa, pardo verdosa.
- e- Arenisca limosa parda clara, friable (blando).
- L- Arenisca fina limosa arcillosa parda grisacea
- N- Arenisca fina limosa pardo oscura

#### ARENISCA MEDIA

- i- Arenisca media gris polimictica tobacea
- M- Arenisca media gris (tobacea)

#### ARENISCA GRUESA

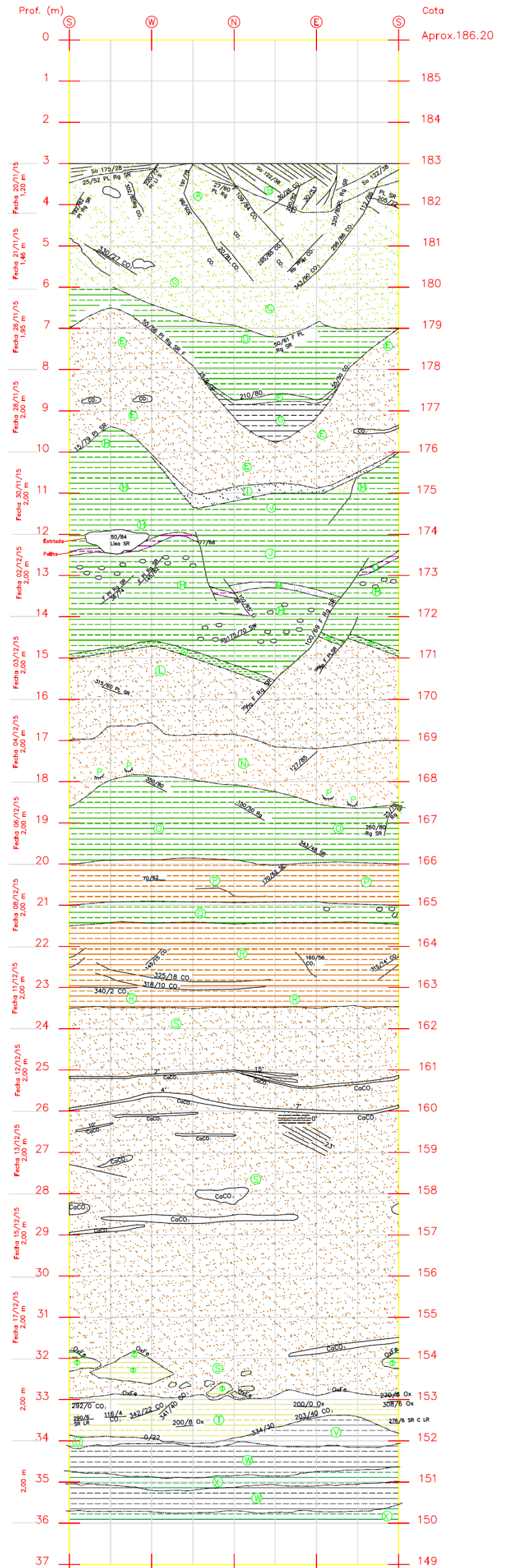
- S- Arenisca gruesa media polimictica parda oscura con estratificación entrecruzada, concreciones, y niveles cementados con CaCO<sub>3</sub>

#### PELITA

- d- Pelita limosa verde.
- f- Pelita verde (limo arcillosa), blanda (porosa).
- g- Pelita arenosa parda clara.
- h- Pelita limosa verde clara, dura.
- j- Pelita arenosa brechosa verde gris clara
- O- Pelita arcillosa pardo verdosa plástica
- P- Pelita limosa (bajo contenido de limo) levemente plástica
- Q- Pelita arcillosa gris oscura (en contacto con agua se pone plástica, medianamente alterada)
- R- Pelita arenosa parda clara
- T- Pelita limosa verde clara poco alterada (posible textura brechosa) (contacto con S se encuentran prismas de Óxido de hierro)
- U- Pelita limosa plástica violeta
- V- Pelita verde grisacea oscura
- W- Pelita arenosa gris oscura
- X- Pelita Arcillosa verde oscura
- Y- Pelita verde grisacea
- AF- Pelita Tobacea arenosa gris clara
- AG- Pelita tobacea arenosa gris clara
- AH- Pelita limosa verde grisacea
- AI- Pelita limosa verde claro
- AJ- Pelita arenosa gris parda
- AK- Pelita arenosa tobacea gris clara
- AL- Pelita arenosa tobacea gris oscura
- AM- Pelita arenosa gris verdosa moteada
- AN- Pelita limosa verde grisacea oscura

#### LIMO

- k- Limo arcillita parda clara masivo tobacea
- Z- limolita arcillosa gris verdosa
- AA- limolita arcillosa con arena fina gris claro
- AB- limolita arcillosa arena fina gris claro
- AC- limolita arcillosa gris verdosa oscura
- AD- Toba arena limosa gris claro
- AE- limolita arcillosa arenosa gris claro





REPRESAS PATAGONIA  
E.L.I.N.G.-C.G.G.C.-H.C.S.A.-U.T.E.

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 137 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

## MAPEO POZO EXPLORATORIO

### SIMBOLOGÍA

So = Planos de estratificación  
S = Superficie de fractura  
154/38 = Rb/Bz  
F = Zona de falla o falla discreta  
PL = Sup.Plana  
Li = Sup.Lisa  
Rg = Sup.Rugosa  
SR = Sin relleno  
CO+ = Relleno CaCO<sub>3</sub>  
On = Sup. Ondulada  
= Contacto litológico  
▲Rxxxx = Golpe con esclerometro

### DESCRIPCIONES

ARENISCA

ARENISCA FINA

a- Arenisca arcillosa, Parda clara, blanda.  
b- Areniscas laminadas, varvitas.  
c- Arenisca limoarcillosa, pardo verdosa.  
e- Arenisca limosa parda clara, friable (blando).  
L- Arenisca fina limosa arcillosa parda grisacea  
N- Arenisca fina limosa pardo oscura

ARENISCA MEDIA

i- Arenisca media gris polimictica tobacea  
M- Arenisca media gris (tobacea)

ARENISCA GRUESA

S- Arenisca gruesa media polimictica parda oscura con estratificación entrecruzada, concreciones, y niveles cementados con CaCO<sub>3</sub>

PELITA

d- Pelita limosa verde.  
f- Pelita verde (limo arcillosa), blanda (porosa).  
g- Pelita arenosa parda clara.  
h- Pelita limosa verde clara, dura.  
j- Pelita arenosa brechosa verde gris clara  
O- Pelita arcillosa pardo verdosa plástica  
P- Pelita limosa (bajo contenido de limo) levemente plástica  
Q- Pelita arcillosa gris oscura (en contacto con agua se pone plástica, medianamente alterada)  
R- Pelita arenosa parda clara  
T- Pelita limosa verde clara poco alterada (posible textura brechosa) (contacto con S se encuentran prismas de Óxido de hierro)  
U- Pelita limosa plástica violeta  
V- Pelita verde grisacea oscura  
W- Pelita arenosa gris oscura  
X- Pelita Arcillosa verde oscura  
Y- Pelita verde grisacea  
AF- Pelita Tobacea arenosa gris clara  
AG- Pelita tobacea arenosa gris clara  
AH- Pelita limosa verde grisacea  
AI- Pelita limosa verde claro  
AJ- Pelita arenosa gris parda  
AK- Pelita arenosa tobacea gris clara  
AL- Pelita arenosa tobacea gris oscura  
AM- Pelita arenosa gris verdosa moteada  
AN- Pelita limosa verde grisacea oscura

LIMO

k- Limo arcilila parda clara masivo robacea  
Z- limolita arcillosa gris verdosa  
AA- limolita arcillosa con arena fina gris claro  
AB- limolita arcillosa arena fina gris claro  
AC- limolita arcillosa gris verdosa oscura  
AD- Toba areno limosa gris claro  
AE- limolita arcillosa arenosa gris claro

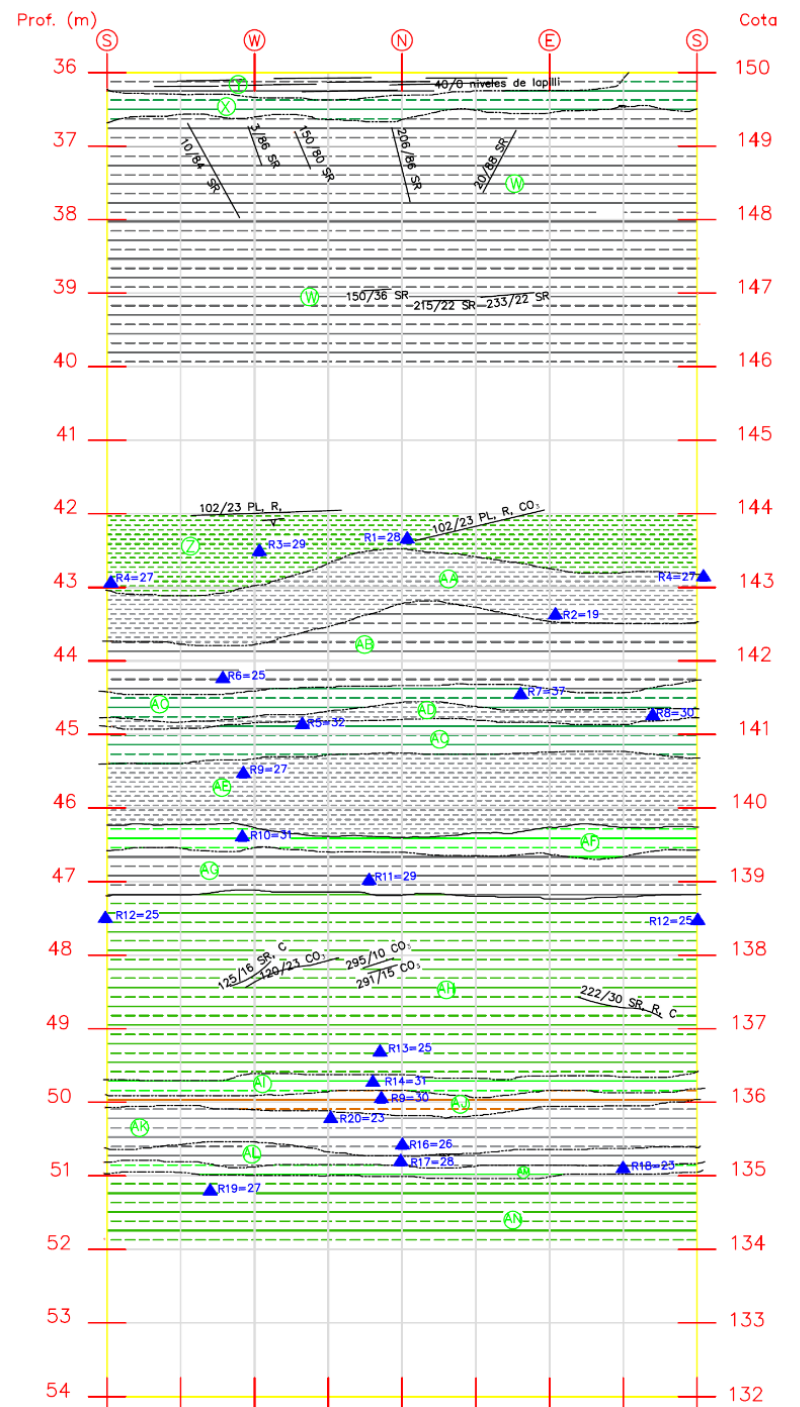



Figura 5.39: Mapeo geológico del Pozo exploratorio entre cotas 186,2 m y 134 m

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 138 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

A partir de la cota 144,2 m (42 m de profundidad) se ejecutaron mediciones con el esclerómetro de Schmidt marca ELE con una energía de impacto de 0.735 Nm, para detectar posibles capas débiles y conocer la resistencia relativa de los distintos estratos. Se realizaron como mínimo 20 golpes por estrato.

En el mapeo se pueden individualizar 3 ambientes claramente diferenciados:

a) tramo entre 0 a 18,5 m (cotas 186,2 a 167,5 m) donde el macizo está fuertemente afectado por fallas normales con basculamiento de estratos, fracturamiento subvertical relleno con calcita y rocas de la Fm. Santa Cruz fuertemente alterada (color pardo claro) y baja competencia,

b) tramo entre 18,5 m y 34 m (cotas 167,5 m a 152,2 m) donde el macizo presenta estratificación subhorizontal, fracturas aisladas y la roca muy alterada (color pardo claro)

c) tramo entre 34 m a 53 m (cotas 152,2 m a 133,2 m) donde el macizo presenta la roca sana con estratificación horizontal a subhorizontal y con muy pocas fracturas aisladas.

El primer tramo presenta, hasta los primeros 6m de profundidad (cota 180,2 m), un macizo rocoso compuesto de areniscas arcillosas a limosas, muy fracturado (Figura 5.40) aunque con una clara disminución de la frecuencia con la profundidad. En general las fracturas se encuentran rellenas con carbonato de calcio indicando que en algún momento circulo agua por ellas. Entre los 6 m y 12 m de profundidad aparecen las primeras intercalaciones de rocas pelíticas con las areniscas. Los estratos muestran en general inclinación moderada hacia el NE. Desde los 12 m hasta los 16m se observa una zona que se encuentra afectada por fallas del tipo normal (Figura 5.41). Quedan en evidencia por el desplazamiento de estratos guía de poco espesor, que se encuentran cortados y desplazados. Otra evidencia es la presencia de estrías en las superficies de los planos de fallas.

Entre los 16 m y 18,5 m (cotas 170 m y 167,5 m) ya no se encuentran evidencias de fallas per fuertemente alterado y presenta, a los 18m, agua surgente en forma de goteos persistentes en una arenisca fina limosa (N) de color pardo. El caudal inicialmente bajo, experimento disminución con el paso del tiempo. Se estima que esta surgencia podría estar marcando la parte inferior del bloque deslizado lo cual indicaría que las areniscas se encuentran conectadas con la superficie por medio de fallas o fracturas.

El conjunto de evidencias descritas anteriormente, permite afirmar que este tramo es consecuencia de la acción de los deslizamientos identificados en la superficie.

El segundo tramo se desarrolla entre las cotas 167,5 m y 152,2 m (profundidad 18,5 m y 34 m). Entre los 18,5 m y los 23,5 m se presenta una sucesión alternada de pelitas arcillosas (O) y pelitas limosas (P), de color pardo claro, sin agua. Las capas yacen subhorizontales y presentan algunas fracturas sin relleno, con buzamiento medio a alto. En contacto transicional se dispone una arenisca (S) parda oxidada, con estratificación cruzada planar, con niveles cementados con carbonato de calcio (Figura 5.42). En el piso del estrato, aproximadamente entre los 32 m y 33 m, aparecen fragmentos pelíticos dentro de la capa de arenisca indicando que al momento de implantación del canal fluvial, la energía del cauce desprendió fragmentos pelíticos del lecho y los depositó junto a las arenas. Estas areniscas pardas corresponden a las areniscas grises oscuras friables con alteración limonítica. Desde los 33 a 34 m (cota 153,2 a 152,2 m) se desarrolla un estrato pelítico laterado de colora pardo.

A partir de los 34 m (cota 152,2 m) se desarrolla el macizo rocoso competente formado por la intercalación de pelitas verdes grisáceas y pelitas tobáceas grises. Estas rocas casi no presenta fracturas, salvo en algunos sectores aislados y la mayoría son subhorizontales (Figura 5.43).

A los 52,3 m aproximadamente, cota aproximada 133,9 m, aparece una capa de areniscas negras, la misma que aparece en el portal de la galería. En el portal de la galería se observa que estas areniscas tienen un goteo constante y se forman charcos en el piso del portal. El goteo se observa en el contacto de la arenisca negra y unas pelitas arcillosas verde con textura moteada a laminar y en contacto entre las pelitas y el deslizamiento.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 139 de 389

Doc. N°  
NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

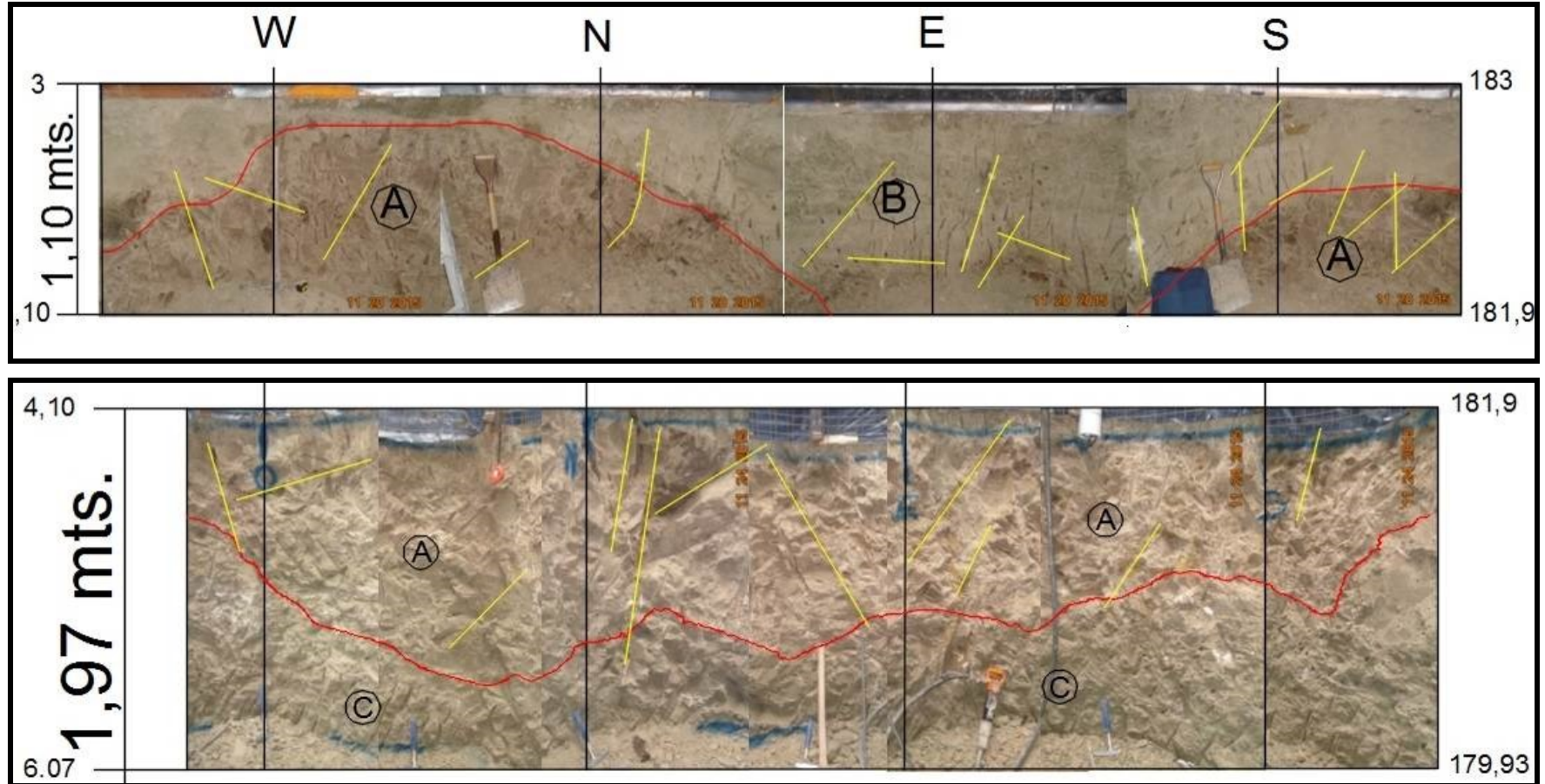


Figura 5.40: Tramo de 3,0 a 6,07 m. En rojo contactos litológicos y en amarillo las fracturas. A la derecha se indican las cotas y a la izquierda las profundidades. En esta sección continúan las areniscas arcillosas (A) hasta aproximadamente los 5m en la parte más profunda, Por debajo, con un contacto difuso, se encuentran unas areniscas limo arcillosas (C) de color pardo verdoso, masivas. Se observan muchas fracturas, algunas cementadas con carbonatos y concreciones de carbonatos.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 140 de 389

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

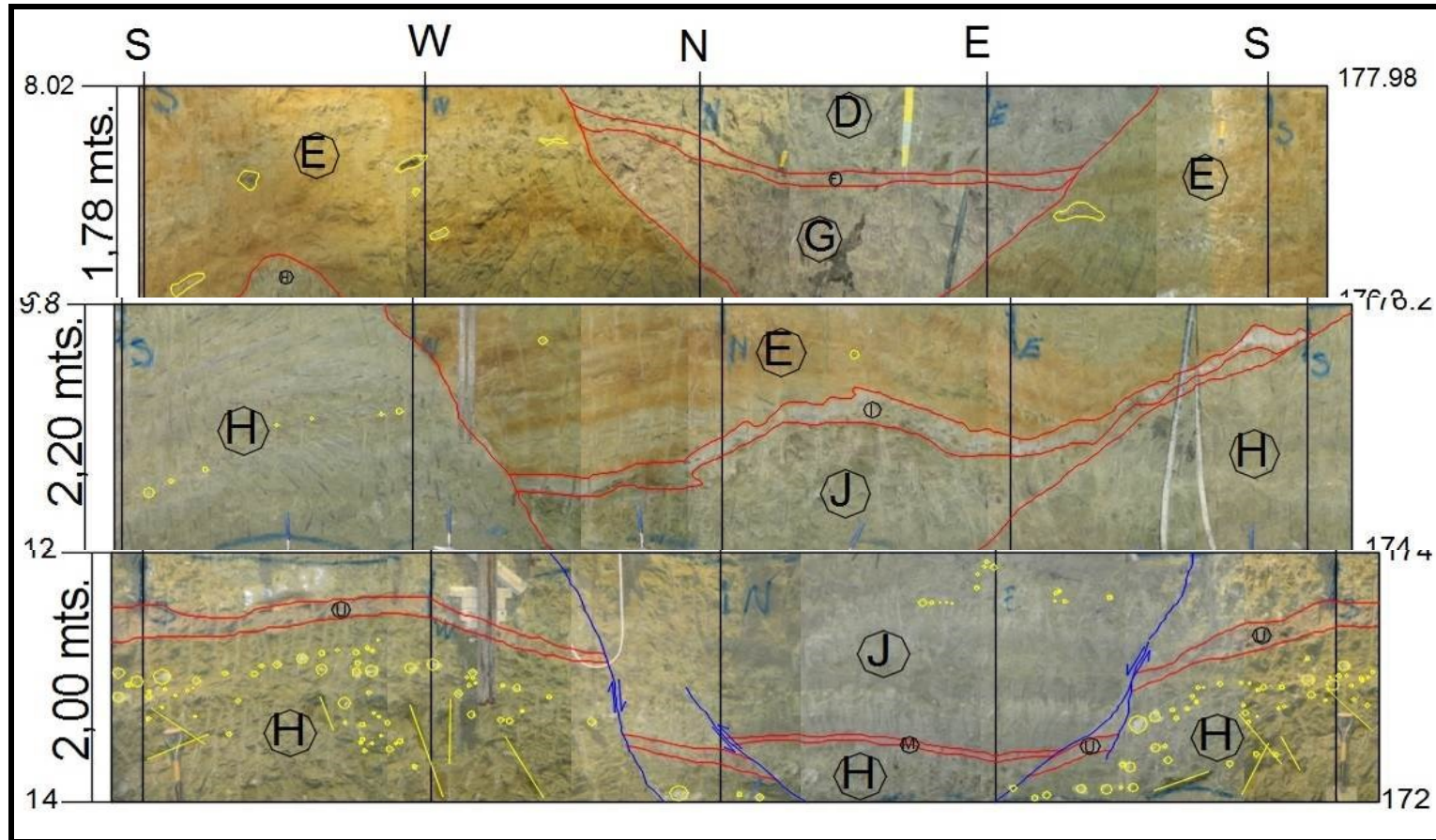


Figura 5.41: Tramo 8,02 m a 14 m. Mostrando las fallas normales que afectan las rocas alteradas de la Fm Santa Cruz. Litologías mapeadas: pelitas limosas (D), areniscas limosas (E), pelitas limo arcillosas (F) de color verde, blandas, pelita arenosa tobácea (G) de color parda grisácea, pelitas limosas (H) de color verde claro, masivas, areniscas tobáceas (I) de color gris, masivas, pelitas arenosas (J), de color verde grisáceo claro, con textura brechosa, pelita violeta (U), masiva, la cual se encuentra cortada y desplazada por fallas de tipo normal con direcciones  $102^{\circ}/65^{\circ}$  y  $100^{\circ}/69^{\circ}$  y areniscas de grano medio (M) grises.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 141 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

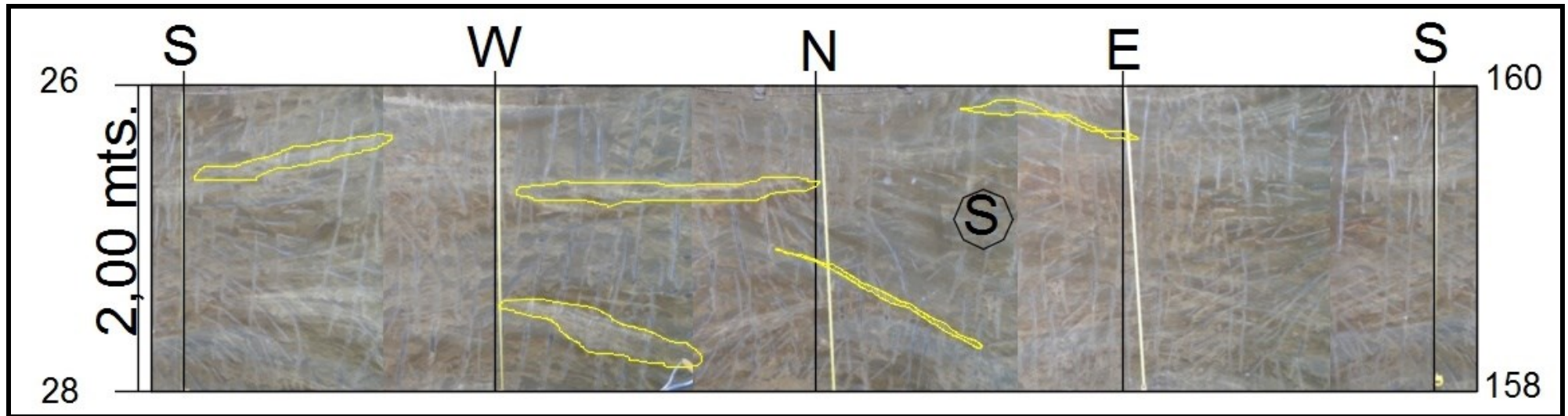


Figura 5.42: Arenisca limonitizada (S) tramo 26 a 28 m.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 142 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

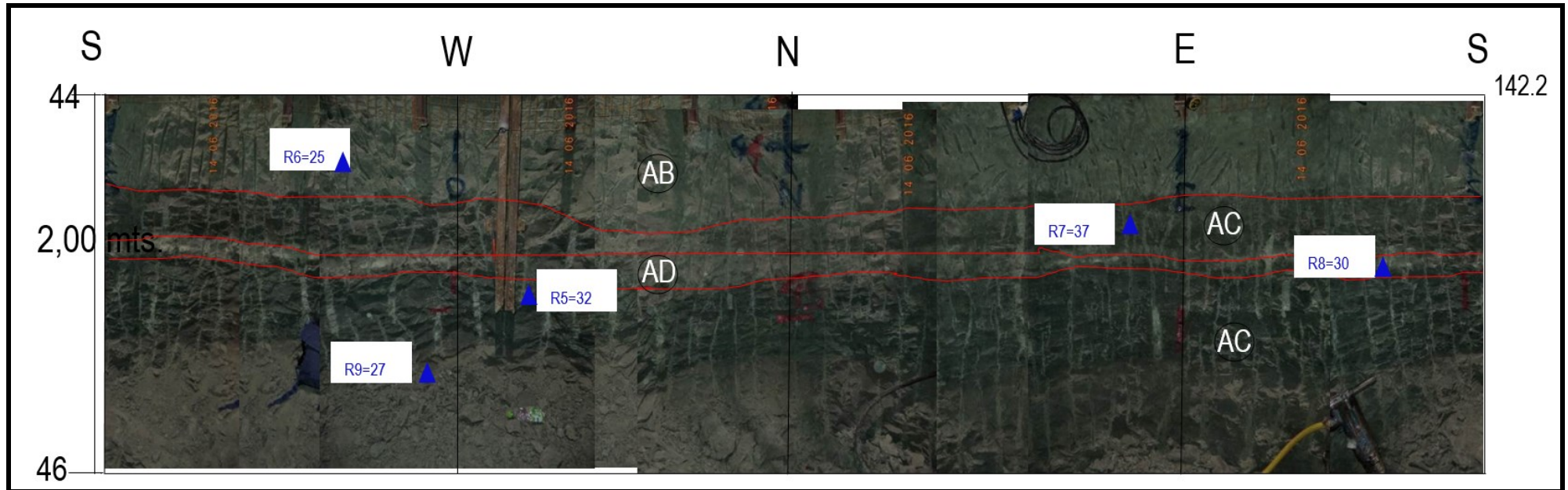


Figura 5.43: Mapeo geológico tramo 44 a 46 m correspondiente a rocas competentes. Por debajo de la limolita (AB) hasta los 45,5 m, cota 140.7 m, aparece una limolita arcillosa gris verdosa oscura (AC), textura masiva y se encuentra húmeda. Esta limolita (AC) se encuentra cortada desde los 44.6 m a 44.8 m, cotas 141.6 m y 141.4 m respectivamente, por una toba areno limosa gris claro (AD) con textura moteada. En general los contactos son netos menos en el lado norte donde los contactos se vuelven difusos.

Los diferentes tramos identificados en el pozo tienen su reflejo en la posición de las fracturas, falla y planos de estratificación. Las Figura 5.44, Figura 5.45 y Figura 5.46 presentan, respectivamente, los diagramas estereográficos de las fracturas, falla y planos de estratificación mapeadas en el tramo entre cotas 186,2 m y 167,7 m. Se utilizó el programa DIPS 6.0.

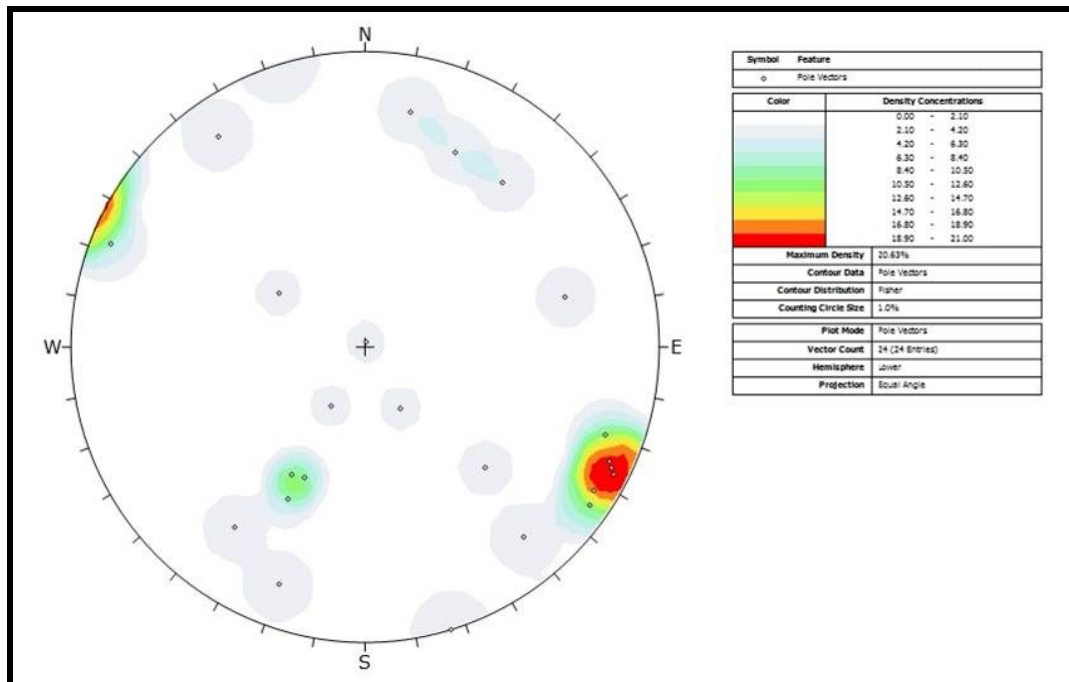


Figura 5.44: Diagrama estereográfico de las fracturas mapeadas en el tramo 0-18,5m (Cotas 186,2 m a 167,7 m)

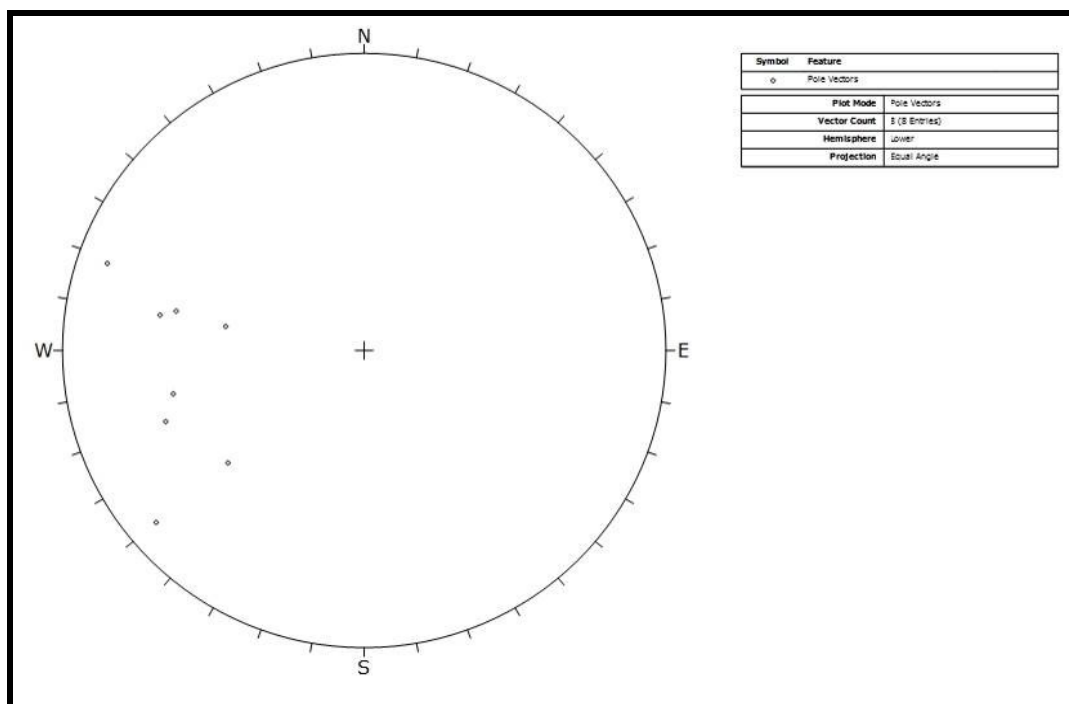


Figura 5.45: Diagrama estereográfico de las fallas normales mapeadas en el el tramo 0-18,5 m (Cotas 186,2 m a 167,7 m)



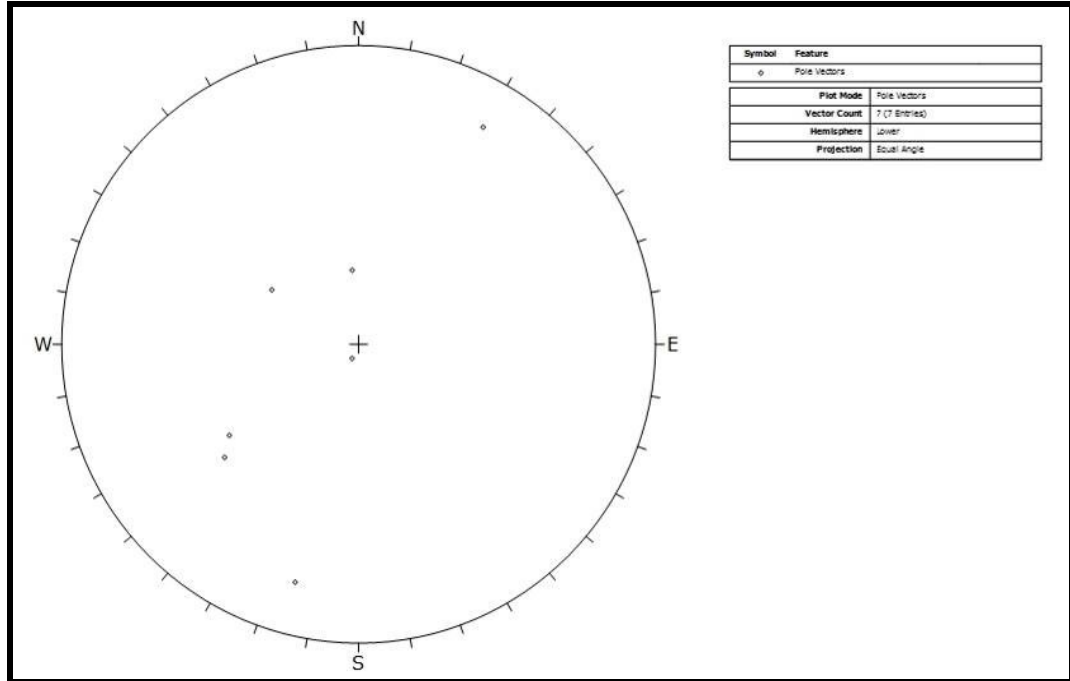


Figura 5.46: Diagrama estereográfico de los planos de estratificación en el tramo 0-18,5 m (Cotas 186,2 m a 167,7 m)

Las Figura 5.47 y Figura 5.48 presentan la posición espacial de las fracturas mapeadas en los tramos 18,5 m y 34 m (Cotas 167,7 a 152,2 m) y 34 m y 53 m (Cotas 152,2 m a 133,2 m).

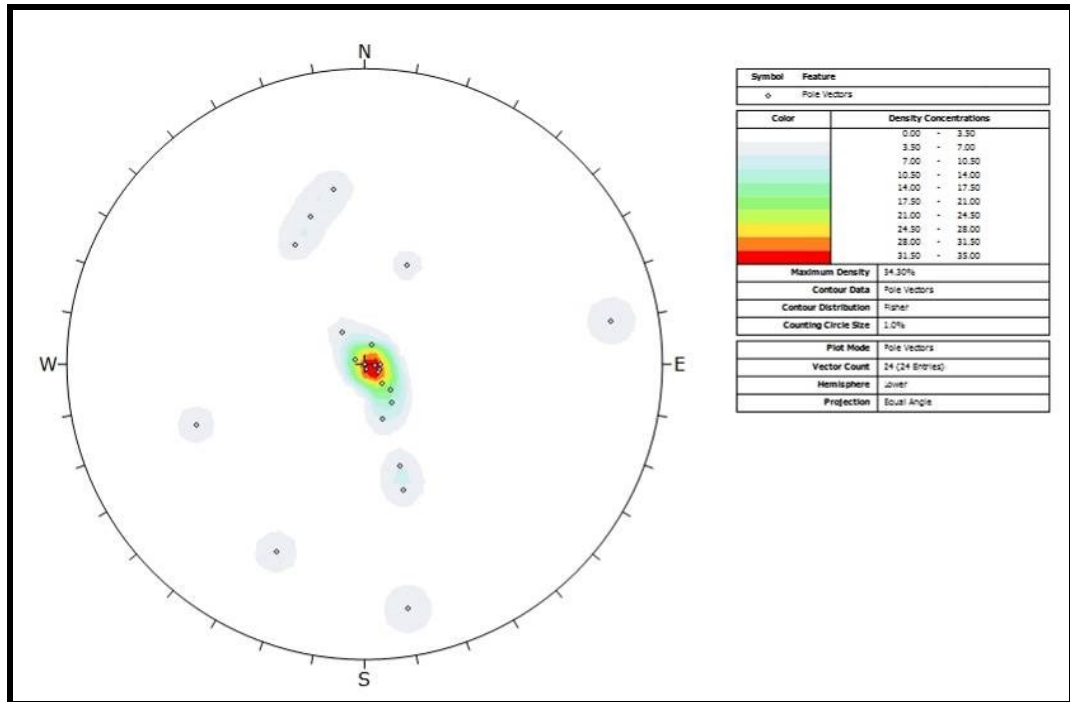



Figura 5.47: Diagrama estereográfico de las fracturas en el tramo 18,5 m a 34 m (Cotas 167,7 a 152,2 m)

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 145 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

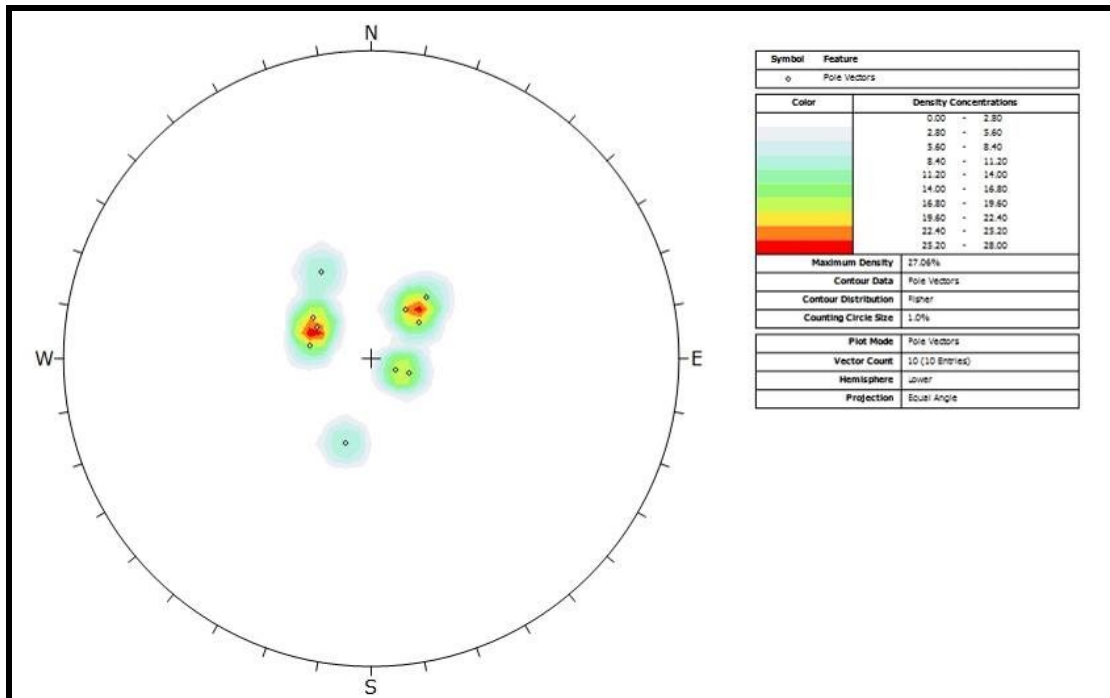


Figura 5.48: Diagrama estereográfico de las fracturas en el tramo 34 m a 53 m (Cotas 152,2 a 133,2 m)

En el tramo superior (Figura 5.49) las fracturas presentan 3 familias más o menos definidas:

**A: 297°/85°**

**B: 25°/55°**

**C: 206°/71°**

Según lo observado en las Figura 5.47 y Figura 5.48, las fracturas subverticales dejan de ser importantes desde los 20 m de profundidad. En los tramos inferiores predominan las fracturas subhorizontales posiblemente debido a la influencia de la estratificación.

Las fallas normales (Figura 5.45) varían entre 72°/67° y 100°/66°. Según se puede observar la mayoría de las fallas son de alto a mediano ángulo y se encuentran buzando hacia el NE y SE, siendo todas de carácter normal. Las fallas proyectadas se encontraron entre los 3 m hasta los 16 m. A mayor profundidad no se encontraron evidencia de fallas. Comparando la representación espacial de las fallas normales mapeadas en la trinchera (Figura 5.36) con las mapeadas en el pozo (Figura 5.45), se observa que las fallas de la zona TR1 son compatibles con las del pozo es decir fallas que buzcan hacia el NE, mientras que las mapeadas en la zona TR3 son conjugadas a las anteriores y buzcan hacia el SW.

Con el propósito de obtener una medida objetiva de la competencia relativa de los diferentes estratos atravesados en el pozo, se procedió a medir el índice esclerométrico con un martillo Schmidt marca ELE con energía de impacto 0,735 Nm. En la Tabla 5.24 se presentan los valores obtenidos discriminados por profundidad, cota y tipo de roca.

Cabe comentar que en la roca alterada el valor de R es igual a 0 y que la arenisca negra, considerada la roca más débil de la formación, tiene un valor de R promedio de 18 y varía entre 12 y 21.

Con excepción de una limolita encontrada a los 43,3 m de profundidad que dio un R promedio similar a las areniscas negras, todas las demás rocas (pelitas, tobos y areniscas pelíticas) muestran valores promedios altos para estas rocas entre 25 y 37.

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 146 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

**Tabla 5.24: Valores de R (rebote) obtenidos con el esclerómetro Schmidt en el pozo.**

Ensayo N°	Profundidad (m)	Cota (msnm)	Roca	Promedio	Valor Mínimo	Valor Máximo
R1	42,8	143,4	limolita arcillosa GV masiva (Z)	28	18	34
R2	43,4	142,8	limolita arcillosa GV Clara masiva (AA)	19	12	28
R3	42,5	143,7	limolita arcillosa GV masiva (Z)	29	18	35
R4	42,8	143,4	limolita arcillosa GV masiva (Z)	27	18	36
R5	44,75	141,5	limolita arcillosa GV masiva (AC)	32	26	38
R6	44,2	142,0	Limolita arcillosa gris clara, masiva, húmeda (AB)	25	17	32
R7	44,4	141,8	Limol. Arc. gris verd. oscura, masiva, húmeda (AC)	37	29	44
R8	44,7	141,5	Toba areno limosa gris clara (AD)	30	20	38
R9	45,4	140,8	Limolita arcillosa gris clara (AE)	27	24	34
R10	46,5	139,7	Pelita limosa verde gris (AF).	31	19	39
R11	47	139,2	Pelita tobacea arenosa gris clara (AG).	29	24	35
R12	47,5	138,7	Pelita Limosa verde grisácea (AH).	25	16	32
R13	48,55	137,7	Pelita limosa verde grisácea. (AH)	25	19	30
R14	49,55	136,7	Pelita limosa verde (AI)	31	24	38
R15	49,75	136,5	Pelita arenosa tobacea Gris parda.(AJ)	30	25	34
R16	50,6	135,6	Pelita tobacea arenosa gris clara (AK)	26	20	34
R17	50,8	135,4	Pelita tobacea gris oscura moteada (AL)	28	19	34
R18	50,9	135,3	Pelita arenosa gris con concreciones (AM)	23	12	38
R19	51,1	135,1	Pelita limosa verde grisácea (AN)	27	20	34
R20	50,52	135,7	Pelita tobacea arenosa gris clara (AK)	23	18	33

A modo preliminar la excavación del pozo confirmo la división de materiales geológicos en los que se dividen los macizos de la margen izquierda de la presa NK. De abajo hacia arriba se constató la presencia del llamado macizo de roca competente como siendo las unidades litológicas sanas desde el punto de vista de la meteorización, con estratos subhorizontales, muy poco fracturada y con colores grises claros a grises verdoso pertenecientes a la Fm. Santa Cruz. Inmediatamente arriba se desarrolla el nivel de roca alterada de la misma formación, conformada por las mismas rocas en estratos subhorizontales pero afectadas por meteorización alta a mediana que le da una coloración pardo clara.


Arriba del nivel de roca alterada se desarrolla un complejo sistema de materiales conformados por rocas alteradas de la Fm. Santa Cruz, afectadas por los movimientos de remoción en masa con gran cantidad de fracturas rellenas de calcita, fallas normales y basculamiento de los estratos. Este sistema se completa con los depósitos de till compuestos por una heterogénea mezcla de bloques de basalto subredondeados, inmersos, a veces, en una matriz cohesiva producto del retrabajo de las pelitas alteradas del macizo rocoso subyacente, y otras veces por depósitos granulares fluvio-glaciales.

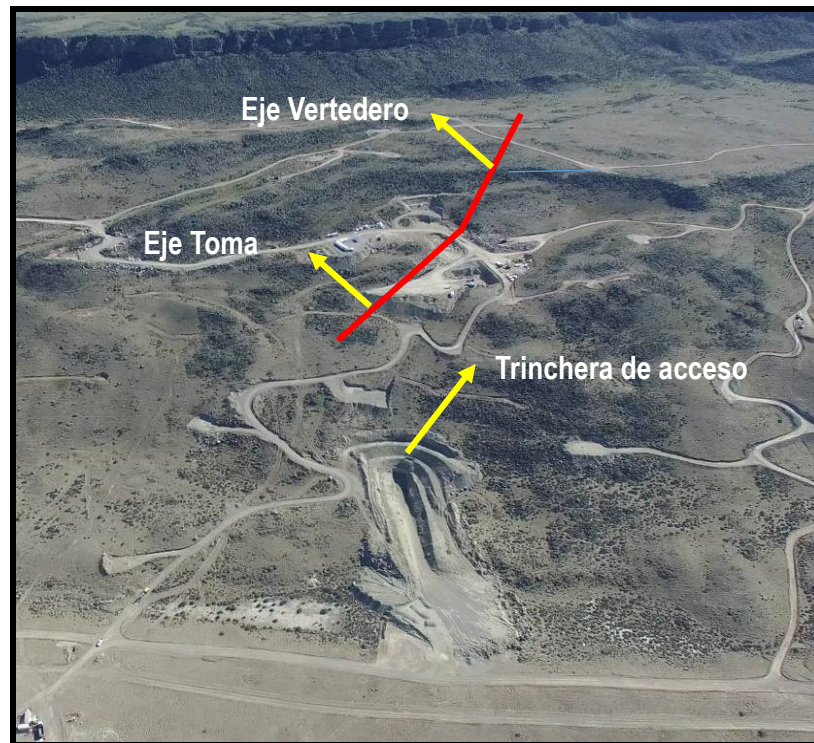
Los deslizamientos han afectado indistintamente los depósitos de till como los niveles alterados de la Fm Santa Cruz. En la zona de movimiento del deslizamiento se ha observado agua en goteos persistentes.

A modo recordatorio, en la Trinchera, el sondeo PRK 05 se perforo en la zona TR3 con una cota de boca de pozo de 198,5 msnm. Esta perforación alcanzó una profundidad de 85 m (cota 113,5 m). En este sondeo se observaron indicios de deslizamientos hasta los 31,5 m de profundidad (cota 167 m), mientras que en el sondeo PRK 07, todos estos indicios llegan hasta los 21 m (cota 155,2 m), indicando que los fenómenos de remoción en masa están bien delimitados en los niveles superiores alterados de la Fm. Santa Cruz.

### 5.11. Galería de Investigación en Margen Izquierda

Como parte de la campaña de investigaciones 2015, se programó la ejecución de una galería de investigación de aproximadamente 300 m de longitud cuyo principal objetivo fue la de exponer las rocas de la fundación de la toma. El acceso a la galería se realizó a partir de una trinchera lateral ubicada aguas abajo del eje de la presa a cota 130 msnm (Figura 5.49). La traza de la misma seguirá el eje de la estructura de toma.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 147 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902



**Figura 5.49: Ubicación de la trinchera de acceso a la galería de investigación**

Si bien la galería aún no se excavó, las exposiciones en la trinchera de acceso suministraron muy interesantes informaciones para el armado del modelo geológico y geomecánico del estribo izquierdo de la presa.

La excavación expuso en la zona del portal la secuencia de pelitas y areniscas negras color gris oscuro a gris verdoso perteneciente a los niveles de roca competente (Figura 5.50 y Figura 5.51), en posición subhorizontal y sin fracturas. Por arriba se disponen las rocas pelíticas alteradas, color pardo claro y poco competente.

Arriba de la roca alterada y en contacto discordante por un plano de deslizamiento (Figura 5.52), se disponen los depósitos de till complejo compuestos por bloques de basalto subredondeados de más de 1 m de diámetro, inmersos en una matriz a veces cohesiva formada por el retrabajo de las pelitas alteradas de la Fm Santa Cruz y otras veces en una matriz de material granular de origen fluvio-glacial. (Figura 5.53).

Cabe destacar en las Figura 5.50 y Figura 5.51 que en el contacto entre la limolita C1 y la arenisca negra C2, se ha presentado flujo de agua de bajo caudal.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 148 de 389

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902



Figura 5.50: Vista general de la excavación de la trinchera de acceso mostrando los distintos materiales encontrados (A: depósitos de till complejos, B: Fm Santa Cruz alterada, C: Fm Santa Cruz sana y competente)

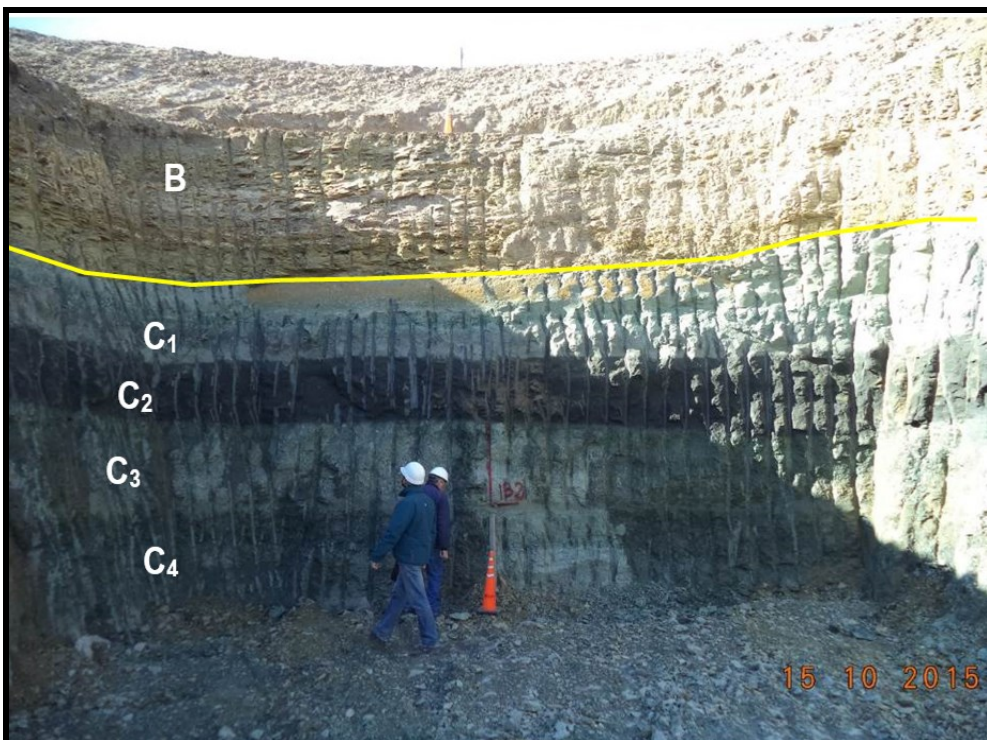


Figura 5.51: Detalle de los estratos en el portal de entrada de la galería. B: rocas de la Fm Santa Cruz alterada. C1: limonita gris clara, C2: arenisca gris oscura friable, C3: pelita gris verdosa clara, C4: pelita gris verdosa oscura.



Figura 5.52: Contacto discordante por plano de deslizamiento entre las rocas subyacentes de la Fm Santa Cruz y los depósitos de till sobreyacentes.



Figura 5.53: Detalle de los depósitos de till mostrando los bloques de basaltos (A1) inmersos en una matriz limoarcillosa parda clara (A2) y depósitos fluvio-glaciales entremezclados (A3).

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 150 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

## 6. ESTUDIO DE RIESGO SÍSMICO Y VOLCÁNICO

El objetivo del análisis de peligrosidad sísmica es determinar el máximo terremoto que puede afectar a las presas durante su vida operativa o el máximo terremoto en los emplazamientos en un período de tiempo determinado. El conocimiento de la sismicidad de la región donde se quiere predecir el movimiento, es el primer paso a seguir en todo estudio de peligrosidad. Para ello se tienen en cuenta las características geológicas, tectónicas y sismológicas de las distintas regiones sismotectónicas que resultan abarcadas por el área de análisis y las características de los eventos sísmicos sucedidos desde tiempos históricos, así como su potencial sismogénico.

Asociada a la actividad sísmica se ha observado una moderada actividad volcánica activa que también es objeto de análisis en este Capítulo.

En el Anexo 10 se presenta el informe completo con el código GE-A.CV-ES.RS-(OG-00-00)-P001.

### 6.1. Riesgo Sísmico

#### 6.1.1. Definición de las fuentes sismogénicas

La sismicidad debe ser relacionada con la tectónica de la zona con el fin de identificar las fallas activas de la región y las zonas sismogénicas, de potencial sísmico uniforme; así como los máximos sismos potenciales asociados a ellas y las leyes de recurrencia que gobiernan la sismicidad. Estos datos caracterizarán el término “fuente” y serán una información de partida en toda evaluación de peligrosidad.

En primer lugar ubicamos los emplazamientos según las regiones propuestas por Flinn-Engdahl que son una división de la tierra en zonas sísmicas. El área de estudio corresponde a la gran región sísmica 9, Extremo de Sudamérica, con las siguientes regiones (Figura 6.1):

- 143: Frente a las costas del sur de Chile
- 144: Sur de Chile
- 145: Región fronteriza entre Chile-Argentina
- 146: Sur de Argentina

También participa, en menor medida la gran región sísmica 10, Sur de Antillas, con la región 147: Tierra del Fuego (Figura 6.1).

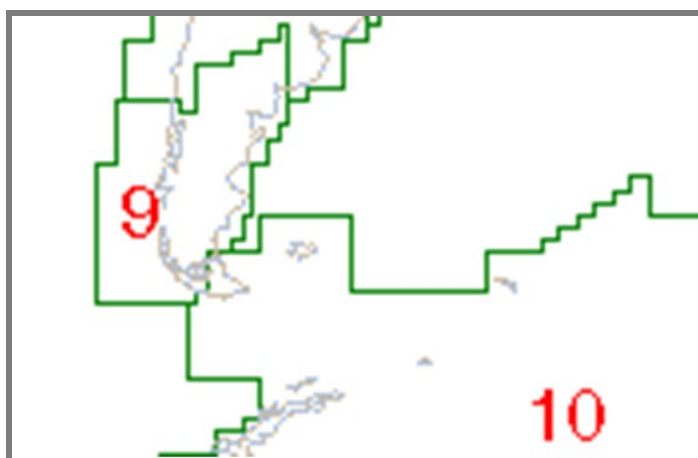



Figura 6.1: Regionalización sísmica de *Flinn-Engdahl*

En segundo lugar, a partir de la regionalización sísmica de *Flinn* y *Engdahl* actualizada en función de las regiones definidas tectónicamente, se determinaron las siguientes fuentes sismogénicas (Figura 6.2):

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 151 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

- Patagonia extrandina (PAT) (Subhorizontal, Prof. Promedio 20 km.)
- Faja corrida y plegada de Argentina y Chile (FAJ) (Subhorizontal, Prof. Promedio 5 km.)
- Borde de subducción chileno (SUB) (Inclinado 30°. Prof. Promedio de 10 a 35 km.)
- Tierra del Fuego (FUE) (Subhorizontal. Prof. Promedio 5 km.)

También se consideraron en forma particular, fallas que pueden tener actividad sísmica:

- Falla Bajada Fortaleza (fbf) (100 km) a 12 km aguas arriba de sitio NK.
- Falla Rincón Grande (ferg) (60 km) a 3 km aguas arriba del sitio JC.
- Falla Magallanes (fm), límite entre la placa sudamericana y de Scotia.

La fuente sismogénica más importante es la falla Magallanes que constituye el límite entre la Placa Sudamericana y la Placa de Scotia. Es una falla de rumbo dextral a lo largo de la cual se acumulan deformaciones debido al movimiento relativo entre las dos placas que es de unos 2 cm/año.

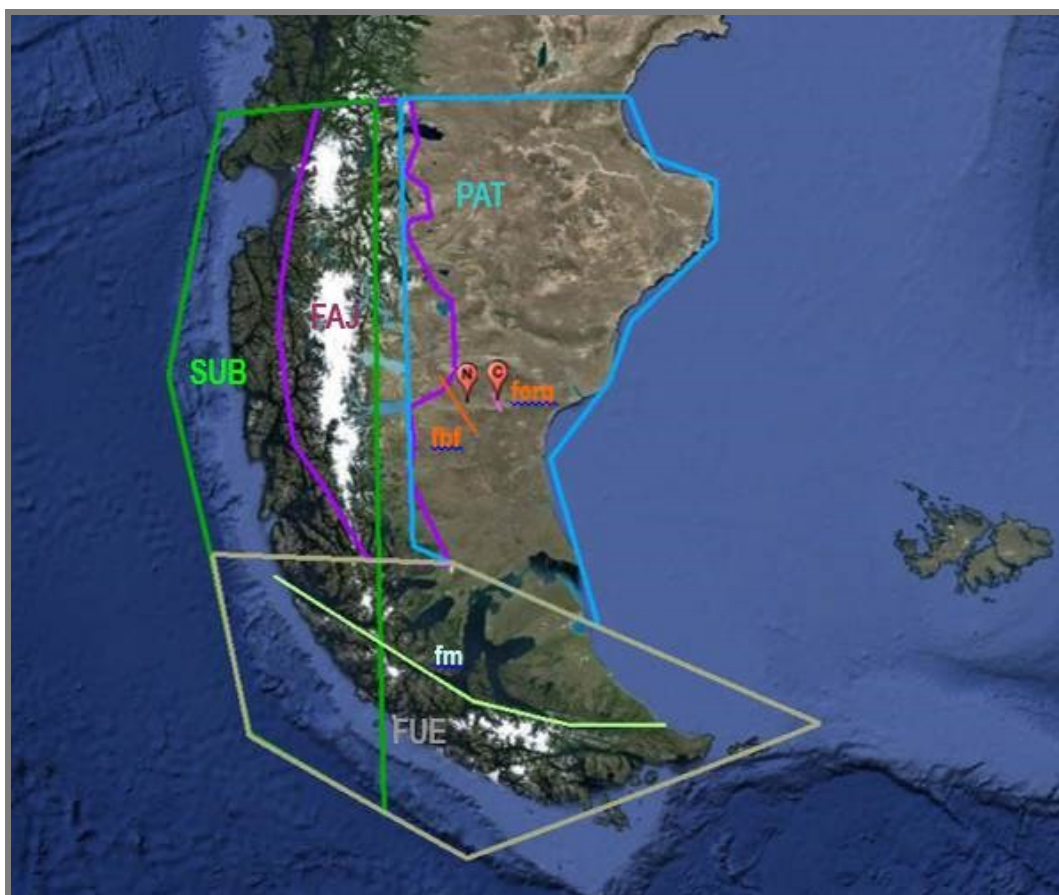



Figura 6.2: Ubicación de fuentes sismogénicas. PAT: Patagonia extraandina. FAJ: Faja corrida y plegada de Argentina y Chile. SUB: Borde de subducción chileno. FUE: Tierra del Fuego. fbf: Falla Bajada Fortaleza. ferg: Falla Rincón Grande. fm: Falla Magallanes

### 6.1.2. Actividad de las fuentes. Recurrencia

Para el cálculo de la peligrosidad se utilizó el método probabilístico que considera los efectos de todos los terremotos que pueden afectar al emplazamiento teniendo en cuenta las leyes de recurrencia de los mismos.

A partir del análisis de sismicidad se estima la relación entre el número de terremotos  $N$  y su magnitud  $M$ , según la relación de *Gutenberg y Richter*:



	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 152 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

$$\log N = a - bM \quad (1)$$

$a$  y  $b$  son coeficientes de regresión obtenidos por el método de mínimos cuadrados en donde  $a$  representa el nivel de sismicidad en la región considerada y  $b$  la relación entre el número de terremotos pequeños con respecto a los grandes;  $N$  es el número de terremotos de magnitud igual o superior a  $M$ .

Como se puede ver en la ecuación 1, el número de terremotos en una región disminuye de forma exponencial con sus magnitudes.

Luego de realizar los cálculos, los resultados fueron los de la Figura 6.1:

**Tabla 6.1: Relación de recurrencia para las distintas fuentes**

Fuente sismogénica	Valores de regresión		$M_0$	$M_{max}$
	$a$	$b$		
PAT: Patagonia extrandina	0,4380	0,3979	4	6,5
FAJ: Faja corrida y plegada (borde argenitno-chileno)	5,211	1,176	4	7,5
SUB: Borde de subducción chileno	5,4835	1,0413	4	8,5
FUE: Tierra del Fuego	3,3167	0,7781	4	8,5

### 6.1.3. Efecto de los sismos en el emplazamiento. Leyes de atenuación

Las leyes de atenuación varían según se trate de zonas de subducción, zonas con actividad cortical y zonas continentales estables. Al no contar con leyes derivadas regionalmente, se analizaron distintos tipos de GMPE (ground motion prediction estimator) o relaciones de atenuación, para cada tipo de fuentes. Una forma de resolver esta incertidumbre epistémica es la ejecución de combinaciones de varias de las GMPE, con ponderaciones diferenciadas. Otra alternativa es comparar resultados de distintas combinaciones de GMPE, lo que lleva a realizar numerosas corridas. Esto se realizó ejecutando alrededor de 50 corridas. Finalmente, se adoptó la que se consideró como más probable y más conservativa. Las GMPE que se definieron son:

- Zona de Subducción chilena y Tierra del Fuego: BCHydro2012
- Zona plegada y corrida: Abrahamson & Silva 1997
- Zona Patagonica extrandina: Atkinson & Boore 2006
- Fallas: Abrahamson & Silva 1997

### 6.1.4. Estimación de la peligrosidad

La estimación de la peligrosidad total se obtiene a partir de la suma de las probabilidades obtenidas por acción de todas las zonas que influyen en el emplazamiento. Para ello se adopta el modelo Poisson según el cual cada terremoto ocurre de manera aleatoria, independientemente del tiempo y cada suceso es independiente de los restantes y no tiene influencia sobre ellos ni condiciona su distribución.

En el **método probabilista** los resultados se expresan como la **probabilidad anual de excedencia** de diferentes niveles de intensidad o aceleración del suelo en un período de tiempo determinado y en cada fuente sismogénica.

La **probabilidad anual de excedencia** equivale a la inversa del período de retorno. El período de retorno es el intervalo de tiempo en años en el que, con una probabilidad, se producirá el sismo asociado.

En los proyectos del río Santa Cruz se ha previsto la definición de sismos probabilísticamente de acuerdo con los siguientes períodos de retorno.

- TR 144: 50% de probabilidad de superación en 100 años (período de retorno de 144 años),
- TR 475: 19% de probabilidad de superación en 100 años (período de retorno de 475 años),
- TR 1 950: 5% de probabilidad de superación en 100 años (período de retorno de 1950 años),

- d. TR 4 950: 2% de probabilidad de superación en 100 años (período de retorno de 4950 años),
- e. TR 9 950: 1% de probabilidad de superación en 100 años (período de retorno de 9950 años).

A su vez, para las verificaciones se requiere definir varios tipos de sismos (ICOLD 2010):

- **Sismo de Verificación o Sismo Máximo Creíble (SMC):** definido como el terremoto Máximo Creíble debido a fallas conocidas o a provincias tectónicas específicas, en base a criterios deterministas o probabilísticos. El tiempo de retorno se estima de 10 000 a 35 000 años.
- **Sismo Básico de Operación (SBO):** definido como aquel que produce un nivel de excitación tal que posee una probabilidad de excedencia del 50% en 100 años. Este terremoto representa un evento que tanto la presa como sus obras complementarias deben soportar sin mayores daños.
- **Sismo Inducido por el embalse:** algunas presas con más de 100 metros de altura pueden generar deformaciones en el área de embalse, capaces de inducir sismos en fallas próximas al mismo. Este caso está descartado en el análisis.

Los sismos 1) y 5) corresponden al SBO y el SMC de ICOLD.

Los resultados del análisis probabilístico están graficados en la Figura 6.3. En la misma se presenta las probabilidades correspondientes a los sitios de las presas. Como referencia, se han colocado los valores que corresponden a El Calafate, situado al borde de una zona de mayor sismicidad (Faja Plegada y corrida).

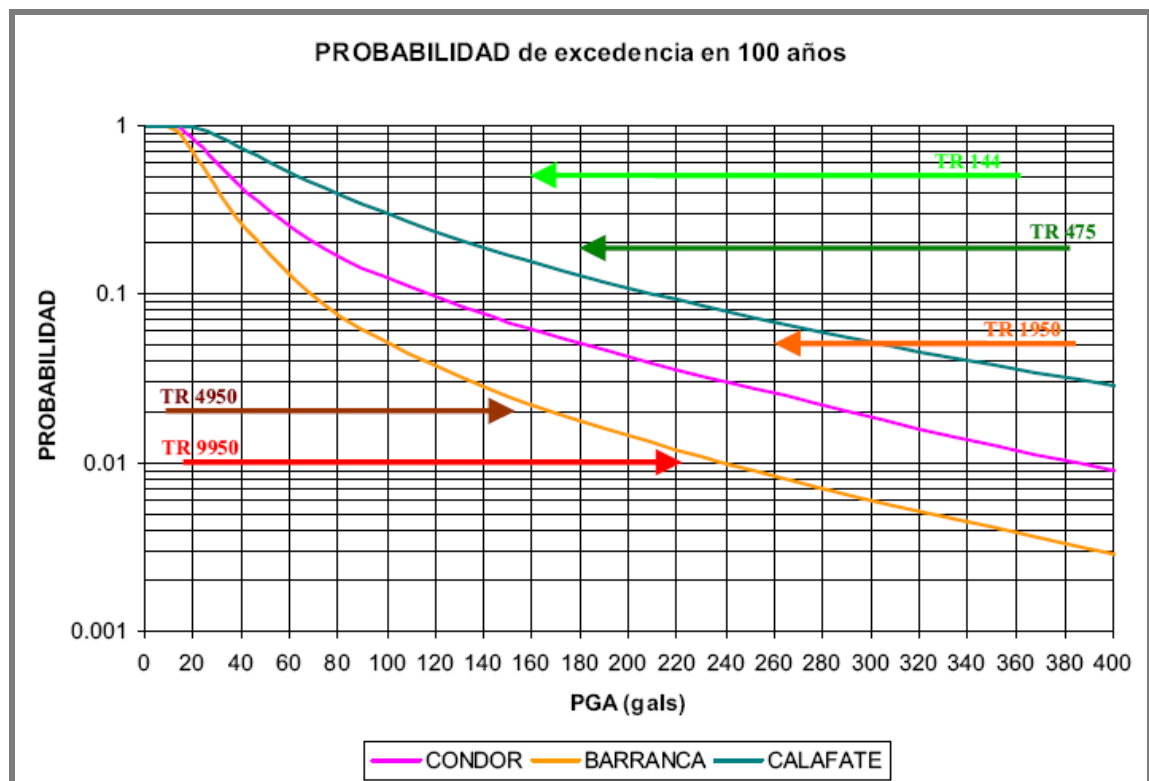


Figura 6.3: Resultados del cálculo de probabilidades. CONDOR: sitio de la presa N. Kirchner. BARRANCA: sitio de la presa J. Cepernic. CALAFATE: El Calafate

La peligrosidad puede expresarse como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de determinada intensidad en un lapso de tiempo dado, pero también se puede expresar a partir del período de retorno TR. En cuanto a la zona de emplazamiento de las presas, se puede deducir de la Figura 6.3, que existe una probabilidad del 1% de que, en un período de 100 años, ocurra un sismo de una magnitud de 0,390 g para la presa N. Kirchner. Expresado en período de retorno, cada 9 950 años, puede ocurrir un sismo de 0,390 g o mayor para la presa N. Kirchner.

Se han señalado los valores de *PGA* (aceleración máxima del terreno) correspondientes a los períodos de recurrencia definidos previamente. Los valores correspondientes se expresan en la Tabla 6.2.

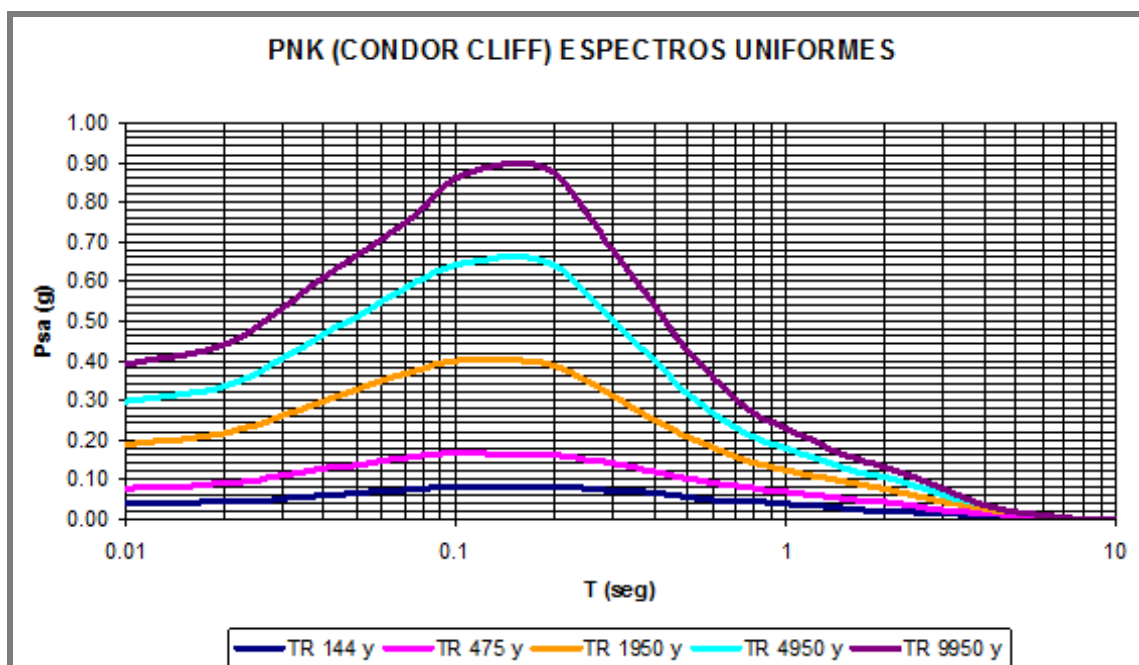
**Tabla 6.2: Resultados del análisis probabilístico para la presa N. Kirchner**

Sismo	Presa N. Kirchner	
	En gals	En g
TR 144	35	0.036
TR 475	73	0.074
TR 1 950	182	0.186
TR 4 950	290	0.296
TR 9 950	383	0.390

### 6.1.5. Formulación de espectros de riesgo uniforme (UHS)

Cuando se dispone de las curvas de probabilidad para distintos contenidos de frecuencia es posible calcular los Espectros de Riesgo Uniforme, UHS, (*Abrahamson 2000*). Esto fue realizado para los distintos eventos de cada sitio.

La Figura 6.4 muestra los espectros uniformes horizontales para el sitio de la presa de N. Kirchner para un amortiguamiento del 5%.



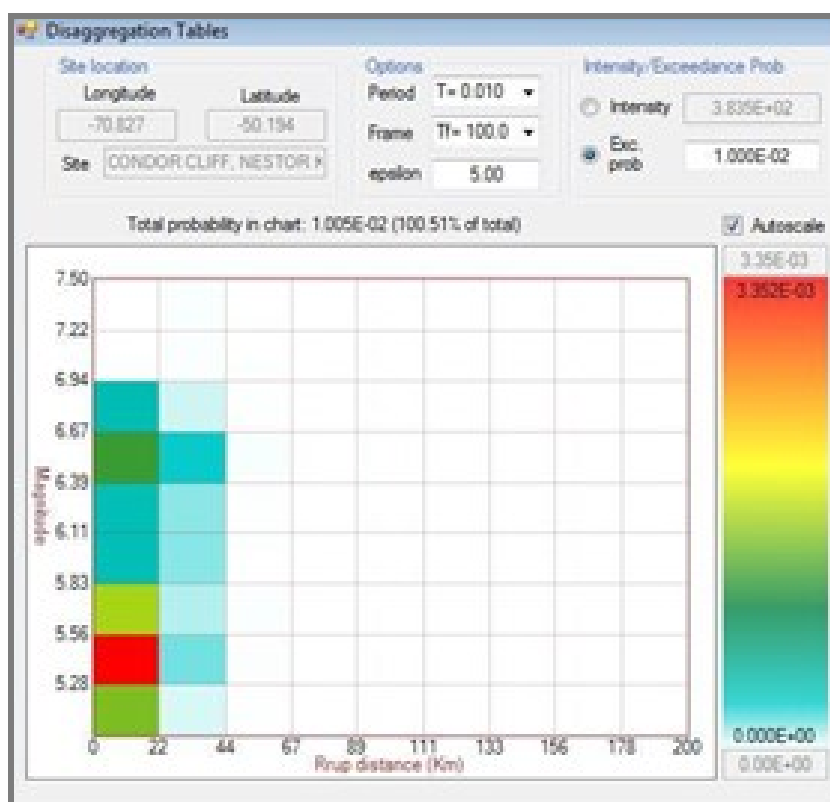
**Figura 6.4: Espectros Uniformes horizontales para el sitio de la presa N. Kirchner para un amortiguamiento del 5%**

### 6.1.6. Obtención del acelerograma de diseño

Para la obtención del acelerograma de diseño se empleó la técnica de desagregación de la peligrosidad.

La desagregación es un proceso que permite observar la influencia de las magnitudes y las distancias que tienen las distintas fuentes en el cálculo de probabilidades (*Bazzurro & Cornell, 1999*). Sirve para identificar las combinaciones de magnitudes y distancias que producen la mayor contribución a la peligrosidad de un sitio y por ello definir con mejor precisión los espectros de respuesta y acelerogramas asociados a un nivel de peligrosidad dado.

En la **Figura 6.5**, la desagregación señala la influencia de las distancias y de la magnitud en la definición de la peligrosidad correspondiente al sismo con TR 9950 que es el sismo máximo de verificación (TS). En el Informe principal se pueden ver las desagregaciones correspondientes a los otros sismos para cada sitio.



**Figura 6.5: Desagregaciones en distancias a la fuente y magnitudes para TR 9950**

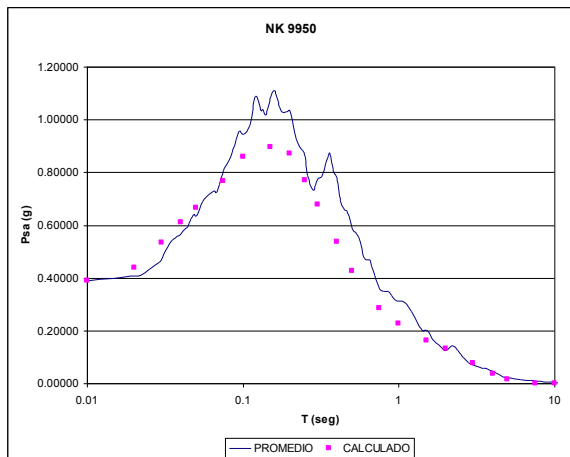
Con los espectros definidos para cada uno de los cinco escenarios planteados (TR144, TR475, TR1950, TR4950 y TR9950), se seleccionaron de 3 a 7 acelerogramas compatibles con los mismos, para cada sitio y para cada escenario. En forma adicional, se ha modificado un acelerograma de cada sitio de manera de ajustarlo con mayor precisión a los espectros calculados.

### 6.1.7. Componentes horizontales del acelerograma

En la Figura 6.6 se han graficado los espectros de la presa N. Kirchner para un período de retorno de 9950 años y los acelerogramas cuyos promedios tienden a ajustarse a los mismos. En el informe principal pueden consultarse las características de los acelerogramas seleccionados.

Para cada sitio y escenario, se ha modificado un acelerograma de manera que ajuste con mayor precisión a los espectros calculados.

### COMBINACION DE 7 COMPONENTES

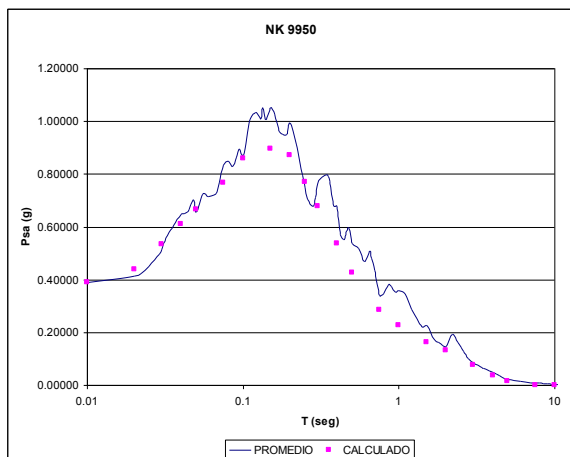


**PNK TR 9950 años (PGA: 0.39g)**

Acclerogramas cuyos espectros participan en el promedio

763 H-1	763 H-2	809 H-2	1011 H1	1011 H2	5618 H1	5618 H2
------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

### COMBINACION DE 4 COMPONENTES

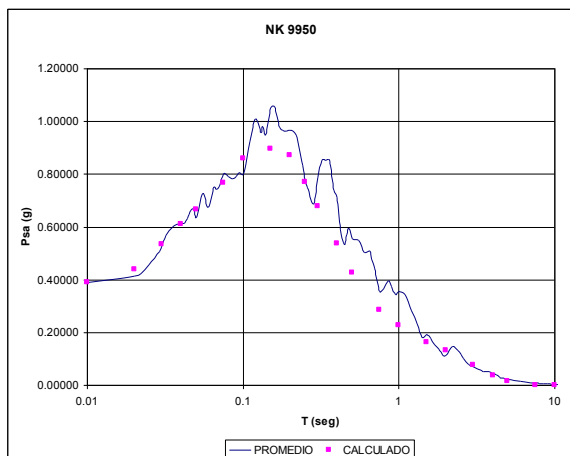


**PNK TR 9950 años (PGA: 0.39g)**

Acclerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN- 809 H-2	RSN- 1011 H2	RSN- 5618 H1	RSN- 5618 H2
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

### COMBINACION DE 3 COMPONENTES



**PNK TR 9950 años (PGA: 0.39g)**

Acclerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN-809 H-2	RSN- 1011 H2	RSN- 5618 H1
----------------	-----------------	-----------------



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

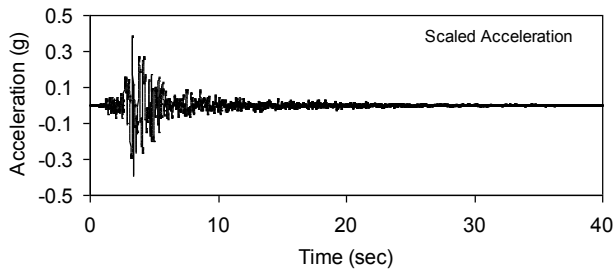
Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 157 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

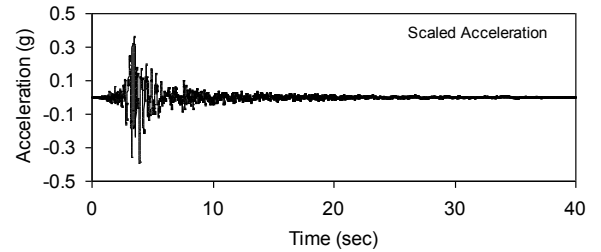
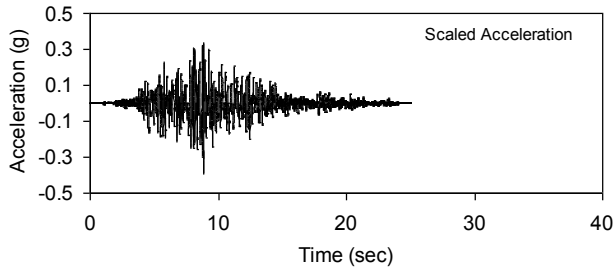
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

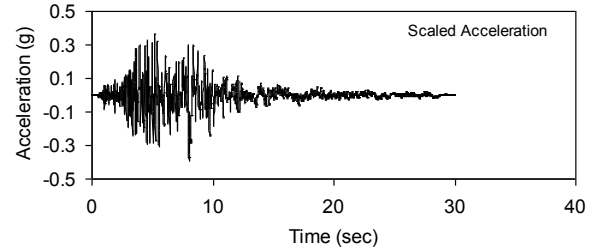
NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902



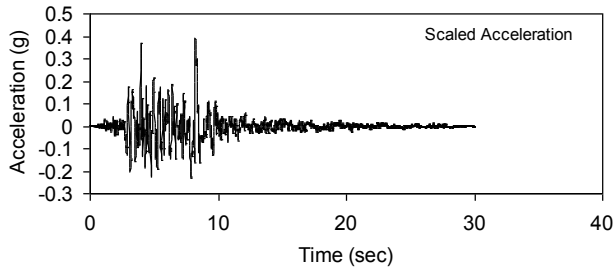
RSN-809 H-2: Loma Prieta (1989) UCSC. M=6.93



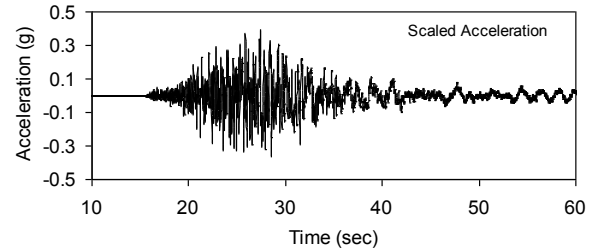
RSN-1011 H1: Northridge01. LA-Wonderl. M = 6.69



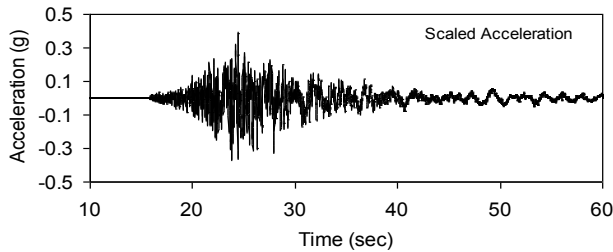
SN-1011 H2: Northridge01. LA-Wonderl. M = 6.69



RSN-5618 H1: Iwate (2008) IWT010. M=6.9



RSN-5618 H2: Iwate (2008) IWT010. M=6.9



**PNK TR 9950 años (PGA: 0.39g)**

Figura 6.6: Acelerogramas para la presa N. Kirchner

### 6.1.8. Componentes verticales

La relación entre las componentes verticales y las horizontales se resumen en la Tabla 6.3.

**Tabla 6.3: Relación entre los componentes verticales y horizontales**

Tiempo de retorno	Presa N. Kirchner
TR144	0.50
TR475	0.73
TR1950	0.66
TR4950	0.71
TR9950	0.72


El rango de valores de la relación se encuentra entre 0,5 y 0,75 aproximadamente. Se deberán usar los que correspondan a cada sismo en particular, manteniendo la relación cuando las componentes horizontales sean escaladas.

### 6.2. Riesgo Volcánico

La zona de influencia de las obras tiene algunos volcanes pertenecientes a la AVZ Austral Volcanic Zone que es un segmento de arco volcánico que corre por unos 800 km y que surge de la interacción entre la subducción de la Placa Antártica con el continente de América del Sur por un lado (desde aproximadamente los 49°S hasta los 53°S) y de la microplaca de Scotia por el otro (desde aproximadamente los 53°S a los 55°S). Hay coincidencia que en este segmento hay seis centros volcánicos (Lautaro, Viedma, Aguilera, Réclus, Monte Burney y Volcán Fuego) y un campo volcánico (Pali Aike) que han estado activos durante el Cuaternario tardío (Figura 6.7).



**Figura 6.7: Ubicación de volcanes activos en la zona de influencia de las presas.**

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 159 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

Es de destacar el Viedma por pertenecer a la cuenca del Atlántico, mientras que el resto de los cordilleranos, pertenecen a la cuenca del Pacífico.

## 6.2.1. Definición del tipo y fenómenos volcánicos

### 6.2.1.1. Índice de Explosividad Volcánica (VEI)

Una medida del tamaño de las erupciones que combina algunos de los parámetros anteriores (dependiente de la disponibilidad de información), es el Índice de Explosividad Volcánica, VEI (Newhall, C. & Self, S. 1982). Las erupciones históricas tienen asignado un número del 0 al 8. Los números del VEI corresponden a las características expresadas en la Tabla 6.4.

Tabla 6.4: Parámetros que definen el Índice de Explosividad volcánica

VEI	Descripción	Volumen eyectado	Altura columna	Clasificación	Invade Tropósfera	Invade Estratósfera
0	No explosiva	>1.000 m <sup>3</sup>	<100 m	Hawaiano	Despreciable	No
1	Pequeña	>10.000 m <sup>3</sup>	100 – 1000 m	Hawaiano/Stromboliano	Menor	No
2	Moderada	>1.000.000 m <sup>3</sup>	1 – 5 Km	Stromboliano/ Vulcaniano	Moderada	No
3	Moderada (+)	>10.000.000 m <sup>3</sup>	3 -15 Km	Vulcaniano	Significativa	Posible
4	Grande	>0,1K m <sup>3</sup>	10 – 25 Km	Vulcaniano/Pliniano	Significativa	Frecuente
5	Muy grande	>1 Km <sup>3</sup>	> 25 Km	Pliniano	Significativa	Significativa
6	Muy grande	>10 Km <sup>3</sup>	> 25 Km	Pliniano/Ultraplino	Significativa	Significativa
7	Muy grande	>100 Km <sup>3</sup>	> 25 Km	Ultraplino	Significativa	Significativa
8	Muy grande	>1000 Km <sup>3</sup>	> 25 Km	Ultraplino	Significativa	Significativa

La descripción de la actividad de los volcanes del área de influencia está descriptas en el Informe principal y sintetizada en la Tabla 6.5.

Tabla 6.5: Registro de los volcanes del AVZ

Volcán	País	Estructura	Latitud S	Longitud W	Altura mts	Actividad	Certeza	Evidencia	VEI	
LAUTARO (dacita)	Chile	Estratovolcán	49,02°	73,55°	3607	08/03/1979	Confirmada	O. Históricas	2?	
						Jun 1978	Confirmada	O. Históricas	No informado	
						1972	Confirmada	O. Históricas	No informado	
						Oct 1961	Confirmada	Desconocida	2	
						28/12/1959	Confirmada	O. Históricas	2	
						15/01/1945	Confirmada	O. Históricas	1	
						Feb 1933	Confirmada	O. Históricas	2	
						1879	Confirmada, solo se detectó cenizas en la atmósfera	Visualización entre los lagos S. Martín y Viedma.	No informado	
Ene 1878	No confirmada	Desconocida	1							
VEDMA (dacita)	Argentina	Subglaciar	49,35°	73,28°	1500	15/11/1988	Confirmada	O. Históricas	No informado	
						1250 AC	Confirmada	Radiocarbono	5 (A1)>4Km <sup>3</sup>	
AGUILERA (dacita)	Chile	Estratovolcán	50,33°	73,75°	2546	2610 AC	Confirmada	Radiocarbono	No informado	
						1908	Confirmada	O. Históricas	1	
RECLUS (dacita)	Chile	Cono piroclástico	50,96°	73,58°	1000	1879	Confirmada	O. Históricas	2	
						1869	Confirmada	O. Históricas	2	
						1830 AC	Confirmada	Tefrocronología	No informado	
						hace 1000 a 2000 años	Confirmada	Radiocarbono	No informado	
						Hace 12552 ±33	Confirmada	Radiocarbono	6 (R1)>5Km <sup>3</sup>	
MONTE BURNEY	Chile	Estratovolcán	52,33°	73,40°	1758	Mar 1910	Confirmada	O. Históricas	2	
						90 AC	Confirmada	Radiocarbono	No informado	
						800 AC	Confirmada	Radiocarbono	No informado	
						(dacita)	2320 AC	Confirmada	Radiocarbono	5 (MB2)>1Km <sup>3</sup>
						3740 AC	Confirmada	Radiocarbono	No informado	
						(dacita)	7390 AC	Confirmada	Tefrocronología	No informado
FUEGUINO	Chile	Domo de lava	54,95°	70,25°	150	25/11/1820	Confirmada	O. Históricas	2	
						(dacita - andesita)	26/11/1712	No confirmada	Desconocida	No informado
PALI AIKE (B. Alcalino)	Chile/Arg	Conos piroclásticos	52,08°	69,69°	282	5550 AC	Confirmada	Antropológica	No informado	

National Museum of Natural History. Global Volcanism Program. Smithsonian Institution. Data base of Holocene volcano list and Supplementary Table 1. Stern 2004, 2008 y Stern, et al. 2011 y obras citadas por estos.

En la AVZ, hay tres volcanes muy bien estudiados desde lo tefrocronológico y desde la integración isopáquica de los depósitos piroclásticos, ellos son el A1 (Volcán Aguilera), el R1 (Volcán Réclus) y los MB1 – MB2 (Volcán Monte Burney).



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 160 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

Con relación al VEI máximo estimado se destacan el grado 5 para erupciones registradas en los volcanes Aguilera y Monte Burney.

## 6.2.2. Riesgos asociados a las características de erupciones

Las distancias entre las obras y los volcanes son significativas, tal como se señala en la Figura 6.8, en donde se observa que las distancias son mayores a los 194 km. Esto hace que las amenazas de origen volcánico estén relacionadas con el transporte de los materiales piroclásticos por el viento y el agua y con el potencial derretimiento de las masas de hielo del campo de hielo patagónico.

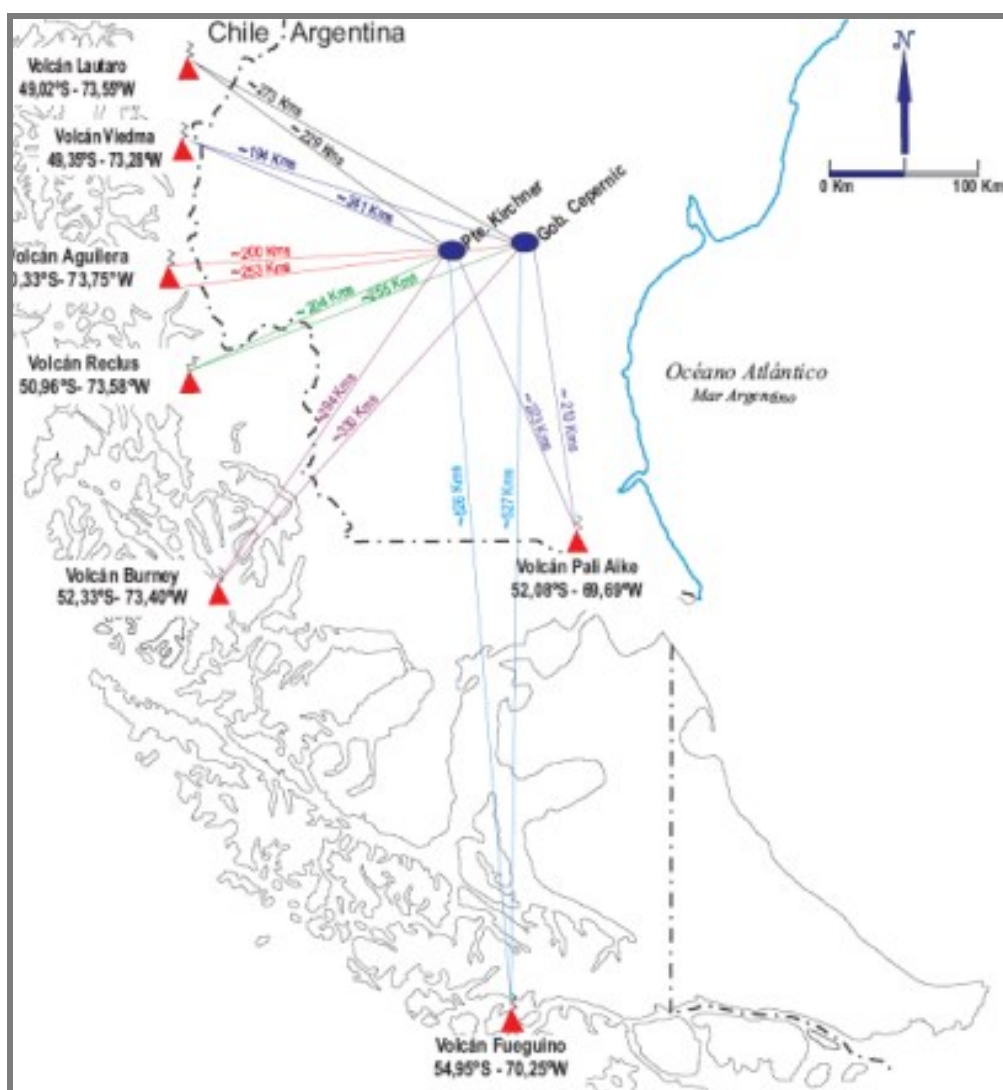


Figura 6.8: Distancia de las presas NK y JC a los volcanes activos más importantes.

### 6.2.2.1. Depósito de cenizas

#### Vientos predominantes

Las direcciones dominantes en el área de influencia son del W y el WSW, lo cual indica una dirección claramente preferencial desde ese cuadrante. Analizado estacionalmente, la dirección W predomina durante el otoño e invierno, mientras que la WSW lo hace durante el verano, y en la primavera tienden ambas a equilibrarse (Figura 6.9).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 161 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

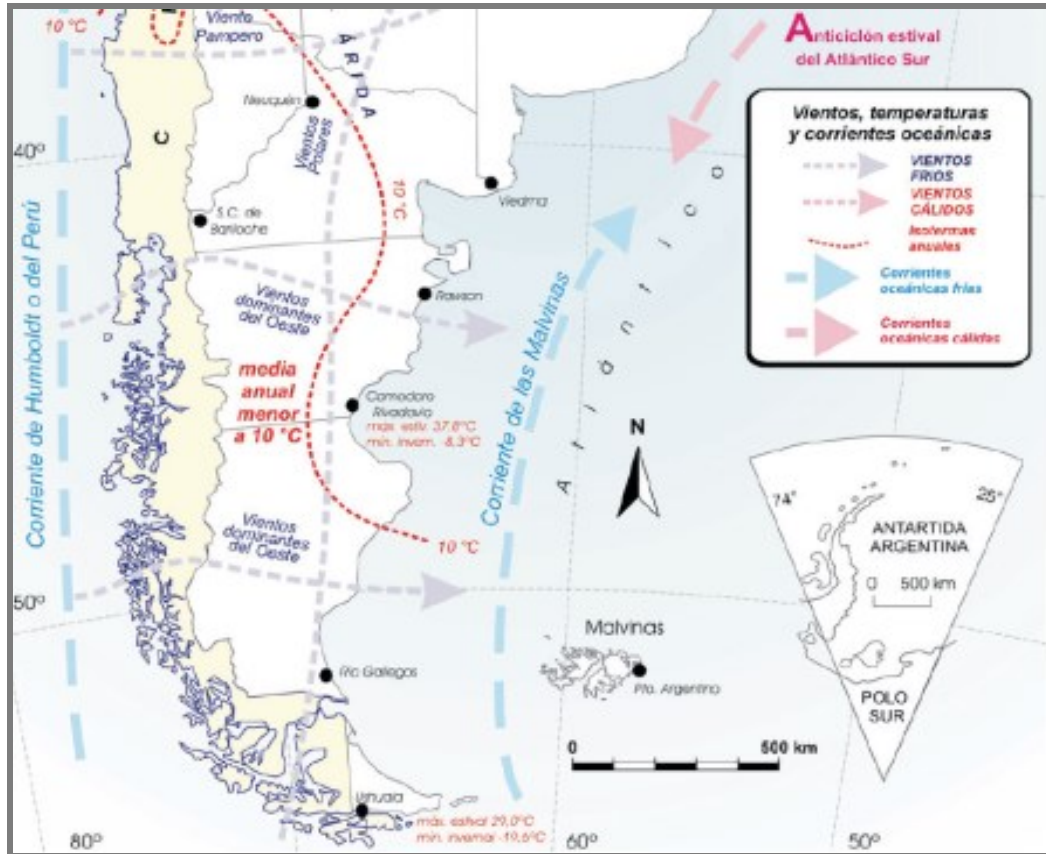


Figura 6.9: Distribución de los vientos en el sur argentino

#### *Alcance de las cenizas*

La distribución de las plumas de cenizas de las grandes explosiones históricas se refleja en la Figura 6.10.

Entre ellos, se destacan los estudios de una de las explosiones del Reclus que se han graficado en detalle en la Figura 6.11. Esto sirve como para tener de referencia de cuál sería la distribución de una pluma y el espesor que alcanzan las cenizas depositadas.

Si los vientos hubieran sido SW, en vez de NW, seguramente se hubieran depositado en la zona de las presas 5 cm de tefras sobre los lagos. Es posible razonar en base a estos datos isopáquicos concretos, que con un VEI menor a 5, los espesores serían menores a la R1.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 162 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

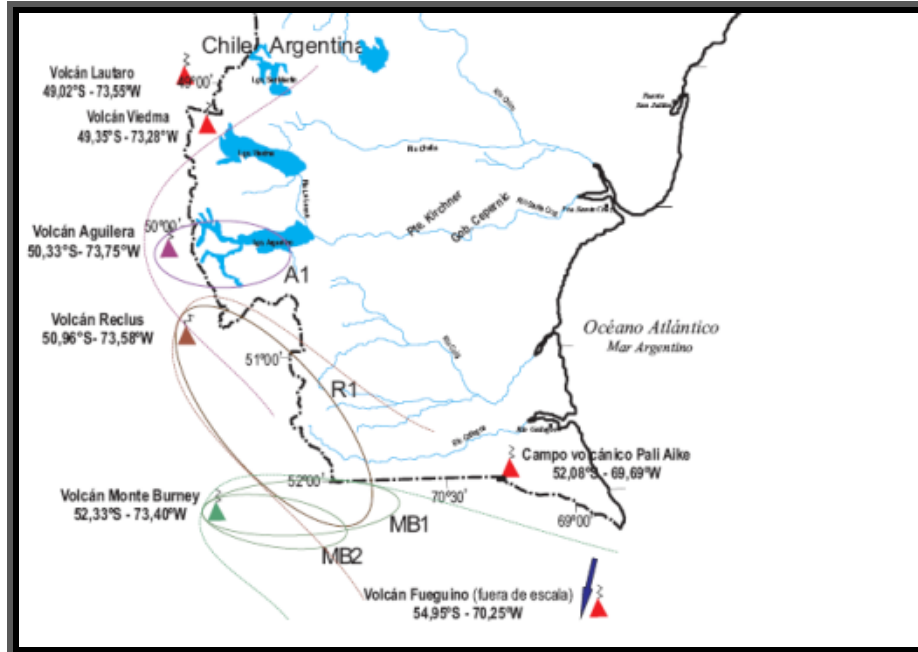


Figura 6.10: Distribución de plumas de ceniza de grandes explosiones

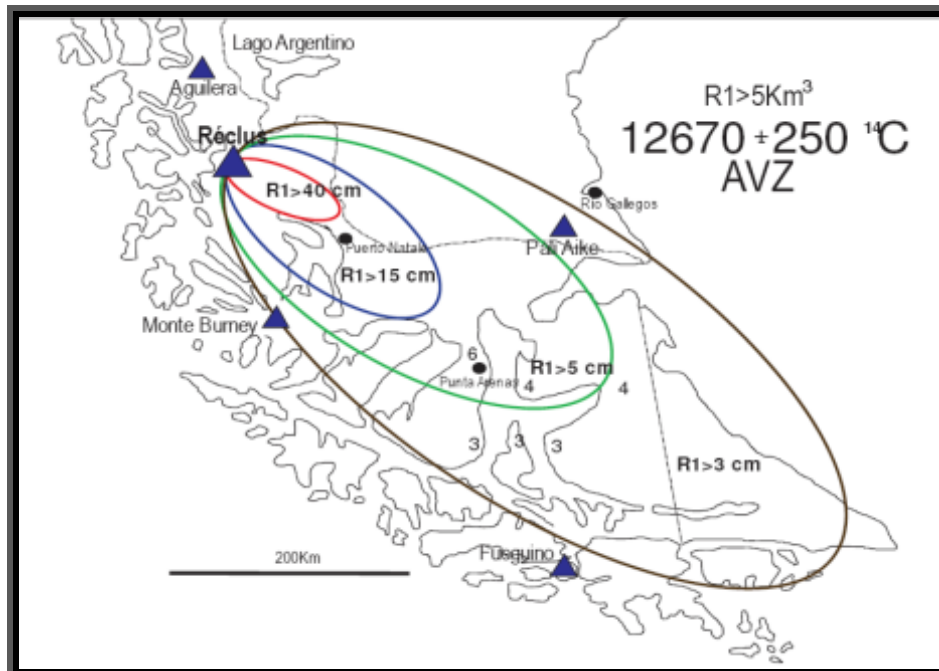



Figura 6.11: Curvas de espesores de ceniza de una explosión del Réclus

Las plumas de cenizas que caigan dentro de la cuenca del río Santa Cruz pueden ser arrastradas fluvialmente y llegar hasta los embalses. Este fenómeno ha sido significativo en otras erupciones recientes que han afectado aprovechamientos hidroeléctricos en el Comahue, pero sin daños mayores en las obras civiles.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 163 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

### 6.2.2.2. Crecidas por la interacción lava-hielo

Como varios de los principales volcanes están en los Hielos Continentales, su erupción puede fundir parte del hielo y generar crecidas. Estos fenómenos han sido bien modelados en Islandia y por ello se conoce que es muy importante la cobertura de hielo que tenga el aparato volcánico. De acuerdo a ello, se puede cuantificar el volumen de hielo afectado. Esta situación es crítica en el Viedma por pertenecer a la cuenca del Atlántico, tal como se plantea en la Tabla 6.6.

**Tabla 6.6: Registro Cuantificación potencial crecidas de lagos de la cuenca del río Santa Cruz**

Fenómeno causante	Volumen de agua afectado	Superficie del lago adyacente	Incremento de altura en el lago	Observaciones
Erupción tipo basáltica bajo alta cobertura de hielo Gjalp (1996). Gudmundsson et al. 1997	3 km <sup>3</sup>	Viedma: 1100 km <sup>2</sup>	3 metros	El lago Viedma desagua en el lago Argentino
Erupción tipo Pliniana sobre baja cobertura de hielo. Ej. Mt Santa Elena 1980). Lipman y Mulineaux 1981.	2.8 km <sup>3</sup>	Viedma: 1100 km <sup>2</sup>	2.8 metros	El lago Viedma desagua en el lago Argentino
Rotura embalse del Brazo Rico	4 km <sup>3</sup> (nivel embalsado de 30m)*	Argentino: 1400 km <sup>2</sup>	2.85 metros	* en base a una superficie de 135 km <sup>2</sup>

A modo de comparación, se ha incluido la rotura del embalse en el brazo Rico donde se produce una crecida que afecta al lago Argentino. Se puede apreciar que una crecida de origen volcánico sería similar a la rotura del Glaciar Perito Moreno.


### 6.3. Oleaje por acciones sísmicas

En el [Anexo 11](#) se presenta el Informe GE-A.CV-ET.RS-(OG-00-00)-P900-0A con el estudio completo sobre oleaje en el embalse inducido por sismos.

Este estudio trata de un conjunto de fenómenos relacionados directa o colateralmente (también denominados como fenómenos “cosísmicos” con la acción sísmica que puedan tener influencia en la verificación del proyecto de una presa. Por un lado está el efecto directo del movimiento impuesto al embalse por las ondas sísmicas, y por otro lado el debido a potenciales desplazamientos de masas de roca/suelo que se puedan movilizar como consecuencia del sismo, o por desplazamientos permanentes del fondo del embalse como manifestación del movimiento en la falla.

El factor común a estos tipos de procesos es la generación de oleajes cuya amplitud y contenido de frecuencias son muy diferentes, dado que responden a procesos esencialmente diferentes.

El oleaje directo generado por el sismo responde a un proceso cuya fuente de excitación es el tren de ondas sísmicas que se transmiten a través del fondo y laderas del embalse. La intensidad y el contenido de frecuencias de las ondas sísmicas en la roca fueron definidos en el estudio de riesgo sísmico de la presa, presentado en ítems anteriores. Esas ondas están representadas a través de los acelerogramas y espectros del movimiento de los afloramientos rocosos en el sitio. El fondo y las laderas del embalse actúan como filtros mecánicos de las ondas sísmicas que se transmiten a través de la roca, modificando las amplitudes y frecuencias del movimiento que en definitiva transmiten al embalse. Se trata de un proceso de naturaleza controlada exclusivamente por la amplitud y frecuencia de las oscilaciones generadas por el sismo que pueden dar origen a efectos de amplificación y resonancia en el embalse. Si bien hay una gran variedad de posibilidades que dependen del ambiente sísmico, es decir, de la conformación del tren de ondas generadas por el sismo, si se analizan posibles conformaciones del tren de ondas incidente, el análisis de los efectos de dicho tren de ondas puede ser realizado con razonable confianza mediante modelos numéricos del embalse.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 164 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

Por otro lado está el oleaje que se ha comprobado pueden generar desplazamientos de masas de roca/suelo iniciados por el sismo, pero cuya naturaleza (amplitud y contenido de frecuencias) resulta, en general, muy diferente ya que responde principalmente a procesos impulsivos en los que la velocidad y dimensiones del material sólido movilizado es el factor controlante. La escala y contenido de frecuencias del oleaje que pueden generar estos movimientos de masa sólida dentro del embalse, o desde las laderas y/o del fondo, depende de una gran variedad de condiciones relacionadas con la movilización y ruptura de los sedimentos y/o roca circundante. Este tipo de fenómenos también puede ser analizado a través de modelos numéricos del embalse para una variedad de posibles escenarios o hipótesis que permiten tener una primera estimación del oleaje que provocarán. Este tipo de análisis lleva a la posibilidad de estimar por separado la factibilidad de tales movimientos teniendo en cuenta las condiciones locales y la conformación del embalse.

Los sismos pueden producir sobre cuerpos de agua como océanos y lagos distintos fenómenos ondulatorios, siendo la posibilidad de overtopping el efecto más peligroso de los fenómenos hidrodinámicos que pueden presentarse en las presas de enrocado. Si bien el ICOLD (1986) excluye en su manual de procedimientos los efectos de la ola inducida por sismos pues considera que estos fenómenos deberían ser evitados en la elección del sitio de emplazamiento de la presa, la UTE decidió realizar la verificación siguiendo las instrucciones del Panel de Expertos de la obra.

La experiencia en la observación del comportamiento de las aguas de los lagos indica que hay diferentes tipos de fenómenos que dependen de la proximidad de la fuente sísmica.

Los sismos cercanos presentan períodos muy cortos (frecuencias altas) en la zona epicentral. En el caso de producirse deformaciones del fondo del cuerpo de agua, puede generarse un movimiento en la masa de agua similar al movimiento producido por un remo. En los lagos puede producirse este tipo de fenómeno tal como sucedió en la presa Hebgen (Montana) en 1959, donde un sismo de  $M = 7.5$  ocurrió en una falla situada a 300 m de la presa. La falla produjo un escalón superficial de 3 m que afectó a todo el reservorio. La presa que era de enrocado con núcleo de hormigón tenía un resguardo de dos metros, y el lago se encontraba en su cota máxima. El movimiento sísmico provocó asentamientos promedio en ambos espaldones del orden de 1.3 metros. El núcleo de hormigón se mantuvo, aunque sufrió agrietamientos. Después del sismo, el cuidador observó que la masa de agua generó una ola que sobrepasó la presa alrededor de un metro, durante diez minutos. Cuando el agua se retiró, el oleaje viajó hasta el otro extremo del lago y volvió a los diez minutos. En total se produjeron cuatro oleadas sobre la presa.

Otra causa de generación de olas es la debida a deslizamientos o caídas de bloques en el perilago provocados por los sismos. Estas olas pueden alcanzar gran altura, en función de volumen que se deslice y la velocidad con la que ocurra el fenómeno (por ejemplo, en Vaiont la ola alcanzó 245 m y en Lituya 60 m de altura).

Los sismos lejanos con gran liberación de energía, de magnitudes  $M$  mayores a 7, provocan ondas que al amortiguarse con la distancia pueden producir oscilaciones de períodos y longitudes de onda largos. La coincidencia de estos períodos con los períodos naturales del reservorio genera la potencialidad de producir olas estacionarias en resonancia que podrían alcanzar alturas del orden de 1 a 3 m. Estas olas se denominan seiches y son similares a las que pueden observarse en una bandeja de agua que se inclina en forma lenta y oscilante (olas salpicantes, chapoteo).

Los sismos lejanos de subducción y transformación poseen una recurrencia que depende del movimiento de las placas, que en el caso de las presas sobre el Río Santa Cruz son la "Antártica" y la de "Scotia". La experiencia respecto a la recurrencia de estos sismos indica que su generación se da dentro de entornos menores a  $TR = 475$  años. Esto implica que pueden ser tomados como una verificación dentro de las condiciones normales de operación de la presa (SBO).

### 6.3.1. Modelación numérica del oleaje

Esta tarea consistió en el desarrollo de modelos numéricos planos (2D) del embalse NK para calcular la amplitud de las olas generadas por los siguientes efectos.

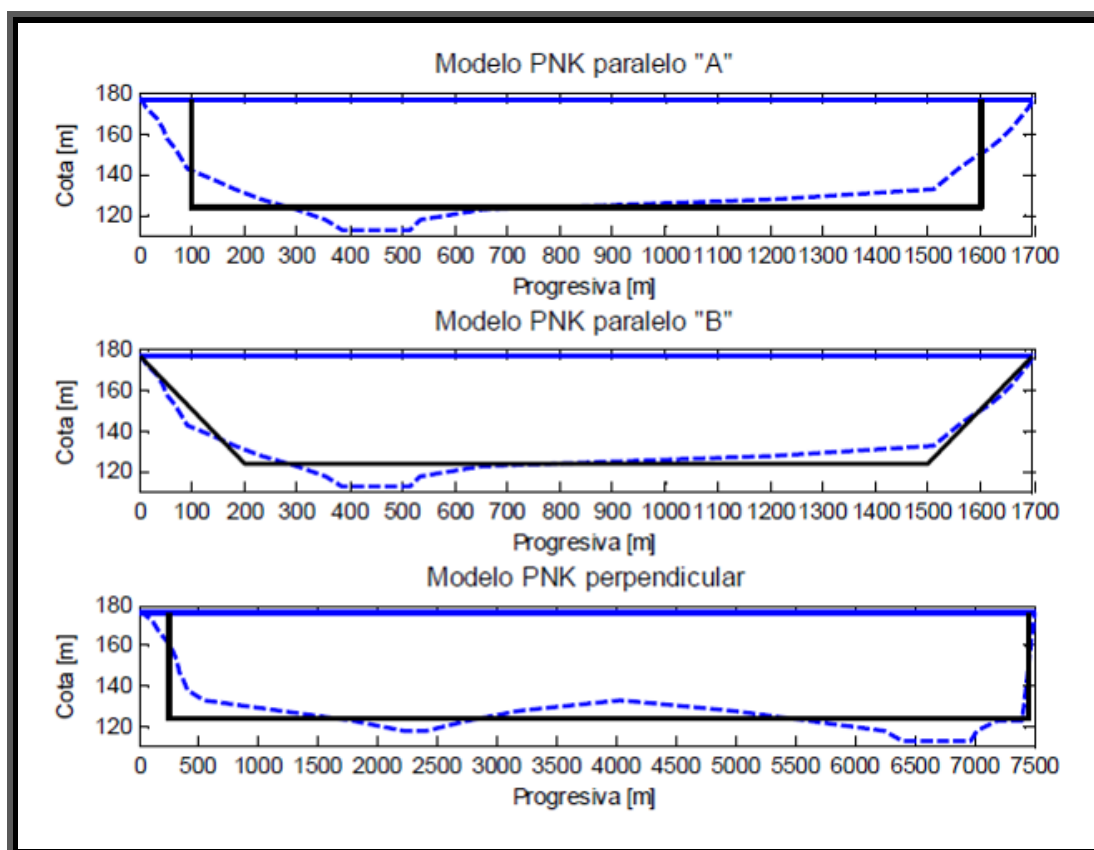
- Las ondas sísmicas transmitidas a través del fondo y las laderas del embalse.
- Desplazamientos en masa de formas simples similares a las citadas en la bibliografía

Los tres modelos utilizados para el embalse de la presa N. Kirchner fueron los siguientes (Figura 6.12):

- Modelo PNK paralelo "A": paralelo y contiguo a la presa con sección rectangular.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 165 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

- Modelo PNK paralelo "B": paralelo y contiguo a la presa con sección trapecial.
- Modelo PNK perpendicular: se define a través de un plano vertical perpendicular al eje de la presa que pasa por su punto medio o centro.




**Figura 6.12. Geometría de los modelos del embalse de la presa NK**

Los acelerogramas que se utilizaron en el cálculo de la respuesta sísmica de los embalses se obtuvieron en base a los espectros definidos en el estudio de riesgo sísmico (Anexo 10) y resultan del proceso de deconvolución utilizando las propiedades del perfil de suelo para el sitio de emplazamiento de la presa.

Las propiedades de los perfiles de suelo para el sitio se extrajeron de los informes de los estudios geológicos y geotécnicos. A los efectos de tener en cuenta la variabilidad de estas propiedades se han considerado 2 perfiles de suelo adicionales donde los módulos de elasticidad se han dividido y multiplicado por 1.5, respectivamente, para obtener un perfil designado "flexibilizado" y otro designado "rigidizado". De esta forma, los acelerogramas definidos para afloramiento de roca han sido deconvolucionados usando perfiles con diferentes propiedades de rigidez para analizar su posible influencia sobre la amplitud alcanzada por las olas producidas en los embalses.

La Tabla 6.7 presenta las propiedades originales atribuidas al perfil de suelo nominal y la Tabla 6.8 las propiedades degradadas del perfil de suelo nominal.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA		Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 166 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC		Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

**Tabla 6.7: Propiedades originales del perfil de suelo nominal en la zona de la Presa NK**

Estrato	Tipo	Espesor [m]	Profundidad [m]	Presión total [KPa]	Módulo de corte [MPa]	Amortiguamiento	Peso específico [KN/m <sup>3</sup> ]	Vel. ondas corte [m/s]
1	1	5.00	2.50	50.0	183.5	0.01	20.00	300
2	1	5.00	7.50	150.0	196.0	0.01	20.00	310
3	1	5.00	12.50	250.0	228.9	0.01	20.00	335
4	1	5.00	17.50	352.5	293.1	0.01	21.00	370
5	1	5.00	22.50	457.5	342.6	0.01	21.00	400
6	1	5.00	27.50	562.5	514.1	0.01	21.00	490
7	2	5.00	32.50	670.0	2473.2	0.01	22.00	1050
8	2	5.00	37.50	780.0	2473.2	0.01	22.00	1050
9	2	5.00	42.50	890.0	2473.2	0.01	22.00	1050
10	2	5.00	47.50	1000.0	2473.2	0.01	22.00	1050
11	Semiesp.	-	-	-	5047.4	0.01	22.00	1500

**Tabla 6.8: Propiedades degradadas del perfil de suelo nominal en la zona de la Presa NK**


Estrato	Profundidad [m]	Deform. uniforme	Módulo de corte [MPa]	Amortiguamiento	Relación G / G <sub>0</sub>
1	2.50	0.0109	129.9	0.069	0.709
2	7.50	0.0378	92.4	0.119	0.472
3	12.50	0.0500	97.2	0.131	0.425
4	17.50	0.0432	132.5	0.124	0.453
5	22.50	0.0469	149.6	0.128	0.437
6	27.50	0.0317	261.6	0.110	0.510
7	32.50	0.0040	2316.5	0.012	0.938
8	37.50	0.0043	2308.4	0.012	0.934
9	42.50	0.0047	2300.6	0.013	0.931
10	47.50	0.0049	2295.5	0.013	0.929

La Tabla 6.9 muestra valores máximos de aceleración (PGA) de las distintas componentes de los acelerogramas obtenidos a través del proceso de deconvolución, para cada sismo y cada perfil de suelo.

**Tabla 6.9: Valores de PGA de los acelerogramas utilizados para la presa NK**

Sismo	Perfil de suelo	Dirección		
		H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	V
Iwate	Nominal	0.438	0.460	0.667
	Flexibilizado	0.331	0.365	0.714
	Rigidizado	0.589	0.545	0.642
Loma Prieta	Nominal	0.532	0.448	0.744
	Flexibilizado	0.488	0.365	0.681
	Rigidizado	0.609	0.448	0.776
Northridge	Nominal	0.419	0.499	0.701
	Flexibilizado	0.374	0.436	0.718
	Rigidizado	0.448	0.443	0.716

Los escenarios sísmicos considerados para el cálculo de la amplitud máxima del oleaje fueron los siguientes:

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 167 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

I. Ambas componentes horizontales de cada sismo y de cada perfil de suelo se aplicaron por separado en los bordes verticales del embalse en forma sincrónica. Por otra parte, la componente vertical de cada sismo y de cada perfil de suelo se aplicó sincrónicamente en el fondo del embalse (borde inferior).

II. Para cada componente horizontal de cada sismo, asociada al perfil de suelo nominal, se definió una componente vertical consistente con ondas superficiales (ondas de Rayleigh) propagándose en dirección horizontal a diferentes velocidades: 250 m/s, 500 m/s y 1000 m/s. Ambas componentes (horizontal y vertical) se aplicaron luego en forma simultánea y desfasadas en los distintos puntos de los bordes en función de la velocidad de propagación correspondiente.

Adicionalmente se desarrolló un estudio de sensibilidad del oleaje a componentes de baja frecuencia del sismo (Capítulo 3.4 del informe principal – Anexo 11).

También se realizó un estudio de oleajes producidos por desplazamientos permanentes del fondo o de las laderas (deslizamientos) (Capítulo 3.5 del informe principal – Anexo 11). Para este estudio se consideraron los siguientes escenarios para estimar la amplitud máxima del oleaje por posibles desplazamientos del fondo o de las laderas cercanas a las márgenes de los embalses:

- a. Corrimiento horizontal de 1 m de la pared vertical completa de una de las márgenes a distintas velocidades para simular el desplazamiento del agua debido a la ocupación de su espacio por el material desprendido. Estas velocidades se definieron a través de las siguientes duraciones del proceso de deslizamiento: 5 s, 10 s y 20 s.
- b. Levantamiento del fondo del embalse en forma de cuña contra una de las márgenes hasta una longitud horizontal igual a la profundidad del embalse en dicha margen. La ley de variación temporal es la misma que se utilizó en el escenario anterior, mientras que la ley de variación espacial es lineal y alcanza un valor máximo de 2 m en correspondencia con la pared vertical. De esta forma se impone al final del proceso de desmoronamiento una variación de volumen idéntica a la del escenario anterior.

Según los resultados del presente estudio, la amplitud máxima sobre la superficie media del embalse de las olas inducidas por la excitación sísmica adoptada para el diseño en ningún caso supera 0,42 m (0,84 m de altura valle-pico suponiendo una ola simétrica).

Sin embargo, la incorporación en los acelerogramas de componentes de baja frecuencia que no afectan los espectros de respuesta usados para el diseño, y que son consistentes con las demandas sísmicas en bajas frecuencias, produce la excitación de los primeros modos del embalse, lo cual genera que la amplitud máxima de las olas alcance 1,22 m, y con hipótesis más pesimistas hasta 2,26 m. A pesar de que las funciones agregadas poseen una duración de 5 minutos y que las frecuencias excitatrices son coincidentes con las frecuencias naturales de los 10 primeros modos naturales, el hecho que los espectros de respuesta no sean afectados respalda la consideración de este escenario aunque resulte conservador.

Por otro lado, la amplitud máxima de la ola generada por un desplazamiento permanente del fondo o de una de las márgenes del embalse es aproximadamente igual a 0.80 m para un desplazamiento de 1 m. Sin embargo, estos resultados corresponden a desplazamientos permanentes hipotéticos, ya sean horizontales o verticales, considerados en forma separada. Si ambos desplazamientos se produjeran en forma simultánea, la predicción del modelo lineal aplicado implicaría una suma directa de ambos efectos. Adicionalmente, si el desplazamiento permanente fuera igual al supuesto pero afectado por un factor de proporcionalidad, la amplitud correspondiente de la ola será proporcional a ese factor. Estas hipótesis fueron adoptadas al sólo efecto de estimar la amplitud de las olas que se podrían esperar en caso ocurrir esos desplazamientos como consecuencia de un sismo (en tal caso serían desplazamientos co-sísmicos) o alguna otra circunstancia que produzca desestabilización de las márgenes, dado que actualmente no se cuenta con información o estudios relativos a la estabilidad de las márgenes naturales de los embalses.



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 168 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

## 7. ESTUDIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Este capítulo presenta el estado del conocimiento actual sobre los yacimientos para los materiales de construcción de la presa Presidente Néstor Kirchner en la Provincia de Santa Cruz en la etapa previa de estudios e incluyendo las llevadas a cabo por el Laboratorio de la UTE durante noviembre-diciembre 2015.

En el Informe técnico NK-A.CV-IV.GT-(PR-00-00)-P001-0A (Anexo 12) se dan mayores detalles sobre todos los yacimientos estudiados, incluidos aquellos que no se consideran en la etapa actual.

De acuerdo con el perfil típico presentado en la oferta (plano NK-A.CV-PL.PR (PR-08-00) P002), para la construcción de la presa serán necesarios los siguientes materiales pétreos:

- a) **Material 1A:** Es el material empleado como sellador natural en el sector del plinto y los niveles inferiores de la pantalla de hormigón. El material es un suelo no plástico (no cohesivo) del tipo limo arenoso o con una granulometría inferior. El pasante del tamiz 200 de este material debe superar el 20 %.
- b) **Material 1B,** random de protección del material 1A. Se utilizara material aluvional sin clasificar.
- c) **Material 2A,** arenas y gravas finas bien gradadas (<#1/2") que actúan de filtro del material 1A. Material empleado para el apoyo de la junta perimetral. El contenido de finos puede variar entre 2 y 8 %. Se propone la siguiente faja granulométrica:


• 1/2" (12,7 mm)	100 %
• 3/8" (9,5 mm)	85-100 %
• 4 (4,8 mm)	54-90 %
• 15 (1,19 mm)	23-46 %
• 50 (0,297 mm)	5-23 %
• 100 (0,15 mm)	3-13 %
• 200 (0,074 mm)	2-8 %

- d) **Material 2B,** arenas y gravas bien gradadas (<#11/2") y pocos finos (<10%), de apoyo de la losa de hormigón del talud de aguas arriba. El entorno granulométrico aproximado es el siguiente, siguiendo lineamientos del Boletín ICOLD 141 y de la propuesta del diseñador:

• 3" (76,2mm)	100 %
• 1 1/2 " (38 mm)	90 – 100 %
• 1" (25,4 mm)	70- 90 %
• 3/4 " (19,1 mm)	50 – 80 %
• 3/8" (9,5 mm)	35- 65 %
• N° 4 (4.8 mm)	20 – 45 %
• N° 10 (2 mm)	12- 35 %
• N° 40 (0,42 mm)	5- 25 %
• N° 100 (0,15 mm)	3 – 12 %
• N° 200 (0,074 mm)	0- 8 %

A la vez incluimos otra faja comparativa más amplia de este material según la siguiente gradación:

• 3" (76,2 mm)	100 %
• 1 1/2 " (38 mm)	70 – 100 %

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 169 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

- ¾" (19,05 mm) 55 – 80 %
- 3/8" (9,5 mm) 35- 65 %
- N° 4 (4.8 mm) 35 – 60 %
- N° 10 (2 mm) 12- 35 %
- N° 40 (0,42 mm) 5- 25 %
- N°. 200 (0,074 mm) 0- 7 %

e) **Material 3B**, gravas bien graduadas (80-100% <3"), con tamaño máximo de 100 cm, en el cuerpo principal de la presa, aguas arriba del eje. Es de aplicación la siguiente faja granulométrica:

- 4" (101,6 mm) 100 %
- 3" (76 mm) 76 – 100 %
- 2 ½" (63,3 mm) 70- 97 %
- 2" (50,8 mm) 63- 94 %
- 1 1/2" (38 mm) 52 – 92 %
- ¾" (18 mm) 25 – 60 %
- N°. 4 (4.8 mm) 20 – 55 %
- N°. 40 (0,42 mm) 0 – 30 %
- N°. 200 (0,074 mm) 0 – 5 %


f) **Material D**; arenas para el dren inclinado ubicado entre el material 3A y 3B y del dren horizontal. Es una grava seleccionada, de forma de cumplir adecuadamente con las leyes de filtros en función de los materiales con los cuales se encuentra vinculado. Se emplearán materiales naturales o eventualmente roca triturada, dura, sana y durable. No deben usarse materiales alterados, que se desintegren fácilmente durante el manipuleo, la colocación o por efecto de la intemperie. Se indica a título indicativo la siguiente distribución granulométrica propuesta por el diseñador:

- 4" (100 mm) 100 %
- 3" (76 mm) 38-100 %
- 2" (50,8 mm) 8-55 %
- ¾" (19,05 mm) 0- 15 %
- ½" (12.7 mm) 0- 5 %
- 3/8" (9,5 mm) 0- 2 %

g) **Material 4**: enrocado de protección de talud de aguas abajo con tamaño de fragmento de roca de hasta 0,5 m.

## 7.1. Recopilación y análisis de antecedentes

Durante las décadas del 70 y del 80 la Empresa Estatal Agua y Energía Eléctrica (AyEE) realizó las Campañas de Investigación para determinar la factibilidad de la construcción de las presas del río Santa Cruz denominadas Cóndor Cliff en el Km 250 y La Barrancosa en el km 180, hoy denominadas Pdte. N. Kirchner y Gdor. J. Cepernic respectivamente. Ambos sitios fueron seleccionados por ser uno de los pocos estrechamientos naturales que presenta el río Santa Cruz en su recorrido que ofrecen la facilidad de construir dos presas de tipo CFRD debido a los abundantes yacimientos granulares que existen en las adyacencias.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 170 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

En el sitio de emplazamiento de la presa N. Kirchner fueron estudiados 6 yacimientos denominados CII, CIII, CIV, CV, Ca y Cb, cuya ubicación general se muestra en la Figura 7.1.

En esa época la alternativa estudiada era la de presas de enrocado con núcleo de arcilla por lo que:

- los yacimientos CII, CIV y Cb se estudiaron en busca de materiales para los espaldones de la presa y para el núcleo, en tanto que
- los yacimientos CIII y Ca solo para material de espaldones.
- El yacimiento CV se estudió en busca de materiales para hormigón.

Todos los yacimientos de materiales granulares se ubican sobre terrazas glaciares, fluvio-glaciales y fluviales aledañas al curso actual del río Santa Cruz.

La Documentación consultada para este análisis fue la siguiente:

- a. Informe de AyEE (1980) de los yacimientos Ca, Cb, CII, CIII, CIV, CV, ubicación de los mismos, curvas granulométricas y planillas (Volumen IV – Anexos A, B y C - Esta información formo parte de los antecedentes recibidos junto al Pliego de licitación).
- b. Tablas y Curvas granulométricas y análisis elaborados por el consorcio UTE.
  - Curvas granulométricas calicatas NK-Ca (6-03-15),
  - Curvas granulométricas Calicatas NK-CIV (6-03-15)
  - YACIMIENTOS Cb-CII-CIII
- c. Archivos en formato Autocad elaborados por UTE de los yacimientos de AyEE y de las investigaciones del año 2015 y de las previstas realizar.
- d. Capítulo 6 del INFORME GEOLÓGICO-GEOTECNICO PRELIMINAR de la PRESA NESTOR KIRCHNER, presentado en octubre 2015.
- e. Documentos preparados y emitidos por el Diseñador:
  - GE-A.CV-MT.GT-(PR-00-00)-P001-0B-PRESA
  - NK-A.CV-MC.FE-(PR-01-00)-P002-0A-FUNDACIONES Y DEFORMACIONES
  - NK-A.CV-MT.GT-(PR-01-00)-P001-0A-YACIMIENTOS
  - NK-A.CV-MT.GT-(PR-01-00)-P002-0A-MATERIALES
- f. Presentaciones en formato Power point preparados por el Diseñador para la reunión con el Panel de Expertos en septiembre y octubre de 2015:
  - 5-Presa
  - 6-Yacimientos
  - 7-Diseño de Materiales



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 171 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

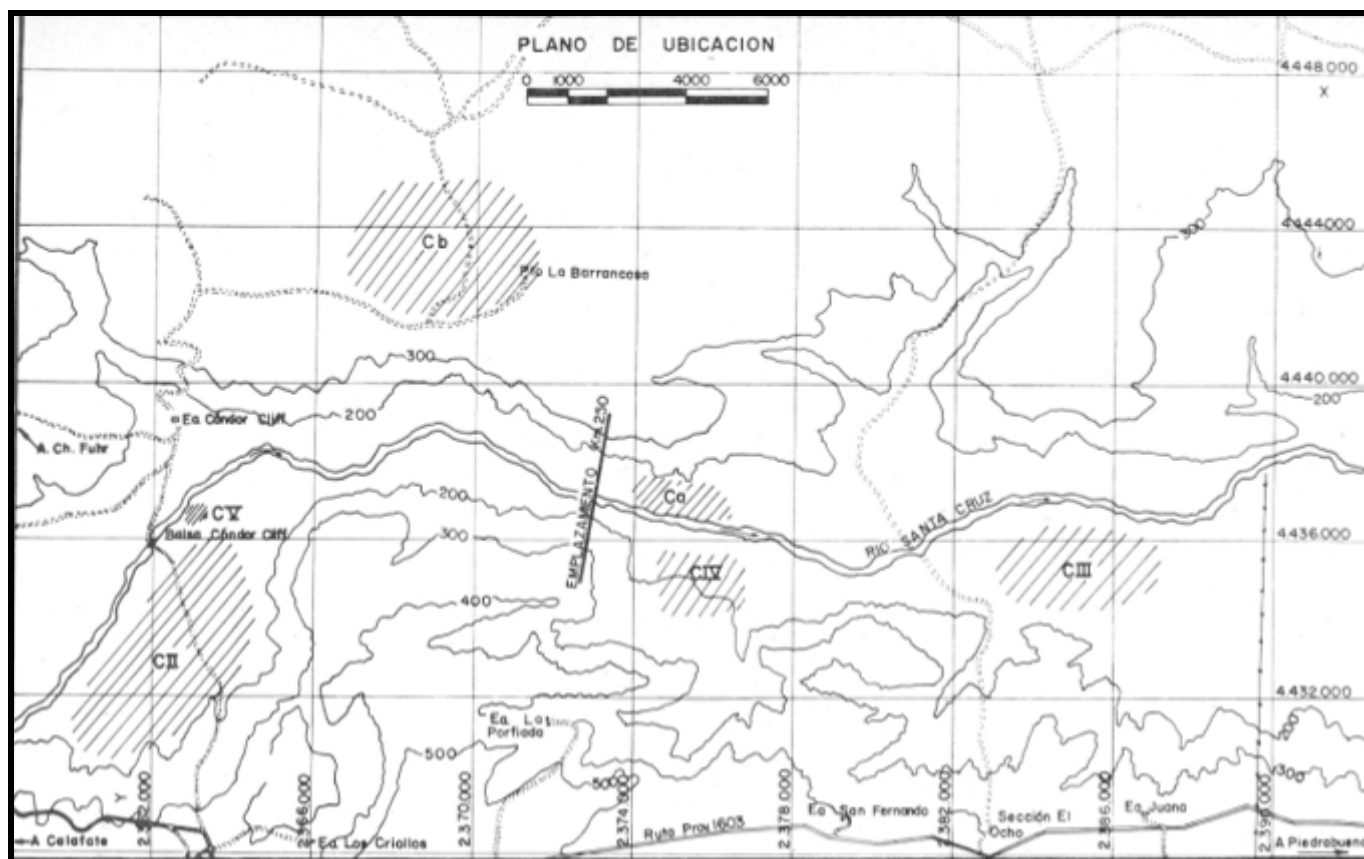



Figura 7.1: Plano de Ubicación de los yacimientos estudiados por AyEE en el sitio de la presa N. Kirchner.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 172 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

## 7.2. Yacimiento CII

El yacimiento CII está ubicado a unos 8 km aguas arriba del sector del cierre sobre la margen derecha (Figura 7.1). Este se desarrolla en una amplia curva del río antes de ingresar al cañadón de Cóndor Cliff. Su acceso coincide con el trazado de la ruta provincial 4 que sale desde la ruta 9 al sur y conduce al norte hacia el local en donde se realizaba el trasbordo en balsa.

Su volumen es de aproximadamente 37.000.000 de m<sup>3</sup> que alcanzaría para cubrir todas las necesidades de la Presa y a su vez por su ubicación y altitud quedaría cubierta por el embalse. Con esto se evitarían las tareas de remediación del medio ambiente que se deberán realizar en las áreas de extracción que queden al descubierto.

La Figura 7.2 presenta la ubicación en planta de las 25 calicatas exploratorias realizadas para cuantificar los materiales de éste yacimiento.

Las calicatas CII 01 a CII 12 y CII 26 a CII 29 se ubican en la planicie aluvial actual del río Santa Cruz.

Las calicatas CII 13 a CII 17 se excavaron en las terrazas intermedias correspondientes a los depósitos fluvio-glaciales.

Las calicatas CII 18 a CII 21 se ubican en depósitos de neto origen glaciario.

El material impermeable podrá utilizarse según necesidad para alguna ataguía.

Interesa incluir en el análisis el material permeable, que fue estudiado con un muestreo adecuado y cuyo promedio junto con las bandas granulométricas de los materiales 2B (con dos criterios) y 3B se grafica en la siguiente Figura 7.3.

En todas las curvas se incluye la recta de estabilidad interna para una rápida verificación, que es uno de los métodos usados para corroborar que no haya migración de finos entre las fracciones del material. En este caso corresponde al criterio de 15 % (V) - 5D (H).

En la Tabla 7.1 se muestran los diámetros característicos y el cálculo de los coeficientes Cu y Cc.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 173 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

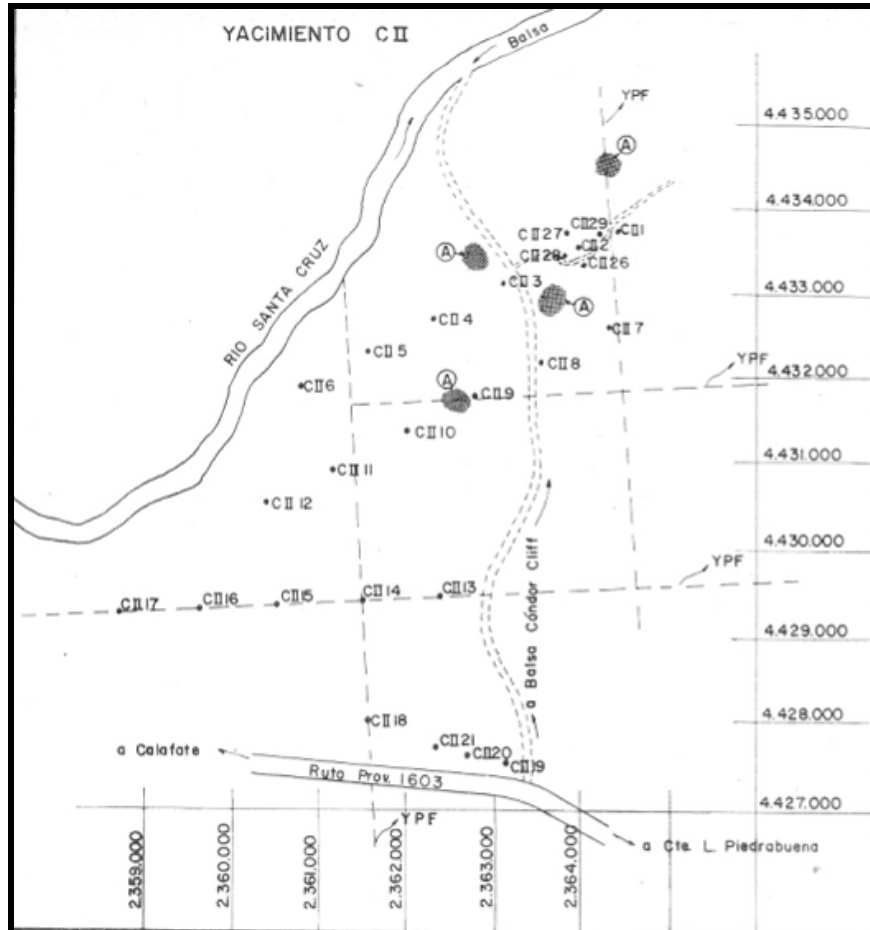


Figura 7.2: Ubicación de las 25 calicatas exploratorias del Yacimiento

Tabla 7.1: Promedio de Yacimiento CII y diámetros característicos

YACIMIENTO CII	
Tamiz	Promedio
mm	Ponderado
	%
76,200	94,2
38,100	78,1
19,050	59,0
9,525	42,3
4,750	27,2
0,425	4,2
0,075	1,8
D10	0,80
D30	5,5
D60	20,0
Cu	25,0
Cc	1,89

Corresponde este material a la clasificación de una grava GW limpia con tamaño máximo de 4".



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 174 de 389

Doc. N°  
NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

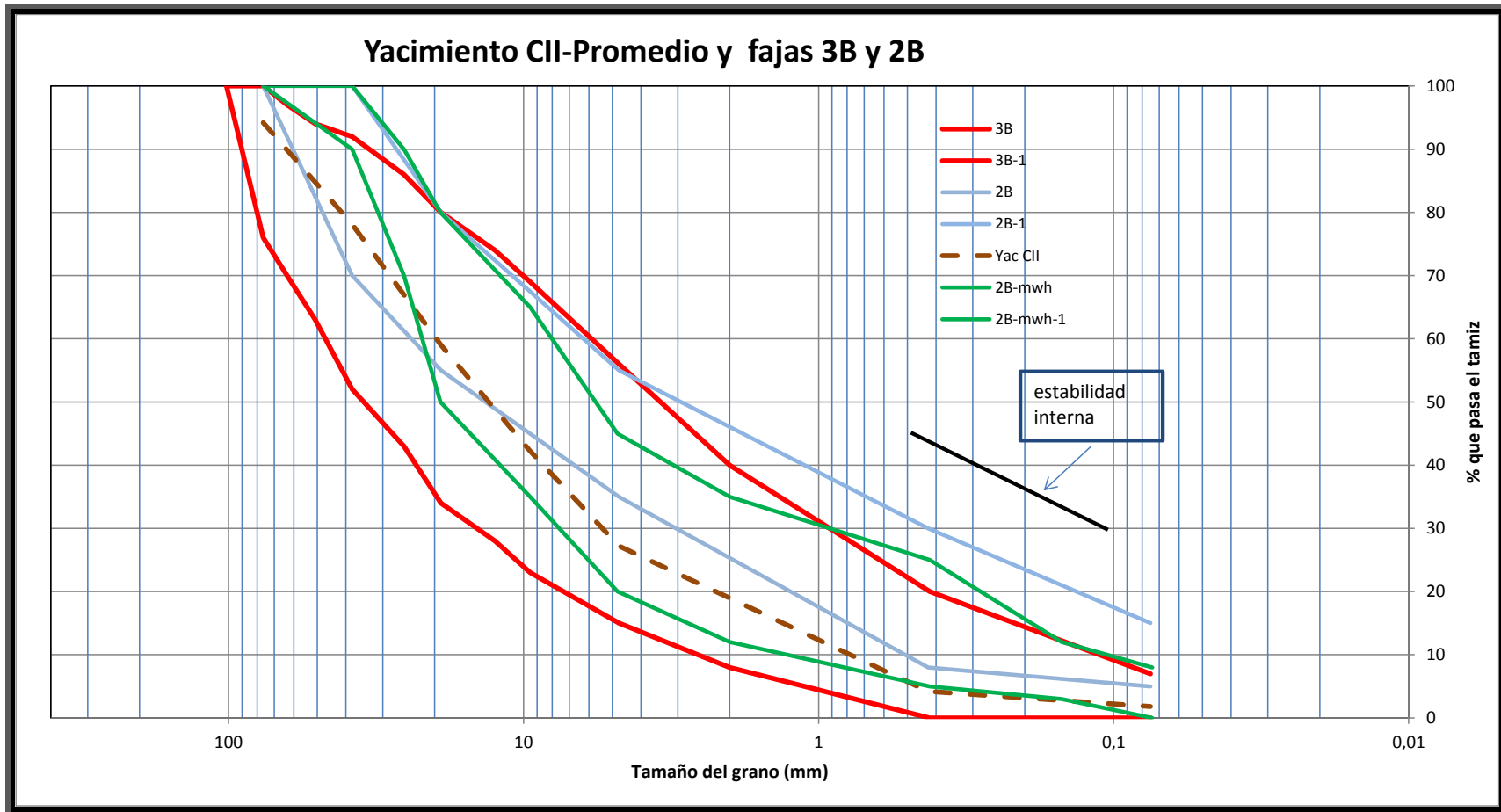


Figura 7.3: Promedio de Yacimiento CII y fajas aceptación de materiales 2B y 3B

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 175 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

### 7.3. Yacimiento CIII

Este yacimiento se encuentra a poco más de 12 km aguas abajo del cierre y sobre la margen derecha del río Santa Cruz en depósitos de las terrazas aluviales donde predominan materiales granulares, cubierto en sectores por sedimentos modernos formados por arenas, limos y en menor medida arcillas (Figura 7.1).

Se calcula un volumen de aproximadamente 20.000.000 m<sup>3</sup>.

La distancia al emplazamiento es un aspecto en contra de este yacimiento, no obstante se muestran en la Tabla 7.2, los diámetros característicos y los parámetros característicos de C<sub>u</sub>, C<sub>c</sub> para la clasificación SUCS, que ha resultado como gravas bien graduadas limpias GW. .

**Tabla 7.2: Granulometría promedio y diámetros característicos de Yacimiento CIII**

YACIMIENTO CIII	
Tamiz	Promedio
mm	Ponderado
	%
76,200	96,1
38,100	77,2
19,050	56,3
9,525	39,4
4,750	23,6
0,425	4,2
0,075	2,2
<b>D10</b>	<b>0,90</b>
<b>D30</b>	<b>6,5</b>
<b>D60</b>	<b>22,0</b>
<b>Cu</b>	<b>24,4</b>
<b>Cc</b>	<b>2,13</b>

### 7.4. Yacimiento Cb

Se encuentra ubicado a unos 5 km al NE aguas arriba del cierre sobre margen izquierda. Corresponden a depósitos de origen fluvioglaciales de tipo GC-SC, SM-GM y CL-ML, con 50% de arena y volumen estimado en 39.300.000 m<sup>3</sup>.

En la Figura 7.4 se presenta la posición de las calicatas ejecutadas.

En la Figura 7.5 se muestra con mayor detalle la curva granulométrica promedio junto con las bandas de aceptación de los materiales 2B y 3B.

En la Tabla 7.3 se muestra la granulometría promedio y los diámetros característicos para el cálculo de C<sub>u</sub> y C<sub>c</sub>.

De acuerdo a la clasificación SUCS resultan gravas limpias bien graduadas GW.

Se incluye la curva promedio de éste yacimiento en la Figura 7.6 junto con la de los yacimientos CII y CIII.





REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 176 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

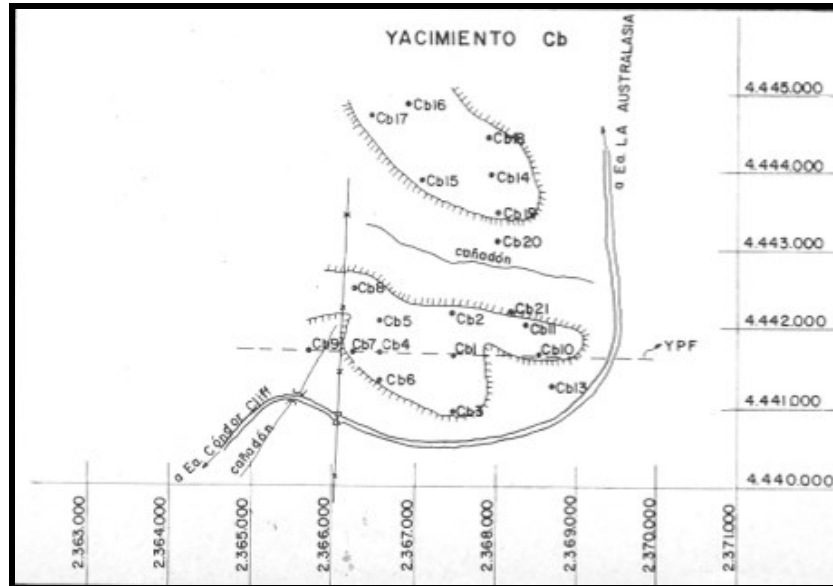


Figura 7.4: Planta de ubicación de las 5 calicatas exploratorias del yacimiento Cb

En la Tabla 7.3 se muestran las granulometrías promedio y los diámetros característicos del Yacimiento Cb.

Tabla 7.3: Granulometría promedio y diámetros característicos de Yacimiento CB

YACIMIENTO Cb	
Tamiz	Promedio
mm	Ponderado
	%
76,200	91,8
38,100	67,1
19,050	48,1
9,525	35,0
4,750	23,0
0,425	7,3
0,075	3,3
<b>D10</b>	<b>0,65</b>
<b>D30</b>	<b>7,0</b>
<b>D60</b>	<b>30,0</b>
<b>Cu</b>	<b>46,2</b>
<b>Cc</b>	<b>2,51</b>



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 177 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

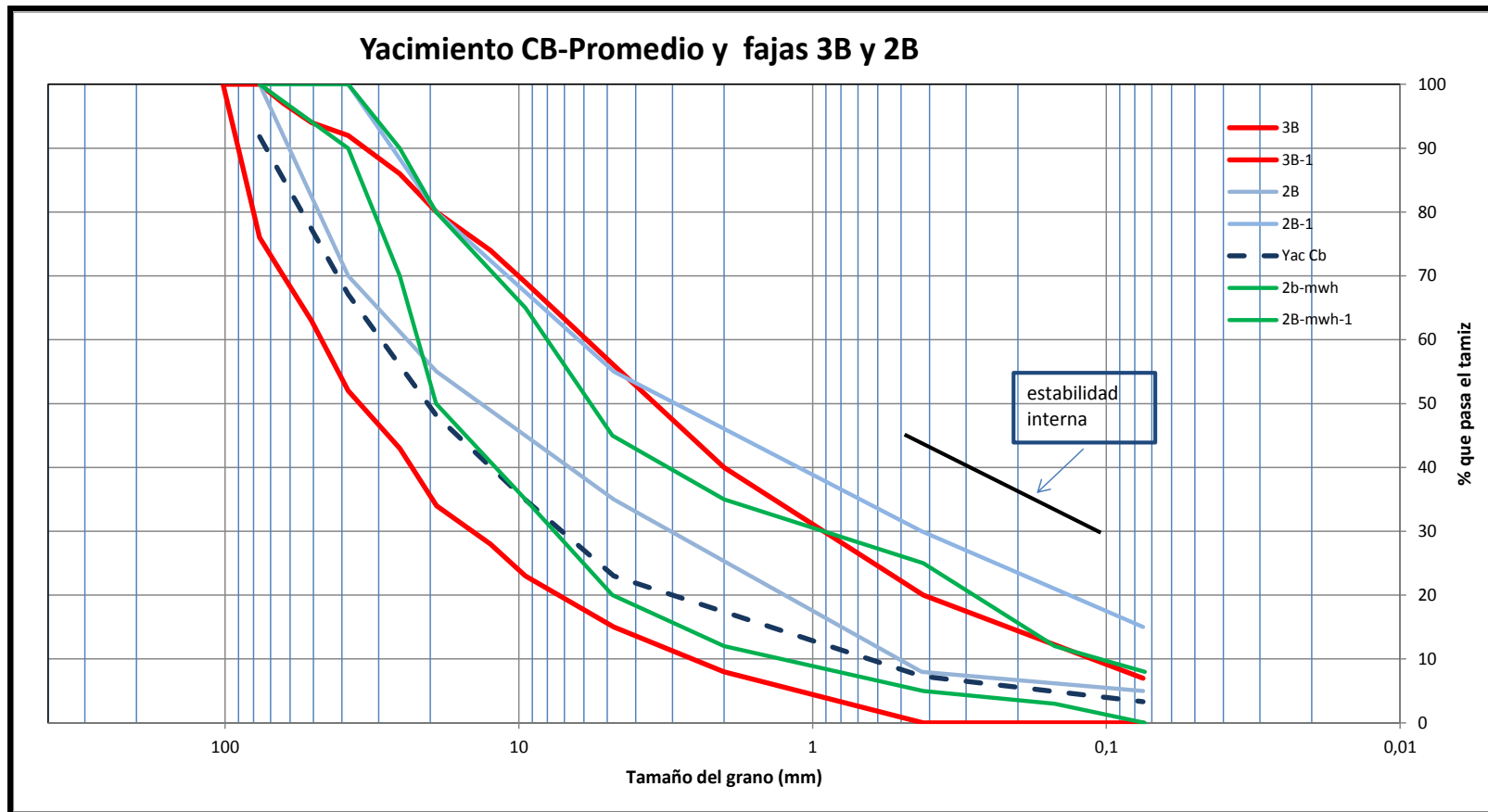


Figura 7.5: Curva granulométrica promedio de Yacimiento Cb y bandas de aceptación de materiales 2B y 3B



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 178 de 389

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

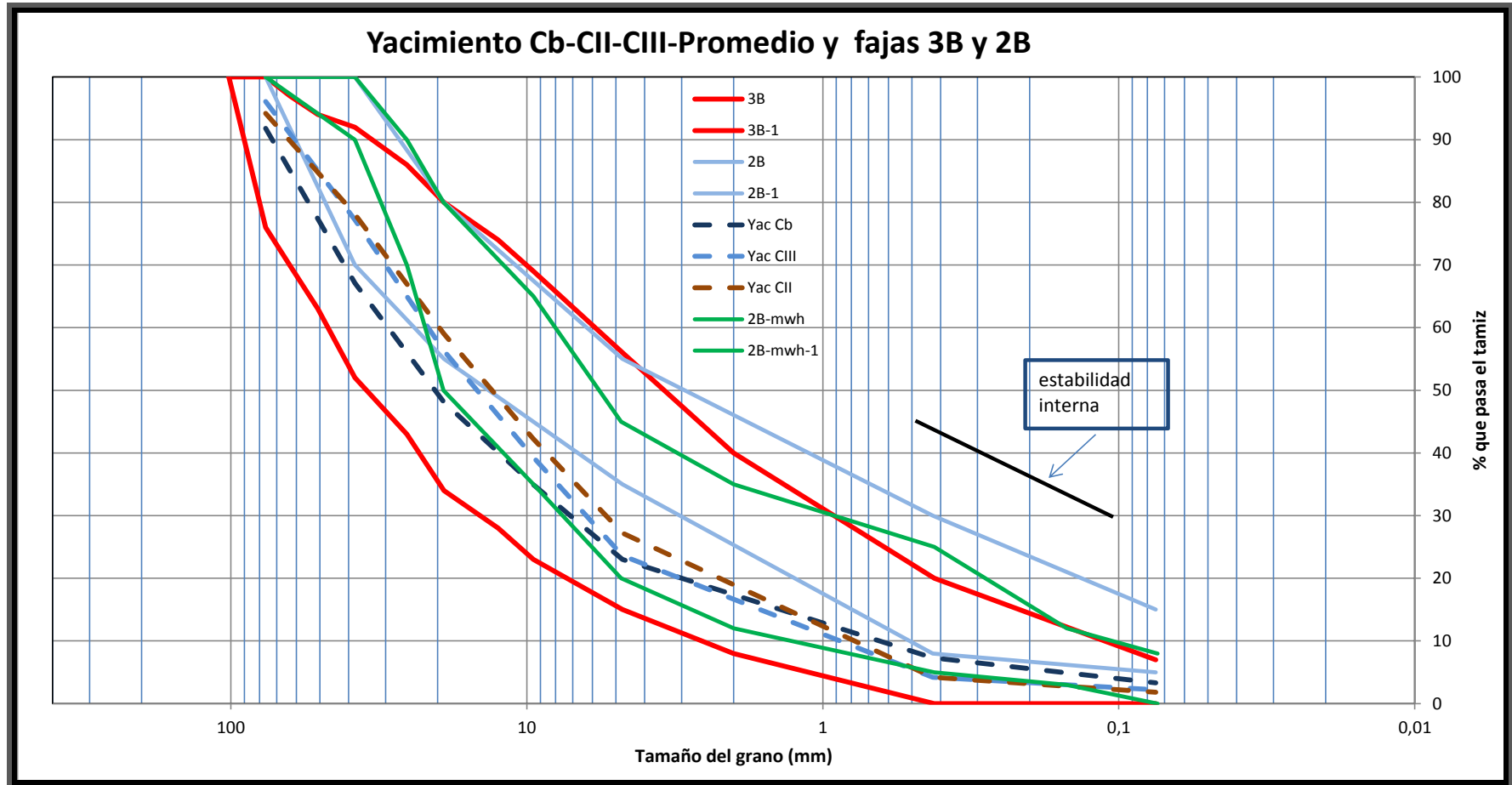



Figura 7.6: Curvas granulométricas promedio de Yacimientos CIII, CII y Cb junto con bandas de aceptación de materiales 2B y 3B

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 179 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

## 7.5. Yacimiento CIV y Ca

En función de la proximidad de los yacimientos CIV y Ca a la presa y a las excavaciones permanentes del canal de desvío y de los canales de restitución del vertedero y del circuito de generación, tal como se destaca en la **Figura 7.7**, se ha optado por estudiarlos en detalle para utilizarlos como fuente de materiales para la presa y para parte de los hormigones.

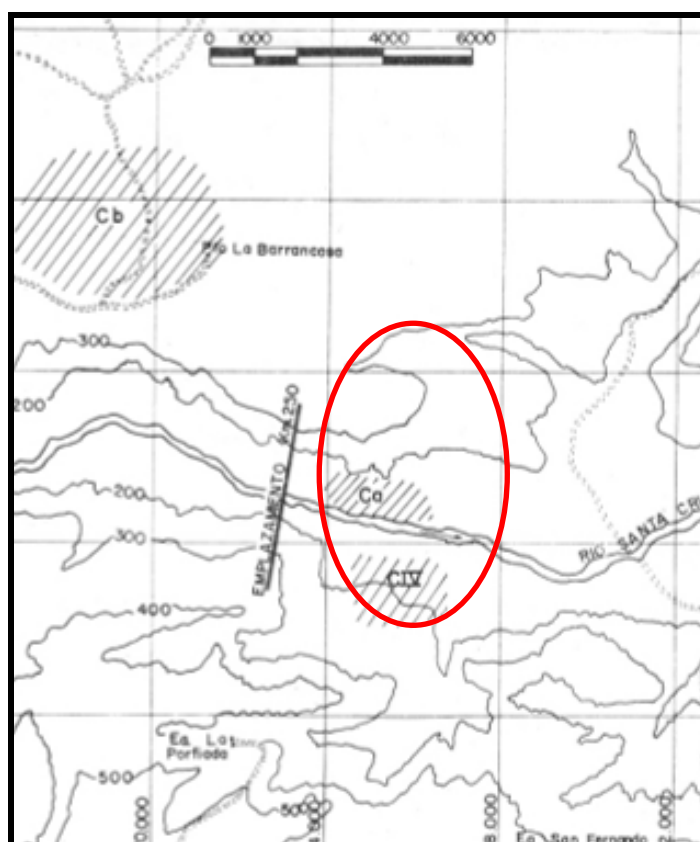


Figura 7.7: Planta de ubicación de los yacimientos cercanos al eje de presa

A continuación se presentara un análisis más detallado de las características geológicas y granulométricas de los depósitos de los citados yacimientos.


### 7.5.1. Yacimiento CIV- Margen Derecha-Aguas Abajo

#### 7.5.1.1. Estudios de Ay EE

Este Yacimiento se encuentra ubicado a unos 3 km aguas abajo de la Presa sobre la margen derecha del río Santa Cruz y a 1 km de la isla. El volumen cubicado es de aproximadamente 7.500.000 m<sup>3</sup> con una predominancia de materiales granulares (GW-GP), cubierto en sectores por sedimentos modernos (arenas, limos y arcillas) que forman suelos impermeables.

Se excavaron diecinueve (19) calicatas exploratorias por parte de AyEE en el año 1980. Su ubicación es la siguiente:

- Cinco calicatas (CIV 01, 02, 04, 05 y 08), en el valle fluvial actual del río (cotas 130-140 m) y
- Catorce calicatas (CIV 03, 06, 07, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19) en la terraza glacifluvial superior (cotas 190 a 220 m).

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 180 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

En la Figura 7.8 se muestra la posición de las calicatas de AyEE ejecutadas para éste estudio.

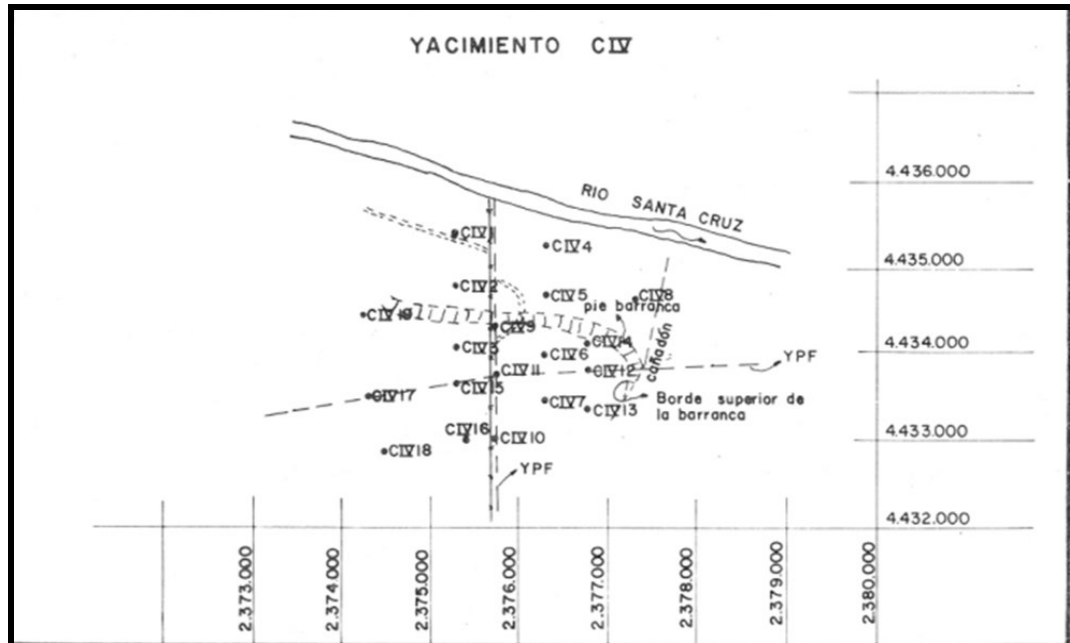


Figura 7.8: Planta de ubicación de las 19 calicatas exploratorias del yacimiento CIV

En la **Figura 7.9** se muestran las granulometrías de todas las calicatas y estratos estudiados incluyendo los puramente arenosos.

En la **Figura 7.10** se muestran las curvas granulométricas solo de los estratos gravosos, el promedio y la banda de aceptación del material 3B de espaldones. Se incluye la recta de verificación de estabilidad interna (15 % - 5d), que en un gráfico semilogarítmico asigna el límite práctico entre materiales internamente estables (pendientes más verticalizadas) e internamente inestables (pendientes más horizontalizadas).

Para que los finos de un material no puedan ser removidos a través de su propia matriz de partículas mayores, el material debe ser internamente estable, lo que significa que su granulometría debe ser tal que si su fracción gruesa es retenida por el filtro, la fracción fina lo será.

La **Figura 7.11** muestra la curva granulométrica promedio de los horizontes gravosos estudiados en la campaña de AyEE con análisis hasta 3" y las franjas de aceptación de material 3B para espaldones y 2b de apoyo de losa.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 181 de 389

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

### Yacimiento C IV (AyEE)- fracciones arenosas y gravosas

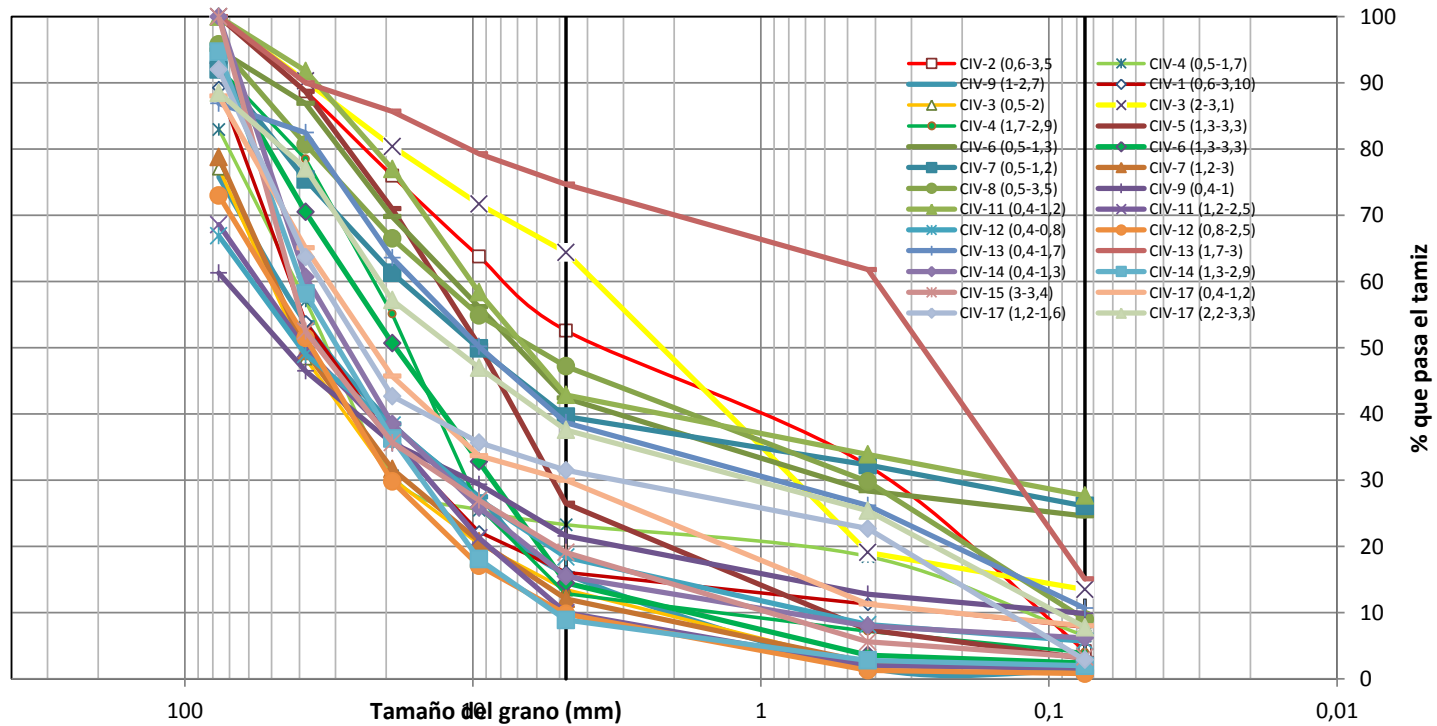


Figura 7.9: Curvas granulométricas de todos los horizontes estudiados en la campaña de AyEE del yacimiento CIV



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 182 de 389

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

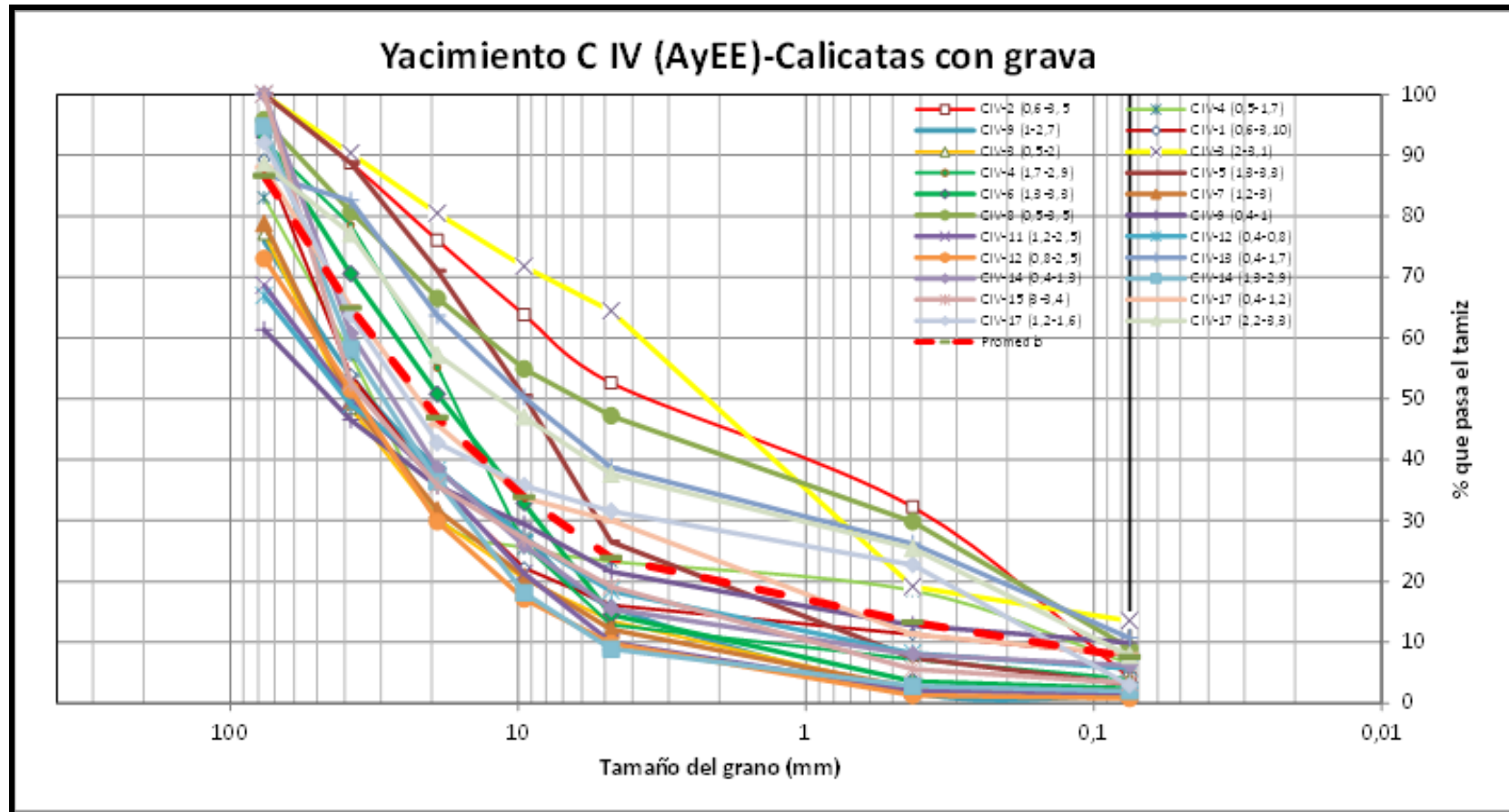


Figura 7.10: Curvas granulométricas de los horizontes gravosos del Yacimiento CIV estudiados en la campaña de AyEE con análisis hasta 3" y el promedio (en línea roja discontinua).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 183 de 389

Doc. N°  
NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

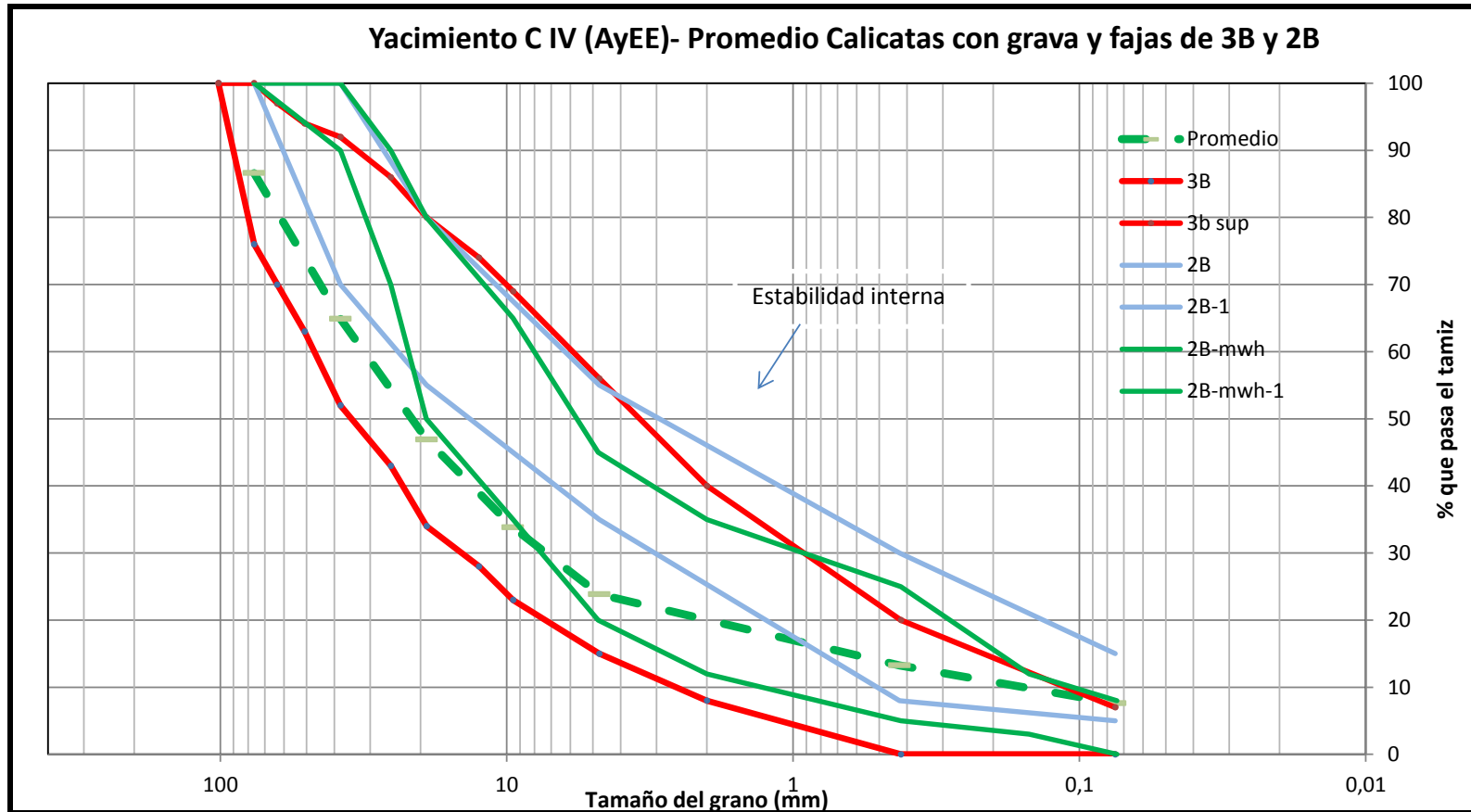



Figura 7.11: Curva granulométrica promedio de los horizontes gravosos estudiados en la campaña de AyEE con análisis hasta 3" y franja de aceptación de material 3B para espaldones y 2b de apoyo de losa.



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 184 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

### 7.5.1.2. Campaña de Estudios 2014 (UTE Represas Patagonia)

En mayo de 2014, aguas arriba del sitio denominado CIV sobre el eje de la presa en la margen derecha, se estudiaron los depósitos fluviales del valle y glacifluviales de la terraza alta, mediante siete (7) calicatas exploratorias que se muestran en la Figura 7.12. El objetivo de este muestreo fue el de investigar la composición granulométrica de los depósitos aluvionares relacionados con la excavación del canal de desvío propuesto en esa margen.

Las calicatas que se excavaron fueron (Figura 7.12):

- K1, K2, K4 y K5 se excavaron dentro del valle fluvial
- KCD1, KCDB y KCDD representan los depósitos de la terraza alta glacifluvial.

La Tabla con todos los resultados obtenidos de las calicatas y los análisis granulométricos que incluyen la fracción arenosa solamente se encuentran en el Informe citado al principio que fue emitido en Febrero 2016.

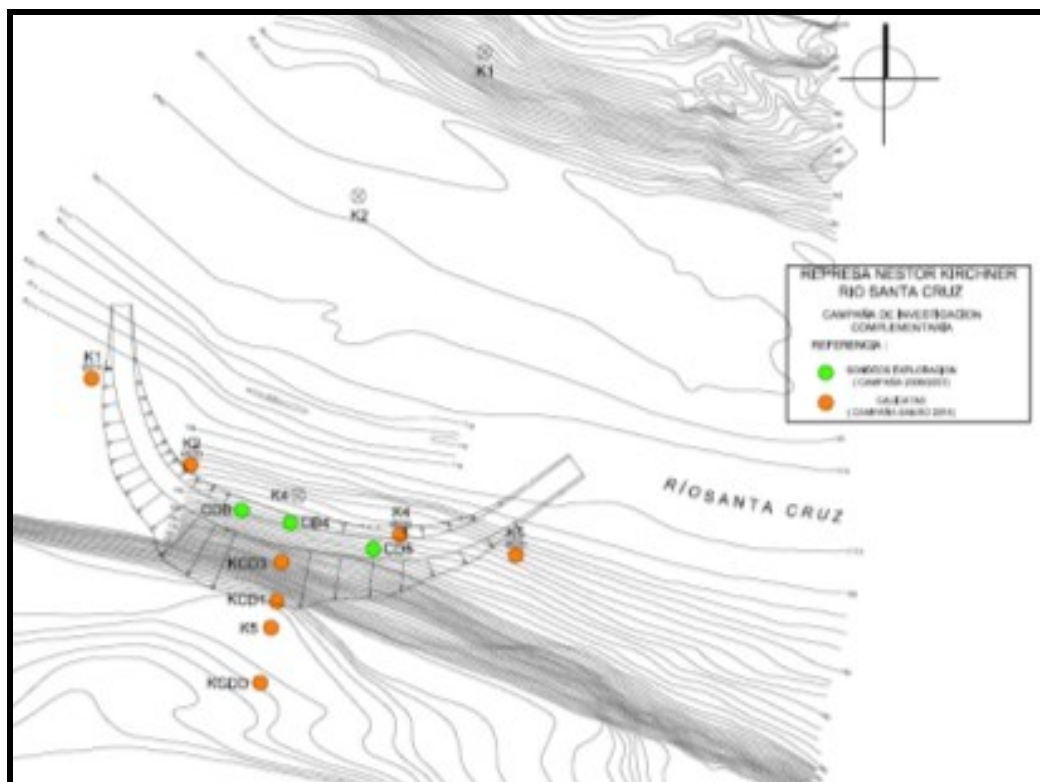



Figura 7.12: Plano de ubicación de los Estudios realizados en la margen derecha en las proximidades del Canal de Desvío.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 185 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

### 7.5.1.3. Análisis por ambiente geológico en Margen Derecha

Agrupando los pozos excavados por ambiente geológico, el análisis se dividió en dos grupos:

- los pozos excavados en el Valle Fluvial del río Santa Cruz (cotas 120-140 m) y
- los pozos excavados en los depósitos glaciales de la Terraza Alta (cotas 170 a >200 m).

Para tornar más realista el análisis, se incluyó el criterio de mezcla ponderada, haciendo una mezcla de fracciones granulométricas en función del espesor de los estratos analizados.

#### a) Valle Fluvial

La Figura 7.13 muestra las curvas granulométricas de los sedimentos fluviales del valle y en la Tabla 7.4 el promedio ponderado (línea negra continua) y los límites inferior y superior de las granulometrías asumiendo 1 desvío estándar (líneas punteadas negra), las franjas de aceptación de materiales 2B (línea continua verde y celeste) y de espaldones 3B (línea continua roja).

La Figura 7.14 muestra las curvas granulométricas promedio y las fajas de aceptación 3B de espaldones y 2B apoyo de losa.

La Figura 7.15 presenta las curvas granulométricas promedio de la campaña de AyEE, comparadas con otras presas de gravas compactadas (Pichi Picún Leufú, Pinzadaran, Salvajina, Aguamilpa y Puclaro).

**Tabla 7.4: Promedio ponderado y desvío estándar de los sedimentos fluviales o del valle del yacimiento C IV**

Tamices mm	Promedios Ponderado %	Desvio Estandar %	Minimo %	Máximo %
76,200	94,6	5,8	100,0	88,7
38,100	76,6	15,7	92,3	60,9
19,050	59,9	19,5	79,4	40,5
9,525	46,0	20,5	66,5	25,5
4,750	27,9	17,0	44,9	10,9
0,425	16,0	11,9	27,9	4,1
0,075	4,8	3,1	7,9	1,7
<b>D10</b>	<b>0,18</b>		<b>0,10</b>	<b>4,60</b>
<b>D30</b>	<b>5,10</b>		<b>4,40</b>	<b>12,00</b>
<b>D60</b>	<b>19,00</b>		<b>8,50</b>	<b>36,00</b>
<b>Cu</b>	<b>105,56</b>		<b>85,00</b>	<b>7,83</b>
<b>Cc</b>	<b>7,61</b>		<b>22,78</b>	<b>0,87</b>

Las curvas promedio muestran coeficiente de uniformidad alto (>10) indicando suelos no uniformes, con bajo contenido de finos (<5 %), menos de 6 % de fracción mayor de 3", 67 % de gravas y 18 % de arenas. Según la clasificación SUCS son suelos del tipo GW, es decir gravas limpias (menor a 5 % de finos) bien graduadas.

Superponiendo las curvas de los materiales 3B, se observa que los materiales del valle cumplen relativamente bien con la premisa. Algunas muestras presentan cierto déficit de arena que podría compensarse incorporando aquellas calicatas de materiales arenosos de la campaña 2014.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 186 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

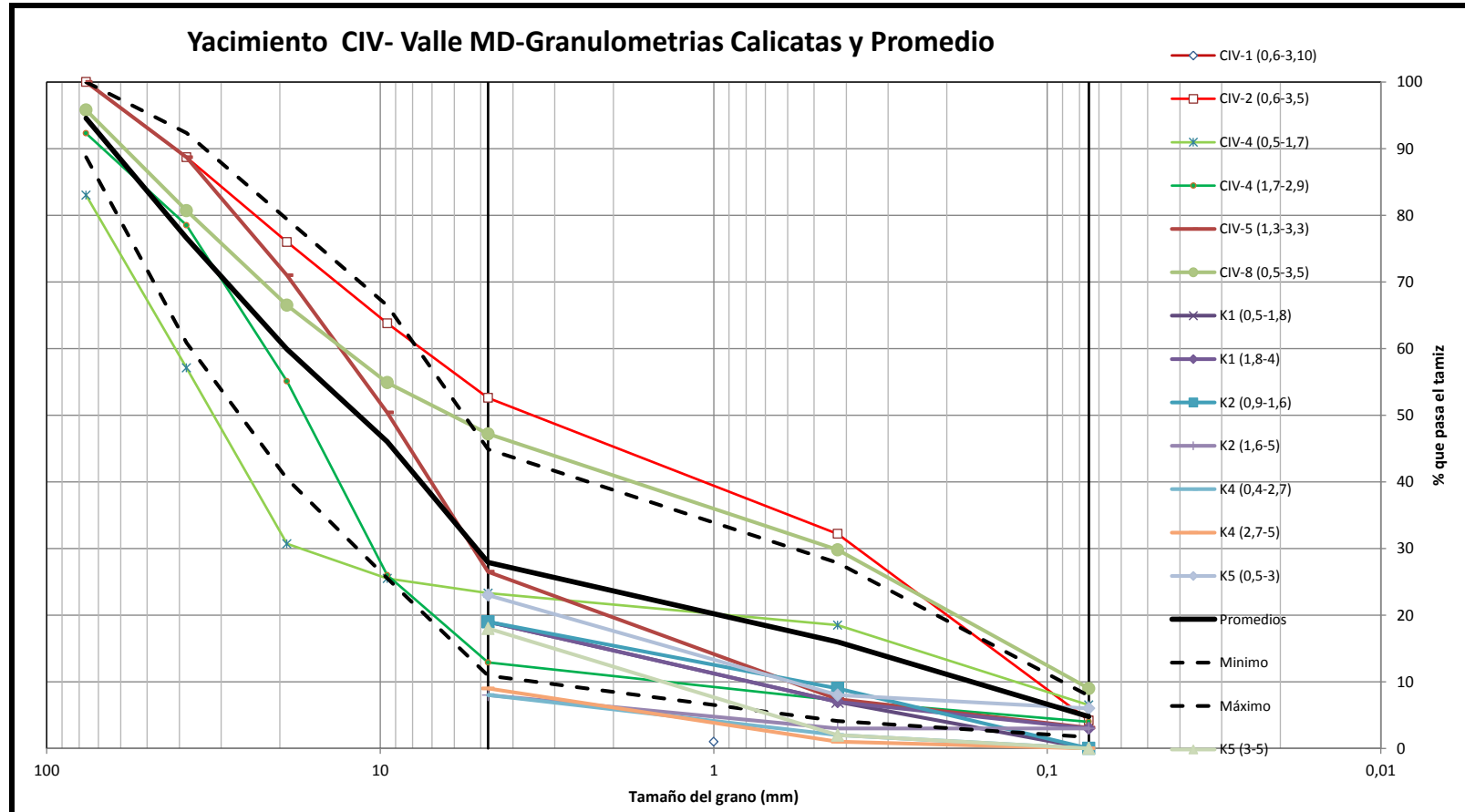


Figura 7.13: Curvas granulométricas de calicatas en valle fluvial y Promedio



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 187 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

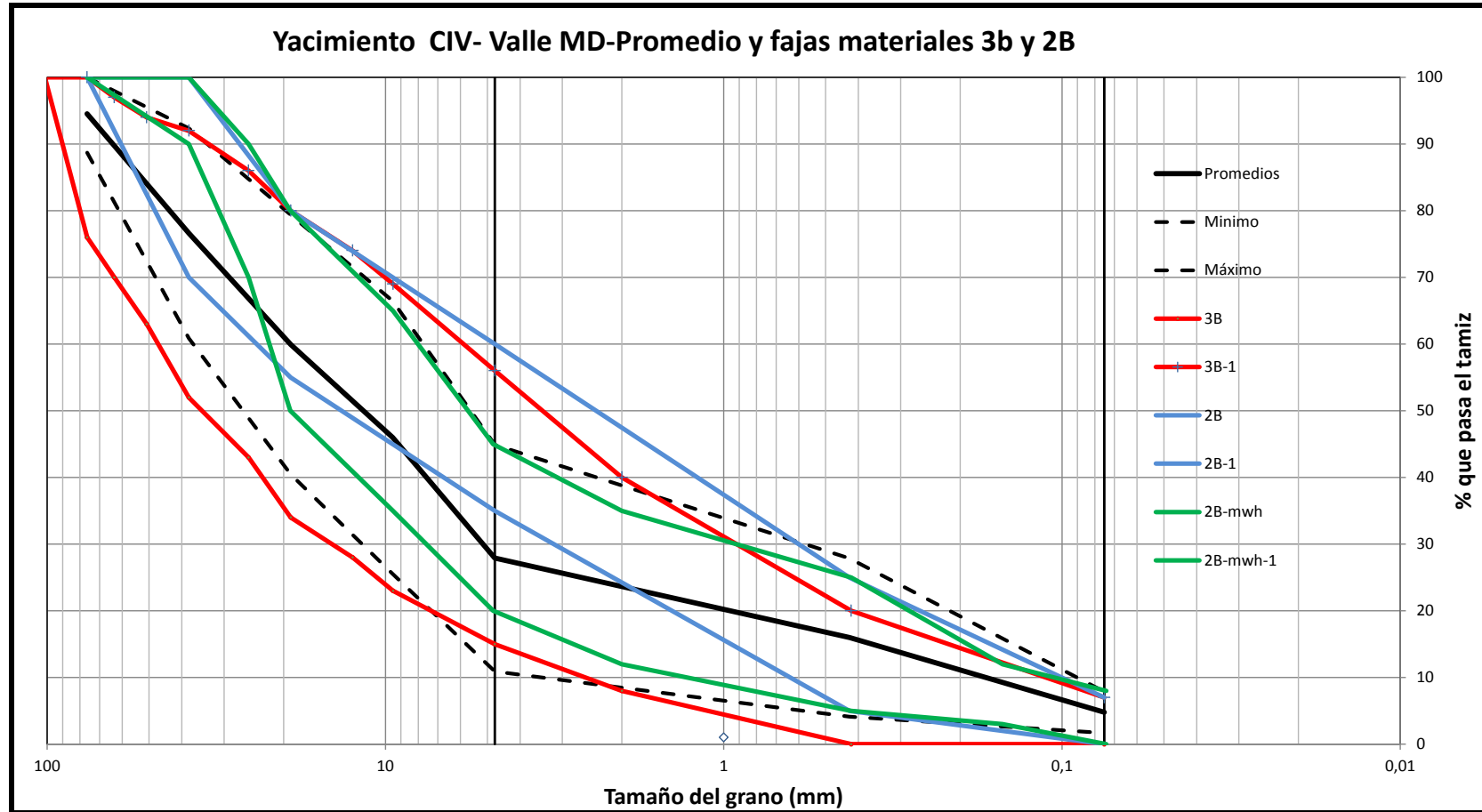


Figura 7.14: Curvas granulométricas de -Promedio y faja aceptación 3B de espaldones y 2B apoyo de losa



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA

SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA

SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A

Fecha: 30-09-16

Página: 188 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

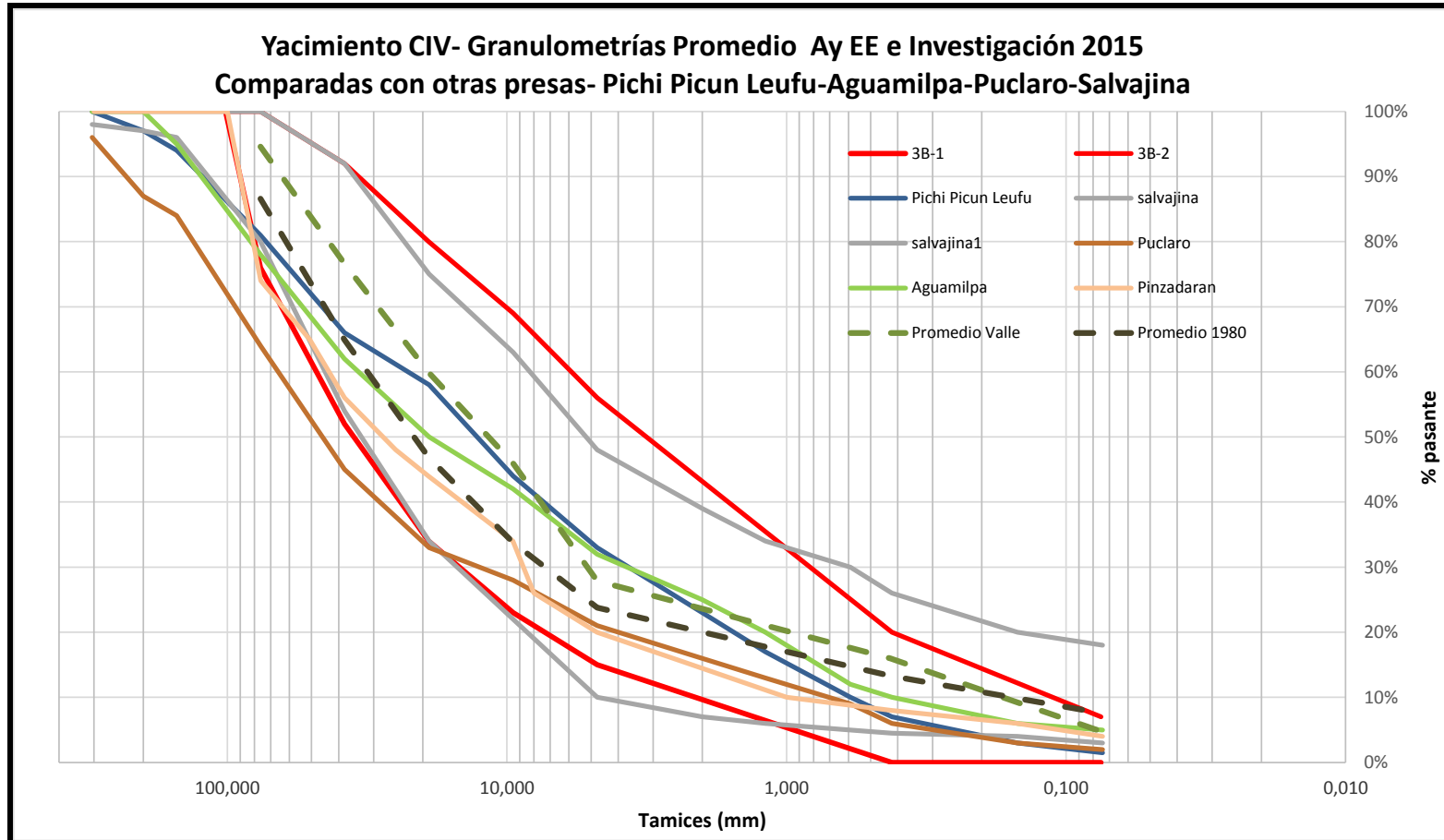


Figura 7.15: Curvas granulométricas Promedio 1980 y Valle comparadas con otras presas de gravas compactadas

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 189 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

## b) Terraza Alta

Las curvas promedio muestran que los suelos hasta 4 m de profundidad son muy heterogéneos coherente con la naturaleza de formación de los mismos por procesos glaciares y fluvio glaciares.

Se observa que si bien, el coeficiente de uniformidad es alto, indicando suelos no uniformes, el alto contenido de finos (0 %-43 %) impone una restricción importante para su aprovechamiento como material del cuerpo de la presa.

La fracción mayor de 3" es en promedio de 10 % pudiendo ser el doble en algún sector del yacimiento.

Las gravas representan 40 % en promedio mientras que las arenas representan 30 %. Según la clasificación SUCS, el suelo promedio se podría clasificar como SM-SC (arenas arcillosas y limosas) con finos de baja plasticidad (CL-ML).

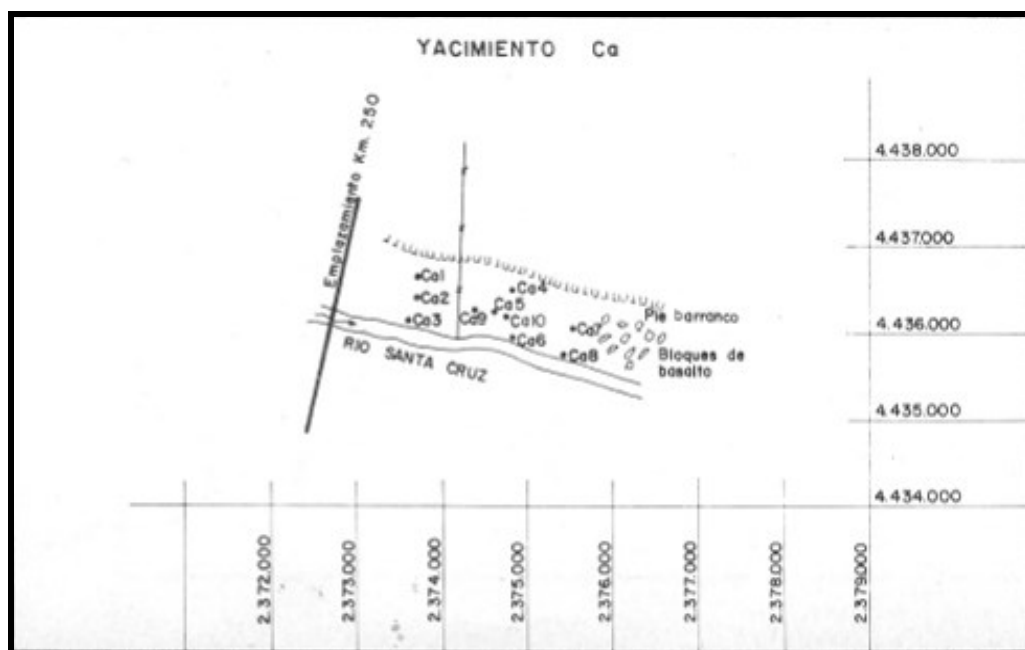
Mayres detalles se presentan en el Informe de Yacimientos citado al principio de este capítulo y emitido en febrero 2016.

## 7.5.2. Yacimiento Ca - Margen Izquierda-Aguas abajo

### 7.5.2.1. Campaña de AyEE -1980

Es el yacimiento más próximo al cierre de la presa, situado aguas abajo sobre la margen izquierda. Los pozos se ubican en la terraza fluvial inferior del río Santa Cruz donde yacen horizontes de materiales granulares. Este sitio se ubica donde se realizarán las excavaciones de los canales de restitución del vertedero y del circuito de generación por lo cual adquiere especial interés para aprovechar los materiales de excavación en la construcción de la presa.

En la **Figura 7.16** se muestra la posición de las calicatas exploratorias llevadas a cabo por AyEE.



**Figura 7.16:** Planta de ubicación de los 10 pozos exploratorios del yacimiento Ca por AyEE.

Las tablas con todos los datos procesados de los estudios realizados por AyEE en la campaña de 1980 se encuentran en el Informe de yacimientos emitido en febrero 2016.

En el siguiente capítulo se compararan estos resultados con los ensayados en el laboratorio de la Universidad de La Plata de la campaña del año 2014.

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 190 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

En la Tabla 7.5 se ha calculado el promedio ponderado y los límites inferior y superior de las granulometrías asumiendo 1 desvío estándar.

**Tabla 7.5: Promedio ponderado y desvío estándar de los sedimentos fluviales de la margen izquierda del Rio Santa Cruz – Yacimiento Ca. Campaña AyEE-1980**

Tamiz mm	Promedio Ponderado %	Desvío Estandar %	Minimo %	Maximo %
76,200	96,1	5,6	90,5	100,0
38,100	83,4	12,6	70,8	96,0
19,050	73,9	17,8	56,1	91,7
9,525	62,8	18,0	44,8	80,8
4,750	52,2	18,9	33,3	71,2
0,425	16,2	13,0	3,2	29,1
0,075	5,9	4,6	1,2	10,5
<b>D10</b>	<b>0,2</b>		<b>0,75</b>	<b>0,08</b>
<b>D30</b>	<b>1,1</b>		<b>3,6</b>	<b>0,43</b>
<b>D60</b>	<b>7,9</b>		<b>23</b>	<b>2,5</b>
<b>Cu</b>	<b>46,5</b>		<b>30,7</b>	<b>33,3</b>
<b>Cc</b>	<b>0,90</b>		<b>0,75</b>	<b>0,99</b>

La **Figura 7.17** muestra las curvas granulométricas del yacimiento Ca, mientras que en la **Figura 7.18** se muestra el promedio ponderado con un desvío standard (máximo y mínimo) y la faja de aceptación del material para espaldones 2B y 3B.

La curva promedio resulta con un coeficiente de uniformidad alto (>15) indicando suelos no uniformes, y con valor de  $C_c$  menor a 1, con contenido de finos levemente mayor a 5 %, menos de 4 % de fracción mayor de 3", 44 % de gravas y 46 % de arenas en promedio. Asimismo se presenta muy cercana al límite fino del material 3B para espaldones, mientras que encaja como promedio en la banda del material 2B más fino.

Según la clasificación SUCS son suelos transicionales entre SP (SM-SC) y GP (GM-GC), es decir arenas y gravas con algo de finos a limpias, levemente mal graduadas. Los finos son arcillosos o en el límite de limosos.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 191 de 389

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

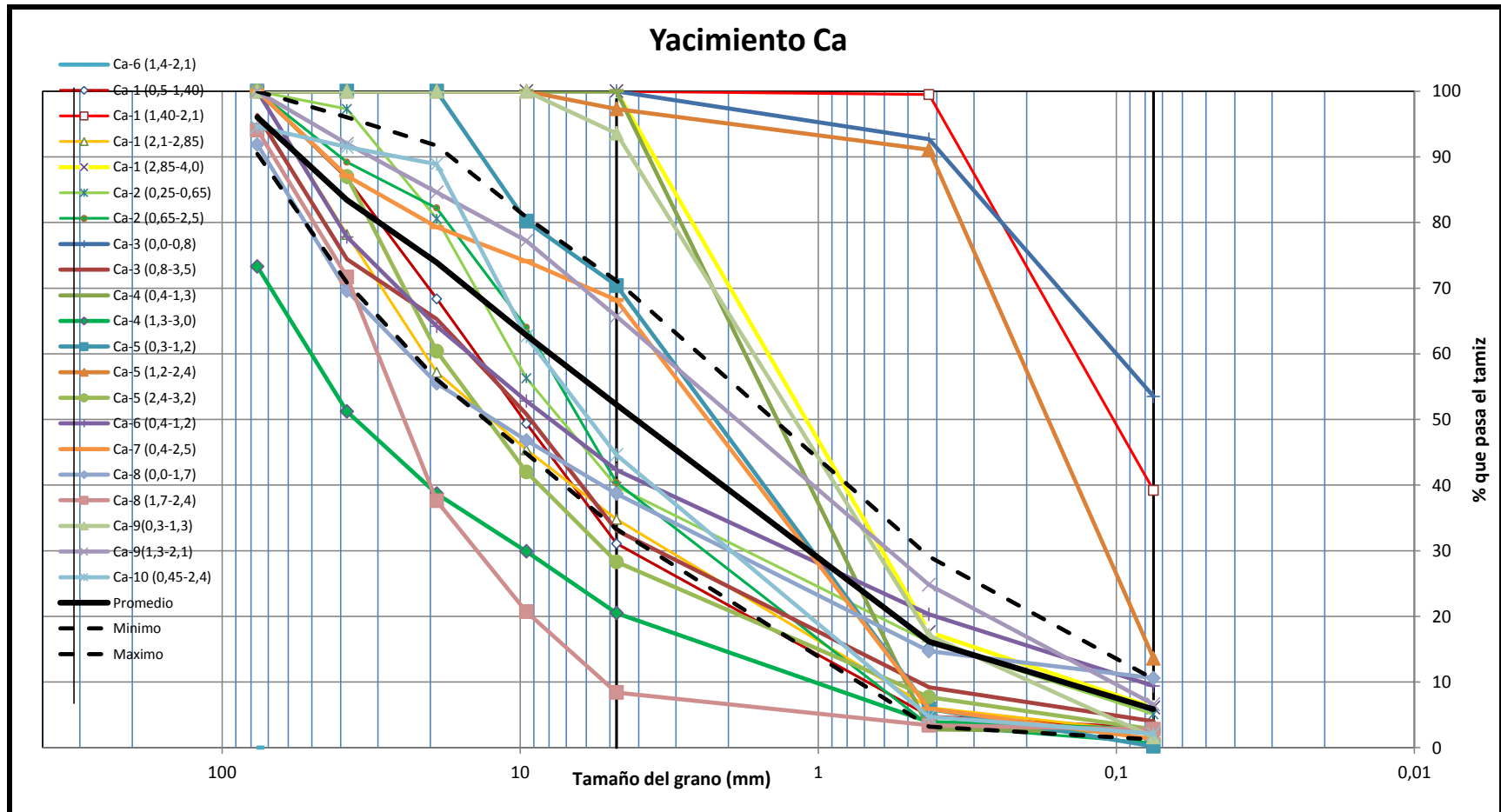


Figura 7.17: Análisis Granulométrico calcatas de AyEE (1980) para el Yacimiento Ca





REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 192 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

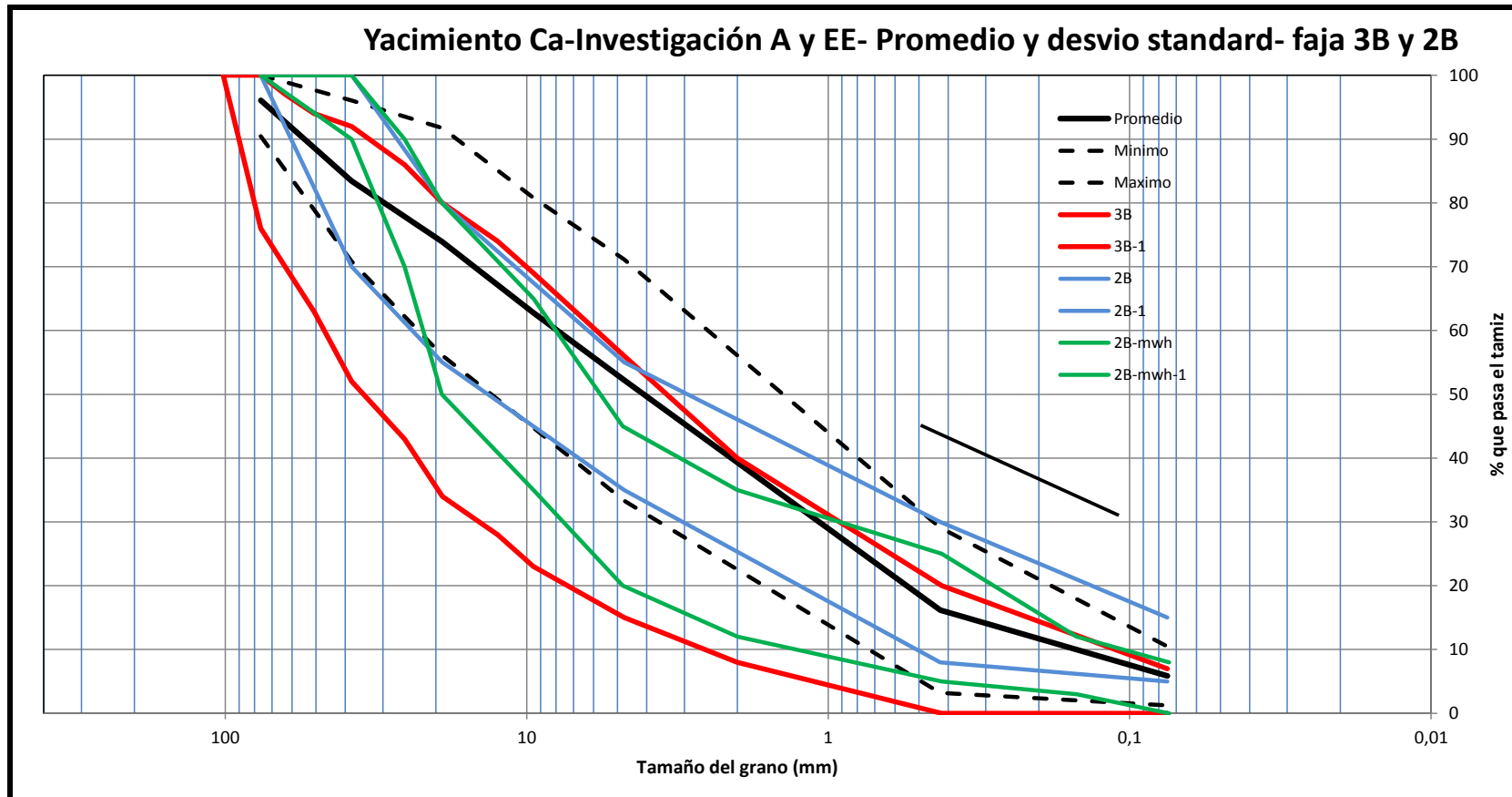


Figura 7.18: Promedio ponderado gravas con máximo y mínimo y faja de aceptación de material 3B y 2B- Calicatas de A y EE (1980) para el Yacimiento Ca

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 30-09-16 Página: 193 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

### 7.5.2.2. Campaña 2014

En mayo de 2014 se ejecutaron cinco (5) calicatas exploratorias por parte de la UTE que se muestran en la Figura 7.19 (calicatas color celeste), con obtención de muestras, cuyo resumen se presenta en las Tablas en el Informe de Yacimientos emitido en febrero 2016.

Los ensayos de granulometría fueron encomendados al Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional de La Plata, cuyo resumen se muestra en la Figura 7.20. Por la clasificación SUCS se trata de suelos arenosos mal graduados SP y algunas en el límite entre SP y GP.

Esto último confirma lo informado por algunas calicatas de AyEE de la presencia de bancos de arena importantes, que es necesario localizar no solo superficialmente sino en potencia para organizar la explotación separadamente para la presa y hormigones.

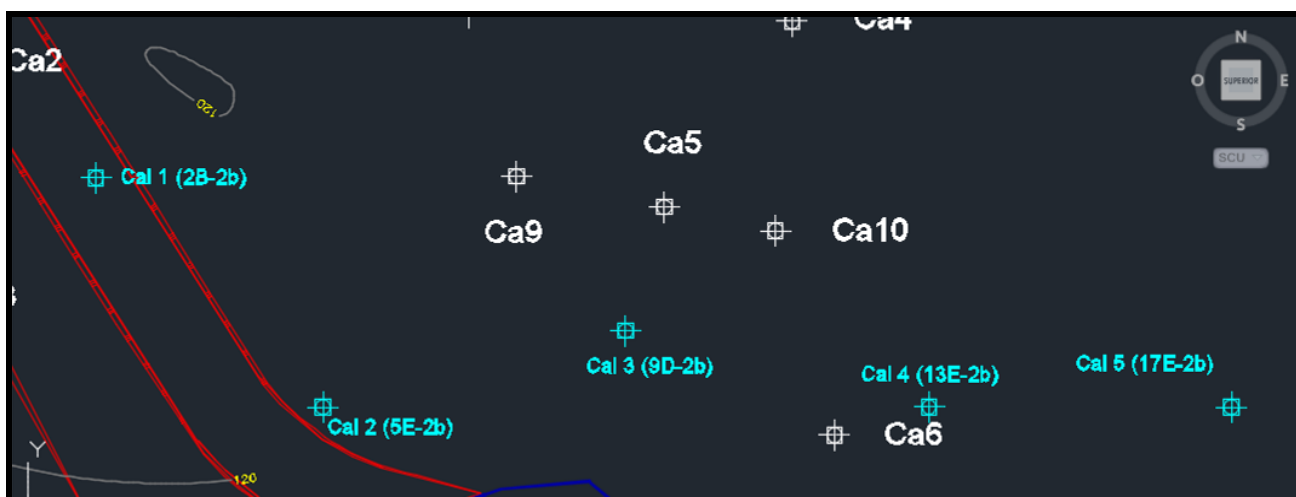


Figura 7.19: Ubicación calicatas de la Campaña 2014 (marcadas en celeste)



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 30-09-16  
Página: 194 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

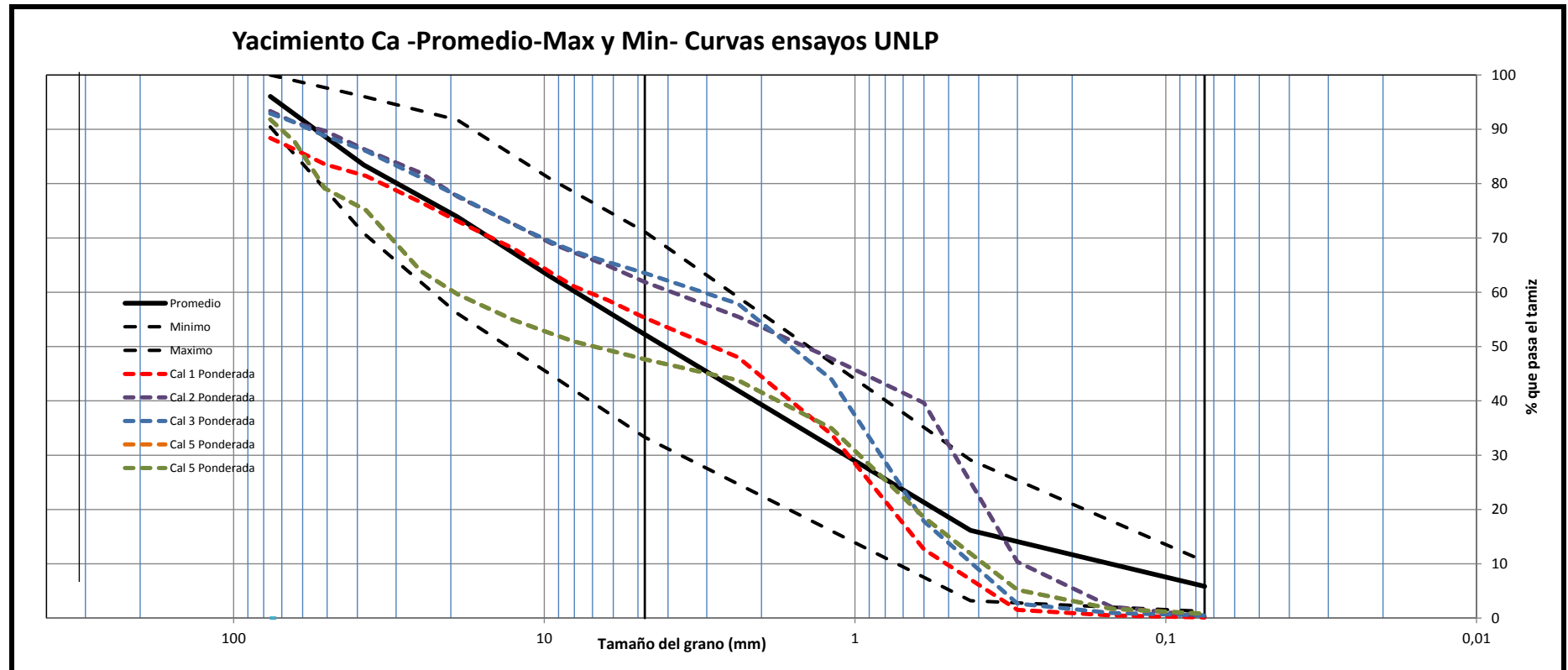



Figura 7.20: Curvas granulométricas promedio de las cinco calicatas analizadas en el laboratorio de la Univ. La Plata junto con los promedios del yacimiento Ca de los estudios de AyEE

## 7.6. Conclusiones preliminares

Con el actual estado del conocimiento de los yacimientos de la Presa N. Kirchner, se pueden enunciar algunos comentarios preliminares que serán confirmados y consolidados cuando se complete la totalidad de la campaña de investigación:

- a. Para estos estudios se adoptó el método de la mezcla ponderada como representativa de la explotación que se llevara a cabo en la realidad. Esta fue hecha tomando como altura total la suma de los espesores de cada estrato, y calculando un porcentaje en base a esa altura total. Se descartó el espesor de destape, que está en el orden de los 30 cm.
- b. En función de la proximidad de los yacimientos CIV (margen derecha aguas abajo) y Ca (margen izquierda aguas abajo) a la presa y a las excavaciones permanentes del canal de desvío y de los canales de restitución del vertedero y del circuito de generación, se ha optado por estudiarlos más en detalle como fuente de materiales para la presa y para parte de los hormigones.
- c. Los estudios de AyEE (1980) del yacimiento CIV, situada en margen derecha aguas abajo muestran calicatas con materiales clasificados en su mayoría como GW y algunas calicatas de material arenoso. Para su correcto análisis, las calicatas fueron separadas en función de su posición geomorfológica y procesos geológicos formadores de los depósitos. Esto implica que se deberá hacer una delimitación precisa de los bancos de arena en superficie y en profundidad
- d. El mismo yacimiento fue estudiado en 2015 separando las calicatas en valle fluvial y terrazas fluvio-glacial. Las del valle fluvial resultaron suelos del tipo GW, es decir gravas limpias (menor a 5% de finos) bien gradadas y los finos que presenta son arcillosos/limosos de baja plasticidad. Superponiendo las curvas de los materiales 3B, se observa que los materiales del valle cumplen relativamente bien con la premisa. Algunas muestras tienen cierto déficit de arena que podría compensarse incorporando aquellas calicatas de materiales arenosos de la campaña 2014.
- e. Las muestras de la terraza alta de la campaña 2014, muestran un alto contenido de finos (0 %-43 %) impone una restricción importante para su aprovechamiento como material del cuerpo de la presa. El suelo promedio se podría clasificar como SM-SC (arenas arcillosas y limosas) con finos de baja plasticidad (CL-ML).
- f. Comparadas ambas curvas promedio del yacimiento CIV (campaña 1980 y Valle fluvial) con las de proyectos de gravas compactadas como Pichi Picun Leufu (PPL) (Argentina), Aguamilpa (México), Puclaro (Chile), Pinzadaran (México) y la banda de aceptación de Salvajina (Colombia), se ha observado en todos los casos que el tamaño máximo de estas presas es ostensiblemente mayor que el de Kirchner. La curva promedio de PPL y Aguamilpa son la que se aprecia similar separándose en los tamaños mayores.
- g. En cuanto al yacimiento Ca, es el más próximo al cierre de la presa, situado aguas abajo sobre la Margen Izquierda. Este sitio se ubica donde se realizarán las excavaciones de los canales de restitución del vertedero y del circuito de generación por lo cual adquiere especial interés para aprovechar los materiales de excavación en la construcción de la presa.
- h. La curva promedio del Yacimiento Ca resulta con contenido de finos levemente mayor a 5 %, menos de 4% de fracción mayor de 3", 44 % de gravas y 46 % de arenas en promedio. Asimismo se presenta muy cercana al límite fino del material 3B para espaldones, mientras que encaja como promedio en la banda del material 2B más fino. Según la clasificación SUCS son suelos transicionales entre SP (SM-SC) y GP (GM-GC), es decir arenas y gravas con algo de finos a limpias, levemente mal graduadas. Los finos son arcillosos o en el límite de limosos.
- i. Los ensayos de granulometría del año 2014 encomendados al Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional de La Plata, muestran también suelos arenosos mal gradados SP y algunas muestras se encuentran en el límite entre SP y GP. Esto último confirma lo reportado por algunas calicatas de AyEE en cuanto a la presencia de bancos de arena importantes que es necesario, en la campaña 2016, localizar y delimitar, no solo superficialmente sino en potencia, para organizar la explotación separadamente para la presa y hormigones.
- j. El Contratista elaborará un informe final con todas las investigaciones que será una revisión del presente e incorporando los procesos de mezclas y cortes que se propondrán para preparar los materiales restantes de la presa, como el 2A que se coloca debajo de los sellos, los ajustes para el material 2B de apoyo de losa, y el material D que actúa como dren.
- k. Para ambos proyectos se sugiere tener particular cuidado con respecto al aumento del porcentaje de arena en la granulometría promedio y la localización de los sectores de bancos arenosos que pueden

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 196 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

“contaminar” la mezcla, obteniéndose una excesiva cantidad de matriz arenosa fina que separa los bloques o rodados de las gravas influyendo en su comportamiento al corte.

## 7.7. Investigación futura

Con la premisa de utilizar los materiales granulares que serán excavados en las obras temporarias y permanentes de la presa, se ha planificado una campaña complementaria de calicatas en ambas márgenes.

A fines del mes de julio 2016 se ha emitido la revisión B del documento NK-A.CV-ET.GT-(PR-00-00)-P001 referido a las investigaciones pendientes de materiales para este proyecto. Acompaña a esta especificación el plano NK-A.CV-PL.GT-(PR-00-00)-P001 en su revisión B mostrando todas las áreas pendientes.

Las investigaciones se ejecutaran en 3 diferentes sectores que comprenden:

- Excavaciones obligatorias de la margen derecha en la faja de emplazamiento del canal de aducción del desvío y descargador de fondo tanto aguas arriba como aguas abajo de la estructura de control (Figura 7.21).
- Excavaciones obligatorias de la margen izquierda ubicada a 300 m aguas abajo del eje de la presa en la zona de excavación de los canales de restitución del vertedero y del canal de fuga (Yacimiento Ca de AyEE) (Figura 7.22).
- Yacimiento CVI ubicado en la margen izquierda a 300 m aguas arriba del eje de la presa (Figura 7.23).

Se ha previsto la excavación de 8 calicatas para las excavaciones obligatorias de la margen derecha, 7 para las excavaciones obligatorias de la margen izquierda y 8 calicatas en el Yacimiento CVI.

Los materiales destinados a laboratorio serán provenientes de las muestras recolectadas en las calicatas.

Las coordenadas y profundidad de las calicatas para investigar la excavación obligatoria de la margen derecha son mostradas en la Figura 7.21, en la Tabla 7.6.

Las coordenadas y profundidad de las calicatas de la excavación obligatoria de la margen izquierda son mostradas en la Figura 7.22, en la Tabla 7.7.

Las coordenadas y profundidad de las calicatas del Yacimiento CVI de la margen izquierda son mostradas en la Figura 7.23, en la Tabla 7.8.

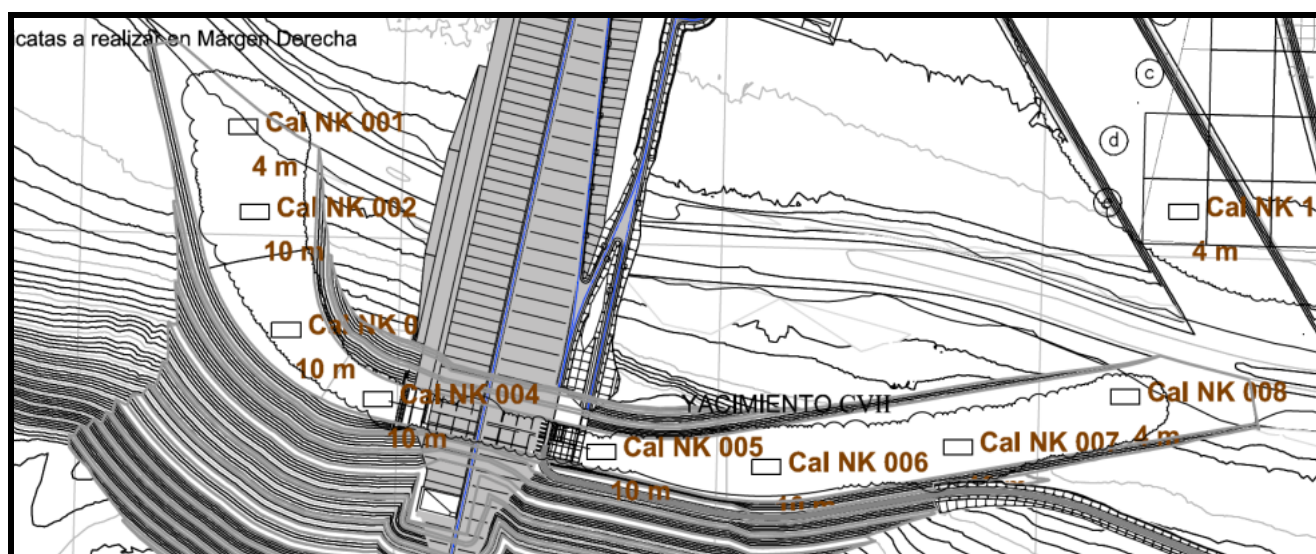
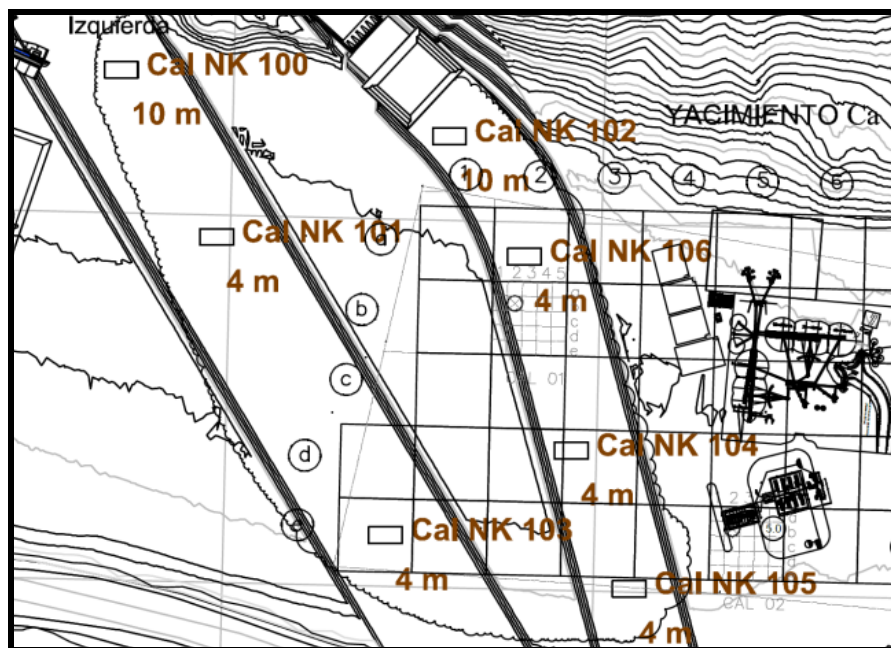


Figura 7.21: Calicatas en canal de aducción, estructuras y canal de restitución. Excavación obligatoria en margen derecha.

**Tabla 7.6: Coordenadas de las calicatas programadas en margen derecha, sector canal de aducción aguas arriba, estructuras y canal restitución.**

Coordenadas calicatas excavación obligatoria			
a ejecutar margen derecha			
Calicatas N°	x	y	Profundidad
CalNK001	18706,24	49777,39	4,0 m
CalNK002	18750,53	49536,10	10,0 m
CalNK003	18867,90	49336,86	10,0 m
CalNK004	19139,20	49202,20	10,0 m
CalNK005	19457,29	49124,48	10,0 m
CalNK006	19769,24	49087,82	10,0 m
CalNK007	20061,70	49163,67	10,0 m
CalNK008	20323,02	49240,68	4,0 m



**Figura 7.22: Calicatas en las excavaciones obligatorias en margen izquierda**

**Tabla 7.7: Coordenadas de las calicatas programadas en las excavaciones obligatorias de margen izquierda.**

Coordenadas calicatas excavación obligatoria			
a ejecutar margen izquierda			
Calicatas N°	x	y	Profundidad
CalNK100	20057,93	50157,61	10,0 m
CalNK101	20186,31	49930,02	4,0 m
CalNK102	20499,77	50066,93	10,0 m
CalNK103	20413,92	49524,12	4,0 m
CalNK104	20663,93	49639,36	4,0 m
CalNK105	20742,20	49451,25	4,0 m
CalNK106	20601,07	49903,41	4,0 m

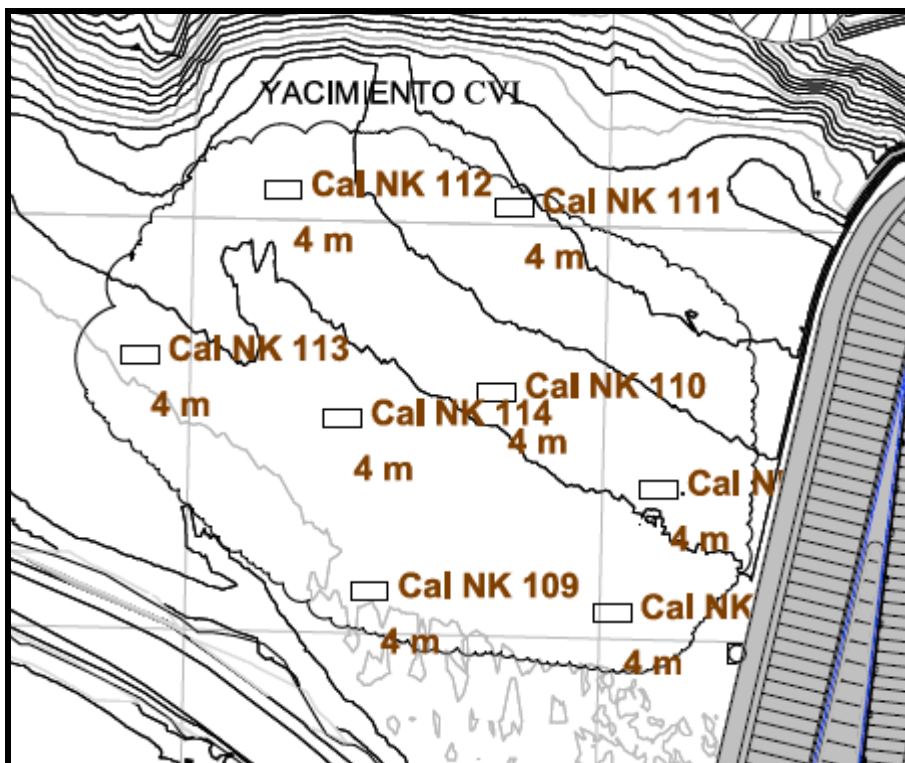



Figura 7.23: Calicatas en Yacimiento CVI en margen izquierda.

Tabla 7.8: Coordenadas de las calicatas programadas en Yacimiento CVI en margen izquierda.

Coordenadas calicatas yacimiento CVI			
a ejecutar margen izquierda			
Calicatas N°	x	y	Profundidad
CalNK107	19277,70	50164,51	4,0 m
CalNK108	19221,40	50013,97	4,0 m
CalNK109	18929,18	50040,14	4,0 m
CalNK110	19082,19	50282,59	4,0 m
CalNK111	19102,86	50507,13	4,0 m
CalNK112	18824,43	50527,80	4,0 m
CalNK113	18652,13	50328,05	4,0 m
CalNK114	18896,50	50249,90	4,0 m

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 199 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

## 8. ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS

Con la finalidad de conocer la calidad geotécnica de las rocas se efectuaron ensayos de laboratorio para determinar las propiedades mecánicas de las diferentes unidades litológicas.

Las pruebas se realizaron básicamente a partir de núcleos de roca extraídos en los sondeos exploratorios en las distintas unidades litológicas tanto en las campañas previas a la licitación (AyEE-IECI 1978 y ESIN-IATASA 2006), como en la presente etapa de estudios desarrolladas por la UTE en 2015-2016.

### 8.1. Ensayos realizados por el Consorcio IECI para AyEE (1977-1978)

Durante el estudio de prefactibilidad del Proyecto denominado Cóndor Cliff, desarrollado por el Consorcio IECI para AyEE entre los años 1977 y 1978, se ejecutaron ensayos de mecánica de rocas en el Laboratorio Central de AyEE (Sondeos K 02, K 03, K 04, K 15 y K 18) y por el propio Consorcio en el caso de las muestras de los sondeos K 01 y K 19.

Los ensayos ejecutados fueron:

- Ensayos de compresión diametral según el método brasilero
- Ensayos de compresión uniaxial con determinación del módulo
- Ensayos de compresión uniaxial sin determinación del módulo
- Ensayos de compresión triaxial con determinación del módulo

El resumen de los resultados obtenidos se muestra en la Tabla 8.1. Las muestras se extrajeron de los sondeos K 01, K 02, K 03, K 04, K 15, K 18 y K 19 cuya ubicación se muestra en la Figura 8.1.

Con relación a la metodología de ejecución de los ensayos, puede citarse lo siguiente:

- Las probetas fueron preparadas tratando de atender las recomendaciones emanadas de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM) en sus llamados "Suggested Methods". No se cumplió con el requisito de tiempo de estacionamiento pues el envío de las muestras por parte del Consorcio IECI se realizó sin fecha de perforación.
- La relación largo-diametro de las probetas para los ensayos de compresión uniaxial y triaxial se fijó entre 2 y 2,5. La saturación de las muestras se realizó sumergiendo las probetas en agua destilada durante 72 hs. La mayoría de las muestras no se preservaron intactas por el efecto de desleimiento que afecta a estas rocas; El diámetro de las probetas ensayadas por AyEE fue de aproximadamente 55 mm;
- Los ensayos de compresión simple y triaxiales se ejecutaron con sucesivos ciclos de carga y descarga hasta alcanzar la carga máxima de ruptura. Los equipos consistieron en prensas de 200 tn de capacidad, con accionadores eléctricos. El control de carga se realizó mediante aros dinamométricos con capacidad de 5 y 10 tn. La velocidad de carga no ha podido encontrarse en los informes, estimándose que ha sido más lenta que la preconizada por la ISRM pero que se adapta mejor a estas rocas de baja resistencia.
- La probeta se lleva a la ruptura después del último ciclo de descarga a velocidad de carga constante, con lectura de las deformaciones.
- El módulo de deformación se refiere al módulo secante obtenido con la tensión máxima del ciclo sobre las deformaciones longitudinales unitarias totales para esa carga. El módulo de elasticidad se refiere al valor obtenido de considerar la carga máxima de un ciclo sobre la deformación elástica experimentada la cual se determina en el proceso de descarga del ciclo.
- Para los ensayos triaxiales se empleo una prensa de 80 tn de capacidad para la aplicación de la carga axial ( $\sigma_1$ ), con accionamiento manual y control de carga mediante manómetros. Para aplicar la tensión confinante ( $\sigma_3$ ) se utilizó una cámara triaxial de 150 tn de capacidad, hidráulica con control de carga mediante manómetros. Las deformaciones longitudinales fueron medidas con dos comparadores centesimales colocados a 180° entre sí.



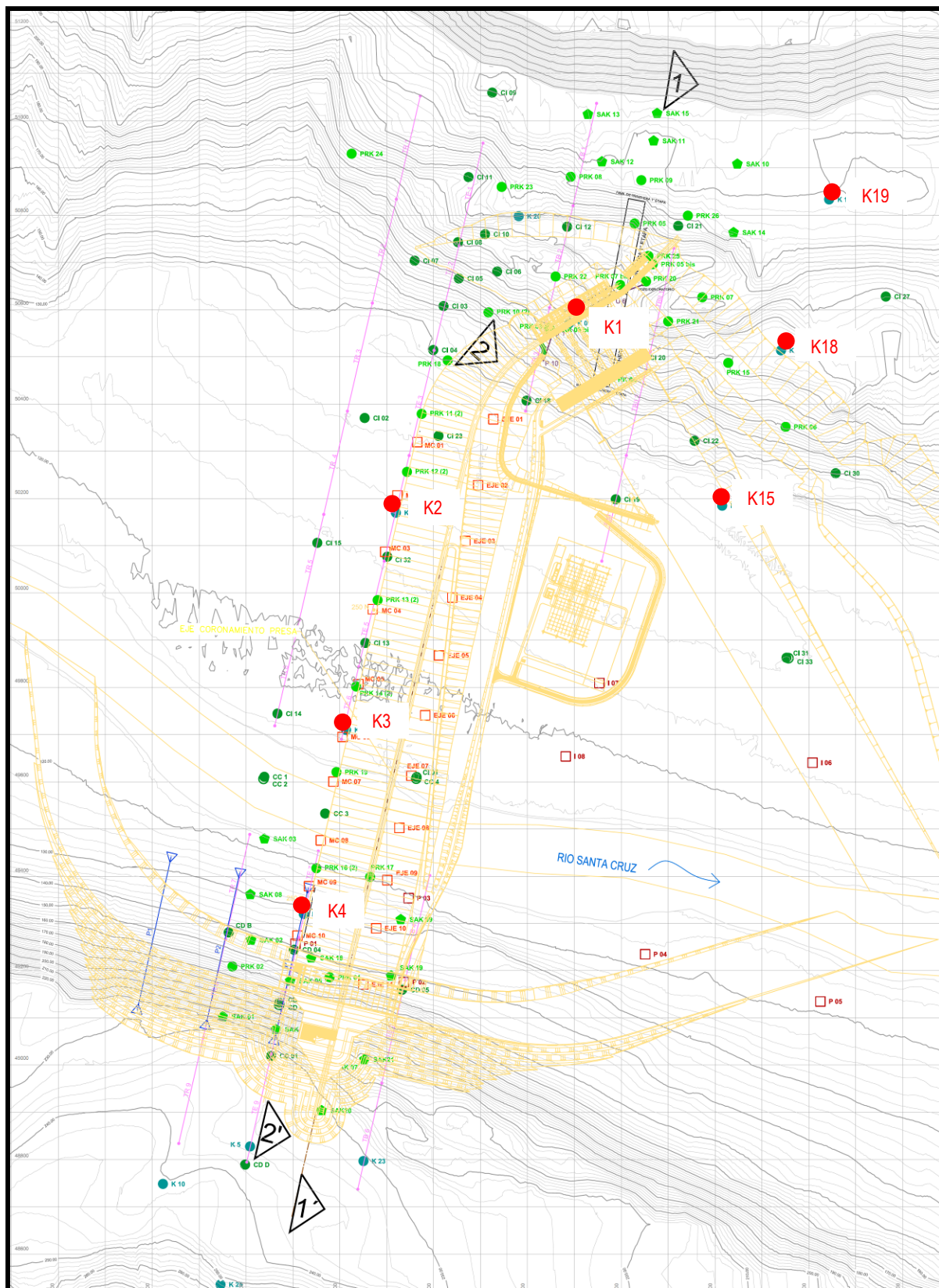



Figura 8.1: Ubicación de los sondeos donde se realizaron ensayos de mecánica de rocas en la campaña 1977-1978 (AyEE)



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 202 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

- a. La ejecución del ensayo triaxial con ciclos de carga y descarga, se realizó aplicando un cierto confinamiento biaxial, solicitando luego la probeta con ciclos de carga en escalones hasta alcanzar la carga máxima del ciclo y procediendo luego a la descarga siguiendo el mismo criterio. Al finalizar el último ciclo de descarga, se lleva la probeta a rotura con velocidad de carga constante.
- b. No se midieron las deformaciones radiales.
- c. Los ensayos de compresión diametral según el método brasileiro se realizaron con los mismos equipos que los ensayos de compresión uniaxial.

En la Tabla 1 se ha destacado en azul las muestras obtenidas en rocas de la Fm 25 de mayo. El resto de las muestras corresponden a rocas de la Fm. Santa Cruz.

Las muestras se separaron, para su análisis, de acuerdo con la tipificación litológica presentada en los documentos de AyEE consultados. Se ha observado una discordancia entre esta tipificación de las muestras y la descripción presentada en los logs de sondeos. Así se crearon 2 grandes grupos de rocas: areniscas y pelitas. En las primeras se incluyeron las areniscas gris oscuras a negras y las areniscas con matriz limo arcillosa de color gris verdoso. En el 2º grupo se agruparon las muestras descritas como limolitas y arcilitas con la denominación genérica de pelitas.

## 8.2. Ensayos realizados por el Consorcio ESIN-IATASA (2006)

En la campaña 2006, ejecutada por el Consorcio ESIN-IATASA para la Provincia de Santa Cruz, se realizaron ensayos de mecánica de rocas en las perforaciones que se muestran en la Figura 8.2. En la Tabla 8.2 se presenta el resumen de resultados de los ensayos ejecutados.

Entre la documentación existente de los trabajos realizados por el Consorcio ESIN-IATASA se desprende respecto a la Metodología:

- a. Se ejecutaron únicamente ensayos de compresión simple y triaxiales escalonados del tipo Q (no consolidados – no drenados) en el laboratorio Ing. Leoni & Asociados SA.
- b. En informes de avance de obra, se menciona el envío de muestras de roca al Instituto de Materiales y Suelos de la Universidad Nacional de San Juan y al Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional de La Plata. No se cuenta con información de la cantidad y tipo de ensayos, ni de que perforaciones se tomaron las muestras,
- c. Los ensayos de compresión simple se realizaron con probetas de diámetro entre 57 y 60 mm y una relación altura/diámetro de entre 1,67 y 1,76. Las muestras se ensayaron no saturadas con humedad natural.
- d. Los ensayos triaxiales se realizaron con probetas de 37,8 mm de diámetro y una relación altura/diámetro de aproximadamente 2,5. Las muestras se ensayaron no saturadas con humedad natural.
- e. No se indica que tipo de equipos fueron usados ni tampoco las normas empleadas.
- f. Las muestras fueron caracterizadas desde el punto de vista petrográfico como tobas por su contenido de fragmentos vítreos y piroclásticos. Los diferentes tamaños de grano de estos fragmentos permiten clasificar las rocas sea como areniscas, sea como pelitas.
- g. En general las rocas presentan cuarzo (43 a 48 %) y arcillas (35 a 37 %) con algo de plagioclasa (7 a 10 %).
- h. La fracción arcilla registra muy fuerte predominio de smectitas (65 a 90 %) y en menor medida illitas (10 a 20 %).

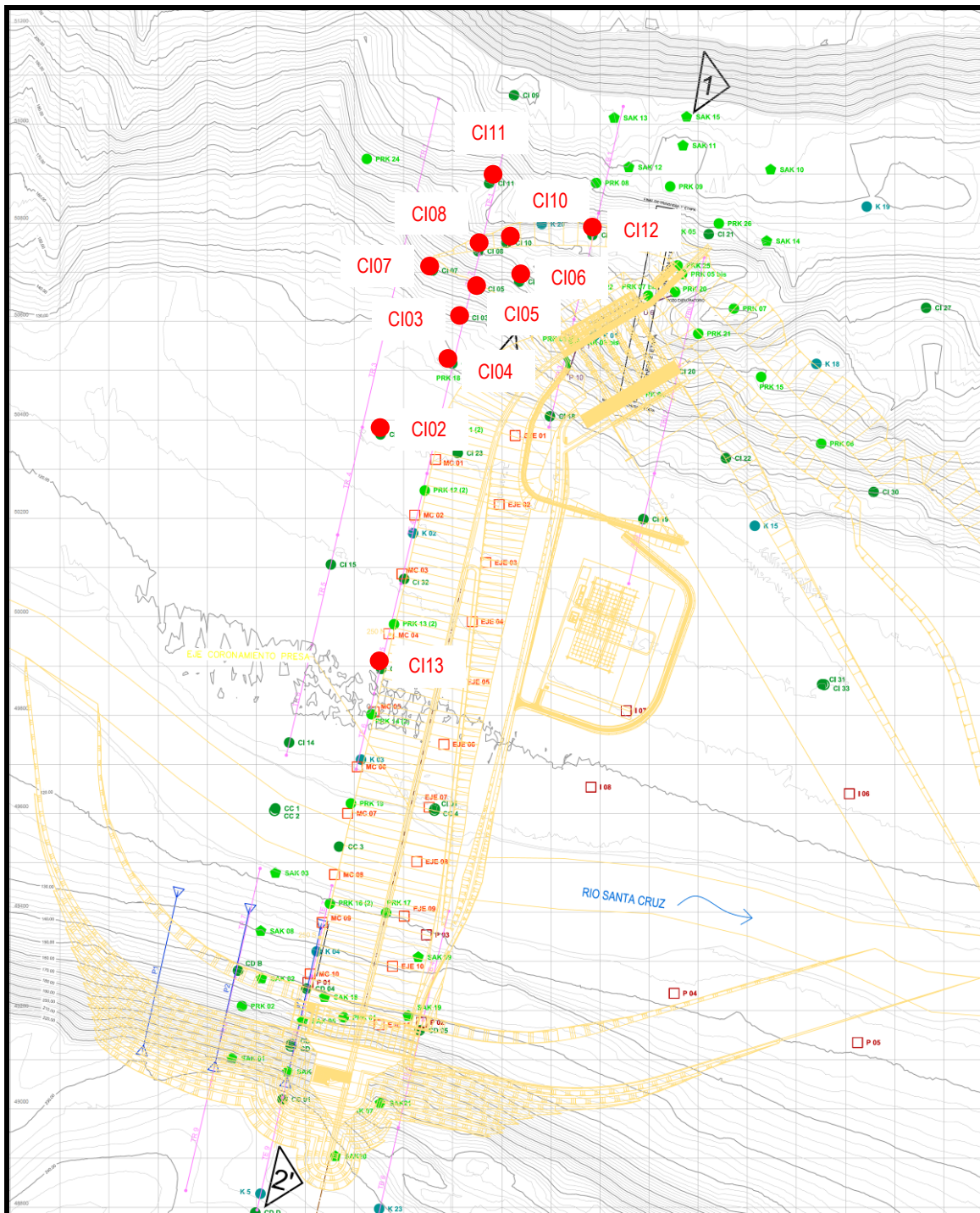


Figura 8.2: Ubicación de los sondes donde se realizaron ensayos de mecánica de rocas en la campaña 2006 (ESIN – IATASA)


	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA	Revisión: 0A
	SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA	Fecha: 28-09-16
	SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Página: 204 de 389
APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ		Doc. N°
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC		NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

Tabla 8.2: Listado de resultados de ensayos de mecánica de rocas de la campaña 2006 (Consorcio ESIN - IATASA)

CAMPAÑA	POZO	PROFUNDIDAD	COTA	No AyEE	LITOLOGIA	CONDICIÓN			Densidad		TENSIONES DE ROTURA			Etg(50)	
						NO SAT.	SATUR.	% HUMEDAD	Natural	Seca	TRACCIÓN DIAMETRAL	RCS ( $\sigma_1$ )	TRIAXIAL		
			$\sigma_3$										$\sigma_1$	kg/cm <sup>2</sup>	
			m			g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>				
ESIN-IATASA 2006	CI-4	15- 15,30	116-115,7		Toba pelitica gris verdosa			4,1	2,01	1,93		82,7			8058
		22,05 - 22,25	108,95-108,75		Toba pelita arenosa gris verdosa - brechosa			19,2	1,65	1,39		98,8			5085
		34,10 - 34,45	96,9-96,55		Toba areniscosa pelitica gris verdosa			8,9	2,02	1,85		48,2			5920
	CI-10	14,3 - 15	170,9-170,2	Ensayo	pelita castaño amarillenta			26,6	2,05	1,83			1	4,7	
				Escalonado	arcilitica - alterada				1,98	1,82			3	7,2	
				UU	Roca alterada				1,95	1,81			5	9,6	
		20 - 20,75	165,2-164,45	ensayo	Arenisca castaño amarillenta			7,1	2,01	1,93			1	4,7	
				Escalonado	Alterada - baja diagenización				1,65	1,39			3	9,7	
				UU	Roca alterada				2,02	1,85			5	14,0	
	CI-2	28,12 - 28,45	98,08-97,75		Toba pelitica							82,1			13407
	CI-3	12,15 - 12,42	124,35-124,08		Toba areniscosa muy fina				1,94	1,53		104,0			10981
	CI-5	29,14 - 29,52	128,86-128,48		Toba pelitica							98,6			16375
	CI-6	22,1 - 22,35	149,4-149,15		Toba pelitica brechosa							109,1			19046
	CI-7	34,67 - 34,90	121,93-121,7		Toba pelitica				1,76	1,64		84,4			23533
	CI-8	26,63 - 26,94	153,37-153,06		Toba pelitica arenosa							127,8			12005
	CI-8	38,14 - 38,40	141,86-141,6		Arenisca media							59,2			20195
CI-11	36,20 - 36,43	158,8-158,57		Toba areniscosa							90,1			38612	
CI-12	25,63 - 25,93	167,67-167,37		Arenisca fina a media							69,0			8808	
CI-13	34,45 - 34,68	86,75-86,52		Toba arenosa							48,2			16748	
CI-13	45,78 -45,98	75,42-75,22		Toba arenosa							92,8			17694	

### 8.3. Ensayos realizados en la Campaña 2015 – UTE Represas Patagonia

Durante la campaña de investigaciones 2015, para la ingeniería de detalle, se realizó un extenso muestreo para ejecutar los siguientes ensayos de mecánica de rocas:

- Ensayos de compresión diametral por el Método Brasilerero
- Ensayos de compresión uniaxial
- Ensayos de compresión triaxial con presiones confinantes de 5, 10 y 15 kg/cm<sup>2</sup>, escalonados y del tipo “Q”
- Medición de los Indices Físicos (densidad natural, densidad seca, densidad de sólidos, índice de vacíos, porosidad y grado de saturación)

Se seleccionaron muestras de los sondeos ejecutados para investigar las condiciones geológicas y geotécnicas de la fundación de las estructuras de hormigón en margen izquierda. Se seleccionaron los sondeos PRK 03, PRK 03 bis, PRK 04, PRK 08, PRK 09, PRK 05, PRK 05 bis, PRK 07 bis y PRK 23 (Figura 8.3).

El listado con las muestras obtenidas en las perforaciones citadas se presenta en la Tabla 8.3.

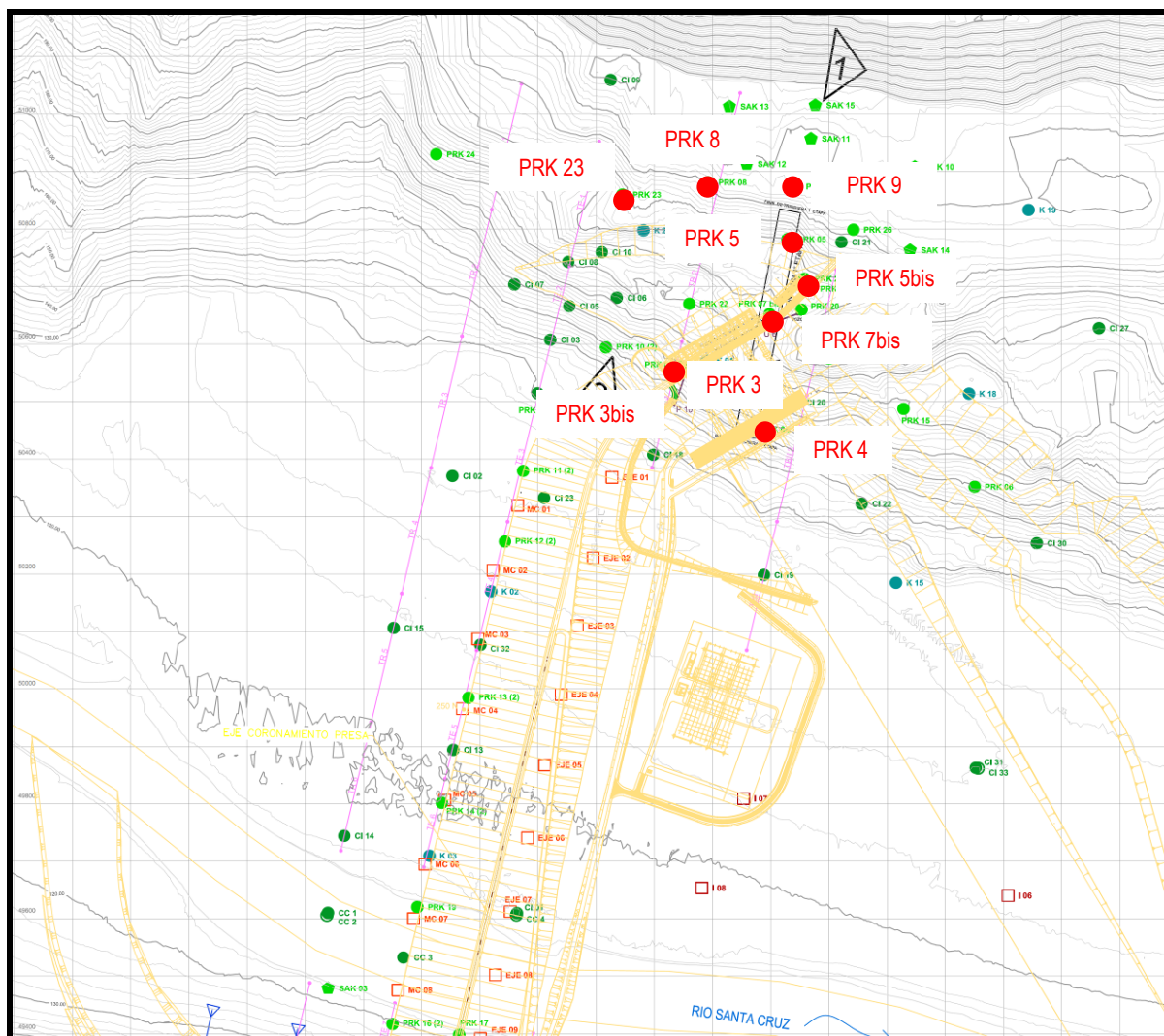



Figura 8.3: Ubicación de los sondeos donde se realizaron ensayos de mecánica de rocas en la campaña 2015

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 206 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

La Tabla 8.4 muestras además el agrupamiento de las muestras en 4 tipos litológicos:

- Areniscas finas a medias, gris oscuro a amarronado cuando presentan alteración limonítica
- Areniscas limo arcillosas de color gris verdoso, masivas
- Arcilitas y limolitas, a veces tobáceas, masivas, color gris verdosa a parda clara,
- Tobas grises claras, masivas, arenaseas o pelíticas.

Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Mecanica de suelos del Instituto de Investigaciones Antisísmicas Aldo Bruschi (IDIA) y al Laboratorio de Mecanica de rocas del Instituto de Materiales y Suelos (IMS) ambos pertenecientes a la Universidad Nacional de San Juan.

Los equipos y procedimientos empleados estan detallados en los informes incorporados al Anexo 13.

Las especificaciones de los ensayos previeron los siguientes aspectos:

- Se aplicaron las normas sugeridas por la ISRM (Sociedad Internacional de Mecanica de Rocas) para la ejecución de los ensayos de compresión diametral por el método brasilero, compresión uniaxial y compresión triaxial;
- Todos los ensayos se realizaron a la humedad natural, excepto algunos que se ensayaron con 100% de saturación.
- En todos los testigos se realizó la determinación de humedad posterior al ensayo mecánico y el peso unitario aparente seco (método de la parafina), con el objeto de determinar la porosidad y el grado de saturación de la roca ensayada;
- Para cada tipo de roca se determinó la densidad de sólidos (4 determinaciones por tipo de roca) mediante el método del picnómetro
- Los testigos de roca fueron enviados con un embalaje especial para evitar la pérdida de humedad. Las muestras se acondicionaron en campo con un protección inicial de papel film y posterior cubierta con parafina (Figura 8.4);



**Figura 8.4: Preparación de las muestras**


- Los ensayos triaxiales se realizaron en forma escalonada, aplicando a la misma probeta tres presiones de confinamiento (5, 10 y 15 kg/cm<sup>2</sup>) en tres etapas sucesivas. Para ello se aplicaron las recomendaciones del "Suggested Methods for Determining The Strength of rock materials in triaxial compression: revised versión" publicado por la ISRM en 1983.



Tabla 8.3: Listado de muestras para los ensayos de mecánica de rocas de la campaña 2015

ID	Profundidad		Cotas		Descripción	Tracción Ind.	Comp. Uniaxial	Comp. Triaxial
	Desde	Hasta	Desde	Hasta				
NK007	14,93	15,8	143,67	142,8	Arenisca gris oscura	4	1	4
NK006	15,83	15,99	142,77	142,61	Arenisca gris oscura		1	
NK004	20,3	20,77	138,3	137,83	Arcillita masiva verdosa	1	1	2
NK005	21,07	21,38	137,53	137,22	Arcillita verdosa masiva	1	1	1
NK002	24	24,2	134,6	134,4	Arenisca arcillosa gris-verdosa			1
NK001	24,8	25	133,8	133,6	Arenisca arcillosa gris-verdosa	1	1	
NK003	27,8	28,05	130,8	130,55	Toba gris clara	1	1	
NK013	11,3	11,76	147,4	146,94	Limolita arcillosa gris verdosa	1	1	1
NK014	11,76	12,27	146,94	146,43	Limolita arcillosa gris verdosa	1	1	2
NK015	13,2	13,79	145,5	144,91	Limolita arc. gris v - Arenisca limosa gris V.	1	1	2
NK016	16,34	16,65	142,26	141,95	Arenisca gris oscura	1	1	1
NK017	16,65	17,01	141,95	141,59	Arenisca gris oscura	1	1	1
NK018	17,64	18,04	141,06	140,66	Arcillita limosa - limolita arcillosa Gris V.	1	1	1
NK019	18,48	18,8	140,22	139,9	Limolita arcillosa gris V.	1	1	
NK020	19,15	19,58	139,55	139,12	Limolita arcillosa- tobacea grsi verdosa	1	1	1
NK021	21,25	21,59	137,45	137,11	Limolita arcillosa tobacea gris V	1	1	1
NK022	22,7	23	136	135,7	Toba gris clara arenosa	1		1
NK023	22,5	22,7	136,2	136	Toba gris clara arenosa	1	1	
NK-001	58,80	59,13	93,50	93,17	Pelita arenosa gris verdosa	1	1	
NK-002	61,26	61,50	91,04	90,80	Pelita arenosa gris	1		1
NK-003	64,55	65,00	87,75	87,30	Pelita arenosa gris verdosa	1	1	1
NK-004	66,85	67,25	85,45	85,05	Pelita arcillosa masiva verde	1	1	1
NK-005	69,70	70,00	82,60	82,30	Pelita arcillosa masiva verde	1		1
NK-006	71,87	72,30	80,43	80,00	Pelita arcillosa verde	1	1	1
NK009	46,16	46,71	152,34	151,79	Toba	1	1	2
NK007	47,88	48,5	150,62	150	Arenisca gris verdosa	1	1	2
NK010	49,53	50	148,97	148,5	Pelita gris verdosa masiva.	1	1	2
NK006	52,5	52,97	146	145,53	Toba	1	1	2
NK002	56,9	57,2	141,6	141,3	Arenisca limosa gris verdosa	1		1
NK001	57,2	57,5	141,3	141	Arenisca limosa gris verdosa	1	1	
NK003	57,85	58,29	140,65	140,21	Pelita limos arenosa gris clara y masiva, Tobacea.	1	1	1
NK004	59,43	59,88	139,07	138,62	Toba	1	1	1
NK002	33,07	33,11	161,63	161,59	Arenisca media, color marrón oscuro, masiva	1		
NK001	34,17	34,36	160,53	160,34	Arenisca media, color marrón oscuro, masiva		1	
NK003	36,55	36,74	158,15	157,96	Arenisca media, color marrón oscuro, masiva			1
NK004	38,39	38,6	156,31	156,1	Arenisca media, color verde oscuro, masiva	1	1	1
NK005	39	39,22	155,7	155,48	Arenisca media, color verde oscuro, masiva			1
NK006	41,86	42,34	152,84	152,36	Arenisca limosa verde claro, masiva	1	1	2
NK007	43	43,57	151,7	151,13	Limoarcillita verde claro, masiva	1	1	2
NK008	45,72	46,16	148,98	148,54	Limoarcillita verde claro, tobacea, masiva	1	1	1
NK009	46,57	46,93	148,13	147,77	Pelita verde claro, tobacea, masiva	1	1	1
NK011	47,68	47,72	147,02	146,98	Pelita verde oscuro, masiva	1		
NK010	50,32	50,5	144,38	144,2	Pelita verde claro, tobacea, masiva	1		1
NK012	54,3	54,85	140,4	139,85	Pelita verde oscuro, masiva	1		2
NK013	55	55,54	139,7	139,16	Pelita verde claro, masiva	1		2
NK014	59,54	59,82	135,16	134,88	Pelita gris claro, masiva	1		1
NK015	57,2	57,52	137,5	137,18	Pelita gris claro, masiva	1		1
NK026	21,3	21,56	164,9	164,64	Toba gris beige	1		1
NK009	31,53	31,85	154,67	154,35	Arenisca gris oscura	1		2
NK012	33,61	33,9	152,59	152,3	Toba gris clara		1	1
NK010	34,33	35	151,87	151,2	Arenisca tobacea-toba gris clara	1	1	3
NK011	35,35	35,76	150,85	150,44	Toba pelitica gris clara	2	1	1
NK008	38,8	39,03	147,4	147,17	Arenisca gris oscura	1	1	
NK-005	52,95	53,12	167,35	167,18	Pelita arcillosa masiva verde	1	1	
NK-001	53,63	53,86	166,67	166,44	Arenisca fina a media parda	1		1
NK-002	56,40	56,55	163,90	163,75	Arenisca fina a media parda	1		
NK-003	64,53	64,85	155,77	155,45	Arenisca grano media negra		1	1
NK-004	66,38	66,70	153,92	153,60	Pelita arcillosa verde		1	1
NK-001	60,07	60,35	168,25	168,25	Pelita limosa verde	1	1	
NK-002	61,81	62,00	166,60	166,60	Pelita limo-arenosa masiva	1		1
NK-003	62,78	62,93	165,67	165,67	Arenisca	1		1
NK-001	43,64	43,85	160,86	160,65	Arenisca poco consolidada	1		1
NK-002	44,56	44,82	159,94	159,68	Pelita arcillosa	1		1
NK-003	45,83	46,06	158,67	158,44	Arenisca gris oscura consolidada	1		1
						61	40	67




 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 208 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

### 8.3.1. Resultados

Hasta el momento se han ejecutado los ensayos resumidos en las Tabla 8.4 a Tabla 8.7 correspondientes a la arenisca negra, areniscas pelíticas, tobas grises y pelitas (arcilitas y limolitas) gris verdosas respectivamente. Cabe señalar que los valores de índices de vacío, porosidad y grado de saturación se calcularon asumiendo una densidad de sólidos de  $2,8 \text{ g/cm}^3$ . De las tablas se destaca que la densidad natural de las rocas intactas varía entre  $1,9 \text{ g/cm}^3$  y  $2,2 \text{ g/cm}^3$  mientras que la densidad seca de las rocas varían entre  $1,6 \text{ g/cm}^3$  y  $1,9 \text{ g/cm}^3$ . En términos de resistencia, todas las rocas son consideradas como blandas (soft rocks) pero las menos resistentes son las areniscas negras con un promedio de  $47,2 \text{ kg/cm}^2$  de resistencia a la compresión simple y las más resistentes corresponden a las arcilitas y limolitas gris verdosas con un promedio de  $67,1 \text{ kg/cm}^2$  de resistencia a la compresión simple.





 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS		Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 211 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC		Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900

### 8.3.2. Parámetros de roca intacta

En el Anexo 14 (NK-.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900) se presenta un análisis de los resultados de laboratorio para obtención de los parámetros de resistencia del criterio Mohr-Coulomb (ángulo de fricción y cohesión) para la matriz rocosa. En la Tabla 8.9 se resumen los parámetros obtenidos discriminados por muestras ensayadas.

En el documento del Anexo 14 se presentan además los parámetros deducidos para el macizo rocoso, que serán utilizados en los análisis de estabilidad de las estructuras de hormigón y de los taludes del proyecto y discutido en Capítulo mas avanzados en este informe.

A modo de conclusión preliminar se observa que:

- Los resultados de densidad aparente natural y seca son compatibles con las presentadas para los ensayos de las anteriores campañas.
- Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión uniaxial muestran valores dentro de las fajas de variación mostrados en las campañas anteriores pero más próximas de los límites inferiores.
- Con relación al grado de saturación, considerando una densidad de solidos de 2,8 g/cm<sup>3</sup>, las muestras presentan un grado de saturación alto entre 69 % y 100 %, valores que se ajustaran con la llegada de los resultados de la densidad de solidos de las muestras.

### 8.3.3. Ensayos de velocidad de onda de compresión y corte en testigos de roca

Adicionalmente se realizaron ensayos para la determinación experimental de la velocidad de propagación de ondas V<sub>p</sub> en testigos de roca con el método "pulso eco". Los ensayos realizados consisten en la emisión de una perturbación por impacto con martillo sobre un extremo del testigo y en el registro de la respuesta del mismo con un acelerómetro en las proximidades al punto de impacto.

Los registros son tomados con una frecuencia de muestreo 2 millones de muestras/segundo de manera de poder apreciar con suficiente precisión el período fundamental de la señal esperada. Dicho período fundamental está directamente relacionado con la velocidad de propagación de las ondas longitudinales (V<sub>p</sub>) en la roca y con la longitud del testigo. Se registran un mínimo de 5 señales por posición para garantizar la consistencia de los resultados.

Los ensayos realizados se encuadran en el procedimiento de la norma ASTM C 1383-98 "Standard Test Method for Measuring the P-Wave Speed and the Thickness of Concrete Plates Using the Impact-Echo Method".

En la Tabla 8.8 se indican los valores de velocidad de ondas V<sub>p</sub> que resultan de los ensayos realizados en los testigos de la presa NK. También se presentan los valores de velocidad de ondas V<sub>s</sub> que resultan considerando un coeficiente de Poisson de 0,2 y 0,3.

**Tabla 8.8: Velocidad de propagación de ondas V<sub>p</sub> medidas en testigos de roca de la presa NK**

Perforación	Caja	Característica testigo	Desde	Hasta	V <sub>p</sub> [m/s]	V <sub>s</sub> [m/s] para poisson 0.2	Para [m/s] para poisson 0.3
PRK-03 BIS	3 DE 12	Pelita masivo gris verdosa	12.30	12.80	1173	733	627
PRK-03 BIS	3 DE 12	Pelita masivo gris verdosa	12.65	12.80	1179	737	631
PRK-03 BIS	3 DE 12	Arenisca limosa gris clara	13.85	14.00	1345	841	719
PRK-03 BIS	4 DE 12	Pelita masivo verdosa	18.06	18.36	1023	639	547
PRK-03 BIS	4 DE 12	Pelita masivo verdosa	19.60	19.85	1719	1074	919
PRK-03 BIS	4 DE 12	Pelita masivo tobasia	21.60	21.80	1075	672	575
PRK-03 BIS	5 DE 12	Toba gris clara	22.70	23.00	1169	731	625
PRK-03 BIS	5 DE 12	Toba gris clara	22.50	22.75	1082	676	578
PRK-03 BIS	6 DE 12	Pelita masiva verdosa	26.30	26.79	1238	773	662
PRK-07 BIS	10 DE 16	Brecha	54.48	54.63	1178	736	630
PRK-07 BIS	7 DE 16	Arcilla limosa gris	35.60	35.35	1208	755	646
PRK-07 BIS	6 DE 16	Arenisca friable gris oscura	31.34	31.53	1332	832	712
PRK-07 BIS	6 DE 16	Arenisca gris oscura	30.00	31.00	1117	698	597
PRK-07 BIS	5 DE 16	Toba	21.30	21.56	1027	642	549



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS


Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 212 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900


Tabla 8.9: Resumen de los parámetros geomecánicos de la roca intacta del criterio de resistencia Mohr-Coulomb para las muestras ensayadas en laboratorio durante la Campaña 2015

ID	Desde	Hasta	Descripción	Ensayo	Res. Comp.Uniaxial	Resist. Tracción	Compresión Triaxial		E	Parametros de resistencia		
					Tension rotura	Tension rotura	$\sigma_3$	$\sigma_1$		Fricción	Cohesión	
					[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]				(°)
NK 17	PRK 3 bis	16,65	17,01	arenisca gris oscura	E1t	4,1			14810	48	13	
					Etri		5	30,1				
							10	60,9				
NK 13	PRK 3 bis	11,3	11,76	limolita arcillosa gris verdosa	E1	80			12559	35	1,51	
					E1t		5,6					
					Etri		5	48,7				
NK 14	PRK 3 bis	11,76	12,27	limolita arcillosa gris verdosa	Etri T1				12559	38	1,08	
							10	80				
							15	101,6				
					Etri T2		5	50,8				
							10	83,3				
							15	103,6				
NK 15	PRK 3 bis	13,2	13,79	limolita arc. gris V - Arenisca lim. gris V.	E1t		5,8		12559	40	8,7	
					Etri			5				25
							10	51				
							15	67				
					Etri		10	104,39				
							20	152,87				
NK 18	PRK 3 bis	17,64	18,04	arcilita limosa - limolita arcillosa Gris V.	E1t		7,7		12559	49	10,8	
					Etri T1			5				43,3
							10	78,9				
							15	104,7				
					Etri T2		5	61,2				
							10	97,4				
NK 20	PRK 3 bis	19,15	19,58	limolita arcillosa- tobacea gris verdosa	E1t		9,3		12559	47	7,3	
					Etri T1			5				38,3
							10	90,4				
							15	120,4				
					Etri T2		5	41				
							10	71,7				
NK 21	PRK 3 bis	21,25	21,59	limolita arcillosa tobacea gris V	E1t		9,4		12559	44	7,5	
					Etri			5				40,6
							10	74,8				
NK 22	PRK 3 bis	22,7	23	toba gris clara arenosa	E1t		6,5		12559	42	8,7	
					Etri			5				30,1
							10	59,5				
NK 26	PRK 7 bis	21,3	21,56	toba gris beige	E1t		9,3		12559	40	4,6	
					Etri			5				32,7
							10	54,3				
CI10		14,3	15	pelita castaño amarill arc, alterada	Etri			1	4,65	12559	46	0,7
							3	7,23				
							5	9,56				
K2		29,5	30	Arenisca, arcillo limosa	E1	54			12559	48	13	
					E1t		4,3					
					Etri T1			5				111,7
K3		51,35	52,1	Arenisca, arcillo limosa	E1	90,8			12559	42	20,8	
					E1t		9,7					
					Etri			5				127,8
K 15	12,5	13,1	Limolita areno arcillosa	Etri			4	22,0	12559	33	5,6	
						7	27,0					
						10	35,0					
	35	35,5	Arenisca	E1	40				12559	40	8,4	
				Etri			10	76				
						30	135					
K18	48,5	49	Limolita Tobacea	E1	18				12559	32	4,7	
				Etri			4	30				
						7	33					
							10	44				

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS		Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 213 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC		Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900

Se compureba con estos ensayos que:

- Los valores de velocidad de onda compresional  $V_p$  no muestran diferencias según el tipo de roca y varían entre 1023 m/s a 1345 m/s con un valor promedio de 1205 m/s.
- Los valores promedios de velocidad de onda de corte  $V_s$  estimados con  $\nu=0,2$  y  $\nu=0,3$  son de 753 m/s y 644 m/s respectivamente.
- La relación entre  $V_s$  y  $V_p$  varía entre 0,53 para  $\nu=0,3$  y 0,62 para  $\nu=0,2$ .

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 214 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

## 9. FENOMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LA MARGEN IZQUIERDA

Los procesos de remoción en masa, consisten en movimientos de masas de rocas, sedimentos o suelos hacia abajo de un talud o ladera movilizado por efectos de la gravedad (Cruden 1991).

Desde los primeros estudios realizados en la década del 50 del siglo pasado, había fuertes sospechas de que el estribo izquierdo de la presa Pdte N. Kirchner había sido afectado por grandes deslizamientos en épocas pretéritas. Estudios posteriores fueron incorporando nuevas evidencias de estos fenómenos pero sin profundizar en los análisis respecto de la tipología, procesos desencadenantes y extensión areal y en profundidad de los mismos.


La zona de emplazamiento del cierre de la futura presa Néstor Kirchner, Provincia de Santa Cruz, presenta rasgos geomorfológicos muy claros respecto de la existencia de procesos de remoción en masa específicamente en su margen izquierda. De hecho todo el valle del río Santa Cruz muestra una profusa actividad pasada y reciente de inestabilidad de las laderas fundamentalmente en los sectores donde las vulcanitas basálticas sobreyacen las rocas de la Fm. Santa Cruz.

La campaña de investigaciones desarrollada por la UTE tuvo como objetivo principal resolver las incertidumbres acerca de la tipología de eventos de remoción en masa, del desarrollo y evolución de estos procesos, de la geometría de los cuerpos deslizados, volumen afectado y especialmente su desarrollo en profundidad. Esto tiene especial relevancia pues este estribo recibirá las principales estructuras de hormigón, habrá grandes movimientos de masa rocosa de las excavaciones y se expondrá al macizo rocoso a nuevas condiciones de estabilidad durante la excavación y posteriormente a diferentes condiciones hidrogeológicas una vez que se encuentre en operación el embalse.

Debido a la importancia que tiene la problemática de los fenómenos de remoción en masa de la margen izquierda, durante 2015 y 2016 se realizó un estudio específico cuyo informe completo se presenta en el Anexo 15.

El objetivo del estudio fue profundizar los estudios detallados de los movimientos de remoción en masa que previamente habían sido definidos en esta localidad (Malagnino 1991, 2000a, 2004, 2015) y que por efecto de las excavaciones realizadas a la fecha de la visita (trincheras y pozo exploratorio), permitían obtener nuevos datos y mayores precisiones que las alcanzadas previamente. Asimismo, el estudio se extendió por fuera de las áreas exploradas abarcando todo el sector donde se ubicaran las excavaciones y estructuras definitivas de la presa.

El estudio se efectuó según dos escalas, una de detalle y otra general. Las localidades relevadas en detalle se sitúan sobre la pendiente norte del valle del río Santa Cruz y corresponden a las siguientes cuatro zonas (Figura 9.1):

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 215 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902




**Figura 9.1:** En recuadro se indica el área relevada a escala general, dentro de la cual se localizan los sitios donde se realizaron los estudios de detalle correspondientes a la zona norte (1), pozo exploratorio (2), trinchera exploratoria (3) y calicatas a lo largo de la transecta situada sobre la terraza del río Santa Cruz (4).

- Comarca situada en el estribo norte de la presa proyectada, específicamente en la zona en la cual se localizan geoformas vinculadas con movimientos de remoción en masa del tipo Expansión lateral (rectángulo número 1 en la Figura 9.1).
- Observaciones generales realizadas en un pozo exploratorio (círculo número 2 en la Figura 9.1) y sectores aledaños.
- Reconocimiento de la trinchera de la galería excavada sobre la pendiente inferior a media de la margen izquierda del valle (rectángulo número 3 de la Figura 9.1).
- Análisis estratigráfico y morfológico de las acumulaciones fluviales situadas en la terraza de la margen izquierda del río Santa Cruz, a partir de observaciones de cuatro excavaciones que permitieron definir las particularidades internas que tienen tales como litológicas, granulométricas, estructurales y de la dinámica de su ambiente de acumulación (transecta número 4 de la Figura 9.1)

Con la finalidad de vincular a las referidas cuatro áreas con el contexto geológico general, se realizó un relevamiento que las enmarca, según una escala de menor detalle, el que abarca una superficie de 2.5 km<sup>2</sup>. La misma se sitúa entre las coordenadas geográficas de los 50°12'2.81"S - 50°12'15.06"S de latitud y 70°46'19.25"O - 70°46'46.67"O de longitud (Figura 9.1).



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGIA HIDROELECTRICA	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 216 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P902

## 9.1. Metodología de trabajo

Para la concreción de los objetivos referidos se desarrollaron una serie de actividades de gabinete y de campo.

Las actividades de gabinete incluyeron la recopilación de publicaciones e informes éditos e inéditos existentes, su análisis crítico y su validación a los fines del proyecto. Además se efectuó el examen de registros remotos de alta resolución como fotografías aéreas estereoscópicas e imágenes satelitales digitales (Landsat TM e imágenes pancromáticas de alta resolución del *Google Earth*) para su uso en el análisis e interpretación geológica de la comarca.

A partir del uso de las imágenes proporcionadas por el *Google Earth* se confecciono un mapa geomorfológico a una escala de detalle (Figura 9.2) que permite identificar claramente las tipologías y morfometría que tienen las geoformas de remoción en masa localizadas en la zona relevada.

Ademas se establecieron los lineamientos geomorfológicos vinculados con los procesos de remoción en masa, los factores desencadenantes de los desplazamientos gravitacionales observados, la posible edad de los mismos y se confecciono la cartografía morfológica (Figura 9.2).

## 9.2. Tipología, desencadenantes y edad de los movimientos de remoción en masa reconocidos

En este Capítulo se describen las particularidades vinculadas con las geoformas generadas por los movimientos de remoción en masa reconocidos en las áreas investigadas en detalle.

### 9.2.1. Geoformas de Remoción en Masa presentes en la comarca relevada

El estudio permitió la obtención de un mapa geomorfológico de detalle del área investigada (Anexo 15 y Figura 9.2), especialmente orientado a la identificación de geoformas vinculadas con movimientos de remoción en masa.

Si bien la mayor parte de las geoformas identificadas corresponden a deslizamientos rotacionales típicos, se han podido identificar otras morfologías tales como deslizamientos traslacionales. Además se reconocieron formas híbridas en las cuales el movimiento de masas tuvo lugar mediante una combinación de deslizamientos y flujos de diversa tipología. Estas morfologías fueron definidas según tres grupos: Avalancha de rocas y Flujo indiferenciados, Deslizamientos Indiferenciados y Flujos, y Deslizamientos Rotacionales y Flujos.

- **Deslizamiento Rotacional**

Los deslizamientos rotacionales típicos se localizan en la mayor parte de la superficie relevada y se manifiestan claramente por la presencia de terrazuelas inclinadas en forma opuesta a la pendiente según ángulos variables desde 25° hasta casi la vertical, tal como se puede ver en las cercanías del pozo exploratorio (Figura 9.3).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 217 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900

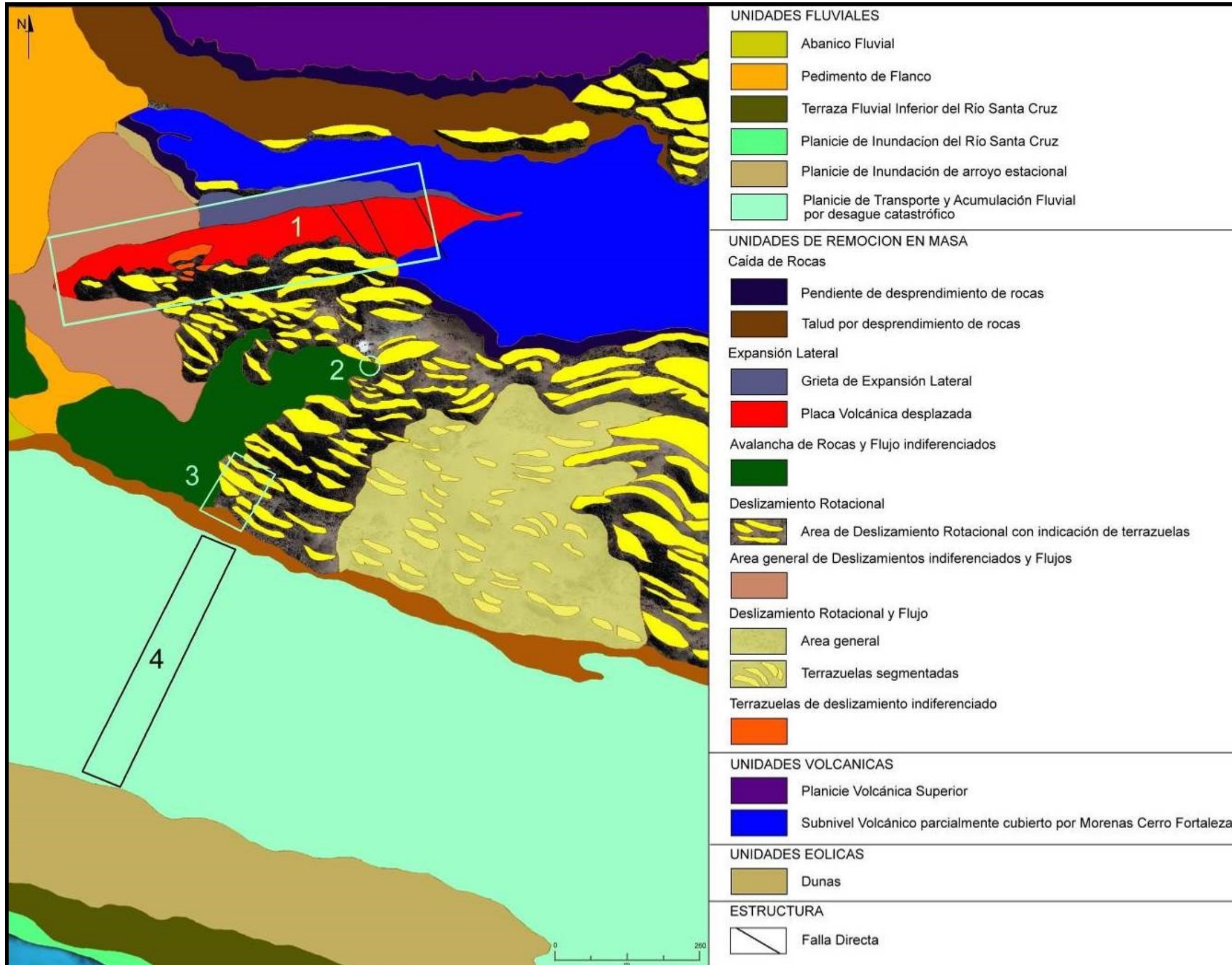


Figura 9.2: Mapa geomorfológico del área de estudio general, sobre el que se indican las zonas 1, 2, 3 y 4 de estudios de detalle

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 218 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900




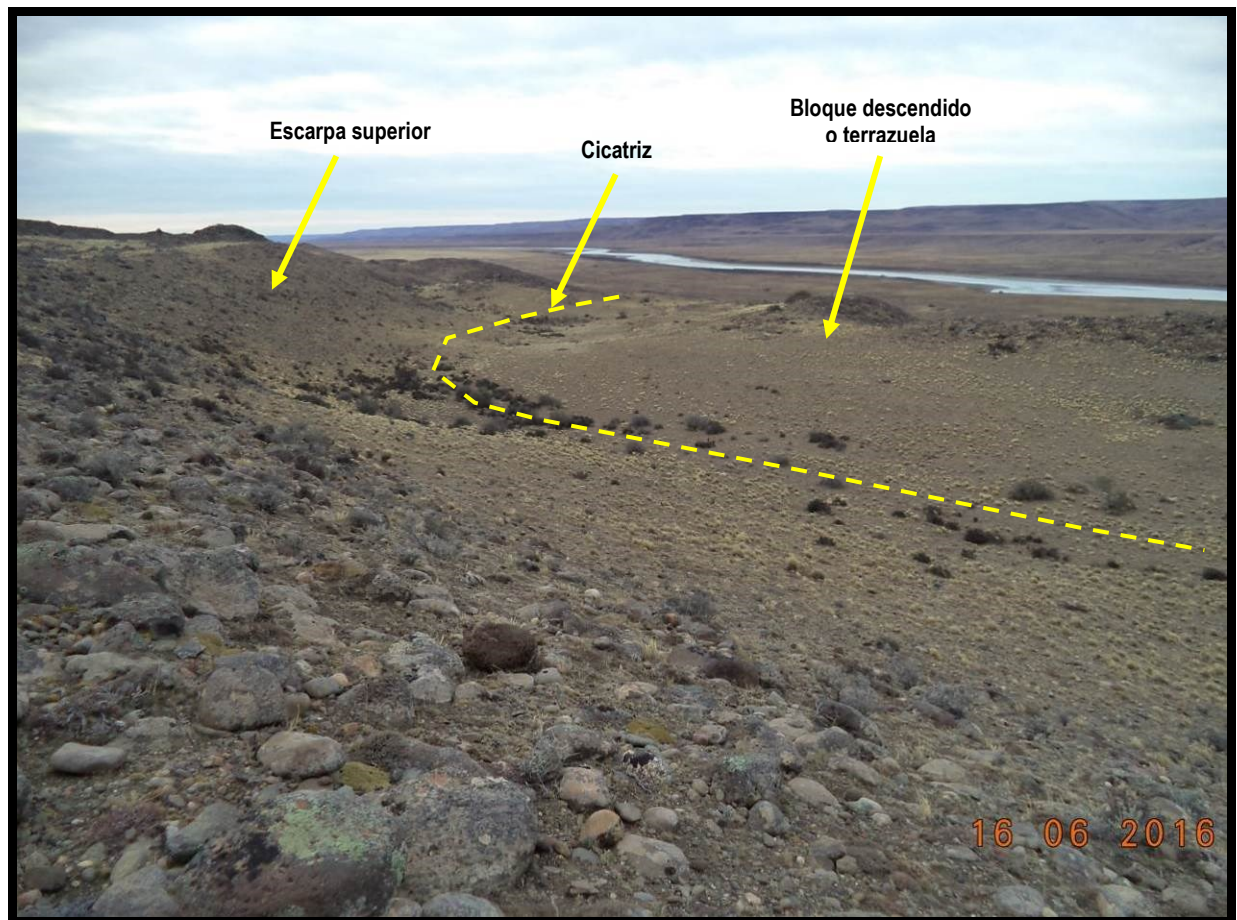
**Figura 9.3:** Corte transversal artificial de un deslizamiento rotacional. Desde la izquierda (techo de la secuencia estratigráfica) a la derecha (base de la misma), se observan las vulcanitas de la Fm. Cóndor Cliff o Basaltos Cóndor Cliff, integradas de un paquete de pilow lavas (1) y otro de brechas de palagonita (2), que apoyan sobre un banco de conglomerados fluviales, el que sobreyace a las sedimentitas de la Fm. Santa Cruz. Teniendo en cuenta la inclinación de cada contacto (trazas celestes), se puede observar que el bloque roto casi 90°.

En general la terrazuela está conformada por las coladas basálticas de la Fm. Cóndor Cliff, aunque también existen sobre ellas acumulaciones de till complejo. En el frente de cada terrazuela se expone una escarpa abrupta en la cual afloran las vulcanitas referidas, aunque en algunos casos se observa que la pendiente original fue parcialmente regularizada y suavizada por la acción los procesos erosivos que tuvieron lugar desde su exposición. La morfometría de cada terrazuela es variable, si bien se destaca que las de mayor tamaño, situadas hacia los niveles superiores de la pendiente, llegan a tener aproximadamente 300 m de longitud y 50 m de ancho.

La Figura 9.4 muestra los rasgos típicos de estos deslizamientos rotacionales, con la escarpa de deslizamiento en la parte superior, la hondonda curva al pie de la escarpa y la terrazuela con bloques de basalto en su cresta.

Los deslizamientos rotacionales típicos descriptos se localizan en cuatro agrupaciones bien definidas. Tres de ellas se sitúan por debajo del Subnivel Volcánico, el que está parcialmente cubierto por las Morenas Cerro Fortaleza, destacándose que estos depósitos también fueron afectados por estos movimientos gravitacionales. La trinchera exploratoria esta excavada en una de estas agrupaciones. Por otra parte, la cuarta agrupación restante se sitúa por encima de este subnivel volcánico ya que prosperaron a partir de los movimientos de remoción en masa que interesaron la margen sur de la Planicie Volcánica Superior.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 219 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902



**Figura 9.4:** Vista lateral de los deslizamientos rotacionales observados en la margen izquierda en el sector donde se construirá la rápida del vertedero. Se observa claramente de la escarpa superior, la depresión semicircular que forma la cicatriz y el bloque descendido.

- **Expansión Lateral**

De menor frecuencia que los anteriores, solo se han observado Expansiones Laterales típicas en la sección superior de la pendiente donde involucran el desplazamiento de una placa volcánica de tamaño destacable que se desprendió del Subnivel Volcánico. En la Figura 9.2 esa es identificada en color rojo como placa volcánica desplazada. La misma será tratada más adelante ya que constituye un sitio de gran impacto en la estabilidad de las excavaciones del canal de aducción.

El mecanismo de funcionamiento se da a partir de la deformación interna de los materiales que se encuentran en el subsuelo de la masa transportada. Esto se da, por ejemplo, cuando masas de roca coherentes y persistentes ubicadas en niveles superiores (conglomerados o coladas volcánicas), como es el caso de los basaltos Condor Cliff en el cierre pautado para la presa, sobreyace a sedimentos de baja tenacidad, los cuales pueden además presentar elevada plasticidad y/o tendencia a la licuefacción. Técnicamente, el bloque se traslada lateralmente y hacia abajo, porque, la denominada terrazuela puede permanecer horizontal ó inclinarse en favor de la pendiente (Figura 9.5).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 220 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

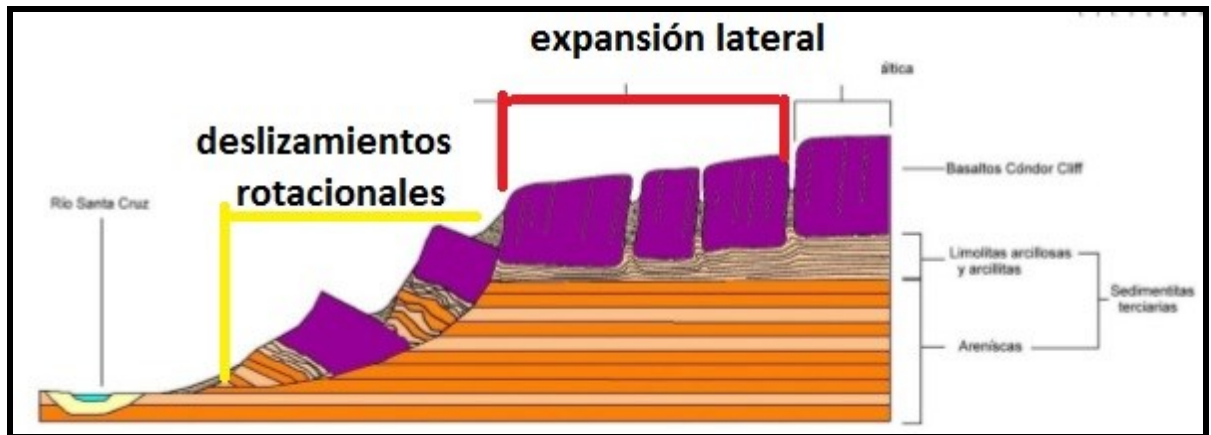



Figura 9.5: Combinación de los deslizamientos rotacionales y expansión lateral. Presa NK - MI (modificado de Malagnino 2015).

La Figura 9.6 muestra el bloque desprendido por expansión lateral de la meseta basáltica intermedia dejando un surco de grandes dimensiones y la vista de la espalda del bloque desprendido.



Figura 9.6: Expansión lateral en la zona del canal de aducción-margen izquierda Presa NK.

Cabe destacar que un caso típico se da cuando la espalda del bloque desplazado queda expuesto y separado del escarpe principal. Otro punto es que, el desplazamiento tiene relación directa con la pérdida de resistencia de la litología subyacente, la que puede fluir ó deformarse bajo el peso del bloque de material rígido, ubicado por encima, el cual se desplaza. Por lo que, sí la magnitud del desplazamiento es importante, el bloque rígido superior comienza a fracturarse, resultando una superficie con fragmentos cada vez de menor proporción, hasta tornarse completamente irregular. En la zona de estudio se detectan en ambos márgenes, con mayor desarrollo en la margen izquierda, principalmente asociados a las terrazas

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 221 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

volcánicas. Los factores internos y externos que permiten tanto los deslizamientos rotacionales como las expansiones laterales en el sector son:

a. Factores externos

- Remoción del apoyo lateral o subyacente por corte de pie de la pendiente
- Stress transitorio por onda sísmica
- Sobre peso sobre la pendiente

b. Factores internos

- Bajo grado de cohesión interna debido a la baja cementación de las sedimentitas
- Bajo grado de cohesión interna por incremento de las presiones internas ó presión poral.
- Plasticidad de algunos bancos de sedimentitas con fuerte presencia de arcillas, especialmente las relacionadas con la Fm. Santa Cruz
- Susceptibilidad a los cambios de viscosidad (tixotropía) de los sedimentos presentes en el subsuelo
- Existencia de potenciales planos de deslizamiento

• **Avalancha de rocas y Flujos indiferenciados**

Tienen un desarrollo localizado en el sector centro occidental del área investigada. Se presenta con morfologías típicas vinculadas a avalancha de rocas y flujos parcialmente encauzados. Una descripción general permite establecer que en su sección superior tiene un área en la cual se distinguen aisladas terrazuelas con elevada fragmentación y disposición parcialmente oblicua a la pendiente. A continuación, en la sección media de la pendiente, el movimiento se desarrolló como un flujo encauzado limitado marginalmente por crestas cordoniforme bien definidas según la inclinación de la pendiente. Esta sección también exhibe crestas de flujo paralelas a los referidos cordones. Hacia la sección distal, sobre la que probablemente fue una superficie de transporte fluvial más elevada del río Santa Cruz, el movimiento culminó con una expansión lateral con desarrollo de un frente relativamente irregular y lobulado. Es probable que el movimiento se iniciara como deslizamientos generalizados que ante la fragmentación de los bloques deslizados paso a desplazarse como una avalancha de rocas que culminó como un flujo denso.

• **Deslizamiento Indiferenciado y Flujo**


Abarca el área situada en el extremo occidental de la comarca relevada. En esta superficie no se observa un registro claro de bloques vinculados con deslizamientos rotacionales y/o traslacionales, aunque es evidente la existencia de sub-placas con elevado estado de desmembramiento de litologías basálticas que se desprendieron de la placa volcánica principal que se sitúa en sus inmediaciones, mezcladas con depósitos de naturaleza glaciogénica y sedimentitas terciarias. El conjunto presenta una morfología superficial de suaves irregularidades con evidencias de movilidad vinculada con un desplazamiento según un flujo radial no encauzado.

• **Deslizamiento Rotacional y Flujo**

Estas geoformas se sitúan en la zona central de la comarca relevada, sobre la sección media e inferior del lateral izquierdo del valle, entre dos agrupaciones de deslizamientos rotacionales típicos. Se componen de terrazuelas uniformemente separadas, de tamaño regular con longitud promedio de 50 m y un ancho de 10 m, dispuesta con el eje mayor en forma paralela entre sí, con un rumbo Norte 75° Oeste, de tal forma que son normales a la inclinación de la pendiente. En general no presentan escarpas definidas, tanto en el frente de cada terrazuela como en su espalda, como tampoco afloramientos extensivos de vulcanitas ya que dominan acumulaciones clásticas de diversa petrografía, las que derivan de las acumulaciones glaciares que tapizan la pendiente. Todos estos rasgos permiten inferir que el área corresponde a una zona en la cual tuvieron lugar deslizamientos rotacionales generalizados que pasaron por una fase de movilidad final similar a la de un flujo denso no encauzado o a la de una avalancha de rocas.

### 9.2.2. Descripción de los sitios examinados en detalle

En la Figura 9.2 se han delimitado 3 áreas (1, 2 y 3) en las cuales están presentes diferentes tipos de movimientos de remoción en masa, mientras que la zona 4 se localiza sobre la terraza adyacente al curso

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 222 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

fluvial del río Santa Cruz. El interés en investigar esta superficie de transporte fluvial y las características internas de la acumulación que la compone tuvo como motivación principal la de determinar la relación que existe entre los procesos que la formaron y los factores externos que desencadenaron los movimientos de remoción en masa que tuvieron lugar sobre el lateral norte del valle del río Santa Cruz.

La descripción detallada de cada una se realiza a continuación.

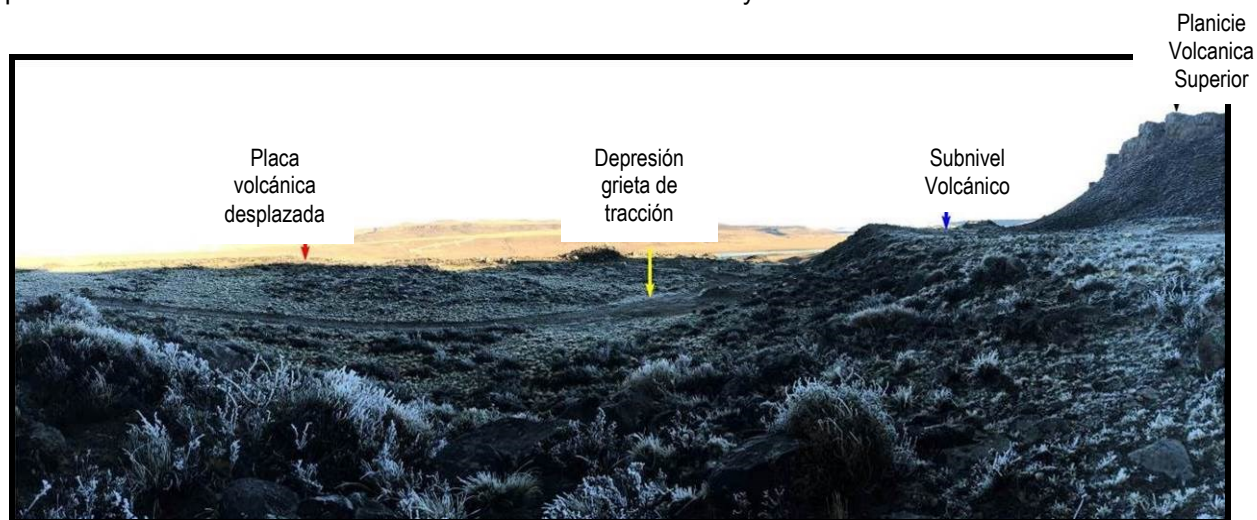
- **Zona 1 (Placa volcánica desplazada por expansión lateral)**

Esta zona se sitúa en la comarca donde se reconoce un extenso movimiento de remoción en masa del tipo Expansión Lateral. El área afectada por el desplazamiento corresponde a una sección de planta rectangular alargada que se desprendió de la unidad geomórfica definida como Subnivel Volcánico.

La sección superior de esta subunidad geomórfica está constituida por las coladas basálticas de la Fm. Cóndor Cliff o Basaltos Cóndor Cliff aunque sus afloramientos son saltuarios debido a que está parcialmente cubierta por las Morenas del Cerro Fortaleza. Por debajo de esta unidad, de acuerdo a la información obtenida a partir de perforaciones, se localizan las sedimentitas del Terciario continental de la Fm. Santa Cruz.


La placa desplazada tiene una longitud de aproximadamente 670 m y un ancho variable que va desde un máximo de 145 m en la sección de enraizamiento oriental, a un mínimo de 50 m en su sección terminal occidental. Desde la referida zona de anclaje, la superficie de la placa presenta una suave y progresiva inclinación hacia el oeste y hacia el cuadrante sur, de tal forma que en su extremo oeste se localiza a varios metros por debajo del Subnivel Volcánico que no fue afectado por movimientos de remoción en masa (Figura 9.7). Esta tendencia es opuesta a la inclinación que por su parte presenta la superficie de esta última unidad geomórfica, la que inclina hacia el este.

Asimismo, la placa trasladada muestra un progresivo desmantelamiento a medida que se angosta al estar afectada marginalmente por movimientos de remoción en masa de menor tamaño y diversa tipología, ya que se reconocen en esta sección deslizamientos rotacionales y traslacionales locales.



**Figura 9.7:** Panorámica con visual desde el cuadrante noroeste al sur, desde la zona de enraizamiento oriental en la cual se observa la superficie de la Planicie Volcánica Superior, el Subnivel Volcánico parcialmente cubierto por las Morenas Cerro Fortaleza, la superficie de la placa desplazada y la depresión generada por el desplazamiento.

Entre la placa desplazada y el borde sur del Subnivel Volcánico se extiende una depresión de planta en trompeta que representa la progresiva magnitud que tiene la separación de la placa desde la zona de anclaje hasta su porción distal (Figura 9.8). Se descarta que este rasgo geomórfico sea resultado de procesos de erosión fluvial vertical del tipo carcavamiento debido a que en su sección superior no existe cuenca de captación alguna y en cambio se localiza en una superficie de suave inclinación al este.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 223 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902




**Figura 9.8:** Imagen satelital de la Zona 1. La placa desplazada por un movimiento de remoción en masa del tipo expansión lateral está señalada mediante una máscara roja. La misma se separó de la unidad geomórfica denominada Subnivel Volcánico (SV). La separación está indicada mediante una máscara violeta. La placa movilizada presenta una serie de deslizamientos locales del tipo rotacional (máscara amarilla) y probablemente traslacional (máscara anaranjada) en su margen sur. Hacia la sección del anclaje oriental se observan tres depresiones que indican la existencia de fallas directas (líneas negras) generadas durante el desplazamiento en tijera.

La expansión lateral referida solo puede ocurrir a partir del desalojo un volumen importante de la masa litológica subyacente a las coladas basálticas. Para que este escenario tenga lugar, las sedimentitas terciarias de la Formación Santa Cruz debieron pasar a tener un comportamiento plástico que permitió su expulsión hacia afuera de la superficie de la pendiente. Bajo este análisis, es probable que la geoforma identificada en el mapa geomorfológico como Avalancha de rocas y Flujos indiferenciados este representando esta situación. Además se destaca la presencia de procesos de fluidificación en varias localidades cercanas a la zona 1 y vinculados con movimientos de remoción en masa, como por ejemplo la existencia de diques clásticos que fueron inyectados desde el subsuelo en fallas directas relacionadas con deslizamientos rotacionales (Figura 9.9). El movimiento general que desarrollo la placa desplazada y su mayor inclinación al oeste y sur se debió a que la expulsión de material basal fue mayor sobre la margen austral y occidental.



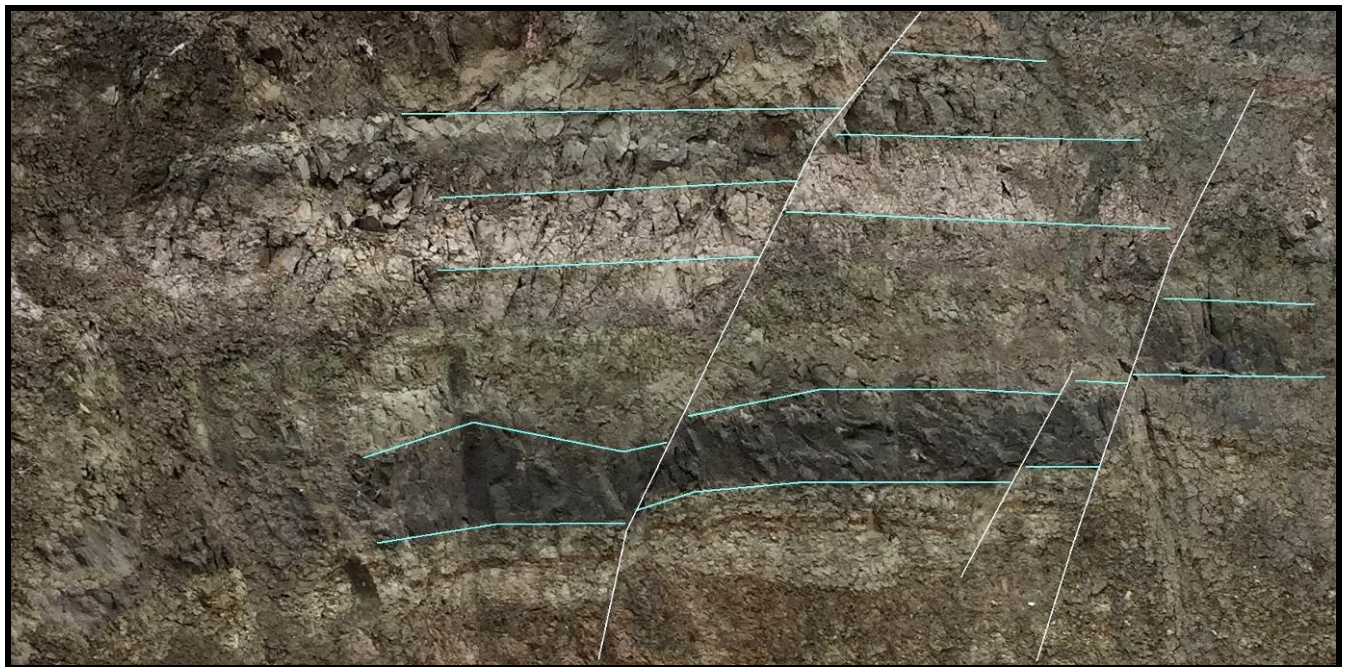
**Figura 9.9:** Falla vinculada con un deslizamiento rotacional donde se observa en bloque desplazado (1), la superficie de la falla curva (2), un dique clástico (3) y el respaldo del bloque movilizado (4).



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 224 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

- **Zona 2 (Trinchera y Pozo exploratorio)**

En esta zona se localizan la trinchera exploratoria además del pozo exploratorio. En las excavaciones someras situadas en las inmediaciones del pozo, se pueden reconocer una serie de fallas directas escalonadas que dislocan a las sedimentitas terciarias (Figura 9.10) e incluso fallas curvas directas (Figura 9.9). En el primer caso es probable que se trate de fallas de alivio relacionadas con el retiro de la glaciación Cerro Fortaleza ya que las mismas se disponen según un rumbo anómalo para que se las pueda vincular con movimientos de remoción en masa. Por su parte, las estructuras expuestas en la Figura 9.9 corresponden claramente a un deslizamiento rotacional




**Figura 9.10: Dislocamiento de las sedimentitas terciarias por sistema de fallas directas probablemente vinculadas con el retiro de la Glaciación Cerro Fortaleza.**

Por su parte, las observaciones efectuadas en el pozo exploratorio permiten reconocer que la zona de mayor perturbación, generada especialmente por sistemas de diaclasamiento y fallamiento directo, se localiza desde la superficie hasta una profundidad de aproximadamente 20 metros. Asimismo, entre la profundidad de los 6 a 10 m la chimenea atraviesa un bloque donde la disposición de los bancos se encuentra inclinada debido a un deslizamiento rotacional.

- **Zona 3 (trinchera de acceso a la galería)**

Esta excavación se realizó según un rumbo perpendicular a la pendiente de tal forma que corto transversalmente a un deslizamiento rotacional. En la zona más externa de ambos laterales de la excavación se puede observar claramente la superficie de la falla curva que permitió en desplazamiento y rotación del bloque desplazado (Figura 9.11).

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 225 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902




**Figura 9.11: Corte transversal de un deslizamiento rotacional. Se observa claramente el plano de falla curvo (resaltado con traza amarilla) a ambos lados de la excavación, que pone en contacto por falla a las sedimentitas terciarias de la Formacion Santa Cruz con el till alojado de la Morenas del Cerro Fortaleza que las sobreyace. La falla curva se dispone en forma subhorizontal en la sección que intercepta la superficie de la pendiente.**

Analizada en detalle, la superficie de fallamiento curva presenta en la sección superior un corte regular de los bancos de sedimentitas terciarias según un ángulo del orden de los 40°, aunque hacia su sección más baja y cercana a su intersección con la superficie de la pendiente, cambia progresivamente su inclinación hasta pasar a subhorizontal. En este último sector se observa en las sedimentitas terciarias evidencias de deformación plástica en los bancos de granulometría areno limosa y espejos de fricción de falla y estriaciones, los que son evidencia de movimientos de desplazamiento rápidos a muy rápidos (Figura 9.12 y Figura 9.13).



**Figura 9.12: Superficie de falla entre las sedimentitas (banco inferior) y till alojado (acumulación superior)**

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 226 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902




**Figura 9.13: Superficie de falla subhorizontal con espejo de fricción y estriaciones. En las sedimentitas subyacentes se observan comportamientos plásticos en los bancos de granulometría areno limosa.**

- **Zona 4 (Calicatas eje de la presa)**

El análisis de las calicatas de la zona 4 está relacionado con los procesos desencadenantes de los procesos de remoción en masa.

Las exposiciones de las calicatas excavadas en el material de la terraza fluvial de la margen izquierda del río Santa Cruz (Figura 9.14), permitieron vincular sus patrones morfológicos superficiales con las particularidades internas de esta acumulación tales como la litología y granulometría de sus componentes clásticos así como también la estructura y dinámica de su ambiente de acumulación.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 227 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902




**Figura 9.14: Localización de los cuatro sitios en los que se realizaron observaciones de las particularidades internas que presentan las acumulaciones correspondientes a la terraza que se extiende en la margen izquierda del Río San Cruz.**

El interés en determinar la naturaleza cierta de los procesos que dieron origen a este depósito en la sección del valle en la cual son numerosos los movimientos de remoción en masa, se debió que el mismo es interpretado como el resultado de un proceso fluvial de significativa energía al estar vinculado con el drenaje catastrófico de un lago glaciar (Strelin y Malagnino, 1996). De esta forma, este proceso fluvial podría haber desencadenado la inestabilidad y caída de las pendientes.

En todas las calicatas se exponen acumulaciones de bloques, gravas de diversa granulometría y arenas que se disponen según una estratificación diagonal. Si bien estas características estratigráficas, litológicas y estructurales son similares en cada exposición observada, a continuación se describen las que están presentes en la excavación 341 ya que es la de mayor profundidad y mejor exposición.

La excavación 341 se localiza en las coordenadas geográficas 50°12'26.39"S - 70°46'53.61"O. Tiene una profundidad de 3 m y en ella se exhibe un conglomerado integrado por bloques aislados con gravas dominantes y arenas gruesas subordinadas. Este depósito en el techo presenta un nivel edáfico de 0.45 m de espesor. Los bloques observados tienen un diámetro de 25 cm, son redondeados y polimícticos. Las gravas tienen un diámetro que varía desde 10 cm a 1 cm, con una media más común de 2 cm. En todos los casos presentan buen redondeamiento y son polimícticas, con dominancia de petrología volcánica.

Las fracciones clásticas referidas se disponen según una estructura de estratificación diagonal en la cual se superponen rítmicamente bancos de espesor regular. Cada banco, de un espesor medio de 30 cm se compone de una acumulación grano creciente que comienza con arenas gruesas y gravas finas y culmina con fracciones clásticas de hasta 10 cm de diámetro, observándose que los clastos oblatos se disponen según una estructura imbricada (Figura 9.15).

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 228 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902




**Figura 9.15: Conglomerado expuesto en la calicata 341 en la pared de dirección oeste-este**

De la lectura de las inclinaciones aparentes que se observan sobre ellas (Figura 9.16) se puede confirmar que la corriente tractiva que dio origen al conglomerado descrito provino desde el cuadrante Oeste-Sudoeste. Además se trató de una corriente de elevada energía con capacidad de transportar fracciones clásticas de gran tamaño ya que si bien en la excavación no se observan bloques mayores a los 30 cm, estos están presentes superficialmente en su cercanía.



**Figura 9.16: Excavación 341. La línea blanca señala la esquina sudoeste de la excavación, mientras que las flechas celeste y blanca indican las paredes de rumbo Norte 80° Oeste y Norte 10° Este respectivamente, lo permite obtener la inclinación real de la estructura diagonal y el vector de la corriente tractiva que acumulo al conglomerado.**

Las características descritas se repiten a lo largo de la transecta realizada y son muy diferentes a los registros estratigráficos y estructurales que presentan las acumulaciones glaciales que están presentes en la totalidad de los niveles de terrazas que se sitúan a ambos lados del valle del río Santa Cruz. En estos casos las acumulaciones se componen de una alternancia de bancos subhorizontales y masivos de conglomerados clasto sostén que alternan con otros bancos de menor espesor en los cuales están presentes arenas con estratificación entrecruzada indicadoras de condiciones de flujo menguante en las corrientes tractivas que dieron lugar a estos depósitos e incluso niveles limo arcillosos con estratificación planar, indicadores de facies de canal abandonado (Figura 9.17).

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 229 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902




**Figura 9.17: Depósito típico de ambiente de acumulación de planicies glacial-fluviales vinculadas con las glaciaciones ocurridas en la cuenca del Lago Argentino**

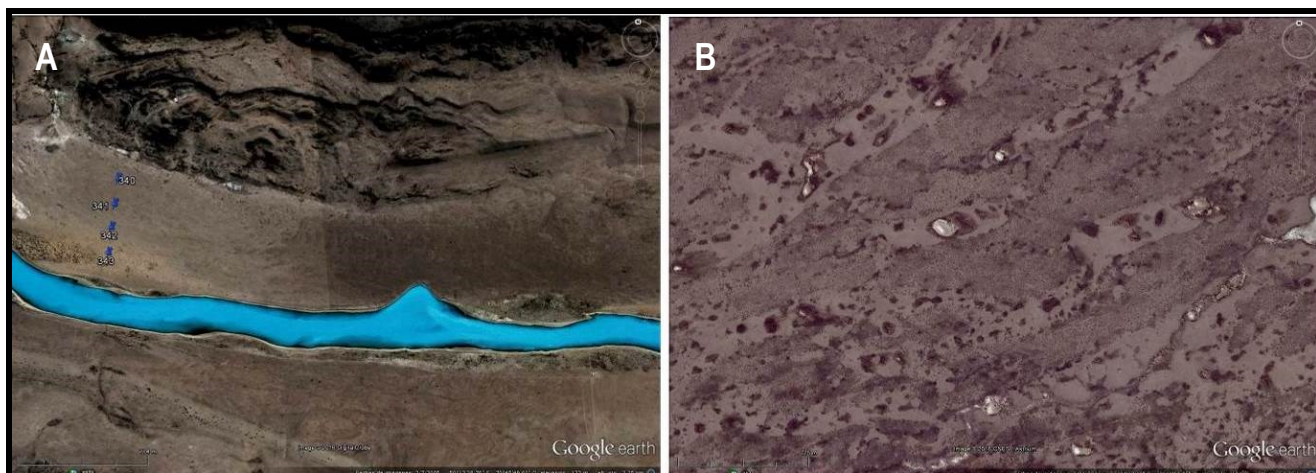
El modelo de sedimentación para estos depósitos glacial-fluviales fue definido por Malagnino (2009, 2015) como producido por un sistema fluvial de hábito megatrenzado de baja sinuosidad, en general inferior a los 30°, relacionado con ríos de régimen permanente, caudales de base elevados, con descarga estacional extraordinaria y en los cuales existieron aportes muy elevados de sedimentos que fueron proporcionados por un extenso lóbulo de hielo.

El modelo de sedimentación precedentemente descrito para planicies glacial-fluviales es muy diferente al que se presenta en la planicie que se localiza en el piso del valle de este curso fluvial en la sección correspondiente a la traza de la presa proyectada, la que en este estudio ha sido definida con el nombre de Planicie de Transporte y Acumulación Fluvial por Desagüe Catastrófico. Como se puede observar en la descripción realizada en las Figura 9.15 y Figura 9.16, no están presentes aquí las facies típicas que caracterizan a las acumulaciones de planicie glacial-fluvial y en cambio se presentan las que definen acumulaciones vinculadas con episodios de energía superlativa.

Cuando se examina la superficie de la terraza fluvial en los registros remotos de alta definición, no se observa en ella el patrón distintivo que tienen las planicies glacial-fluviales inactivas, el que se manifiesta como un paleoregistro de cauces de hábito mega anastomosado en el cual se pueden distinguir paleocauces y paleobarras de gran escala (Figura 9.18b). En su lugar se exponen una serie de morfologías que son interpretadas como megaóndulas, megabarras y geoformas residuales aerodinámicas mientras que están ausentes por completo paleobarras y paleocauces (Figura 9.18a).

Las características que tiene la Planicie de Transporte y Acumulación Fluvial por Desagüe Catastrófico se puede observar a lo largo de la mayor parte del valle del Río Santa Cruz, desde la localidad de Arroyo Verde, a 38 km al oeste del sitio de la presa y desde ese punto hasta la desembocadura de este curso fluvial en el Océano Atlántico. La causa que dio lugar a las acumulaciones y geoformas descritas se vinculan con el drenaje catastrófico de un extenso cuerpo de aguas denominado Paleolago Argentino (Strelin y Malagnino, 1996). El mismo se localizaba entre las estancias La Victoria y La Martina al este coincidiendo con el tercer arco morénico del stadial de la Glaciación Arroyo Verde II. En la Figura 9.19 se ilustran las localizadas referidas y la distribución de las diferentes acumulaciones glaciarias que tuvieron lugar en el valle del río Santa Cruz.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 230 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902



**Figura 9.18:** a) En la imagen de la izquierda se observa la morfología superficial de la terraza adyacente al Río Santa Cruz en la sección del proyecto de repesamiento, la que se exhibe con un aspecto general homogéneo con megaondulas de gran escala. B) ilustra una terraza alta glacifluvial en margen derecha del Río Santa Cruz, con un sistema de paleocauces (canales de hábito megaentrelazado de tonos claros) y paleobarras. Ambas imágenes tienen la misma escala.

El ancestral río Santa Cruz, emisario que nació al este del referido extenso paleolago, cortó las morenas frontales del estadal Arroyo Verde II y sus correspondientes depósitos glacifluviales provocando el drenaje progresivo del cuerpo de agua como lo indican las 22 paleocostas lacustres que se extienden entre las cotas de 280 m y 195m. Sin embargo, durante la última etapa el vaciado del paleolago fue súbito y la masa de agua en movimiento configuró una superficie de transporte fluvial muy extensa a partir de las proximidades del antiguo punto de efluencia situado a la cota de 195 m. Dicho nivel se caracteriza por presentar sobre su superficie una serie de lomadas de rodados de hasta 0,30 m de diámetro, se elevan hasta 3 m sobre el nivel de la terraza y alcanzan largos de algunas decenas de metros. Se trata de megaóndulas asociadas a un vaciado súbito del paleolago durante una etapa póstuma. La masa de agua que se desplazó sobre la planicie glacifluvial preexistente dio lugar a procesos de erosión y acumulación fluvial generalizados a lo largo de 230 km, destacándose que además desencadenó numerosos procesos de remoción en masa en gran parte de los laterales del valle, especialmente en las secciones donde, por efecto de las variaciones de rumbo que se presentaban, tuvieron lugar efectos erosivos concentrados sobre el pie de pendientes potencialmente inestables.

En su arribo a la localidad de Cerro Fortaleza, situada a 12 km al oeste de la sección del valle donde se proyecta el cierre de la presa Néstor Kirchner, los paleo indicadores morfológicos observados, del tipo megaóndulas y geformas residuales aerodinámicas existentes sobre la terraza, indican que la masa de agua impactó casi frontalmente sobre la sección austral de la meseta, situación que desestabilizó esas pendientes y dio lugar en forma simultánea a los numerosos movimientos de remoción en masa que se observan en esta zona (Figura 9.20).

Es importante destacar que en la sección norte de la meseta de Cerro Fortaleza, si bien las características estratigráficas y estructurales son similares a las que se presentan en la vertiente austral, en esta localidad los movimientos gravitacionales son menos importantes debido a que esta comarca estuvo al reparo del movimiento del agua.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGOC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

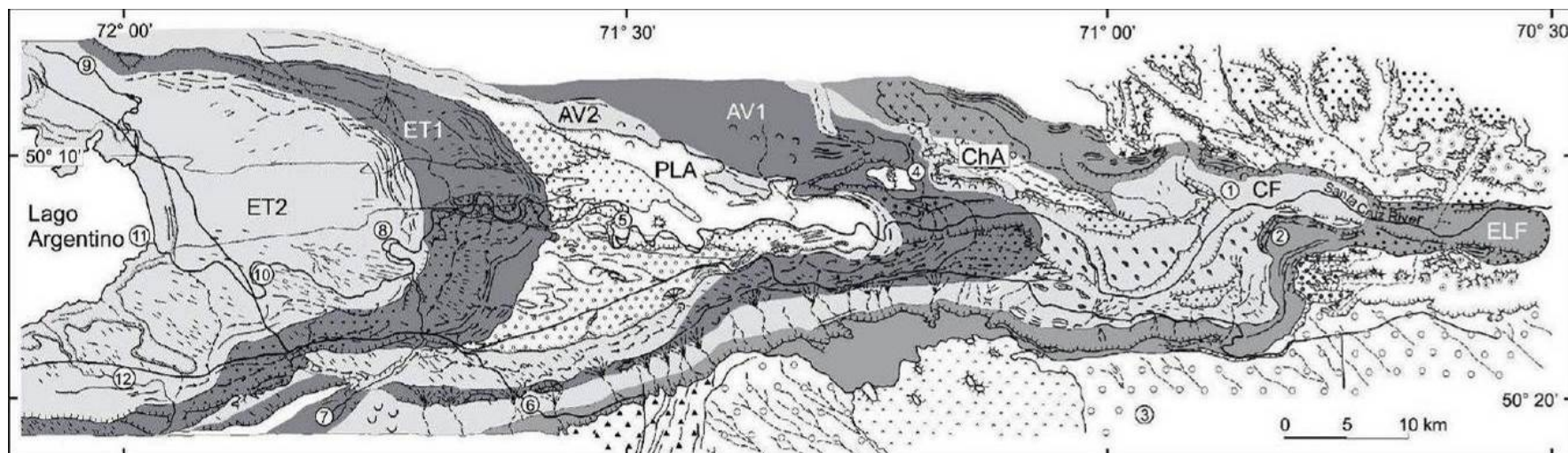
Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 231 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Doc. N°

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900



### REFERENCIAS

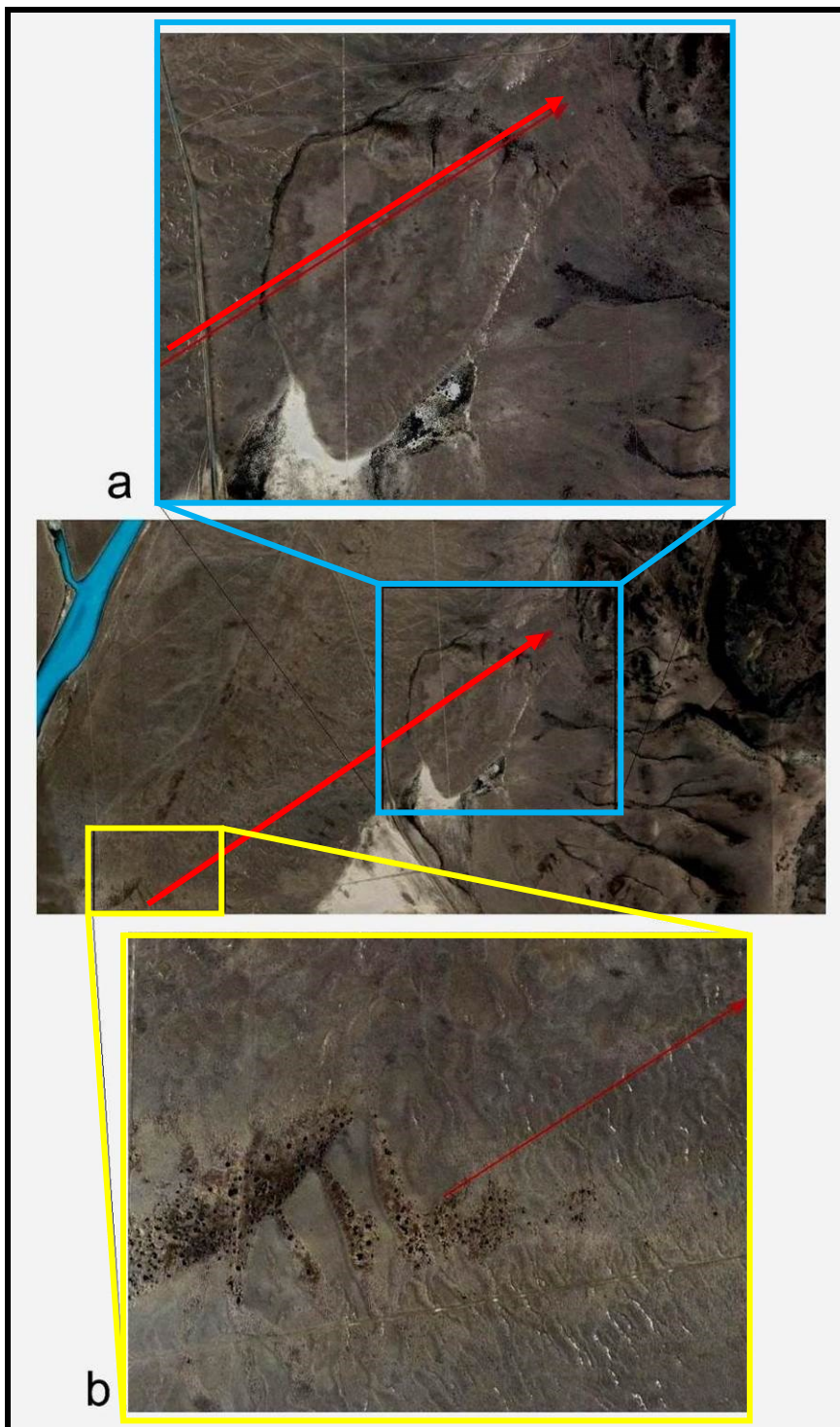
Terraza El Tranquilo 2	Terraza Arroyo Verde 2	Morenas Cerro Fortaleza	Basaltos Pliocenos	río	cresta morénica	remoción en masa	cono volcánico
Morenas El Tranquilo 2	Morenas Arroyo Verde 2	Morenas Chuñi Aike	Terraza San Fernando	río temporario	bloques erráticos	terraza lacustre	médano parabólico
Terraza El Tranquilo 1	Terraza Arroyo Verde 1	Terraza Ea. La Adela	Terraza La Australasia	abanico aluvial	formas drumlinoides	paleo-línea costera	contacto definido
Morenas El Tranquilo 1	Morenas Arroyo Verde 1	Morenas Ea. La Fructuosa	Terraza Pampa Alta	paleocanal	lomadas de gravas	paleo-delta	contacto indefinido
Paleolago Argentino	Terraza Cerro Fortaleza	Basaltos Pleistocenos	Morenas Pampa Alta	lomada morénica	laterales de valles y terrazas	paleo-espiga	ruta

### REFERENCIAS DE LOCALIDADES

① Condor Cliff	④ Arroyo Verde	⑦ Río Bote	⑩ Punta Feilberg
② Cerro Fortaleza	⑤ Primer Laberinto (Río Santa Cruz)	⑧ Segundo Laberinto (Río Santa Cruz)	⑪ La Botija (Santa Cruz River)
③ Pampa Alta	⑥ Cuesta La Escarchada (Ruta 40)	⑨ Río La Leona	⑫ Arroyo de los Perros


Figura 9.19: Glaciaciones en la valle del río Santa Cruz (Strelin y Malagnino, 1996)





**Figura 9.20:** En la imagen intermedia se ilustra el vector de dirección de corriente (flecha roja) en su choque contra la esquina austral del Cerro Fortaleza, dando lugar al corte de su pie pendiente y la generación de movimientos de remoción en masa generalizados. En a) se puede ver una ampliación de una geoforma residual aerodinámica de un nivel de terraza glacifluvial y en b) el sistema de megaóndulas de distinta escala transversales al flujo hídrico.

Aguas abajo del Cerro Fortaleza la corriente de agua siguió la trayectoria mostrada en la Figura 9.21.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 233 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902




**Figura 9.21:** En mascara roja se señalan los procesos de remoción en masa que afectan las pendientes del valle del Río Santa Cruz en la sección fluvial que se extiende entre Cerro Fortaleza y el sitio del cierre proyectado Néstor Kirchner. Las flechas indican los vectores de dirección de la corriente obtenidos del ploteo de morfologías diagnósticas del tipo megaóndulas y formas residuales aerodinámicas

La masa de agua llegó a la zona de la presa según un rumbo de entre Norte 55° Este a Norte 65° Este, de acuerdo a lo que indican los registros morfológicos de dirección de corriente que actualmente pueden ser reconocidos para esta sección del valle (megaóndulas, normales a la dirección de corriente), los que además son coincidentes con los indicadores de paleocorriente que fueron observados en la calicata 341 (Figura 9.22).

De esta forma se comprueba que el ingreso del agua en esta localidad tuvo una dirección que varió desde solamente algo oblicua a cercana al impacto frontal sobre la margen izquierda del valle dando lugar a un intenso proceso de excavación del pie de la pendiente que desencadenó la mayor parte de los movimientos de remoción en masa que se observan sobre ella y que son representados en el Mapa de Unidades Geomorfológicas.

Mientras estos sucesos tenían lugar sobre la margen norte del valle, la margen sur permaneció al reparo de los mismos ya que en este caso los indicadores morfológicos de dirección de corrientes son paralelos a la pendiente. De esta forma, sobre el lateral derecho no tuvieron ocurrencia movimientos gravitacionales generalizados sino locales y de baja escala.

En la Figura 9.22 se ilustran los movimientos de remoción en masa localizados entre Cerro Fortaleza y el sitio de la presa proyectada relatado precedentemente que fueron desencadenados en su mayor parte por el evento de la creciente catastrófica.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 234 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902




**Figura 9.22: Indicadores generales de dirección de corriente (flechas rojas) derivados de las morfologías superficiales (megaóndulas señaladas con flechas rojas) y estructurales de sedimentación observadas en la excavación 431, la que se indica en la imagen.**

La vinculación entre direcciones de corriente concentradas al pie de pendientes y existencia de movimientos de remoción en masa acompañantes que se observa en la sección analizada, desde la localidad de Cerro Fortaleza hasta el sitio de la presa proyectada, también se repite sin destacables variaciones a lo largo del valle del río Santa Cruz, tanto aguas arriba como aguas abajo de la sección estudiada.

Esta relación permite confirmar que la mayor parte de los movimientos de remoción en masa que se observan en el valle del río Santa Cruz que se desplazaron sobre la unidad geomórfica definida como Planicie de Transporte y Acumulación Fluvial por desagüe catastrófico, tuvieron como factor desencadenante la acción de una corriente de agua que socavo el pie de pendientes inestables provocando su caída.

Teniendo en cuenta que la creciente se debió al vaciamiento súbito del Paleolago Argentino, el que tuvo lugar a partir del inicio de la Última Glaciación Patagónica para esta región (Glaciación El Tranquilo), se puede confirmar que los referidos movimientos de remoción en masa tienen una edad mínima superior a los 24.000 años, que corresponde al máximo del último Estadial de la Glaciación El Tranquilo II, aunque es muy probable que tengan una edad de alrededor de los 100.000 años al estar vinculados con el primer avance de la glaciación vinculada al Estadial El Tranquilo I. De todas formas debe aclararse que gran parte de los antiguos desplazamientos gravitacionales observados tuvieron a lo largo del tiempo nuevas removilizaciones, tal como se puede comprobar a partir de la existencia de deslizamientos y flujos que no solamente avanzaron sobre la Planicie de Transporte y Acumulación Fluvial por desagüe catastrófico sino que además lo hicieron sobre los niveles de terraza inferior e incluso la planicie fluvial actual del río Santa Cruz.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 235 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

### 9.3. Profundidad de los procesos de remoción en masa

Definidos los tipos de fenómenos de remoción en masa, su distribución y los mecanismos deflagadores, resta discutir un aspecto muy importante para el diseño de la presa y que se refiere a la profundidad donde se manifiestan estos procesos. Esto es de gran importancia pues es uno de los criterios para definir el ámbito del denominado macizo de roca competente que se define como aquel que reúne las condiciones óptimas para fundar las estructuras de hormigón.

Los procesos de remoción en masa descritos en los apartados anteriores, responden a una evolución geológica muy compleja. En superficie es posible identificar y zonificar cada uno de los procesos pero su extensión en superficie se dificulta pues las evidencias se recogen de la observación detallada de los testigos de perforación disponibles.

Quedo claro de la discusión anterior que los fenómenos de remoción en masa afectan tanto los depósitos de till complejo del evento Co Fortaleza (Figura 9.23) como niveles alterados de la Fm Santa Cruz subyacente como lo ilustra el mapeo geológico de la trinchera y del pozo exploratorio en los capítulos 5.9, 5.10 y 5.11.



**Figura 9.23: Depósitos de la glaciación Co. Fortaleza mostrando la complejidad de materiales que la conforman.**

El depósito de Cerro Fortaleza corresponde a prismas de till de alojamiento masivo, con abundante matriz arcillosa y clastos aislados subredondeados algo angulosos polimícticos, en contacto discordante con cuerpos de till de ablación y secuencias glacifluviales. El depósito en su conjunto se encuentra intensamente replegado y fallado. Las acumulaciones complejas de este depósito a causa de los ya mencionados procesos de remoción en masa, avances y retrocesos glaciares y fluviales, merecen una atención especial, ya que la margen izquierda del cierre se relaciona directamente. Juegan un rol fundamental, en términos de compactación y permeabilidad del piso y los niveles subyacentes del valle, con una variabilidad extrema de sedimentos muy impermeables y compactos (el denominado till alojado), a sedimentos de elevada permeabilidad (gravas glacifluviales) (Figura 9.23).

La observación de los afloramientos expuestos por la trinchera, el pozo exploratorio y la trinchera de la galería (Capítulos 5.10, 5.11 y 5.12), permitió la definición de los rasgos geológicos (litológicos, estructurales, alteración, color, etc) que presentan los macizos rocosos afectados por los deslizamientos. Estos rasgos, fueron de gran valor para la identificación de los bloques deslizados en los registros de los sondeos exploratorios realizados. Los principales para el estudio son:

- Presencia de fracturas verticales o inclinadas y brechamiento de la roca (Figura 9.24).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 236 de 389

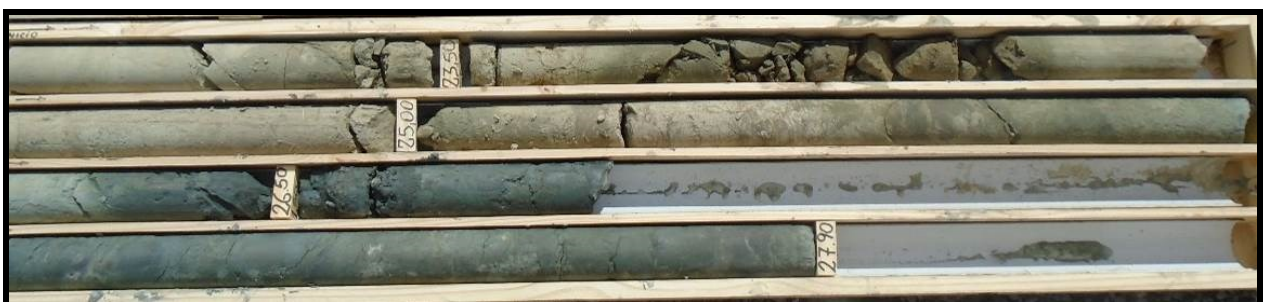
APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902




**Figura 9.24: Fracturas inclinadas y brechas de deformación - Sondeo PRK 5**

- Relleno de fracturas o diaclasas y cavidades con carbonatos (calcita).
- Colores pardos en la litología, asociando la pigmentación con signos de alteración (Figura 9.25).



**Figura 9.25: Contraste de coloración entre roca alterada (color pardo) y roca competente (gris verdoso) - Sondeo PRK 05**

- Evidencia de estratos inclinados (Figura 9.26).

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 237 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902



**Figura 9.26: Capa de toba violácea inclinada – Sondeo PRK 5**

- Baja competencia relativa de las rocas con relación al material inalterado.

Con estos criterios definidos, se procedió a zonificar espacilamente le macizo rocoso en los siguientes macizos:

- Macizos de basalto in situ correspondientes a la meseta volcánica inferior
- Macizo de basalto, fracturado y desmembrado perteneciente a la masa deslizada por el mecanismo de expansión lateral
- Macizos de basalto muy fragmentados y desmembrados por los eventos glaciarios y de remoción en masa, típicamente los tramos superiores observados en las perforaciones PRK7 y PRK21.
- Depósitos de till complejo afectados por movimientos en masa
- Rocas alteradas de la Fm. Santa Cruz, fracturadas, falladas y basculadas como consecuencia de los fenómenos de remoción en masa combinado con eventos de retroceso del glacial,
- Rocas alteradas de la Fm. Santa Cruz pero con estratificación normal subhorizontal sin afectación glacitectónica ni de remoción en masa
- Rocas competentes e inalteradas de la Fm. Sta Cruz

A efectos de delimitar las superficies de estos distintos materiales, se dividió el macizo en tres sectores separados por das superficies: 1) Contacto till-rocas alteradas (CAR) y 2) contacto roca aterada-Roca competente (CRC).


Entre el terreno natural y la superficie CAR se incluyeron los materiales (a), (b), (c), (d) y (e).

Entre la superficie CAR y la superficie CRC, se incluyo el material (f) y por debajo de la superficie CRC el material (g).

#### **9.4. Comentarios Finales**

El análisis de imágenes remotas puso de manifiesto una serie de rasgos morfológicos con características similares a las observadas en procesos de remoción en masa (deslizamientos y expansiones laterales) tales como cicatrices curvas y depresiones topográficas en el dorso de las terrazuelas.

La excavación de la trinchera exploratoria en el eje del vertedero y cortando 2 potenciales cicatrices de deslizamiento, confirmo la existencia de estos últimos a partir de la constatación de estratos inclinados, numerosas fallas normales, planos de fractura subverticales y matriz rocosa altamente alterada (colores

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 238 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

pardos) y de mas baja resistencia que la roca intacta. Si bien esta información fue muy valiosa, el hecho de que la investigación fuera relativamente somera, no alcanzo a dilucidar la duda sobre la profundidad de los deslizamientos.


La excavación de pozo exploratorio hasta los 53 m de profundidad trajo mucha luz para resolver ese interrogante pues se atraveso el tramo afectado por la remoción en masa y se llego al limite inferior del macizo alterado.

La perforación de los sondeos PRK 05 y PRK 07 bis, el primero en el extremo norte de la trinchera y el segundo en el eje del pozo, permitieron calibrar los rasgos observados en los testigos con los observados en los afloramientos. Este avance fue clave en la reinterpretación de los demás sondeos ejecutados, no solo los de esta campaña sino también los de las campañas anteriores. La posición de las superficies de deslizamiento se definio a partir de la profundidad a partir del cual el macizo no presentaba rasgos como niveles brechados y/o cizallados, estratos inclinados, fracturas subverticales, muy baja competencia del material y alto grado de alteración.

Estas evidencias permiten asegurar que los fenómenos de remoción en masa se manifiestan en la parte superficial del macizo afectando tanto los depósitos fluvioglaciales y rocas alterdas de la Fm Santa Cruz subyacentes. Que la profundidad en general no excede los 25 m de profundidad y que la superficie se desarrolla por encima de los niveles de fundación de las estructuras de hormigón que se construirán en el sector.

Respecto de los factores deflagadores de estos fenómenos, el estudio geomorfológico de detalle lo atribuye al efecto de desconfinamiento por erosión de las laderas producido por el paso de un flujo de alta energía producto del desague repentino del Paleolago existente hace 25 000 años en el valle del río Santa Cruz.

Es posible que ventos de remoción en masa menores y secundarios sean el producto local de presiones de poros localmente altas y/o la acción sísmica.

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 239 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

## 10. ANTECEDENTES SOBRE EL MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DEL SITIO

En este capítulo se abordará la discusión sobre el modelo geológico y geotécnico de la presa y sus estructuras.

La discusión comenzará con un análisis de los modelos propuestos para el sitio en las anteriores campañas de investigación, de modo a verificar los avances reales en el entendimiento de las condiciones geológicas y geotécnicas de la presa.

### 10.1. Modelo Geológico y Geotécnico propuesto por AyEE en las décadas de 1970 y 1980

Los estudios de AyEE en las décadas de 1970 y 1980 se desarrollaron, a nivel de prefactibilidad, en varios ejes alternativos: km 283, km 257 y km 250. Los resultados de las investigaciones de todos estos ejes se detallan en los informes emitidos por AyEE que formaron parte de los antecedentes entregados en la licitación.

El eje elegido fue el del km 250 y coincide con el analizado en el actual informe. El sitio se eligió por razones topográfica (sección transversal más estrecha de río) y por razones geológicas (menor espesor de aluvión en el valle). El menor estrechamiento local del valle es debido a la acción ejercida sobre la acción fluvio-glacial por la presencia de las coladas basálticas en ambas márgenes.

El modelo se construyó en base a la información aportada por los relevamientos geológicos de superficie regional (escala 1:50 000) y local (escala 1:2 500), perfiles de sísmica de refracción y la ejecución de 13 sondeos exploratorios (serie K).

El modelo resumido se presenta en la Figura 10.1 en la forma de un perfil geológico longitudinal norte-sur involucrando los sondeos K 19, K 18, K 01, K 02, K 03, K 04, K 05 y K 10.

En él se destacan 2 grupos de materiales: las rocas terciarias de la llamada Fm. Monte León, hoy Fm. Santa Cruz y los depósitos granulares glaciales, fluvio-glaciales y fluviales de edad cuaternaria.

Las principales conclusiones de los estudios fueron:

- La Fm. Santa Cruz prácticamente no aflora en el sitio de la presa a excepción de 4 asomos en la margen izquierda. Predominan los niveles de arcilitas y limolitas por sobre las areniscas y son de naturaleza plástica CH y MH. La formación revela una marcada estratificación subhorizontal. Los contactos entre las litologías son difusos y muy poco perceptibles.
- Las recuperaciones de los testigos en general son altos de >90%
- Bajo índice de fracturamiento del macizo. Se asume que la alta deformabilidad de la roca los esfuerzos se absorben como deformación ductil antes que ruptil. En los testigos no se observaron fallas o texturas de origen tectónico
- La permeabilidad del macizo es muy baja siempre inferiores a 0,1Hv (1UL), salvo tramos puntuales donde la permeabilidad es mayor. Las labores de impermeabilización para el tratamiento de la fundación, no asumirán gran importancia.
- Los basaltos de Cóndor Cliff constituyen un elemento destacado en ambas márgenes especialmente en la margen izquierda donde se observa una terraza inferior dentro de la zona de afectación del proyecto.





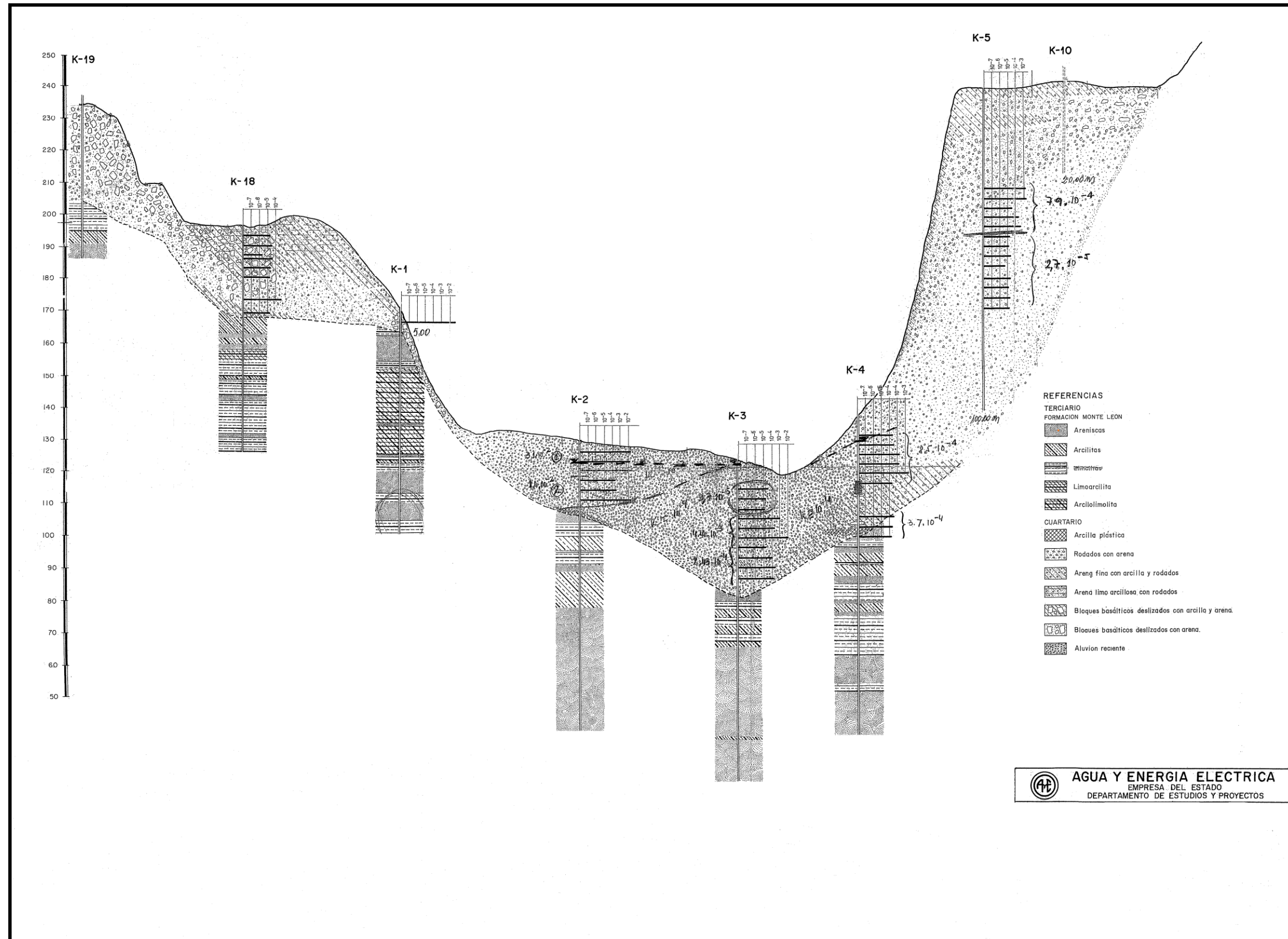
REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 240 de 389


APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900




AGUA Y ENERGIA ELECTRICA  
EMPRESA DEL ESTADO  
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

Figura 10.1: Perfil Geológico longitudinal en el eje de la presa resultante de los estudios de AyEE

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 241 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900

- f. Se distinguen al menos 11 coladas superpuestas con un espesor total del orden de 100 m en margen derecha y 60 a 70 m en margen izquierda (cotas 255 m a 320 m);
- g. Dentro de la zona del proyecto se identifica un solo afloramiento de basalto a cota aproximada 224 m con una altura de 5 a 6 m, aguas abajo del eje. En la base presenta estructura alveolar, con vesículas huecas, color morado y hacia arriba basaltos masivos gris oscuro, textura afanítica de grano fino y equigranular, poco alterado y con disyunción columnar. Este afloramiento parece corresponder a un relicto dejado por erosión de una colada de cota inferior o bien a una colada que rellenara un pequeño paleocauce correspondiente a la superficie original del derrame basáltico. La Perforación K 21 perforó todo el paquete de basalto y se detuvo al llegar a un manto de arenas y rodados.
- h. Los basaltos en margen derecha muestran un diaclasamiento de tipo vertical a subvertical marcado con dos familias: N160° y N20°. Se distingue además una tercera familia subhorizontal. En margen izquierda solo se distinguen 2 familias de fracturas subverticales con rumbo N-S y N70°. El afloramiento descrito en el ítem h tiene las mismas familias que el basalto de la meseta superior de la margen izquierda, por lo que se podría descartar la posibilidad de que se considere como una masa deslizada. La perforación K 21 muestra que el basalto está muy fisurado y que el valor de RDQ promedio ronda el 50% con mínimos de 30% y máximos de 90%.
- i. El basalto apoya sobre depósitos cuaternarios, de hasta 80 cm de espesor reconocido, integrados en algunos casos por niveles conglomerádicos gruesos de rodados poligenicos de hasta 15 cm de diámetro. Este contacto se puede visualizar en una serie de afloramientos tanto en margen derecha como en la izquierda. El material subyacente correspondería a una morrena de fondo.
- j. Los depósitos cuaternarios incluyen los depósitos aterrizados fluvio-glaciales, detritos de falda y los depósitos aluviales antiguos.
- k. Las terrazas fluvio-glaciales se desarrollan en ambos márgenes en dos niveles: la inferior que corresponde al valle actual del río y la intermedia que se desarrolla a cota 240/250 m en ambos márgenes.
- l. La terraza intermedia tiene su mayor expresión en la margen derecha (Figura 10.1). Consisten en depósitos remanentes de la morena lateral dejada por el glaciar y están formados por gravas y gravillas englobadas en una matriz arenosa y arena arcillosa, con grandes bloques inmersos. El espesor aproximado posiblemente supere varíe entre 75 y 40 m.
- m. Los primeros 30 a 35 m predominan los rodados polimicticos de variados tamaños, inmersos en una matriz arenosa. Hacia abajo la granulometría es más fina predominando suelos arenosos medios a gruesos, con lentes de arena fina.
- n. La permeabilidad entre los 31 m y 68 m de profundidad presenta valores medios de  $1 \times 10^{-5}$  a  $1 \times 10^{-4}$  cm/s, mínimos de  $9 \times 10^{-6}$  cm/s y máximos de  $2 \times 10^{-3}$  cm/s.
- o. Sobre la margen izquierda se ha reconocido un nivel aterrizado a la misma cota pero de menor extensión areal formado por clastos subredondeados de tamaños variables entre gravas y gravilla en matriz arenosa inconsolidada. El espesor sería de aproximadamente 32 m, siendo los primeros 24 m formado por bloques y fragmentos de basalto tamaño grava.
- p. Los detritos de faldeo corresponden a los mantos de cobertura de los taludes de ambos márgenes. Los depósitos de talus pueden formar cuerpos de hasta 28 m de espesor aparente (sondeo K 18 y K 20).
- q. Un rasgo destacable son los derrumbes basálticos que son acumulaciones producto de la escisión de las coladas ubicadas en cotas superiores. Se los observa más claramente en la margen izquierda y forman cuerpos alargados en dirección oeste-este. No presentan ningún elemento estructural cotejable pues las masas basálticas una vez escindidas se resquebrajan durante su deslizamiento. Se destacan cuerpos con estructura columnar que invierten su eje por efectos del deslizamiento y el vuelco.
- r. El origen de estos deslizamientos estaría relacionado al balance del agua meteorica. El fracturamiento del basalto habría facilitado el ingreso de agua hasta los niveles de base de los derrames e inclusive hasta la base de la secuencia afectando las rocas de la Fm. Santa Cruz. De hecho la presencia de manantiales en las laderas están asociados al contacto basalto-Fm. Santa


	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 242 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

Cruz. El agua irían deteriorando las limolitas y arcilitas plásticas y colaborando en la formación de superficies de potencial deslizamiento. Adicionalmente el deterioro del sustrato del basalto lo habrían descalzado y favorecido el desprendimiento de bloques.

- s. Los deslizamientos, por su importancia en la implantación de las obras, asumen importancia porque no solo han afectado al basalto sino también a las rocas de la Fm. Santa Cruz.
- t. A partir de la información del sondeo K 20, ubicado en el actual canal de aducción, la roca competente se presentaría a partir de la cota 160 m hacia abajo lo cual ubica los niveles de fundación en macizo no afectados por los deslizamientos. Se infiere que el nivel de deslizamiento estaría comprendido entre las cotas 171 m y 165 m.
- u. Los depósitos aluvionales recientes están constituidos por roddos polimicticos de tamaño grav a gravilla, redondeados, a veces aplanados y/o elongados, englobados en una matriz a rena media a gruesa y niveles erráticos de arena fina. Los espesores varían conforme la posición en el valle, registrándose mínimos de 6 m en el sondeos K 15 en la MI, hasta 43,4 m en el centro del valle (sondeo K 03).
- v. Las permeabilidades de estos aluviones varían entre  $1 \times 10^{-2}$  cm/s hasta  $1 \times 10^{-5}$  cm/s y depende del tipo de depósito ensayado, pero en general es elevada.
- w. Desde el punto de vista estructural, la zona se caracteriza por una tranquilidad tectónica manifiesta. La estratificación de la Fm. Santa Cruz es del orden de 2° a 3° hacia el SW. En testigos de roca sana no se observa la presencia de fracturas.
- x. Respecto de los ensayos mecánicos, las sedimentitas en la zona del valle acusan resistencia a la compresión uniaxial y a la tracción, bajas. La RCU varía entre 43 y 91 kg/cm<sup>2</sup> para las limolitas y entre 15 y 67 kg/cm<sup>2</sup> para las areniscas. En la margen izquierda los valores de RCU son similares.
- y. Los estudios geofísicos mostraron en la margen derecha, que los depósitos granulares presentaron dos grupos uno de velocidad entre 500 y 800 m/s y otro más denso entre 1100 y 1400 m/s. el sustrato rocoso presenta valores entre 2100 y 2900 m/s. No se detectaron paleocauces en MD y el techo de roca se encontró a profundidades compatibles con las perforaciones. En la margen izquierda se midieron velocidades entre 700 y 1000 m/s para el aluvión y 2100 a 2500 m/s para la roca.
- z. De las observaciones geológicas efectuadas surge que el emplazamiento previsto en el km 250 no ha sido aun dilucidado en forma integral. Los principales puntos de duda que resultaron del estudio de AyEE fueron:
  - En margen derecha se desconoce la profundidad y características del techo de roca
  - En margen izquierda la investigación en forma detallada de las características mecánicas de los horizontes más débiles para su aplicación en el diseño de las fundaciones.
  - Investigaciones adicionales en los materiales del terciario afectados por los deslizamientos
  - Una preocupación del estudio surge por la susceptibilidad al deslizamiento de los detritos de faldeo y en la zona del embalse.
  - Se sugirió la ejecución de 2 sondeos adicionales en la terraza de margen derecha y una perforación en el techo de la colada de basalto para conocer las características del basalto y del material diagenizado subyacente. Además, la excavación en MI de un pozo exploratorio desde la terraza de cota 250 m conectada con una galería horizontal desde el pie de la ladera.

El informe de AyEE concluye que si bien el sitio del Km 250 reúne condiciones potenciales para la concepción de la obra, la confirmación de la factibilidad técnico económica de las obras quedaba supedita a los resultados de una investigación complementaria de fundaciones de mayor envergadura, en el cual a las observaciones actuales se suma la observación directa continua mediante pozos y galerías.


El foco principal de esta fase del estudio fueron los procesos de remoción en masa en la margen izquierda y su potencial reactivación con las nuevas condiciones impuestas por el embalse.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 243 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

## 10.2. Modelo Geológico y Geotécnico propuesto por el consorcio ESIN IATASA – CAMPAÑA 2006

El informe geológico-geotécnico elaborado por el Consorcio ESIN IATASA al final de la campaña del año 2006, presenta las siguientes conclusiones (Figura 10.2):

- a. La constitución geológica se halla integrada por un sustrato de rocas sedimentarias estratificadas correspondiente a la **Fm. Monte León** de edad Mioceno inferior y está formada por tobas, pelitas tobáceas, areniscas tobáceas e intercalaciones de areniscas con espesores de varios metros en las partes más altas de los perfiles relevados. La unidad yace bien estratificada, en bancos de varios decímetros hasta 2 o 3 m de potencia. Los contactos entre las distintas litologías son predominantemente transicionales. La secuencia tiene una suave inclinación regional hacia el SE. En el sector de cierre se presentan pliegues suaves que modifican localmente la posición general y, con cierta frecuencia, se presentan fallas menores de labios estriados, cerradas. Aflora escasamente en el sector de cierre y se halla en general cubierta por depósitos sedimentarios más modernos y coladas basálticas.
- b. En la parte superior del estribo de la margen izquierda se identifica una falla interceptada a cota aproximada 180 m, con un espesor vertical de 15 m que inclina hacia el NE.
- c. La roca demuestra tener en general una calidad geotécnica buena a muy buena, en términos de las recuperaciones que varían entre 80% y 100% y los valores de RQD (>80%) La alteración de la roca es baja o nula con los sectores más alterados sobre el sector de estribo de la margen izquierda.
- d. La permeabilidad secundaria de la roca es muy baja o nula con excepción de sectores fracturados locales en la margen izquierda y algunos bancos de areniscas.
- e. La resistencia de las rocas a la compresión simple arrojan valores entre 50 kg/cm<sup>2</sup> y 100 kg/cm<sup>2</sup>.
- f. Los basaltos forman bancos de espesores aproximados de 25 m a 30 m que controlan perfiles escarpados, compuestos por varias coladas superpuestas. Actualmente se atribuye a estas coladas una edad Plioceno. Esta unidad no es afectada por las obras de la presa.
- g. La cubierta sedimentaria, de edad cuaternaria, constituye los depósitos más extensos en el sector de cierre. Dentro de la cubierta sedimentaria se diferencian unidades de génesis glaciaria (QC1 y QC2), génesis fluvial (QC4) y por remoción en masa (QC3).
- h. La unidad cuaternaria más antigua **QC1** corresponde a till compuesto por bloques, grava gruesa y baja proporción de limo-arcilla con la presencia de estratos de grava limpia poligénica y arena, espesos, que predominan en las porciones basales de la unidad. En la parte superior del depósito se destaca la presencia saltuaria de bloques de grandes dimensiones basálticos y de rocas riolíticas. Estos depósitos ocupan las terrazas de 240 m en ambas márgenes.
- i. La Unidad glacial **QC2** se ha reconocido únicamente con información proporcionada por las perforaciones. Estas se ubican en el flanco sur y porción central de un valle glaciario inserto como un paleocauce, en el valle glaciario vinculado al till QC1. Yace sobre la Fm. Monte León y es cubierto por aluvión fluvio-glaciario correspondiente a la unidad cuaternaria más moderna QC3.
  - a. El espesor de QC2 varía entre un máximo de 13,50 m hasta un mínimo de 2 m. En su composición predominan bloques del Terciario infrayacente, con variable grado de alteración, bloques de basalto y gravas cementadas.
  - b. Los depósitos fluviales del valle inferior se han identificado con la sigla **QC3** y corresponden con las terrazas de cota máxima 125 m. Sus espesores varían entre 10m y 42m. Esta constituida por grava arenosa y arena gravosa poligénicas predominantes, con participación de estratos de arena y de limo – arcilla en una menor proporción.
  - c. En ambas márgenes y al pie de las terrazas de cota 240-250 m, se desarrolla un depósito de sedimentos originados por remoción en masa **QC4**, el cual incorpora en su composición bloques basálticos, rodados de composición polimíctica y limo – arcilla en proporciones variadas. El espesor mayor de estos sedimentos que forman una cuña superficial adosada al talud es de 10 m y ha incorporado material de la Fm. Monte León y de QC1.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 244 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

- d. La unidad QC1 es un depósito de till remanente de la glaciación más antigua que ocupó el valle del Santa Cruz. La unidad QC2 de menor magnitud corresponde también a depósitos glaciares, till, de un episodio posterior que no avanzó más allá del cañón de Cóndor Cliff, y quedó oculto bajo depósitos más modernos. La unidad QC3 corresponde a aluviones fluvio glaciares, vinculados a episodios más modernos en la evolución cuaternaria fluvio-glaciaria.
- e. Es probable que los deslizamientos (QC4), se hayan desarrollado inmediatamente después de este retroceso mayor de los hielos en el sector de Cóndor Cliff, donde se instaló, finalmente, un régimen fluvial.
- f. La permeabilidad de las gravas limpias es del orden de  $10^{-1}$  cm/s, y aún mayores. Cuando participan arenas y gravas limosas alcanza valores de  $K \cong 10^{-3}$  cm/s. Los depósitos de till presentan permeabilidades más variables del orden de  $10^{-1}$  a  $10^{-2}$  cm/s.
- g. Con relación a los depósitos de remoción en masa (QC4) las permeabilidades varían entre  $K \cong 10^{-3}$  cm/s a  $10^{-6}$  cm/s.
- h. Para un cierre que alcance la cota 187,40 m, en el estribo izquierdo, hasta la cota 180 m, el acceso directo a la roca de fundación se presenta con espesores moderados o bajos de cubierta.
- i. En el estribo de margen derecha el espesor de la cubierta de hasta 30 m impide el acceso a una fundación directa en roca, alternativa muy difícil y costosa, por lo que deben analizarse otras alternativas.
- j. En términos de la estabilidad natural de los taludes en el sector de cierre, en el estado actual los mismos son estables. En la margen izquierda los fenómenos de remoción en masa están estabilizados.
- k. El análisis de los resultados obtenidos, permite expresar que el sitio estudiado para el cierre en Cóndor Cliff posee condiciones naturales aptas para la construcción de una presa del tipo de materiales sueltos con núcleo impermeable o bien con pantalla de hormigón sobre el talud de aguas arriba (tipo CFRD o CFGD) y las obras complementarias, cuyos diseños podrán definirse, a nivel de proyecto de licitación, sobre la base del conocimiento geológico y geotécnico alcanzado.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 245 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900

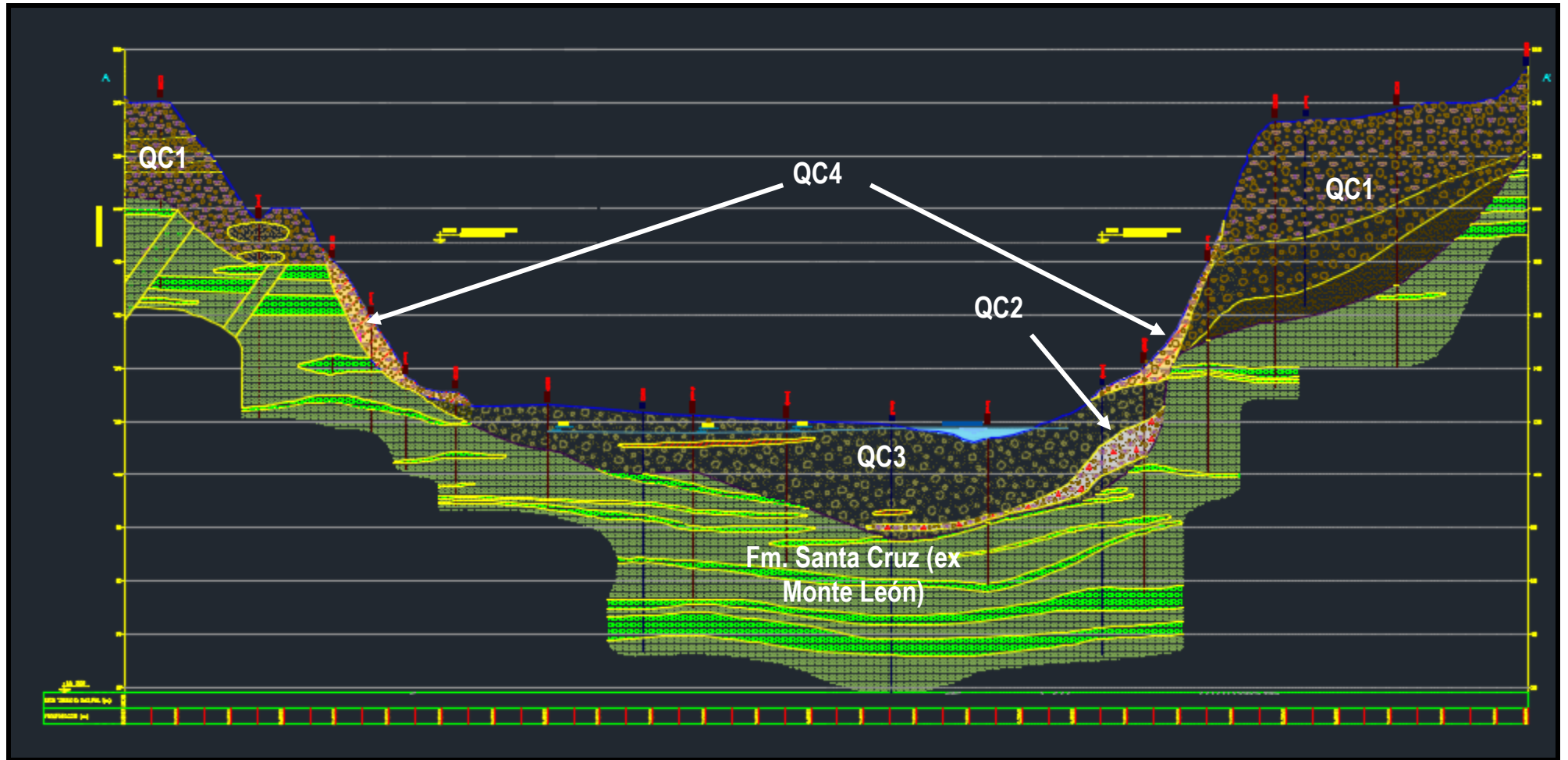



Figura 10.2: Perfil Geológico longitudinal en el eje de la presa resultante de los estudios del consorcio ESIN IATASA

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 246 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900

## 11. CONCEPTOS GENERALES DEL MODELO GEOLOGICO-GEOTECNICO PROPUESTO

En este capítulo se discutirán los criterios y observaciones que contribuyeron a la elaboración de un modelo geológico y geotécnico del proyecto.

Con el propósito de facilitar el análisis detallado del modelo, el mismo se presentara dividido en diferentes sectores de interés de la obra: desvío y cierre de margen derecha, presa, toma y central, vertedero y canal de aducción.

Inicialmente se presentaran los criterios utilizados para definir las superficies de contacto aluvión/till-roca alterada (CAR) y el contacto roca alterada-roca competente (CRC). Dichas superficies constituyen la base del modelo a partir de las cuales fueron delineados los niveles de fundación de las estructuras de hormigón, la inclinación de los taludes y el empotramiento del muro colado en roca y en el till de margen derecha.

### 11.1. Definición de las superficies de contacto Aluvión/till-roca alterada (CAR) y contacto roca alterada-roca competente (CRC)

Con el propósito de aclarar los criterios para definir las superficies CAR y CRC (techo de roca competente) para la fundación de las estructuras de excedencias (vertedero), de generación (Toma y Central) y de desvío, es necesario hacer, primeramente, algunos comentarios conceptuales para finalmente detallar en cada sondeo el resultado de la aplicación de estos criterios.


#### • Contexto geológico

Las definiciones sobre la posición del techo de roca competente, están condicionadas al conocimiento profundo de los procesos geológicos que se sucedieron en la historia reciente del sector, entre los que se destacan:

- El sustrato rocoso, representado por las rocas sedimentarias terciarias de la Fm Santa Cruz, está formado por una secuencia alternada de estratos de arcilitas, limolitas, tobas y areniscas y sus términos intermedios, dispuestas en posición subhorizontal, de baja resistencia, muy baja permeabilidad primaria y secundaria y prácticamente sin discontinuidades. Estas rocas presentan colores grises y gris verdosos, con tonalidades claras a medias en su condición inalterada (**Figura 11.1**).



Figura 11.1: Disposición normal de los estratos de la Fm Santa Cruz

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 247 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

La posición subhorizontal primaria de los estratos es un dato significativo a la hora de identificar la posición del techo de roca competente, pues cualquier alteración de esa posición es indicativa de que los estratos sufrieron deformaciones sea por la acción de empuje del glaciar, sea por los deslizamientos o por los 2 eventos en conjunto.

- b. Son rocas de origen continental (esencialmente fluvial y lacustre), formadas en la época donde se dio inicio al levantamiento de la cordillera al oeste con intensa actividad volcánica y vientos de W a E. Por este motivo es fuerte la presencia de sedimentos tobáceos y de arcillas expansivas del tipo smectitas
- c. En el cuaternario se sucedieron una serie de eventos glaciarios e interglaciarios que erosionaron las rocas de la Fm Santa Cruz y dieron lugar a la formación del valle del Rio Santa Cruz, su profundización y ensanchamiento, además de la deposición de sedimentos granulares (gravas y arenas) expresadas en la forma de cordones morénicos y terrazas fluvio-glaciales.
- d. Intercalados a los procesos glaciarios, ocurrieron diversos derrames basálticos cuyos mantos afloran en ambas márgenes del río en el sitio del cierre.
- e. Los sucesivos ciclos de avance y retroceso glaciarios impusieron fuertes condiciones en el modelado del paisaje por lo que es común encontrar rasgos de procesos de remoción en masa (deslizamientos o asentamientos rotacionales, expansión lateral, caída de bloques, reptación, etc.) a lo largo de las laderas del valle del río Santa Cruz (Figura 11.2).



**Figura 11.2: Estratos inclinados por deslizamientos – Parte norte de la trinchera y PRK 05**

- f. Otro efecto importante de esta dinámica glaciaria fue la acción de abrasión y deformación del sustrato donde se movilizó y creció el glaciar. Este efecto generó depósitos complejos, denominados till, en la parte basal, lateral y/o frontal del glaciar. Estos depósitos están representados por fragmentos de las rocas de la Fm. Santa Cruz mezclados con depósitos de gravas, arenas y bloques de basalto, todo afectado por fallas de compresión y extensión, basculamiento de los estratos y pliegues (Figura 11.3 a Figura 11.6). La consecuencia fundamental de esta acción glaciaria es el debilitamiento geomecánico del macizo rocoso, es decir aumento del fracturamiento, alteración de la matriz rocosa (color pardo) y cambios en la consistencia de las rocas.





REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 248 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902



Figura 11.3: Depósito de till formado por fragmentos de roca de la Fm. Santa Cruz deformados (a) y sedimentos granulares (b).



Figura 11.4: Depósito de till formado por fragmentos de roca de la Fm Santa Cruz deformados (a), sedimentos granulares (b), rocas alteradas de la Fm Sta Cruz (c).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 249 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC


Doc. N°  
NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902



Figura 11.5: Depósito de till formado por fragmentos de roca de la Fm Santa Cruz deformados (a) y sedimentos granulares matriz soporte (b), afectados por una falla normal (c).



Figura 11.6: Depósito glacialacustre plegado debido al empuje del glacial.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 250 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

En el sitio del cierre y especialmente en la MI de la presa, se interpreta que la sucesión de estos eventos geológicos y geomorfológicos se pueden resumir de la siguiente forma: sobre el sustrato de rocas blandas terciarias de la Fm Santa Cruz y posterior a los derrames basálticos de Cóndor Cliff y C° Fortaleza, se desarrolló primero el evento glaciario denominado Ea La Frutuosa, que expuso el frente glaciario que se extendió al este del actual cierre, y posteriormente el evento C° Fortaleza. Estos eventos dieron origen a una serie de morrenas basales y de abrasión que mezclaron bloques de las rocas de la Fm. Santa Cruz con los depósitos granulares y bloques de basalto, dispuestos inmediatamente arriba del sustrato rocoso virgen de la Fm. Santa Cruz. Con la retirada del glaciar del evento C° Fortaleza (ultimo evento que afecto la zona del cierre), las laderas de la margen izquierda experimentaron procesos de remoción en masa representados básicamente por deslizamientos rotacionales y expansión lateral, que afectaron los depósitos morrenicos basales y de abrasión dejados por el glaciar y parte de la roca alterada y no el sustrato de rocas competentes de la Fm Santa Cruz. Se podrían diferenciar así al menos 4 tipos de materiales de arriba a abajo:

- a. Depósitos de till re TRABAJADOS por deslizamientos formados por fragmentos de tamaños métricos a decamétricos de rocas de la Fm. Santa Cruz deformados mezclados con depósitos granulares (gravas y arenas) clasto y matriz soporte y bloques de basalto individuales y grandes fragmentos desprendidos de las coladas adyacentes (Figura 9.23, Figura 11.1 y Figura 11.3).
- b. Rocas alteradas de la Fm. Santa Cruz que muestran colores pardo claro y baja consistencia y que fue afectado por la acción de los deslizamientos, moderado fracturamiento y basculamiento de los estratos por fallas normales.
- c. La parte inferior de las rocas alteradas que no fue afectada por los deslizamientos, muestra nulo o muy bajo grado de fracturamiento y conserva la posición subhorizontal propia de la Fm. Sta Cruz. Puede presentar una reducción de la recuperación total por pérdidas durante la perforación, mayor incidencia de fracturas inducidas por la perforación y localmente muy baja consistencia del material (comportamiento plástico en el reconocimiento táctil)
- d. Rocas competentes de la Fm. Santa Cruz, con colores gris claro a gris verdoso, nulo fracturamiento y estratos subhorizontales. Además presentan alta recuperación y menor incidencia de fracturas inducidas por la perforación.

Entre (1-2) y (3) se definió la superficie denominada contacto aluvi3n/till-Roca (CAR) y entre (3) y (4) la superficie de techo de roca competente (CRC).

Los materiales (1), (2) y (3) se consideran impropios para la fundaci3n de las estructuras de hormig3n.


#### • Aportes de la campaa de Investigaci3n

La campaa de investigaci3n tuvo como objetivos principales dilucidar sobre la extensi3n areal y profundidad de los deslizamientos y confirmar los niveles de fundaci3n para las estructuras de hormig3n. Como ya fue explicado en capítulos anteriores del informe la campaa se estructur3 con la ejecuci3n de sondeos exploratorios con recuperaci3n de testigos, la excavaci3n de una trinchera exploratoria cortando algunas de las supuestas cicatrices de deslizamientos y la excavaci3n de un pozo exploratorio en el mismo sitio donde la perforaci3n exploratoria PRK 07 bis mostraba el contacto entre el material afectado por el glaciar y los deslizamientos y la roca competente subyacente.

La observaci3n de los afloramientos expuestos por la trinchera y el pozo exploratorio y su comparaci3n con los testigos de las perforaciones PRK 05, PRK 05 bis y PRK 07 bis, permitieron la definici3n de los rasgos geol3gicos (litol3gicos, estructurales, alteraci3n, color, etc.) que presentan los macizos rocosos afectados por la acci3n glacial y los deslizamientos. Estos rasgos, fueron de gran valor para la identificaci3n, en los registros de los sondeos exploratorios realizados, no s3lo de los bloques deslizados sino tambi3n del contacto entre ellos y la roca competente de fundaci3n.

Los principales rasgos identificados para el estudio fueron:

- ✓ Presencia de fracturas verticales o inclinadas (Figura 11.7).

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 251 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902



**Figura 11.7: Fracturas inclinadas**

- ✓ Relleno de fracturas o diaclasas y cavidades con carbonatos (calcita).
- ✓ Colores pardos en la litología, asociando la pigmentación con signos de alteración (Figura 11.8). Los colores grises constituyen el color normal de la roca inalterada.



**Figura 11.8: Contraste de coloración entre roca alterada (color pardo) y roca competente inalterada (gris verdoso)**

- ✓ Estratos inclinados (Figura 11.9).



**Figura 11.9: Estratos inclinados oblicuos al eje del testigo**

- ✓ Baja competencia relativa de las rocas con relación al material inalterado.
- ✓ Mayor densidad de discontinuidades.

Con base en estos principios se procedió a reinterpretar todos los sondeos ejecutados incluyendo los de las campañas anteriores (AyEE y ESIN-IATASA) a fin de establecer primero la posición del contacto entre los depósitos de till superiores (Glaciaros y/o fluvio-glaciaros) y las rocas de la Fm. Santa Cruz (Contacto entre materiales (1-2) y (3)) y segundo, dentro de la Fm. Santa Cruz el contacto entre la roca alterada y la roca competente (Contacto entre materiales (3) y (4)). Esta última dio origen a la superficie de TECHO DE ROCA COMPETENTE (CRC).

Se constató que los deslizamientos se desarrollan en el interior de los depósitos superiores, sin afectar el macizo competente subyacente.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 252 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

En las

Figura 11.10 y Figura 11.11, se ilustra la disposición espacial de los 3 materiales descritos en las excavaciones de la trinchera de acceso a la galería exploratoria.

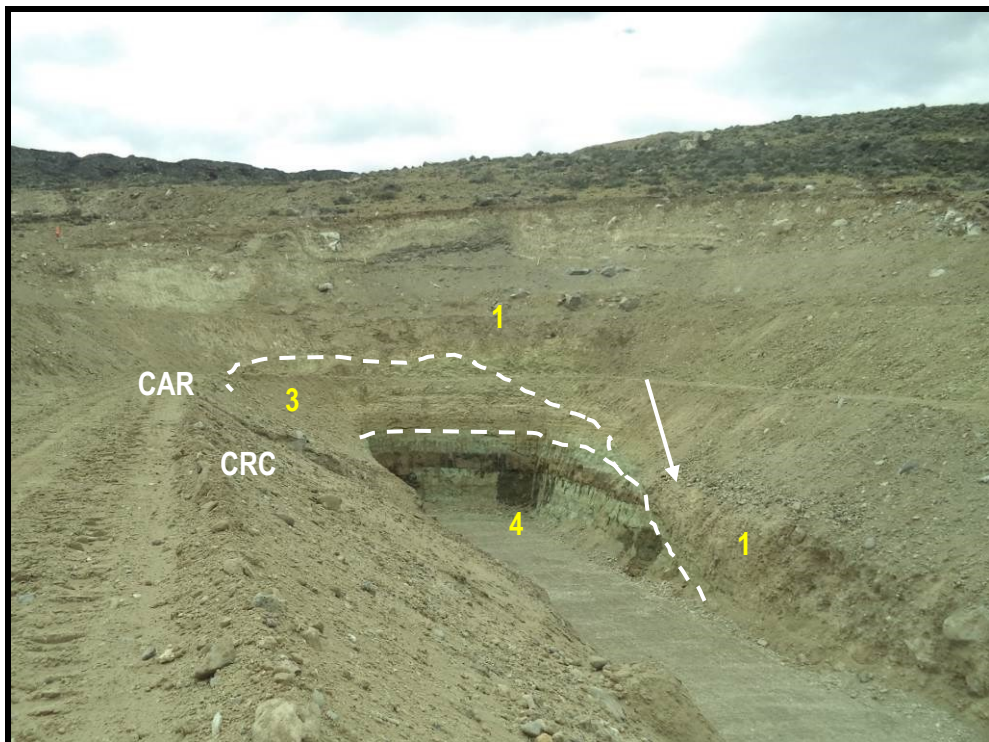
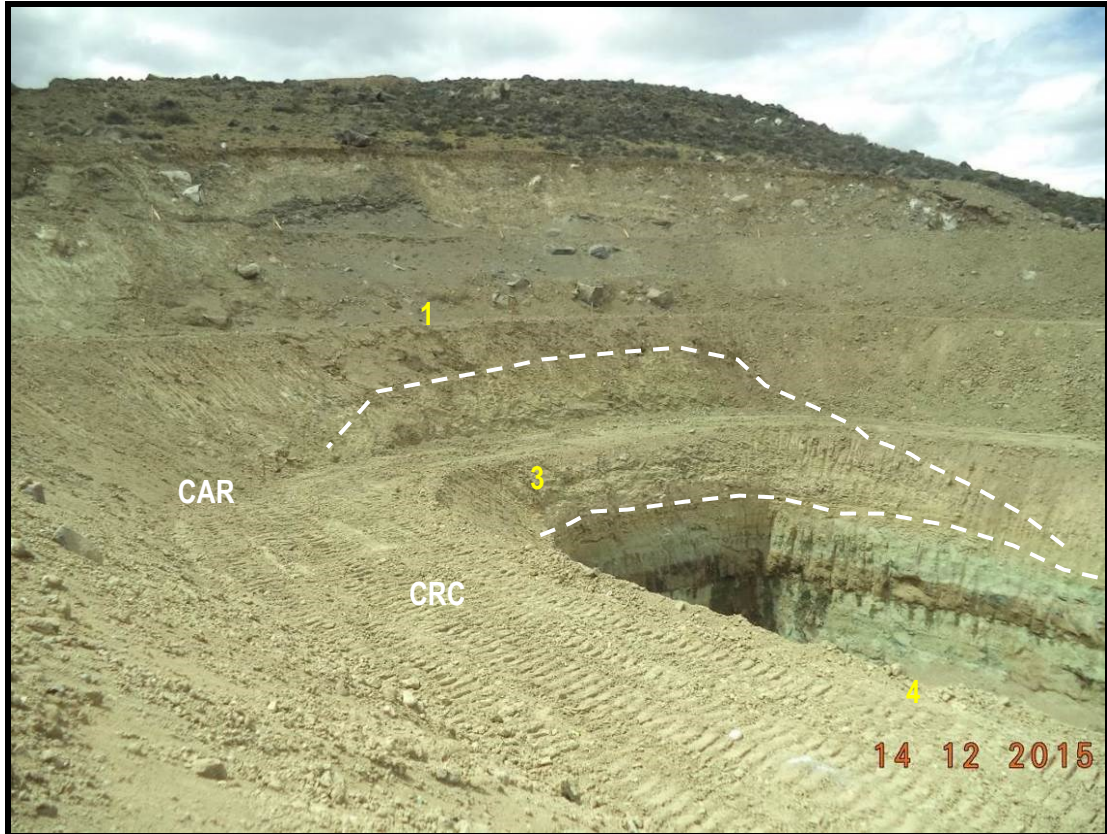


Figura 11.10: Depósito de till superior (1), roca alterada de la Fm Santa Cruz (3) y Roca competente (4). CAR = Contacto till-roca alterada y CRC = Techo de roca competente.


 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 253 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902



Figura 11.11: Depósito de till superior (1), roca alterada de la Fm. Santa Cruz (3) y Roca competente (4). CAR = Contacto till-roca alterada y CRC = Techo de roca competente.

- **Consideraciones sobre el uso de las clasificaciones geomecánicas**

Es habitual el uso de clasificaciones geomecánicas como *RQD* (*Rock Quality Designation*), *RMR* (*Rock Mass Rating*), *DMR* (*Dam Mass Rating*) y *GSI* (*Geological Strength Index*) para la definición de los niveles de fundación para presas de hormigón en rocas ígneas y metamórficas de alta resistencia.

Sin embargo para este tipo de rocas de baja resistencia, como los de la Fm. Santa Cruz en el sitio de la presa NK, no son aplicables las clasificaciones geomecánicas tradicionales como el *RQD* de *Deere*, el *RMR* de *Bieniawski/CSIR* y el *índice Q* de *Barton/NGI* y *GSI* de *Hoek*. Todas ellas están basadas fundamentalmente en el grado de fracturamiento del macizo y en las características de las discontinuidades. En menor medida son considerados la Resistencia a la compresión simple de la matriz, presencia de agua y estado de tensiones. Además estos sistemas fueron desarrollados y aplicados en macizos rocosos de rocas duras y no para rocas blandas. En este sentido, cuando la Resistencia de las rocas es baja y cuando la roca no presenta fracturamiento o él es muy bajo, estos sistemas son a priori inaplicables y por tanto inadecuados para obtener parámetros geomecánicos confiables para el diseño. Esto está en sintonía con las directrices de la Comisión de Rocas blandas de la *ISRM* en el sentido de concebir alguna clasificación aplicable a los problemas geotécnicos de estos macizos.

Para el caso puntual de las represas del río Santa Cruz fue necesario desarrollar un conjunto de reglas empíricas que permitiesen clasificar las rocas de la Fm. Santa Cruz y que fuesen aplicables a los problemas de ingeniería que debemos resolver, por ejemplo, fundación de las estructuras de hormigón, taludes de excavación y muro colado. Estas reglas fueron enunciadas en los ítems anteriores.

- **Delimitación de las superficies CAR (Contacto till/aluvión-roca) y CRC (Techo de roca competente)**

En la Tabla 11.1 se presentan los resultados de la aplicación de los criterios de identificación del contacto till/aluvión-roca alterada (CAR) y del contacto roca alterada-roca competente que permitió definir la superficie de techo de roca competente (CRC).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 254 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902


Tabla 11.1: Cotas de los contactos CAR y CRC en todos los sondeos ejecutados en el sitio de la Presa N. Kirchner

Sondeos Campaña 1970-1980					
Sondeo	Coordenadas			CAR	CRC
	y	x	z		
K 01	19789	50570	170,8	164,9	151,4
K 02	19419	50169	123,6	100	96,5
K 03	19313	49709	118,7	75,3	73,4
K 04	19222	49319	132,2	93,9	89,5
K 05	19108	48827	235,2	-	-
K 10	18923	48748	240,5	-	-
K 15	20115	50184	120,7	115	113,9
K 18	20240	50512	186,0	157,8	157,0
K 19	20344	50842	229,8	197,8	188,7
K 20	19681	50796	199,2	171,2	158
K 21	19648	51291	314,0	-	-
K 23	19349	48795	230,7	154,1	153,9
K 25	19045	48531	252,0	225,5	221,5
Sondeos Campaña 2006-2007					
Sondeo	Coordenadas			CAR	CRC
	y	x	z		
CC 1	19138	49610	112,2	78,2	76,7
CC 2	19137	49605	112,0	-	-
CC 3	19268	49532	113,4	81,7	79,7
CC 4	19462	49606	118,3	-	-
CI 01	19463	49609	118,2	79,2	77,3
CI 02	19353	50369	126,2	107,9	103,8
CI 03	19521	50606	136,5	132,6	122,8
CI 04	19499	50513	131,0	121,8	116,1
CI 05	19553	50665	158,0	144,1	136,1
CI 06	19635	50679	171,5	167,0	155,6
CI 07	19459	50702	156,6	137,0	132,5
CI 08	19552	50742	180,0	170,0	157,0
CI 09	19625	51058	240,9	203,9	177,0
CI 10	19609	50758	185,2	171,9	157,6
CI 11	19574	50879	195,0	180,0	161,0
CI 12	19784	50774	193,3	175,7	156,0
CI 13	19354	49893	121,2	90,3	86,5
CI 14	19166	49744	120,0	80,0	71,8
CI 15	19251	50105	121,7	100,0	98,0
CI 18	19698	50406	127,1	118,1	111,8
CI 19	19888	50197	124,5	110,3	101,0
CI 20	19943	50497	173,4	162,4	152,6
CI 21	20021	50776	214,9	205,6	<170
CI 22	20056	50321	137,1	126,1	119,8
CI 23	19510	50331	126,0	109,2	103,4
CI 27	20464	50626	199,8	177,2	157,0
CI 30	20357	50252	140,3	131,3	125,7
CI 31	20252	49861	124,9	92,4	91,4
CI 32	19401	50076	122,1	101	98,9
CI 33	20256	49861	125,0	-	-
CD 01	19153	49019	233,1	157,7	147,5
CD 02	19170	49127	179,7	-	-
CD 03	19170	49131	179,4	150,4	136,2
CD 04	19201	49244	140,7	106,55	104,9
CD 05	19432	49159	143,6	117,1	112,4
CD B	19062	49280	142,3	96,8	95,3
CD D	19097	48789	237,6	186,5	171,5

Sondeos Campaña 2015					
Sondeos	Coordenadas			CAR	CRC
	y	x	z		
PRK 01	19277	49185	145,8	125	124,2
PRK 02	19070	49208	160,6	109,91	109,7
PRK 03	19746	50559	158,6	158	151
PRK 03 bis	19748	50557	158,7	-	-
PRK 04	19866	50452	152,3	143,9	138
PRK 05	19928	50782	198,5	168,5	163,5
PRK 05 bis	19967	50697	194,7	171,2	154,7
PRK 06	20250	50351	160,2	158	156
PRK 07	20070	50627	208,3	155	152
PRK 07 bis	19898	50652	186,2	165	153
PRK 08	19794	50876	220,3	171,0	159
PRK 09	19940	50876	228,6	168,7	153
PRK 10	19615	50589	146,5	141	139
PRK 11	19472	50374	126,6	109,2	109,2
PRK 12	19444	50260	124,9	105,4	105,1
PRK 13	19378	49979	121,2	93,4	92,5
PRK 14	19335	49801	119,7	80,2	79,4
PRK 15	20129	50485	179,6	159,1	149,1
PRK 16	19250	49421	120,0	78,5	76,7
PRK 17	19364	49396	119,5	94,3	94
PRK 18	19530	50490	129,5	115,9	115,5
PRK 19	19292	49619	115,5	76,65	73,5
PRK 20	19953	50660	193,3	168,9	154
PRK 21	20005	50581	205,0	162,5	<152
PRK 22	19759	50663	177,6	166,1	152,9
PRK 23	19637	50846	204,5	171,6	160
PRK 24	19325	50929	188,1	154,1	149
SAK 01	19044	49102	214,7	153,7	<142,7
SAK 02	19110	49264	141,9	96,9	<96,6
SAK 04	19274	49091	179,8	148,8	144,8
SAK 05	19193	49178	155,3	124,6	<118,3
SAK 06	19163	49075	207,6	155,9	152,2
SAK 07	19270	48994	218,0	154,2	153
SAK 08	19109	49361	130,2	97,7	<93,1
SAK 09	19429	49308	127,7	98	
SAK 10	20142	50911	231,4	207,52	<197,3
SAK 11	19969	50957	228,2	204,4	<200,6
SAK 12	19859	50913	222,4	174,9	163,3
SAK 13	19829	51013	235,5	222,9	212,5
SAK 14	20141	50763	223,9	204,4	<190,4
SAK 15	19977	51015	236,2	222,1	210
SAK 18	19238	49226	141,2	116,9	113,7
SAK 19	19409	49188	140,4	113,4	112,4
SAK20	19250	48907	230,9	154	150
SAK21 BIS	19354	49012	202,2	144,7	<135,7

Los datos presentados en la Tabla 11 fueron consensuados con la Inspección de obra en reuniones mantenidas en abril de 2016. En el Anexo 16 se presentan los planos de las superficies CAR y CRC.



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 256 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

## 12. MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE LA MARGEN DERECHA

En este Capítulo se analizará el modelo geológico y geotécnico de la margen derecha sitio donde se implantará el desvío del río.

La planta de la estructura de desvío y descargador de fondo se muestra en la Figura 12.1.

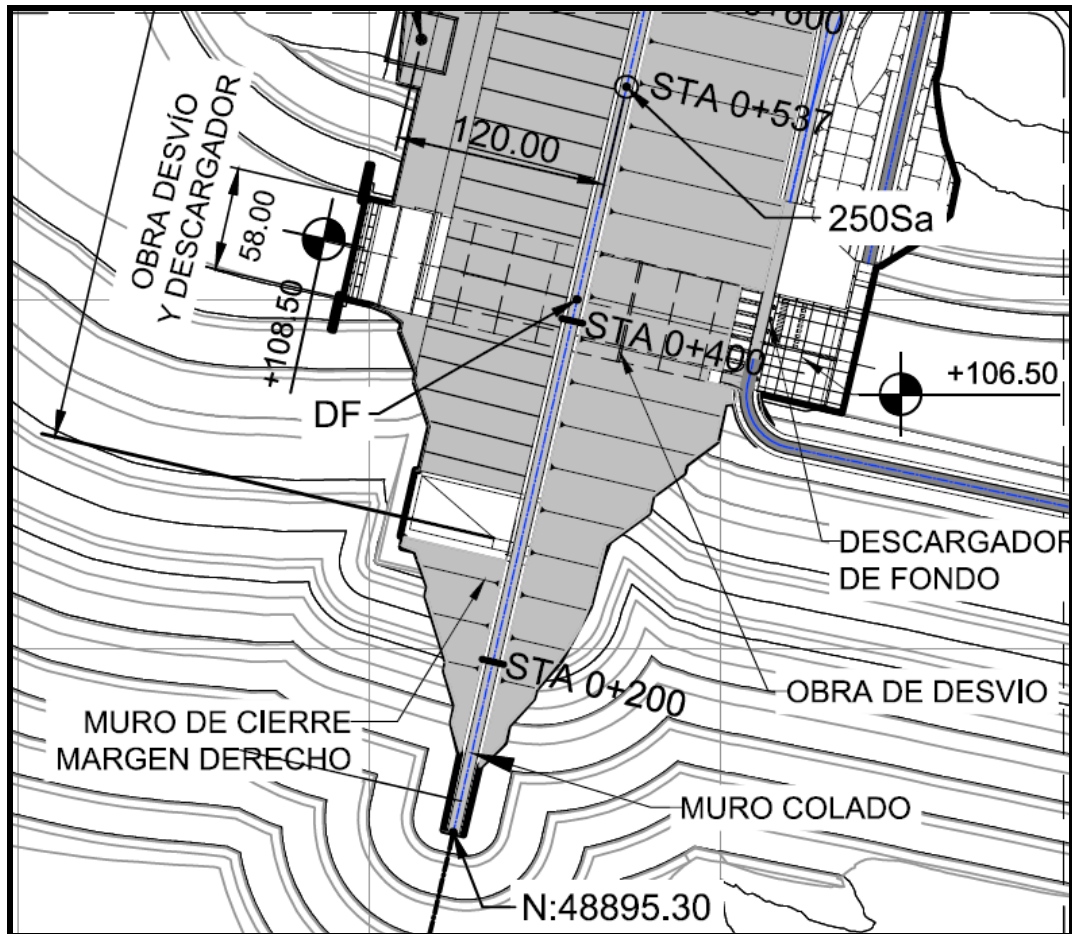


Figura 12.1: Ubicación de la estructura de desvío y descargador de fondo

La estructura central del desvío y descargador consta de 8 conductos y tiene una longitud de 192m y un ancho de 60m. Algunos de los conductos serán aprovechados posteriormente como descargador de fondo.

### 12.1. Investigaciones Realizadas

Las investigaciones en la margen derecha de la presa Néstor Kirchner comprendieron la ejecución de perforaciones y de secciones geofísicas (Figura 12.2)

Para el análisis geológico y geotécnico del sector se presentan tres perfiles de análisis: a) Perfil 1 en el eje del muro colado entre el sondeo PRK 16 y C DD, b) Perfil 2 en el eje de la presa entre los sondeos PRK 17 y SAK 20 y c) Perfil 3: en el eje del desvío entre sondeos CD 05 y PRK 02/CD B (Figura 12.2).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 257 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

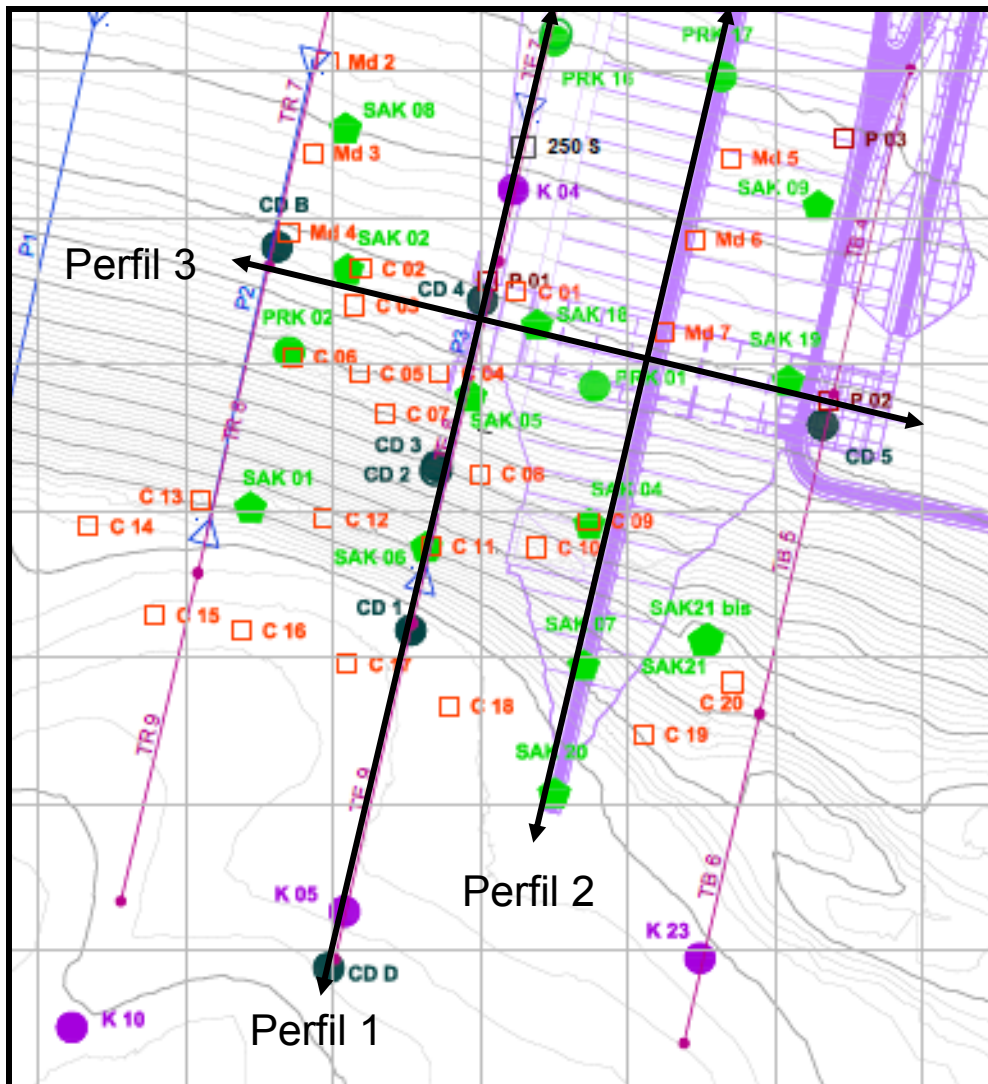


Figura 12.2: Presa Pte. Néstor Kirchner. Margen Derecha. Ubicación perforaciones

## 12.2. Marco Geológico

Según puede observarse en las Figura 12.3, Figura 12.4 y Figura 12.5 (Anexo 17) las principales formaciones geológicas son:

### 1) Cuaternario:

a) Terraza Glacifluvial (Figura 12.3 y Figura 12.5) formada por depósitos glaciales y glacifluviales del evento Co Fortaleza. Integrado por:

i) Depósito Till superior: se desarrolla entre el nivel superior de la terraza glacifluvial y cota del orden de +210 / +220 m en su base. Se trata de un conglomerado polimictico formado por bloques de hasta 0,5 m<sup>3</sup> inmersos en una matriz de grava y arenas. Se observa en los cortes realizados en las plataformas de las perforaciones SAK 04, SAK 06, SAK 01 y SAK 21.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 258 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900

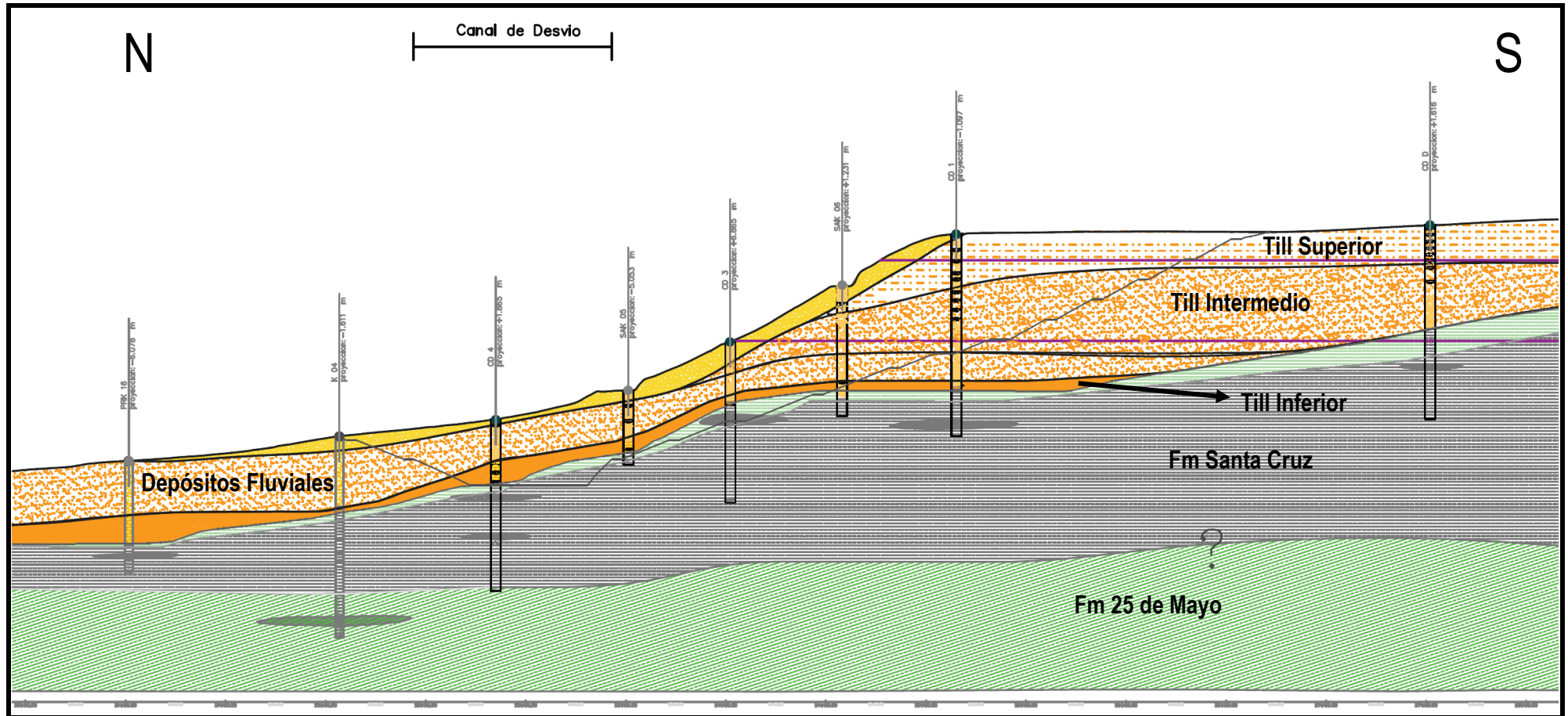


Figura 12.3: Perfil geológico longitudinal N-S en el eje del muro colado principal. Margen Derecha (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P900).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 259 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

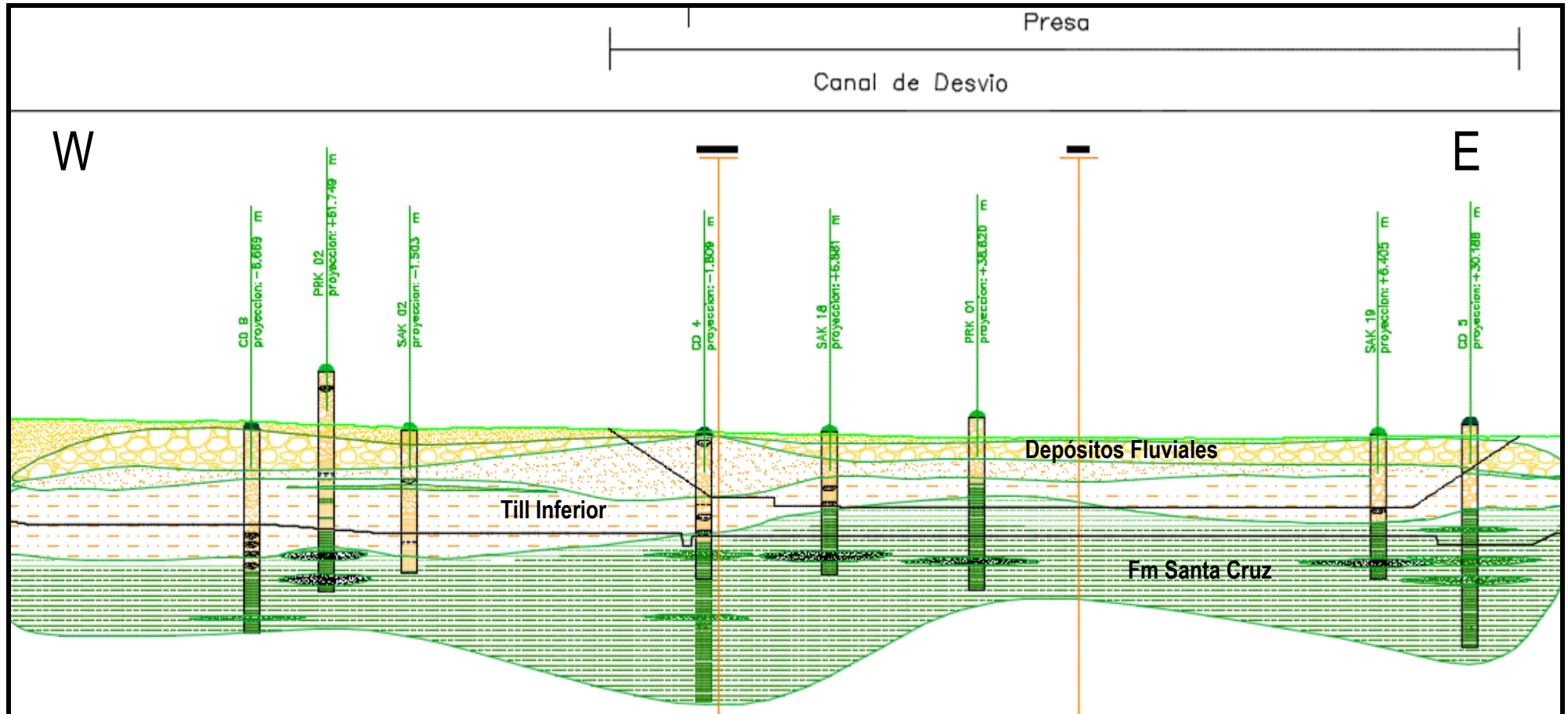


Figura 12.4: Perfil geológico longitudinal en el eje del desvío - Margen Derecha (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P905).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 260 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Doc. N°

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

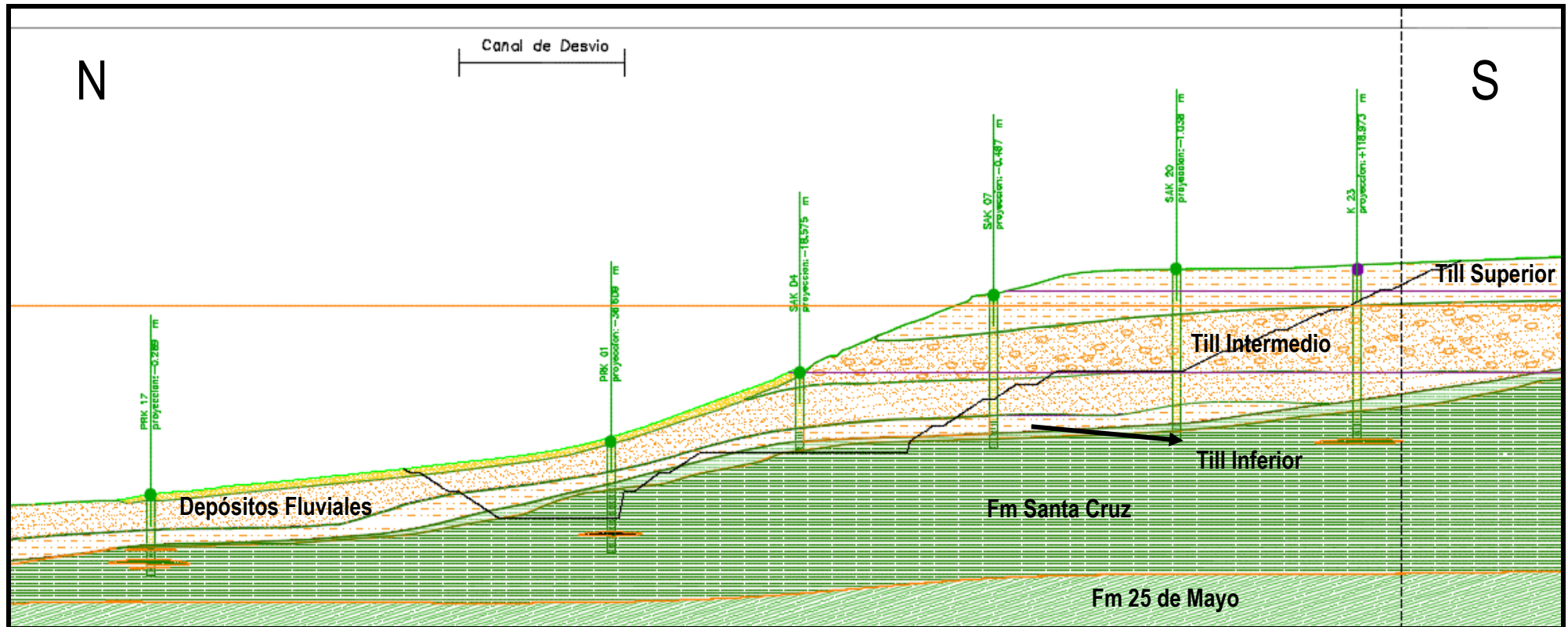
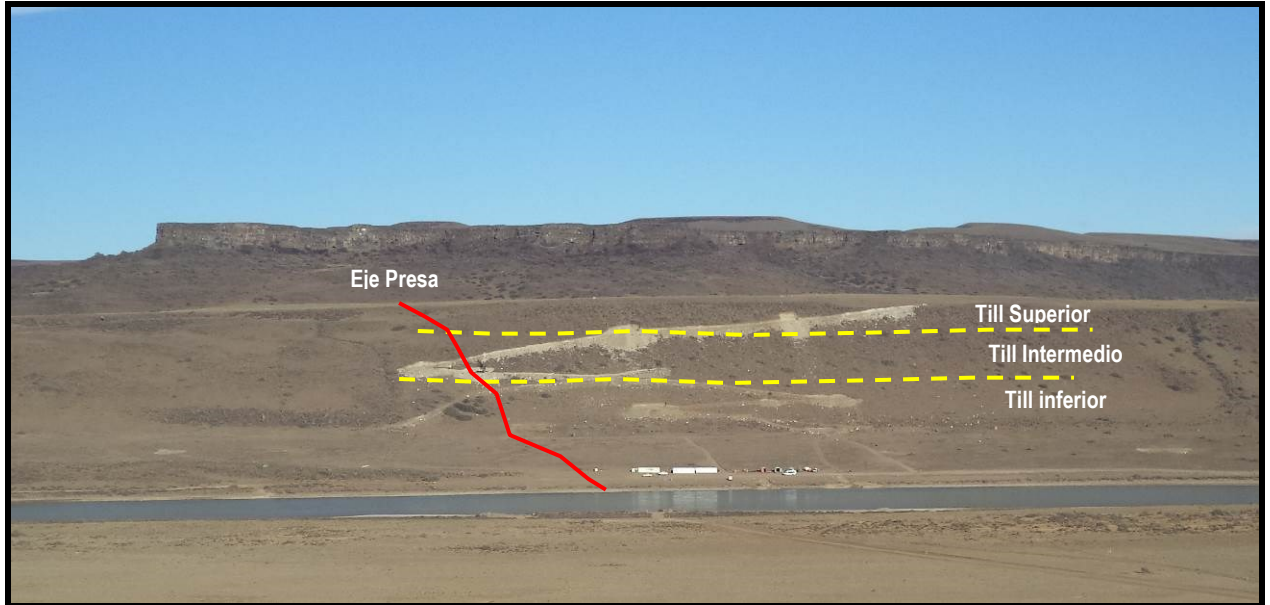


Figura 12.5: Perfil geológico longitudinal en el eje de la presa. Margen Derecha. (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P906 y P907)




**Figura 12.6: Vista de la terraza glacifluvial - Margen Derecha.**

- ii) Till intermedio: manto de materiales glacio-fluviales desarrollado entre cotas 210/220 m y 170/180 m en la base, formado por cantos rodados, gravas y arenas clasto soporte, polimicticos. (Figura 12.7).



**Figura 12.7: Detalle del material que forma el till intermedio - Margen Derecha.**

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 262 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

- iii) Till inferior: subyace al depósito glacio-fluvial, hasta el techo del macizo rocoso. Puede dividirse en 2 facies: una facies conglomeradica gruesa, soportadas en una matriz de arenas finas friable (Figura 12.8) y una facies inferior conglomeradica, con bloques de basalto de hasta 1,5m de tamaño soportados en una matriz arcillosa de color pardo claro, muy cohesivo que no aflora y solo pudo observarse en testigos de perforación (Figura 12.9).




**Figura 12.8: Detalle del material que forma el till inferior granular - Margen Derecha.**



**Figura 12.9: Till inferior cohesivo en el sondeo PRK 02 entre cotas 131,14 m y 110,84 m**

Los depósitos de till se interdigitan con los depósitos fluviales depositados por el río Fm. Santa Cruz durante la fase de modelado del valle. Los límites entre ambos grupos de depósitos son difusos.

Los sedimentos cuaternarios se apoyan en discordancia erosiva sobre las rocas de la Fm. Santa Cruz de edad terciaria (Figura 12.3 a Figura 12.5).

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 263 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

## 2) Terciario

- a) Las rocas de la Fm. Santa Cruz están integradas fundamentalmente por arcilitas y limolitas puras, a veces arenosas, de color gris claro a gris verdoso, con estructuras por lo general masivas y localmente brechosas y laminadas (varvitas).

Se observan también algunas lentes de areniscas pelíticas gris verdosa, masivas y areniscas negras friables con estratificación cruzada.

El macizo exhibe muy escaso fracturamiento y las rocas son competentes a excepción de algunos tramos en areniscas negras.

El macizo de la Fm. Santa Cruz presenta una capa superficial alterada con espesores que varían de 1 m a 5 m. Esta formada por roca descompuesta, predominantemente pelítica de color pardo claro a medio, muy baja competencia y consistencia plástica.

- b) Finalmente y subyaciendo a la Fm. Santa Cruz, se encuentra la Fm. 25 de Mayo, solamente detectada en algunas de las perforaciones profundas.

### 12.3. Parámetros Geotécnicos de los depósitos de Till

En el informe NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P001 (Anexo 18) se detalla la metodología empleada para definir los parámetros geotécnicos del till como depósito indiferenciado.

La estimación de estos parámetros se realizó a partir de la interpretación de los resultados de las secciones de velocidad de onda de corte por el método *MASW*. El ensayo *MASW* permite determinar la velocidad de ondas de corte  $V_s$  a partir del análisis espectral de ondas superficiales con el objeto de definir la compacidad de los materiales presentes.

En margen derecha de la presa, en ámbito de la terraza glacial de cota 230 m, se realizaron 26 ensayos (serie C1 a C19 y MD1a MD7) como se muestra en la Figura 12.10.

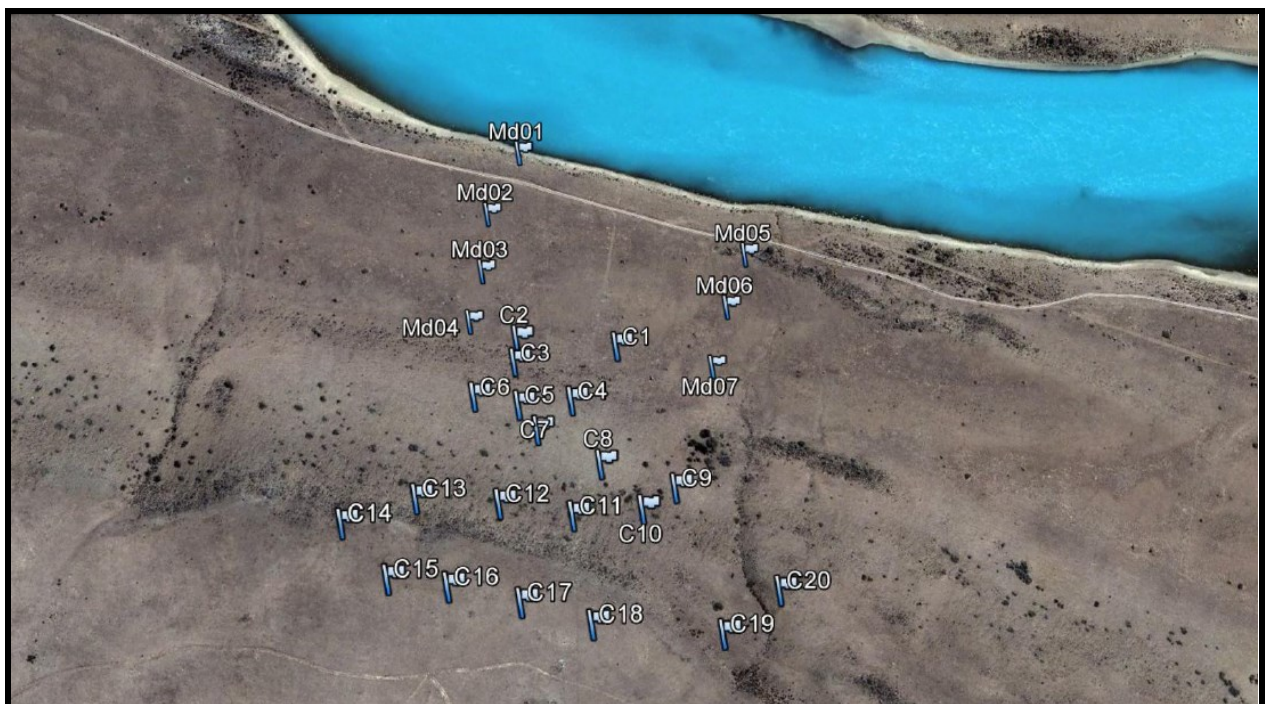


Figura 12.10: Ubicación de los ensayos *MASW* realizados en margen derecha

En el Anexo 05 está el informe original de los estudios realizado por la empresa ENDEIC S.A y en el Anexo 06 los resultados normalizados de la velocidad de onda de corte ( $V_{s1}$ )



Para poder evaluar las propiedades geotécnicas de los materiales, la  $V_s$  medida fue normalizada con relación a la profundidad, de manera de obtener  $V_{s1}$ . Esto se logra mediante la expresión:

$$V_{s1} = V_s \times C_v = V_s \times \left( \frac{Pa}{\sigma'_v} \right)^{0,25}$$

donde:

$C_v$ : es el factor para normalizar con relación a la presión de tapada.

$Pa$ : es la presión atmosférica de referencia.

$\sigma'_v$ : presión efectiva de la tapada

La velocidad de onda de corte normalizada,  $V_{s1}$  está relacionada con la densidad relativa de los suelos granulares como se observa en la Figura 12.11, que reúne información de varios ensayos ejecutados en distintos lugares del mundo. Este tipo de enfoque se emplea para estudiar el potencial de licuación, donde se divide los suelos que son contractivos ( $D_r < 70\%$ ), de los que son dilatantes ( $D_r > 70\%$ ). Se observa allí que cuando  $V_{s1} > 250$  m/s, la Densidad Relativa alcanza alrededor del 100%. Esta figura ha sido desarrollada en base a datos provenientes principalmente de arenas limpias. En el caso de gravas, las correlaciones son menos claras y son dependientes de las características del origen de las mismas. Esto ha sido observado en los ensayos realizados en Argentina, en distintos proyectos. (Bolognesi et al 1997).

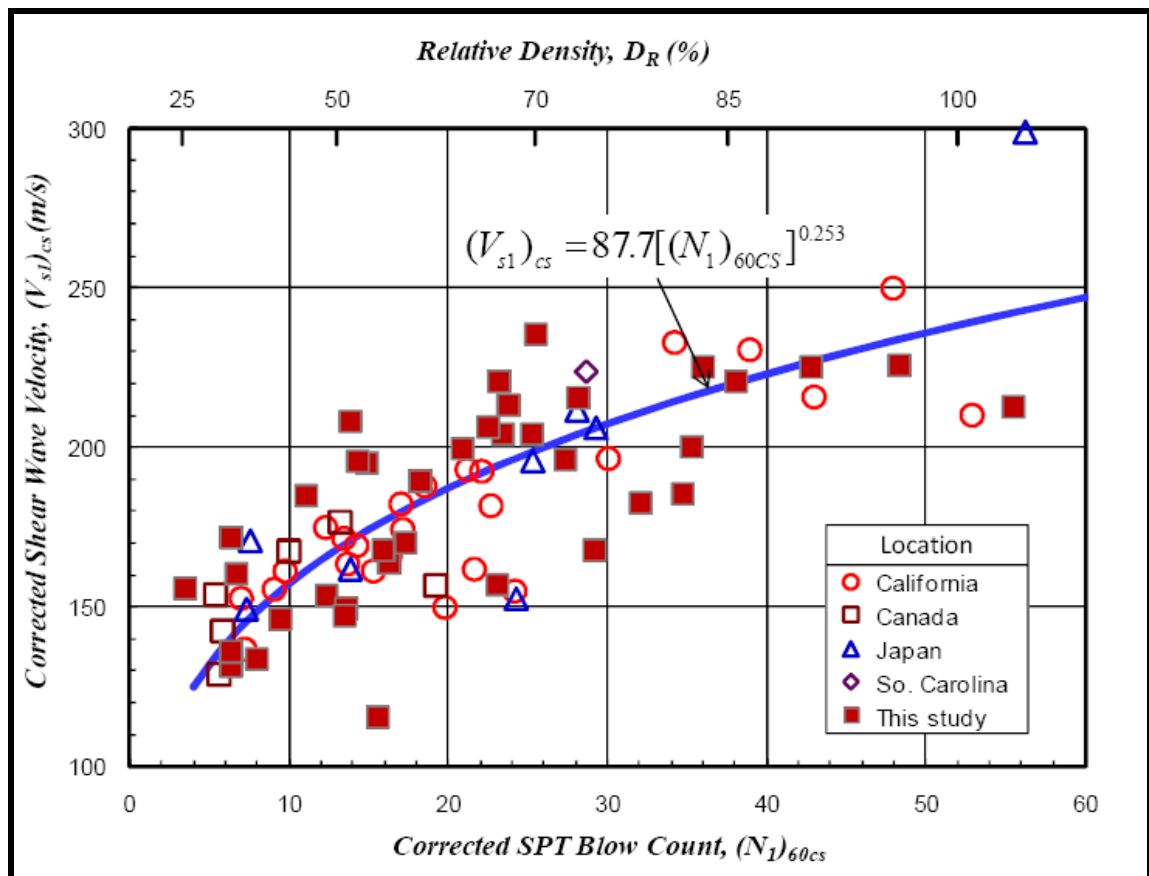


Figura 12.11: Correlación entre  $V_{s1}$ ,  $N_{1(60)}$  y Densidad Relativa (Andrus 2004, Yi 2010)



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 265 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

Para los suelos con comportamiento granular, en especial gravas y arenas, la resistencia al corte está determinada por la compacidad de los mismos, ya que se aumenta los puntos de contacto entre partículas y permite transmitir mejor las solicitaciones.

Esto ha llevado a la formulación de la carta de la Figura 12.12, donde se muestra la relación entre el ángulo de fricción interna efectivo de suelos granulares y la Densidad Relativa (Manual de diseño DM7.1 de la NAVFAC, 1986). En esta carta se puede observar que para cualquier grava, GP o GW, cuando se alcanza la  $D_r = 100\%$ , el ángulo de resistencia interna es superior a  $40^\circ$ .

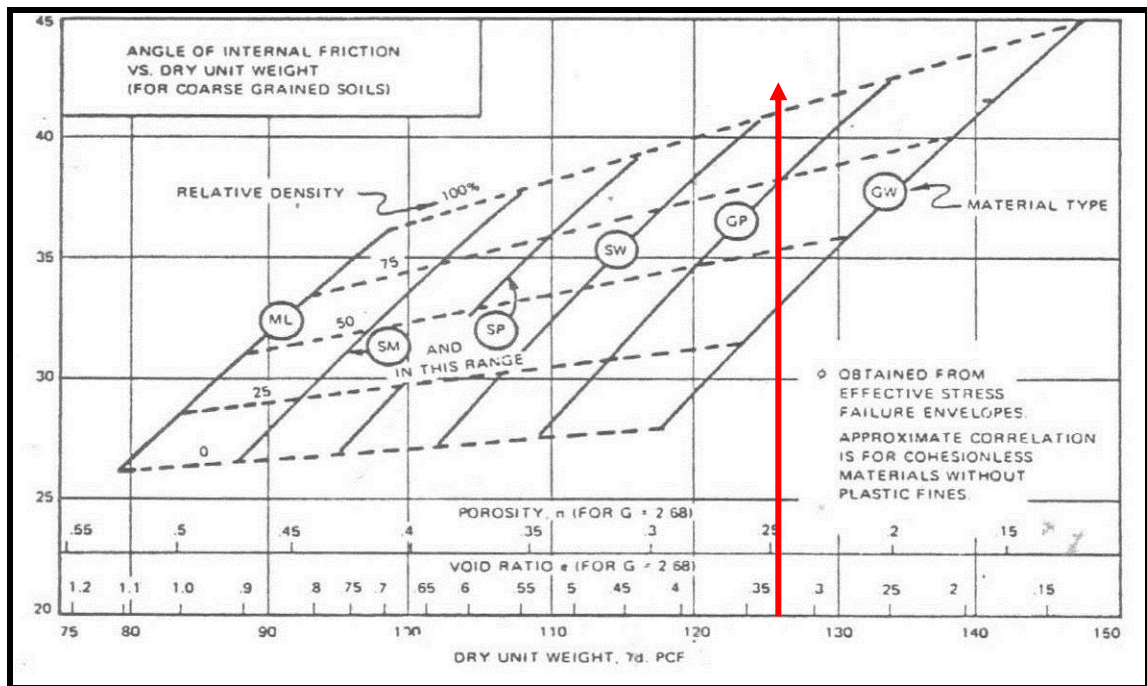


Figura 12.12: Correlación entre el ángulo de fricción en compresión triaxial y la densidad relativa, tamaño de grano y gradación (DM-7).  $1 \text{ PCF} = 16.01 \text{ kg/m}^3$ .

Los valores de  $V_s$  obtenidos fueron normalizados a  $V_{s1}$  empleando la expresión planteada previamente.

En la Figura 12.13 se han graficado los valores obtenidos en función de las cotas, individualizando los 3 niveles identificados de till. En general, se puede observar que no existen depósitos contractivos, es decir con  $V_{s1}$  inferiores a 200 m/s. Esto asegura una  $D_r > 70\%$ . Si se emplea la carta de la Figura 12.12, para el rango de  $D_r$  señalado, se puede deducir que el ángulo de fricción interna del till es al menos de  $40^\circ$ .

Si se quisiera inferir cual es la cohesión, se podría medir los cortes realizados para la ejecución del camino de acceso a las perforaciones. La presencia de cortes sub-verticales implica alguna forma de cohesión, que puede ser aparente, debido a la succión, o real, debido a cementación.

Para afinar la estimativa del ángulo de fricción de las gravas, se ejecutaron ensayos de densidad in situ en las plataformas de los sondeos detallados en la Tabla 12.1 la densidad relativa promedio de los depósitos es de  $2 \text{ g/cm}^3$  por lo que, según la Figura 12.12, para  $D_r$  entre 70 y 100%, el ángulo de fricción interna del till varía entre  $38^\circ$  y  $42^\circ$ .

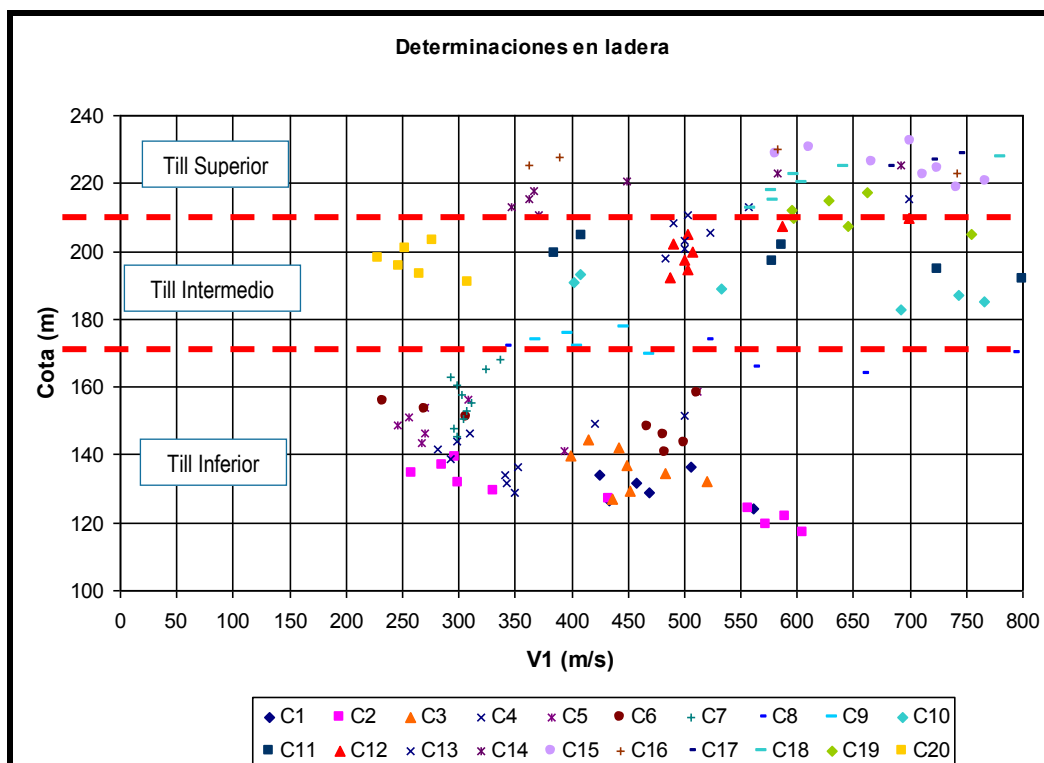



Figura 12.13: Determinación de  $V_s$  en la ladera de margen derecha, normalizada a  $V_{s1}$ .

Tabla 12.1: Densidades *in situ* sobre till

DENSIDADES TILL MD-NK		
Pozo	Peso Kg	Densidad tn/m <sup>3</sup>
SAK 2	44,485	2,124
SAK 2	76,565	
SAK 5	5,51	1,946
SAK 5	26,91	
SAK 5	29,44	
SAK 5	17,625	
PRK 02	22,63	1,967
PRK 02	17,185	
PRK 02	35,7	
PRK 02	14,46	
SAK 6	10,165	2,048
SAK 6	21,59	
SAK 6	26,985	
SAK 6	28,26	
SAK 1	9,755	2,134
SAK 1	24,39	
PRK04	9,755	2,002
PRK04	25,955	
PRK04	35,365	
	Promedio	<b>2,037</b>

Complementariamente, si se considera la relación entre la Densidad Relativa ( $D_r$ ) y el ángulo de fricción propuesta por Meyerhof (1956) y recomendada en la Circular Geotécnica 5 de la FHWA (2002) (Tabla 12.2) se observa que para la faja de  $D_r > 70$  estimada para el till de MD, el ángulo de fricción es mayor que  $40^\circ$ .

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 267 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

**Tabla 12.2: Relación entre la densidad realtiva, el número de golpes SPT y el angulo de fricción para materiales granulares (GEC 5, FHWA-IF-02-034, 2002)**

State of Packing	Relative Density (%)	Standard Penetration Resistance, N (blows/300 mm)	Friction angle, $\phi'$ (°)
Very loose	<20	<4	< 30
Loose	20-40	4-10	30-35
Compact	40-60	10-30	35-40
Dense	60-80	30-50	40-45
Very dense	>80	>50	>45

Note:  $N = 15 + (N' - 15) / 2$  for  $N' > 15$  in saturated very fine or silty sand, where  $N'$  = measured blow count and  $N$  = blow count corrected for dynamic pore pressure effects during the SPT.

A modo de conclusión se puede afirmar que:

- de acuerdo con los valores de Vs medidos en el till, de los sedimentos glaciáricos de margen derecha permite inferir que los mismos tienen grados de compactación muy elevados, lo que lleva a una Dr del orden de 100%, salvo en algunos casos aislados que puede tener un valor algo inferior, pero siempre mayor al 70%.
- Para los tipos de gravas presentes, se puede adoptar ángulos de fricción interna mínimos del orden de 40°. En la próxima excavación de investigación se apunta a evaluar con mayor detalle este parámetro en el till inferior y en los otros niveles intermedios, en función de que otros análisis y caracterizaciones están dando valores promedios, mayores a los adoptados en este análisis inicial.
- La presencia de cohesión se puede constatar por retroanálisis de cortes subverticales, aunque hay que contemplar la disminución de la misma, si cambia la succión al aumentar el contenido de humedad y eventualmente alcanzar la saturación. Por esa razón, y debido a la variabilidad areal, no es conveniente a largo plazo, considerar un aporte de la cohesión más allá de valores mínimos. De todos modos en profundidad, la posible cohesión podrá mantenerse estable, por lo que también será un posible adicional de resistencia a tener en cuenta.

En resumen las propiedades geomecánicas del till de margen derecha (superior + intermedio + inferior con matriz arenosa) adoptadas para este análisis inicial, son los siguientes (Tabla 12.3):

**Tabla 12.3: Resumen de los parámetros del Till**


Parámetro	Densidad (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesión (MPa)	Angulo de Fricción
Till Indiferenciado	20.3	0	40°

## 12.4. Estabilidad de las excavaciones en till

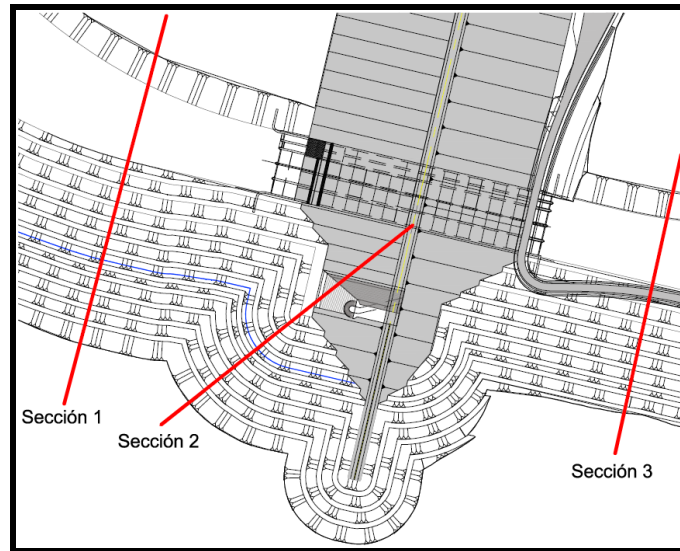
Los parámetros del till son importantes para el diseño de los taludes de excavación definitivos previstos para la implantación del desvío (Figura 12.1). Los taludes de excavación finales tienen una altura total de aproximadamente 120m de altura siendo en gran parte excavados en el till. Cabe aclarar que dentro de los taludes definitivos se distinguen aquellos de aguas arriba de la presa que son inlfuidos por el embalse y sus oscilaciones y los taludes de aguas abajo de la presa, que se mantienen en condición seca o subsaturada.

En el documento NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P002 (Anexo 19) se detalla el análisis de estabilidad para los taludes permanentes en sus diferentes niveles de sollicitación. Los criterios fueron los siguientes:

- Para los parámetros del till se adoptaron los presentados en la Tabla 12.3.
- La roca alterada y la roca sana que se muestra en las secciones de excavación analizadas, no afectan los resultados de los análisis de taludes puesto que sus propiedades mecánicas son mejores que las asignadas al Till, razón por la cual las superficies potenciales de deslizamiento no penetran en los estratos rocosos.


 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 268 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

- c. En los taludes definitivos de aguas abajo se considero sin nivel featico. Ya los taludes de aguas arriba se considera el nivel del embalse o nivel de agua en el canal de desvío.
- d. La estabilidad se verifico sólo para el sismo máximo de diseño (MDE) con  $PGA = 0,39 g$  y coeficiente pseudoestatico  $K_h = 0,5$ .
- e. Se analizaron 3 secciones típicas:



- f. Los taludes analizados son:
- Sección 1: Taludes entre bermas de 2,5 H:1,0 V entre bermas de 5 o 10 m; en general la altura entre bermas es inferior a 10 m pero hay dos sectores con alturas máximas de 13,3 m . Por encima del nivel del embalse la pendiente de los taludes entre bermas es de 1,75 H:1,0 V, la altura entre bermas también es de 10 m. Se han planteado dos bermas de 10 m ancho, localizadas en las cotas 140 y 180 msnm, que están concebidas como vías industriales para los accesos para la excavación del estribo derecho.
  - Sección 2: Taludes entre bermas de 1,75 H:1,0 V.
  - Sección 3: Taludes entre bermas es de 1,75 H:1,0 V. Igualmente se dejaron tres bermas de 10 m de ancho para circulación durante las excavaciones del estribo derecho.
- g. Para la Sección 1 se analizaron las siguientes condiciones:
- Condición normal de operación: nivel 176,5 msnm
  - Condición máxima normal durante el desvío: nivel 119 msnm para un caudal de 1.400 m<sup>3</sup>/s
- h. La Sección 2 se analizó bajo la siguiente condición:
- Condición normal de operación: nivel 176,5 msnm
- i. La Sección 3 se analizó en estado seco.
- j. Los criterios de aceptación propuestos en los criterios de diseño para suelos friccionantes y no cohesivos son los siguientes:
- Análisis Estático:  $F_s \geq 1,5$
  - Análisis pseudoestático:  $F_s \geq 1,0$

Los resultados de los análisis en términos de  $F_s$  fueron los siguientes:

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 269 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

	Sección 1			
	Condición normal de operación (cota 176,5m)		Condición Max. normal durante desvío (cota 119m)	
	Global	Local		Global
Analisis			Till Inf. Bajo embalse	
Estatico	1,96	2,15	1,55	2,05
Seudoestatico	1,23	0,96	1,04	1,03

	Sección 2	
	Condición normal de operación (cota 176,5m)	
	Global	Local
Analisis		
Estatico	1,94	2,19
Seudoestatico	1,25	0,95

	Sección 3	
	Global	Local
	Analisis	
Estatico	2,02	1,55
Seudoestatico	1,3	1,02

A partir de los resultados presentados anteriormente puede concluirse que los taludes definitivos para el canal y estructura de desvío sobre margen derecha de la presa, adoptados para las excavaciones, bajo las hipótesis presentadas en este documento, resultan adecuados y satisfacen los requerimientos de seguridad a largo plazo.

Se observa que en general los  $F_s$  resultantes de los análisis superan los límites fijados en el ítem j con excepción de los análisis pseudoestáticos en la sección 1 y 2 en los taludes inferiores de la excavación de cuyos materiales y sus propiedades aun se mantienen algunas incertidumbres. Para resolver esas dudas se ha propuesto una excavación exploratoria para alumbrar los depósitos del till inferior y realizar en él ensayos de densidad in situ y mediciones de  $V_s$  por el método MASW. Eso permitirá estimar con mayor exactitud las propiedades geotécnicas y verificar en consecuencia sus condiciones de estabilidad.

## 12.5. Parámetros de la Fundación de las estructura de hormigón en roca

En la Figura 12.14 se muestra un corte sobre el eje de la presa en donde se observa la posición de las estructuras de hormigón previstas en el desvío de margen derecha: estructura de desvío/descargador de fondo, muro de cierre de MD y el plinto fundado en roca. Se observa además el muro colado.

Todas estas estructuras estaran cimentadas en rocas competentes de la Fm. Santa Cruz.

De acuerdo con el informe NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P001-0B (Anexo 18) los parámetros de resistencia y deformación para las rocas de fundación son:

$$c = 0,3 \text{ MPa}$$

$$\phi = 30^\circ$$

$$E \text{ entre } 2 \text{ 300 y } 2 \text{ 900 MPa.}$$

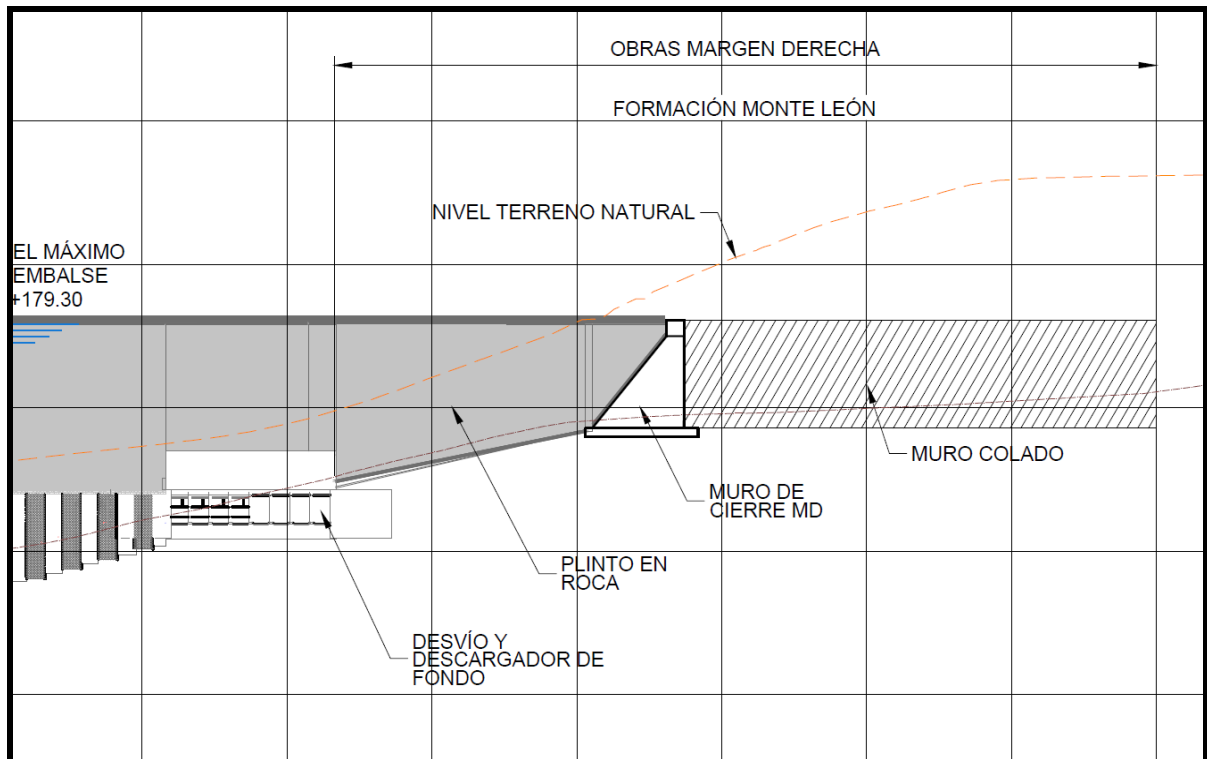


Figura 12.14: Corte en el eje de la presa mostrando la posición de la estructura de desvío/descargador de fondo, el muro de cierre de MD y el tramo del plinto fundado en roca.

## 12.6. Capacidad de carga de la estructura de desvío

Los análisis de capacidad de carga de las estructuras de hormigón se detallan en el documento NK-A.CV-MT.FE-(DD-00-00)-P001 (Anexo 20). Se presentará un resumen de la capacidad de carga última de la estructura de desvío.

La capacidad de carga última se obtiene aplicando la ecuación de Terzaghi asumiendo una falla local por corte con factores de capacidad de carga como se presenta en el manual del USACE EM1110-1-2908. Rock Foundations. Este método es aplicable a las rocas de la Fm. Santa Cruz, la cual es un macizo rocoso débil caracterizado principalmente por la baja resistencia de su matriz.


La capacidad de carga de las fundaciones de las estructuras de hormigón depende de su forma, de las propiedades del suelo o del macizo de fundación y de la inclinación de la carga resultante aplicada.

Como fue comentado al inicio de este Capítulo, la estructura de desvío tiene un ancho de 60m y longitud de 295 m (Figura 12.15)

La propiedad del macizo rocoso se muestra en la Tabla 12.4:

Tabla 12.4: Parámetros del macizo rocoso para el cálculo de la capacidad de carga admisible

Peso unitario húmedo	$\gamma$	20 kN/m <sup>3</sup>
Peso sumergido	$\gamma'$	10 kN/m <sup>3</sup>
Ángulo de fricción	$\phi$	30°
Cohesión	c	300 kPa

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 271 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

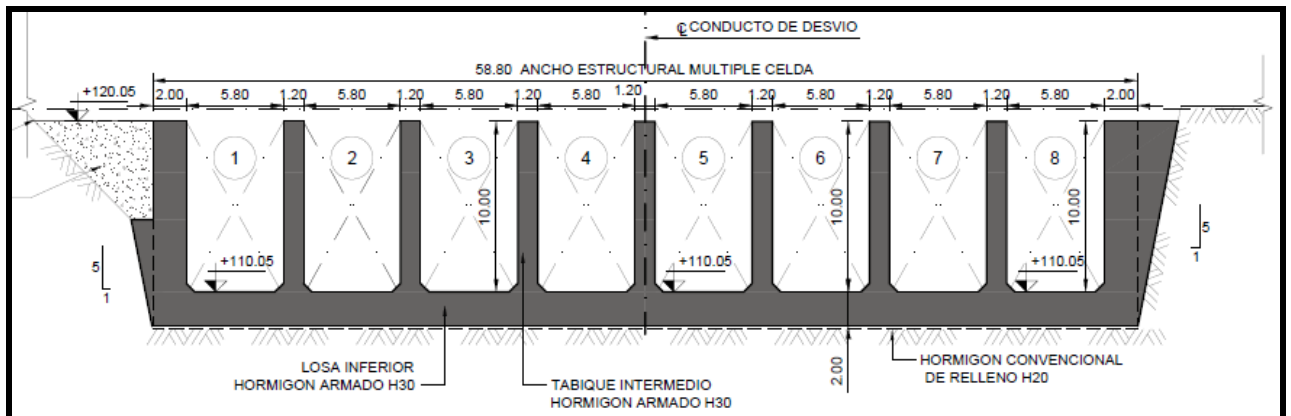
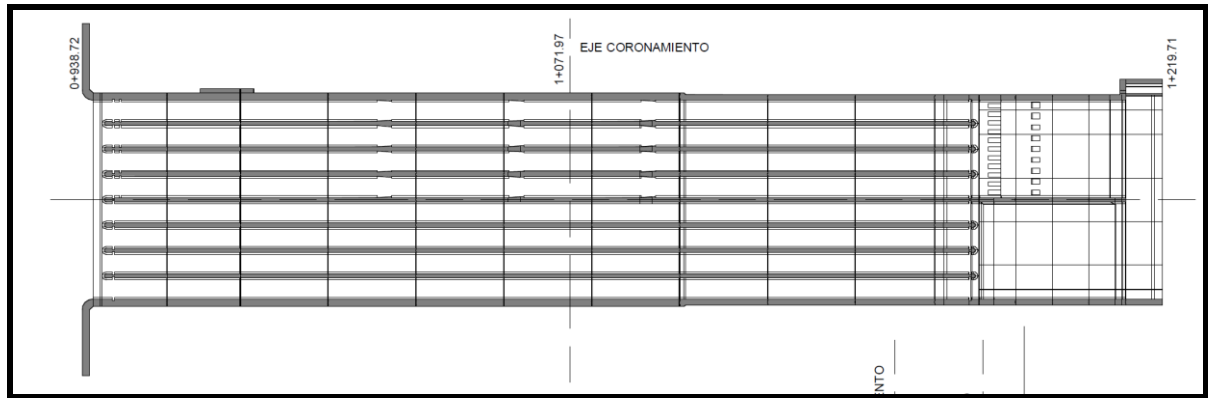


Figura 12.15: Planta y corte de la estructura de desvío/descargador de fondo

La capacidad de carga admisible fue estimada usando el criterio de falla local por corte descrito por la ecuación de Terzaghi incorporando los factores de corrección siguientes:

$$q_a = \frac{C_c c N_c + C_\gamma 0.5 \gamma' B N_\gamma}{F}$$

donde:

$q_a$  = capacidad de carga admisible

$F$  = factor de seguridad

$c$  = cohesión aparente del macizo rocoso

$\gamma'$  = peso unitario sumergido del macizo rocoso


$L$  = lado mayor de la base

$B$  = lado menor de la base

$C_c, C_\gamma$  = factores de corrección por forma

$N_c, N_\gamma$  = factores de capacidad de carga, definidos por:



	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 272 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

$$N_c = 2 N_\varphi^{1/2} (N_\varphi + 1)$$

$$N_\gamma = N_\varphi^{1/2} (N_\varphi^2 - 1)$$

$$N_\varphi = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$$

Para el cálculo de la capacidad de carga admisible para cargas permanentes se considero un factor de seguridad de 3 y para cargas transitorias o inusuales un  $F_s = 2$ .

Los resultados obtenidos para las diferentes condiciones de carag se muestran en la Tabla 12.5.

Tabla 12.5: Parámetros del macizo rocoso para el cálculo de la capacidad de carga admisible


Tipo de combinación	$\sigma_{adm}$ [MPa]
Normal	2.04
Excepcional	3.06
Extrema (SMD)	4.07*

## 12.7. Modelo de Permeabilidad del till y del macizo rocoso

En las Tabla 12.6, Tabla 12.7 y Tabla 12.8 se presentan los resultados de los ensayos de permeabilidad Lefranc ejecutados en los depósitos de till de margen derecha, separando aquellos que corresponden al till medio, till inferior granular y till inferior cohesivo.


Tabla 12.6: Ensayos de Permeabilidad Lefranc Till Margen derecha – Sondeos campaña 1970-80 AyEE

SONDEO	TIPO DE ENSAYO	PROFUNDIDAD	COTA	PERMEABILIDAD	FORMACIÓN GEOLÓGICA	
		m	m	cm/s		
K4	Carga Constante	6	126,2	2,70E-04	Aluvion rio Terr.Inf. MD	Till Inferior Granular
		9	123,2	6,50E-04		
		12	120,2	1,90E-03		
		14,8	117,4	1,20E-03		
		18	114,2	2,50E-02		
		21	111,2	1,50E-04		Till Inferior Cohesivo
		24	108,2	S/A		
		31,5	100,7	5,20E-04		
		34,5	97,7	3,50E-04		
37,5	94,7	2,30E-04				
K5	Carga Constante	31	204,2	1,30E-03	Morrenas Margen derecha	Till Intermedio
		34	201,2	2,10E-03		
		37	198,2	5,10E-05		
		40	195,2	4,80E-04		
		43	192,2	5,00E-04		
		46	189,2	1,40E-05		
		49	186,2	1,30E-05		
		52	183,2	4,00E-05		
		55	180,2	9,10E-06		
		59	176,2	3,80E-05		
		62	173,2	1,60E-05		Till Inferior Granular
		65	170,2	4,80E-05		
68	167,2	4,00E-05				

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS		Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 273 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC		Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

**Tabla 12.7: Ensayos de Permeabilidad Lefranc Till Margen derecha – Sondeos campaña 2006 ESIN IATASA**

SONDEO	TIPO DE ENSAYO	PROFUNDIDAD m	COTA m	PERMEABILIDAD cm/s		FORMACIÓN GEOLÓGICA	
CD 01	Carga Constante	40	193,1	3,10E-03	3,40E-03	Morrenas Terr. Alta MD	Till Intermedio
	Carga Constante	43	190,1	Alta absorción			
	Carga Constante	48,5	184,6	2,36E-02			
	Carga Constante	54	179,1	Alta absorción			Till Inferior arenoso
	Carga Constante	59	174,1	Alta absorción			
	Carga Constante	63	170,1	2,70E-03	3,20E-03		
	Carga Constante	69	164,1	5,20E-03			
	Carga Variable	74,7	158,4	1,90E-05			Till Inferior Cohesivo
	Carga Variable	80,2	152,9	1,90E-06			
Carga Variable	85,5	147,6	2,26E-06				
CD 03	Carga Constante	4	175,4	1,60E-02		Morrenas Terr. media MD	Till Inferior arenoso
	Carga Constante	8	171,4	8,90E-03	1,02E-02		
	Carga Constante	12	167,4	5,10E-03	5,40E-03		
	Carga Constante	16	163,4	6,30E-03	6,80E-03		
	Carga Constante	20	159,4	5,10E-03	5,30E-03		Till Inferior Cohesivo
	Carga Constante	24	155,4	6,50E-03			
	Carga Constante	28	151,4	3,40E-02			
	Carga Variable	32,4	147	1,20E-05			
CD 04	Carga Constante	4	136,7	Alta absorción		Morrenas pie terr. MD eje	Coluvial
	Carga Constante	8	132,7	5,10E-01			Till Inferior arenoso
	Carga Constante	12,45	128,25	1,70E-02			
	Carga Constante	15,65	125,05	3,04E-01			
	Carga Constante	20,86	119,84	1,80E-04	3,20E-04		Till Inferior Cohesivo
	Carga Constante	25,25	115,45	6,10E-04			
	Carga Constante	28,9	111,8	4,30E-03			
	Carga Variable	35,4	105,3	5,60E-05			
CD 05	Carga Constante	5	138,6	6,90E-01		Morrenas pie terr. MD ag.ab	Coluvial
	Carga Constante	10	133,6	4,10E-03			Till Inferior arenoso
	Carga Constante	15	128,6	1,30E-02			
	Carga Constante	20	123,6	1,30E-02			Till Inferior Cohesivo
	Carga Constante	25	118,6	6,30E-03			
	Carga Constante	28,95	114,65	2,50E-04			
	Carga Variable	31,15	112,45	Impermeable			
CDB	Carga Constante	4	138,3	Alta absorción		Morrenas pie terr. MD ag.arr	Till Inferior granular
	Carga Constante	8	134,3	Alta absorción			
	Carga Constante	14,45	127,85	Alta absorción			
	Carga Constante	16,15	126,15	Alta absorción			Till Inferior Cohesivo
	Carga Constante	20,2	122,1	Alta absorción			
	Carga Constante	24	118,3	Alta absorción			
	Carga Constante	28	114,3	Alta absorción			
	Carga Constante	32	110,3	5,40E-04			
	Carga Constante	36	106,3	1,60E-03			
CDD	Carga Constante	49,2	188,4	6,10E-02	6,60E-02	Morrenas Terraza alta	
	Carga Constante	64	173,6	7,60E-05	2,40E-04		Roca alterada
	Carga Variable	54	183,6	3,30E-05			Till Inferior Cohesivo
	Carga Variable	60	177,6	3,80E-06			
	Carga Variable	69,5	168,1	2,40E-06			

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 274 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

**Tabla 12.8: Ensayos de Permeabilidad Lefranc Till Margen derecha – Sondeos campaña 2015 UTE Represas**

SONDEO	TIPO DE ENSAYO	PROFUNDIDAD m	COTA m	PERMEABILIDAD cm/s		FORMACIÓN GEOLÓGICA
SAK 01	Carga Constante	25,5-26,5	189,2-188,2	1,00E-01	3,80E-03	Till medio
	Carga Constante	39-40	175,7-174,7	1,10E-01	2,70E-03	till inferior arenoso
SAK 02	Carga Constante	29-30	112,9-111,9	1,40E-03		till inferior cohesivo
	Carga Variable	29-30	112,9-111,9	2,20E-05		till inferior cohesivo
	Carga Variable	37-41,6	104,9-100,3	7,40E-05		till inferior cohesivo
SAK 07	Carga Constante	25-28	193-190	4,40E-02	1,70E-03	Till medio
	Carga Constante	35-36	183-182	9,85E-02	2,80E-03	Till medio
	Carga Constante	48-49	170-169	9,80E-02	2,00E-03	till inferior arenoso
SAK 08	Carga Constante	36,15-37,15	94,05-93,05	2,50E-03		till inferior cohesivo
SAK 20	Carga Constante	37-38	195-194	4,70E-02	1,20E-03	Till medio
SAK 21	Carga Constante	23,5-24,5	178,7-177,7	2,50E-03		till inferior arenoso
	Carga Constante	37-40	165,2-162,2	4,90E-02	1,30E-03	till inferior arenoso
SAK 21bis	Carga Constante	29-30	173,3-172,3	1,00E-01	3,40E-03	till inferior arenoso

En la Tabla 12.9 se muestran los valores promedio, mínimos y máximos para los 3 tipos de till.


**Tabla 12.9: Resumen de los Ensayos de Permeabilidad Lefranc Till Margen derecha**

	Till Medio	Till Inferior Gran	Till Inferior Coh.
<b>Promedio</b>	1,67E-02	3,89E-02	7,41E-03
<b>Mínimo</b>	9,10E-06	1,60E-05	1,90E-06
<b>Máximo</b>	1,00E-01	5,10E-01	6,60E-02

En las Tabla 12.10, Tabla 12.11 y Tabla 12.12 se muestran los resultados de los ensayos de permeabilidad Lugeon en roca de los sondeos de todas las campañas.

**Tabla 12.10: Ensayos de Permeabilidad Lugeon – Macizo rocoso Margen derecha – Sondeos campaña 1970-80 AyEE**

Sondeos	Cota ensayo	UL (l/min/m)
	m	
K 04	85	0,0
	80	0,1
	60	0,3
	55	0,4
	50	0,0
	45	0,0
	40	0,0
	35	0,1

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 275 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

**Tabla 12.11: Ensayos de Permeabilidad Lugeon – Macizo rocoso Margen derecha – Sondeos campaña ESIN IATASA 2006**

Sondeos	Cota ensayo	UL (l/min/m)
	m	
CD 1	144	0,0
	140	0,0
	135	0,0
CD 3	144	0,0
	136	4,5
	132	0,6
	128	0,4
	124	0,2
	119	0,2
	115	0,5
	110	0,0
	106	0,1
	102	0,0
CD 4	101	0,2
	97	0,0
	93	0,9
	90	0,7
	84	0,1
	79	1,6
	75	1,5
	71	3,0
	66	1,0
	61	0,8
CD 5	57	0,8
	109	0,1
	105	2,0
	100	0,5
	96	0,1
	92	0,7
	88	4,5
CDB	84	0,5
	80	0,1
	75	0,1
CDD	92	0,2
	87	1,1
	84	0,0
	161	0,0
CDD	157	0,1
	153	0,0
	149	0,0
	144	0,0

**Tabla 12.12: Ensayos de Permeabilidad Lugeon – Macizo rocoso Margen derecha – Sondeos campaña 2015**

Sondeos	Cota ensayo	UL (l/min/m)
	m	
PRK 01	82,2	1
	77,2	0,44
	72,15	0,2
	66,7	0,25
PRK 02	65,3	0,21
	60,2	1,25
	55,2	6,4
SAK 01	50,7	6,8
	49,2	11,9
SAK 07	44,7	0,04
SAK 19	85,9	5
	81,2	1,4
	75,65	1,34
	74,15	1,1
SAK 21 Bis	54,7	1,44



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 276 de 389

Doc. N°  
NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

En la Figura 12.16 (Anexo 17) se muestra el perfil de permeabilidad en la entrada del desvío. Se observa que las permeabilidades en el macizo rocoso competente son en general menores de 1UL ( $<1 \cdot 10^{-5}$  cm/s) indicando un macizo muy poco permeable. La zona de la roca alterada la permeabilidad sube hasta alcanzar valores de hasta 4 UL lo cual indica una baja permeabilidad. Algunos ensayos realizados en el sondeo CD 04 muestran valores mayores que 1 UL pero no superiores de 3 UL.

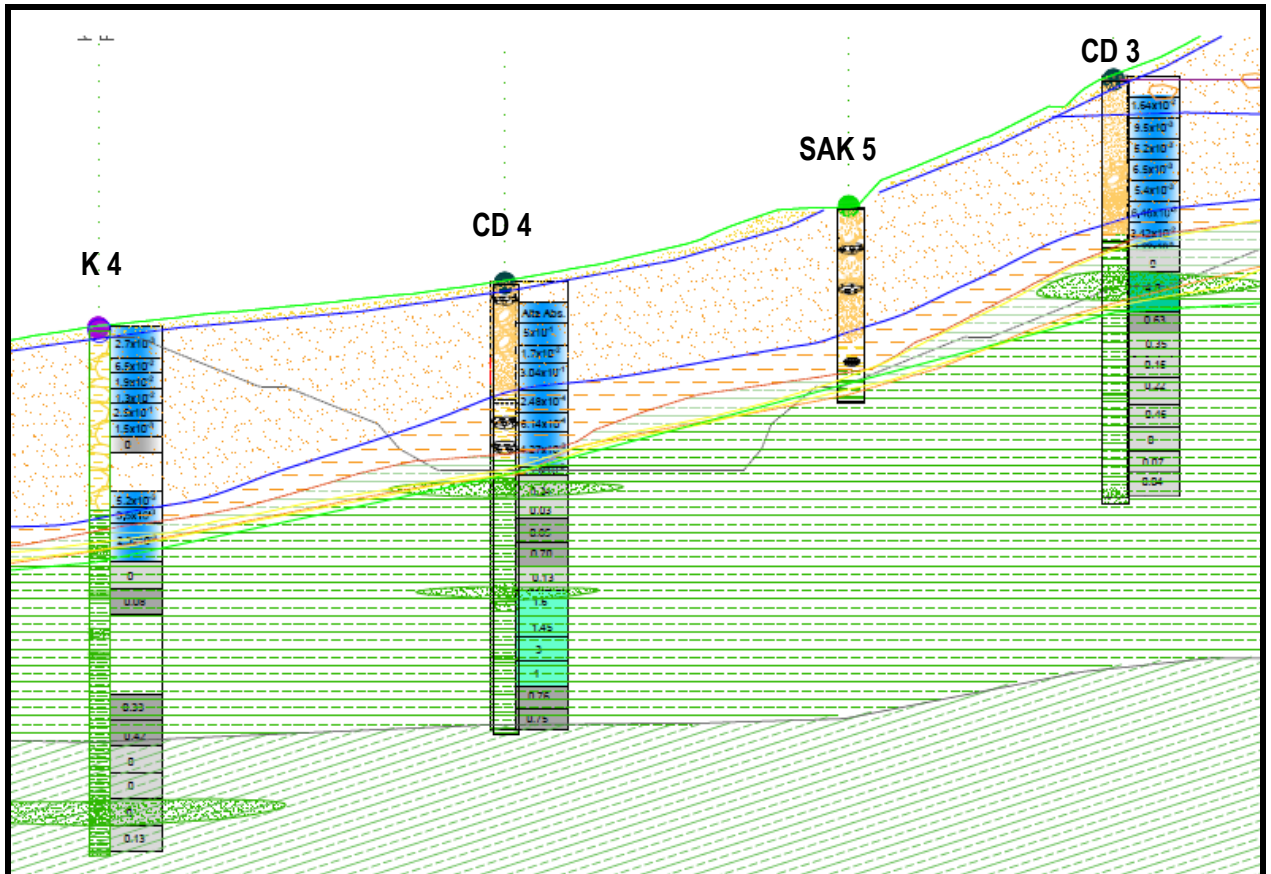


Figura 12.16: Perfil de permeabilidad por la entrada del desvío en el eje del muro colado


## 12.8. Modelo de Filtraciones del Till – Muro colado de cierre

La presencia de los depósitos de till en la margen derecha y la profundidad del contacto con el sustrato de roca competente por debajo de la cota de operación del embalse (176,5 m), plantea la necesidad de estudiar los mecanismos de infiltración de agua y definir la necesidad de la construcción de un muro colado para controlarla.

Para tal fin se elaboró un estudio cuyo detalle se presenta en el documento NK-A.CV-MC.GT-(PR-07-00)-P002 (Anexo 21). A continuación se puntualizarán en los aspectos principales del estudio y sus resultados.

El propósito del estudio fue estudiar la sensibilidad del comportamiento a la pérdida por filtraciones para diferentes condiciones de permeabilidad de los suelos involucrados y con distintas longitudes del muro colado, bajo las condiciones impuestas por el nivel de carga de la presa.

Para ello se desarrolló un modelo hidrogeológico en tres dimensiones, de manera de representar mediante el mismo la conceptualización del sistema y resolver la ecuación de flujo mediante un código que aplica el Método de los Elementos Finitos (MEF). Esto ha permitido tener una idea del flujo transversal generado por el esquema de gradientes inducidos en el terreno en el entorno de la estructura. Se ha adoptado una configuración de equilibrio a largo plazo lo que proporciona la modelación en régimen estacionario.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 277 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

Las certezas sobre las que se basa el modelo son básicamente geométricas: topografía del terreno natural, modelo geológico con los contactos de los materiales definidos, continuidad lateral y propiedades hidráulicas.

El modelo 2D de referencia analizado es el mostrado en la Figura 12.5, en donde se encuentra, de arriba hacia abajo, el till superior y el till intermedio que no influyen en el modelo de percolación y el till inferior compuesto por capas de arena fina a gruesa, con arcilla y algunos rodados tamaño grava media, espesor estimado entre 25 y 30 m y que termina acuñándose sobre el techo de roca hacia el interior de la margen. Este depósito se desarrolla entre la cota 180 m y el contacto con la roca. La conductividad hidráulica del till inferior se estimó entre  $1 \times 10^{-2}$  y  $1 \times 10^{-4}$  cm/s. Para los depósitos de till superiores se asignó una conductividad de  $1 \times 10^{-2}$  cm/s.

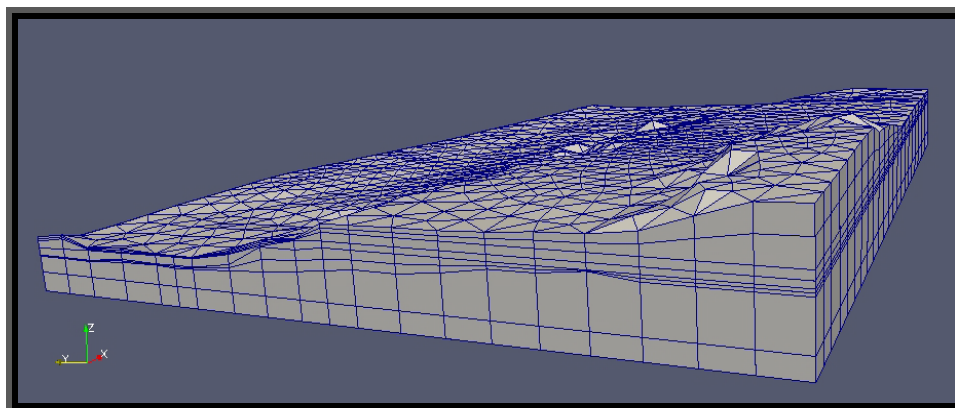
Como condición de contorno del análisis se consideró la presencia del embalse en cota 176,5 m como la principal fuente de aporte y que impone la carga hidráulica al sistema. Otro de los contornos es el contacto inferior entre el till inferior y el sustrato rocoso de baja permeabilidad. Otro elemento que contribuirá a la redistribución de los gradientes es el muro colado. Finalmente, la superficie de excavación de aguas abajo y los taludes naturales cierran el sistema de infiltración imponiendo las condiciones de descarga a presión atmosférica.

A largo plazo se instalará un acuífero estacionario en donde el till inferior estará en condiciones saturadas y conducirán un flujo. Como el interés del estudio es el de evaluar el impacto del embalse en la redistribución de los gradientes, el efecto de la recarga puede considerarse igual tanto para un escenario con obra como la condición natural actual, por lo cual su influencia local puede no ser considerada en una primera aproximación.

En régimen estacionario habrá una superficie freática en este sector. Aguas arriba, el nivel se encontrará fijo en 176,5 msnm. Aguas abajo, parte del flujo pasará a formar parte del flujo regional, y una parte será drenada por el canal de desvío. La cantidad de agua que se reparte aguas abajo será función de los niveles que se alcancen en las formaciones, del nivel del canal y de la conductancia vertical del río.


El flujo se verificó conforme a la ecuación de flujo en medios porosos, dado que en este modelo conceptual no se contempla la presencia de fracturas u otras vías preferenciales de flujo. Cada estrato se considera homogéneo e isótropo.

La metodología adoptada es la de simulación numérica mediante el Método de Elementos Finitos. La modelación se realizó en 3D, debido a que en medios de relativamente baja permeabilidad es de esperar la aparición de gradientes con componentes verticales. El código seleccionado es TRANSIN IV, (Galarza y Medina, 1992), desarrollado en la Universidad Politécnica de Cataluña. El código resuelve la ecuación de flujo (y transporte) e incorpora su propio algoritmo de calibración automática. La malla 3D se muestra en la Figura 12.



**Figura 12: Malla 3D mostrando elementos y nudos (vista desde el sudoeste)**

Para el análisis se consideraron las siguientes conductividades hidráulicas (Tabla 12.13):

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 278 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

**Tabla 12.13: Parámetros de Conductividad hidráulica adoptados**

Material	K (cm/seg)
Roca base (Sta. Cruz)	$1 \times 10^{-7}$
Muro	$1 \times 10^{-9}$
Depósitos glaciales	$1 \times 10^{-2}$
Till superior (Gl. Co. Fortaleza)	$1 \times 10^{-2}$
Till inferior (Gl. La Frutuosa)	$1 \times 10^{-2}$ a $1 \times 10^{-5}$

Los análisis de sensibilidad considerando la faja de valores de permeabilidad para el till inferior y sin muro colado, se muestra en la Tabla 12.14. El balance de masas muestra que la mayor parte de las salidas (más de un 75%) se producen a través del canal. El resto del caudal que cierra el balance, se produce hacia el flujo regional, que se incorporará al acuífero asociado al subálveo del río aguas abajo, ya fuera del dominio

**Tabla 12.14: Caudal que pasa por el medio natural en los diferentes escenarios (L= 0m)**

K	Q (m3/seg)
$1 \times 10^{-2}$	0,230
$1 \times 10^{-3}$	0,125
$1 \times 10^{-4}$	0,108
$1 \times 10^{-5}$	0,106

Considerando diferentes longitudes de muro hasta 150 m y una conductividad hidráulica del till inferior de  $1 \times 10^{-3}$  cm/s, se observa que con un muro de 50 m de longitud, el caudal de salida se reduce muy poco y que con muro de por lo menos 100 m de longitud la caída de caudal es del 40% (Tabla 12.15). A partir de 100 m el caudal tiende a estabilizarse.

**Tabla 12.15: Caudal que pasa por el medio natural en los diferentes escenarios de L del muro (K del Till inferior,  $1 \times 10^{-3}$  cm/s)**

L muro	Q (m3/seg)
0 m	0,125
50 m	0,122
100 m	0,085
150 m	0,077

Se corrió el mismo análisis anterior pero ahora considerando que la conductividad hidráulica del till inferior es de  $1 \times 10^{-2}$  cm/s (Tabla 12.16). Se observa una sensible disminución del caudal para longitudes crecientes hasta L=150 m, a partir de la cual el caudal tiende a estabilizarse.

**Tabla 12.16: Caudal que pasa por el medio natural en los diferentes escenarios de L del muro (K del Till inferior,  $1 \times 10^{-2}$  cm/s)**

L muro	Q (m3/seg)
0 m	0,230
50 m	0,217
100 m	0,193
150 m	0,148
207m	0,118



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 279 de 389

Doc. N°  
NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

En términos de piezometría y gradientes de salida, se analizaron diferentes casos variando la longitud del muro colado y conductividad hidráulica del Till Inferior es de  $1 \times 10^{-3}$  cm/s. Los resultados en 2D se presentan en la Figura 12.17.

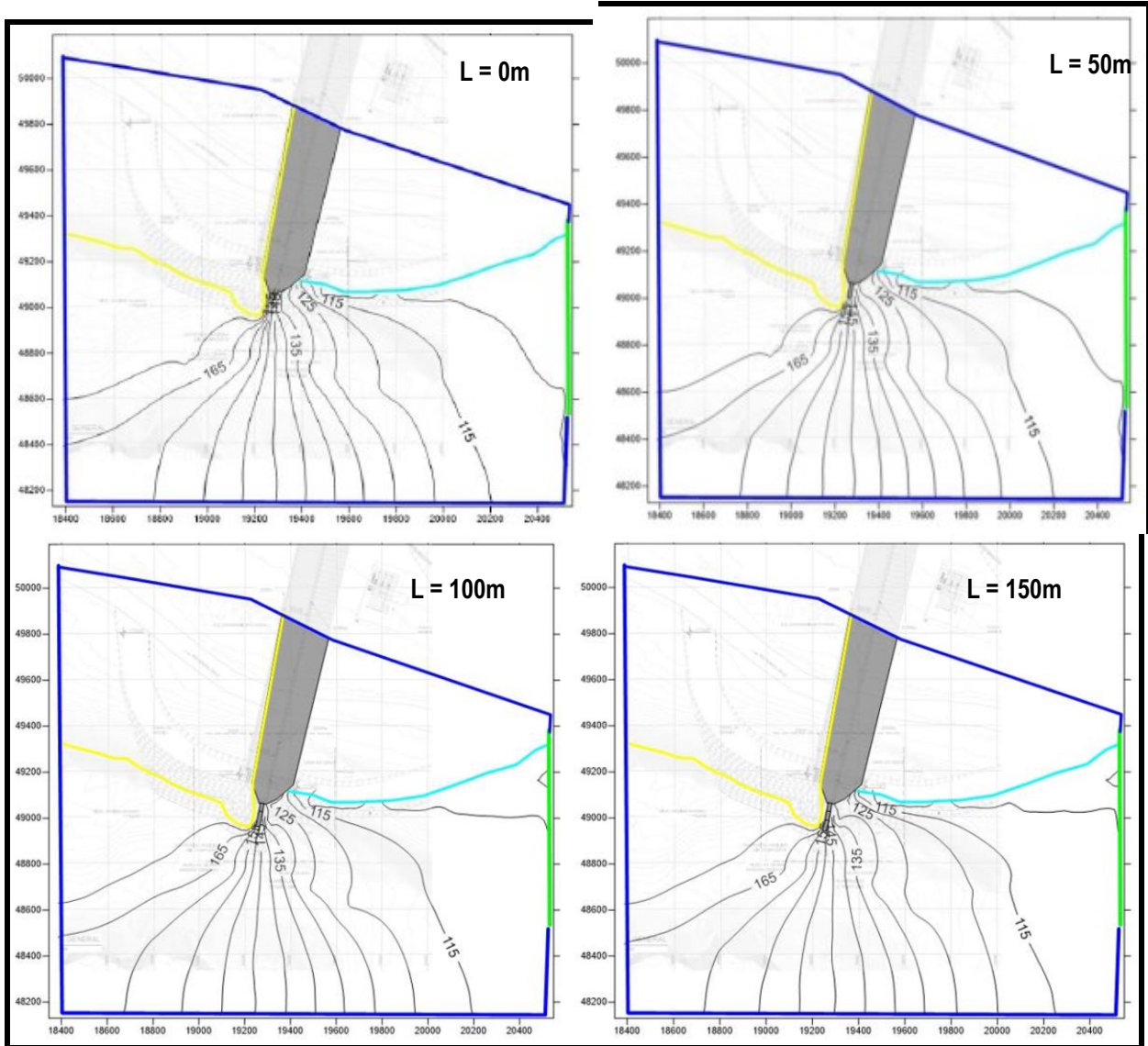


Figura 12.17: Piezometría y gradientes ( $K = 1 \times 10^{-3}$ , L variable entre 0 m y 150 m)

En la Figura 12.17 se observa que los gradientes máximos no varían perceptiblemente cuando la longitud del muro varía entre 0 y 50 m. Cuando se pasa de 50 m a 100 m la isopieza de 110 m se desplaza hacia el norte y mas aguas abajo, ocasionando una distribución de la salida de agua más distribuida a lo largo de mayor longitud del canal.

A modo de conclusión los caudales son sensibles a la permeabilidad del Till Inferior para valores de permeabilidad mayores a  $1 \cdot 10^{-3}$  cm/s. La influencia de la longitud del muro sobre los gradientes muestra que la isopieza se desplaza levemente al norte y aguas abajo cuando dicha longitud está comprendida entre los 100 m y 150 m.



### 13. MODELO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE LA PRESA

El modelo geológico y geotécnico de la presa se muestra en los planos NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P900 a P901 (Anexo 17) a modo de una sección a lo largo del eje del muro colado en su parte central y la prolongación hacia el norte y el sur. El Plano NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P900 y P901 muestra la distribución de los tipos litológicos principales, el plano NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P902 y P903 los ensayos de permeabilidad y el plano NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P904 los resultados de los estudios geofísicos.

En este Capítulo se presentaran los parámetros geológicos y geotécnicos de la fundación de la presa y del muro colado en el tramo comprendido entre la estructura de desvío al sur y la estructura de la toma al norte (Figura 13.1).

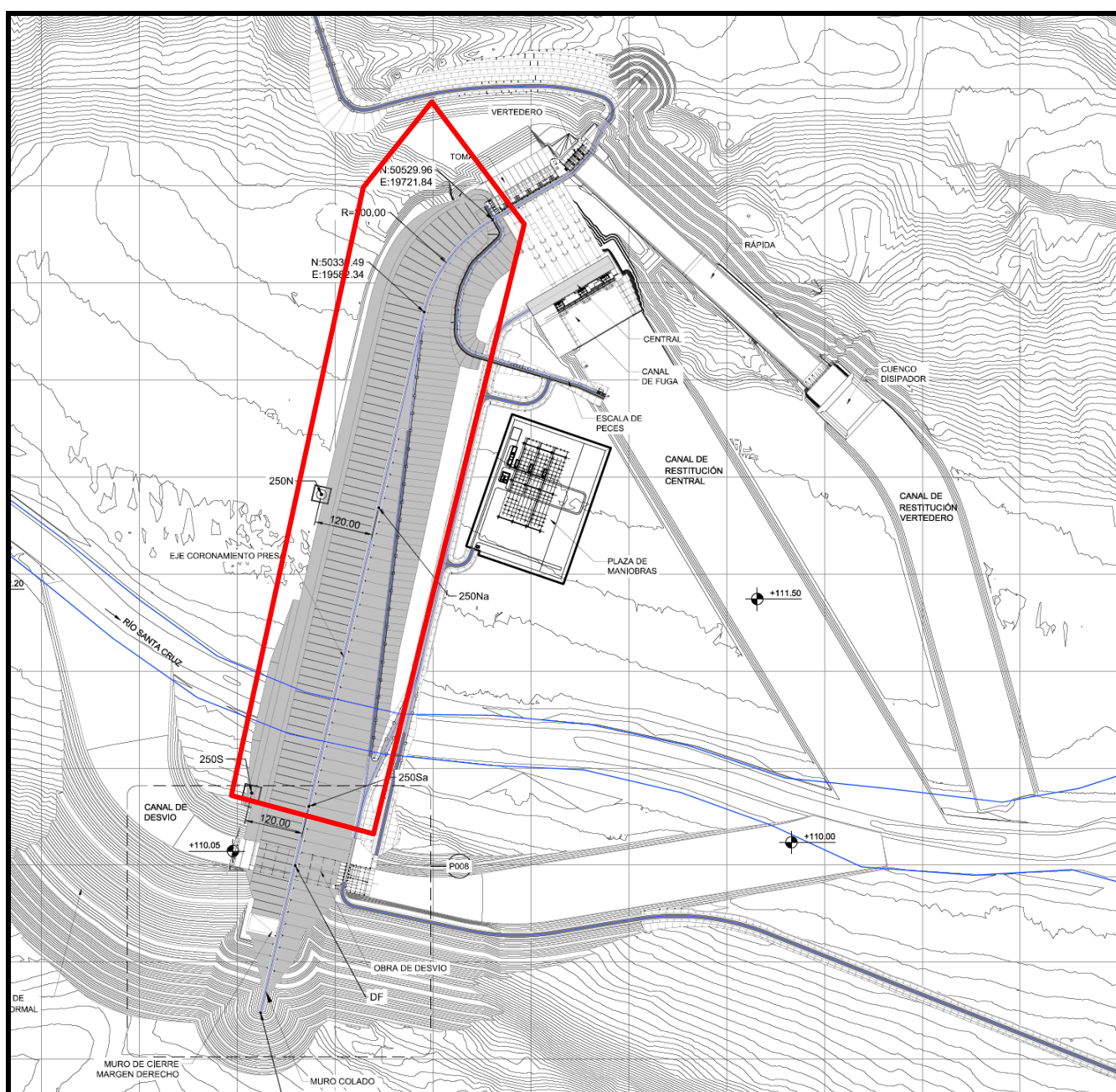



Figura 13.1: Lay out general de la obra

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 281 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

La presa es una estructura tipo CFRD, enrocado con cara de concreto, apoyada directamente en el aluvi3n que cubre el valle del r3o Santa Cruz, con un muro colado asociado a un plinto tambi3n apoyado en aluvi3n (plinto flotante), que actua como barrera a las infiltraciones de agua en la fundaci3n.

### 13.1. Investigaciones Realizadas

Las investigaciones en la zona de la presa Néstor Kirchner comprendieron la ejecuci3n de perforaciones y de secciones geofísicas (Figura 13.2) detalladas en el plano NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P003 (Anexo 03).

Para el análisis geológico y geot3cnico del sector se presentan tres perfiles de análisis todos a lo largo del muro colado, prolongándose hacia el norte hasta la perforaci3n K 21 (nivel superior de la Terraza basáltica) y hacia el sur hasta la perforaci3n K 25. (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P900 a 901 – Anexo 17).

De la campaa de la d3cada del 80 liderada por AyEE se citan los sondeos K 02, K 03 y K 04.

De la campaa desarrollada por ESIN IATASA en 2006, se destacan los sondeos CI 03, CI 04, CI 18, CI 02, CI 23, CI 15, CI 32, CI 13, CI 14, CI 01-CC 04, CC 1-CC 2, CC 3 y CD 04. Tambien se ejecutaron ensayos crosshole en los sondeos CI 01-CC 04 y CC 1-CC 2. Finalmente se ejecutaron secciones de prospecci3n sísmica de refracci3n como las TR1 a TR9 (150 m aguas arriba del eje del muro colado) y las secciones TE1 a TE9 en el eje del actual muro colado. Cabe destacar que las dos secciones ejecutadas correspondían al eje del muro colado y al eje de la presa en el layout general de la 3poca.

En la campaa 2015 se ejecutaron, en la terraza aluvial de margen izquierda, los sondeos PRK 10, PRK 11, PRK 12, PRK 13, PRK 14 y PRK 19, asi como los perfiles MASW AR01 a AR05, EJE01 a EJE 05 y AB01 a AB05. En la terraza aluvial de margen derecha se realizaron los sondeos SAK 03, SAK 08, SAK 09, PRK 16 y PRK 17, las secciones MASW MD01 a MD07. En los sondeos PRK 10, 11, 12, 13 y 16 se ejecutaron ensayos crosshole. En el Anexo 04 se presentan todos los resultados de la campaa de sondeos, en el Anexo 07 los resultados de los crosshole y en los Anexo 05 y Anexo 06 los resultados de los MASW y los valores normalizados de la  $V_s$  respectivamente.

#### 13.1.1. Marco Geológico

Las Figura 13.3, Figura 13.4, Figura 13.5 y Figura 13.6 muestran el perfil longitudinal a lo largo del muro colado (Anexo 17- Plano NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P900 y P901) con la identificaci3n de las principales formaciones geológicas son de Norte a Sur:

- Mesetas de basalto, pertenecientes a las coladas de edad Plioceno tardío a Pleistoceno que cubrieron en parte los dep3sitos fluvio glaciales de la terraza San Fernando y en parte directamente arriba de las rocas terciarias de la Fm. Santa Cruz. Se destaca la terraza superior de espesor entre 80 y 100 m. Topograficamente mas abajo se presenta el nivel denominado terraza intermedia que se estima pertenece a un nivel de colada inferior conectada al la principal. Se prevé la continuaci3n de la perforaci3n K 21 para verificar la hip3tesis. Hacia el sur y por acci3n de un proceso de expansi3n lateral, se presenta un desprendimiento de basalto de la terraza intermedia.
- Dep3sitos glaciales y glaci-fluviales indiferenciados del evento Cerro Fortaleza. Estos dep3sitos cubren los basaltos y las rocas de la Fm. Santa Cruz, sin formar los niveles de terraza que se observan en la Margen derecha. Desde el punto de vista litol3gico se puede decir que esta formado por una compleja mezcla de dep3sitos granulares fluvio glaciales, dep3sitos varvíticos, bloques de basalto y fragmentos de rocas de la Fm. Sta. Cruz deformados. Estos dep3sitos tienen algo de similitud con el till inferior cohesivo de margen derecha. Lateralmente los dep3sitos de till se interdigitan con los dep3sitos fluviales depositados por el r3o Santa Cruz durante la fase de modelado del valle. Los límites entre ambos grupos de dep3sitos son difusos.
- Los sedimentos fluviales y glaci-fluviales que rellenan el valle del r3o Santa Cruz, esta formado por cantos rodados, gravas y arenas que se interdigitan entre si de acuerdo con las geomtria de los dep3sitos de origen fluvial, destacándose las estructuras de megaondulas y estratificaci3n cruzada planar (Figura 13.7).

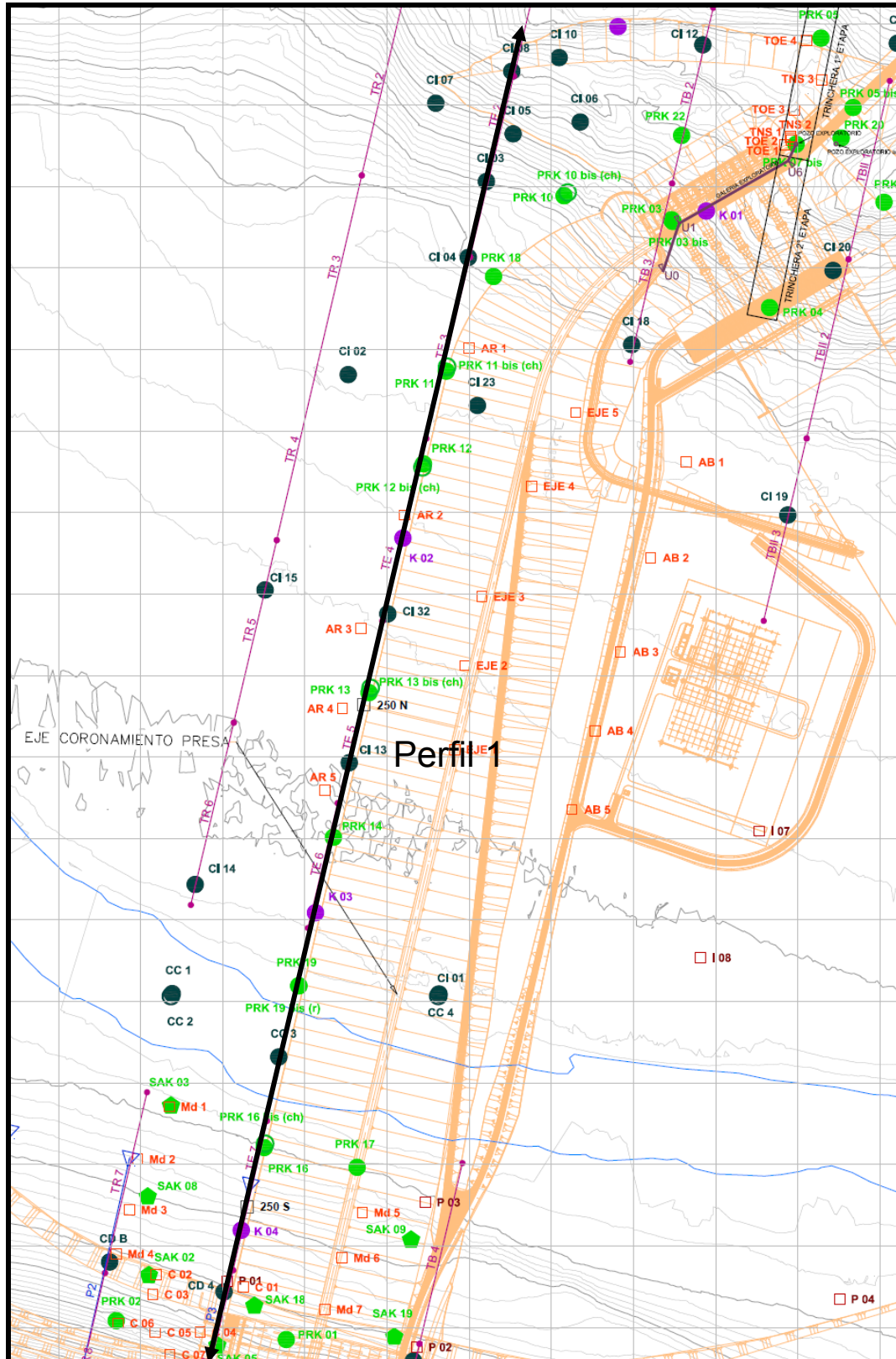


Figura 13.2: Ubicación de Investigaciones geológicas Presa Pte. Néstor Kirchner..



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 283 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900

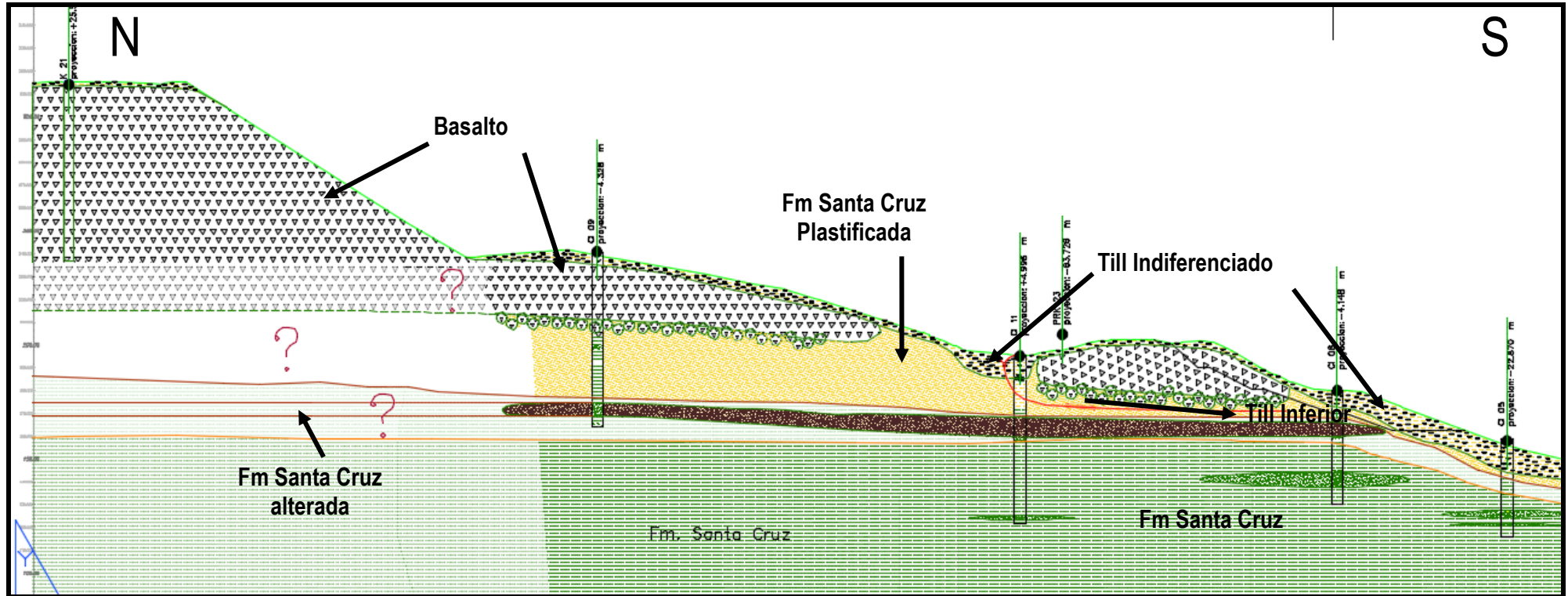


Figura 13.3: Perfil geológico longitudinal N-S en el eje del muro colado principal. Margen Izquierda (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P900).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 284 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Doc. N°

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

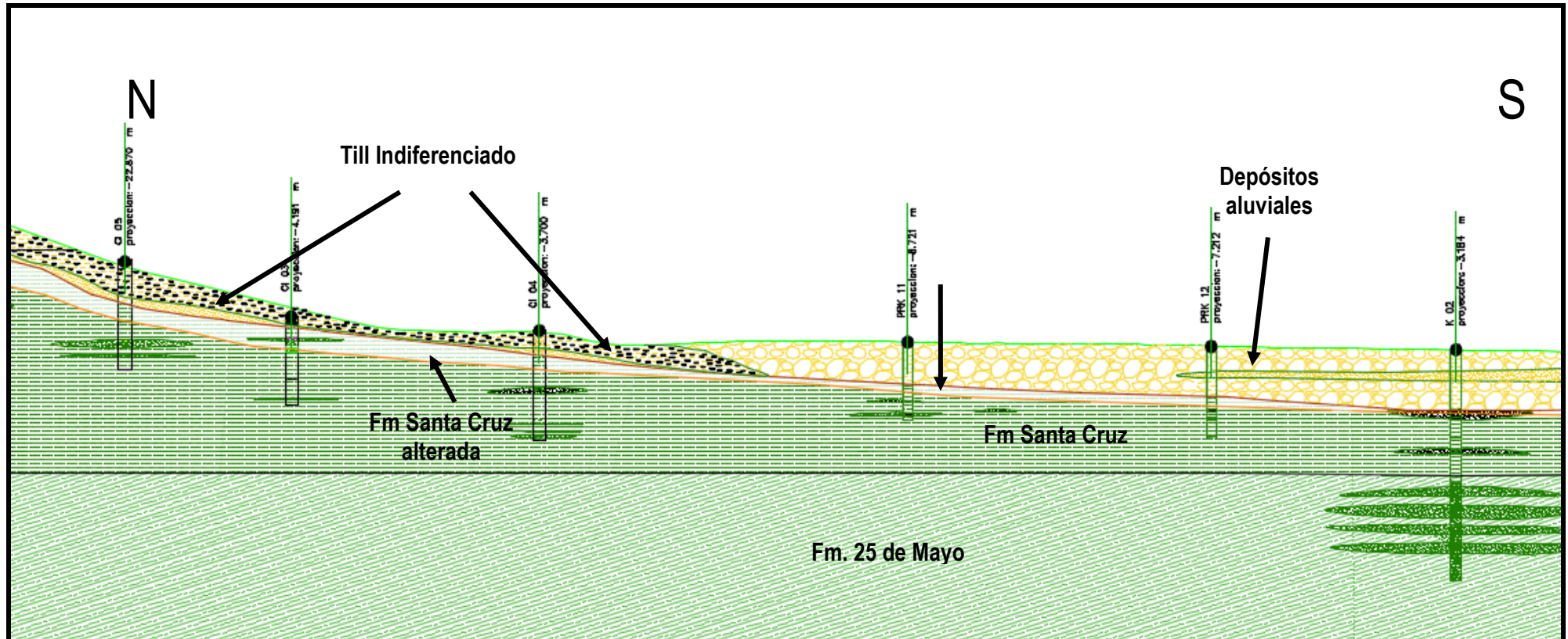


Figura 13.4: Perfil geológico longitudinal N-S en el eje del muro colado principal. Margen Izquierda y valle del río (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P900).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 285 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Doc. N°

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

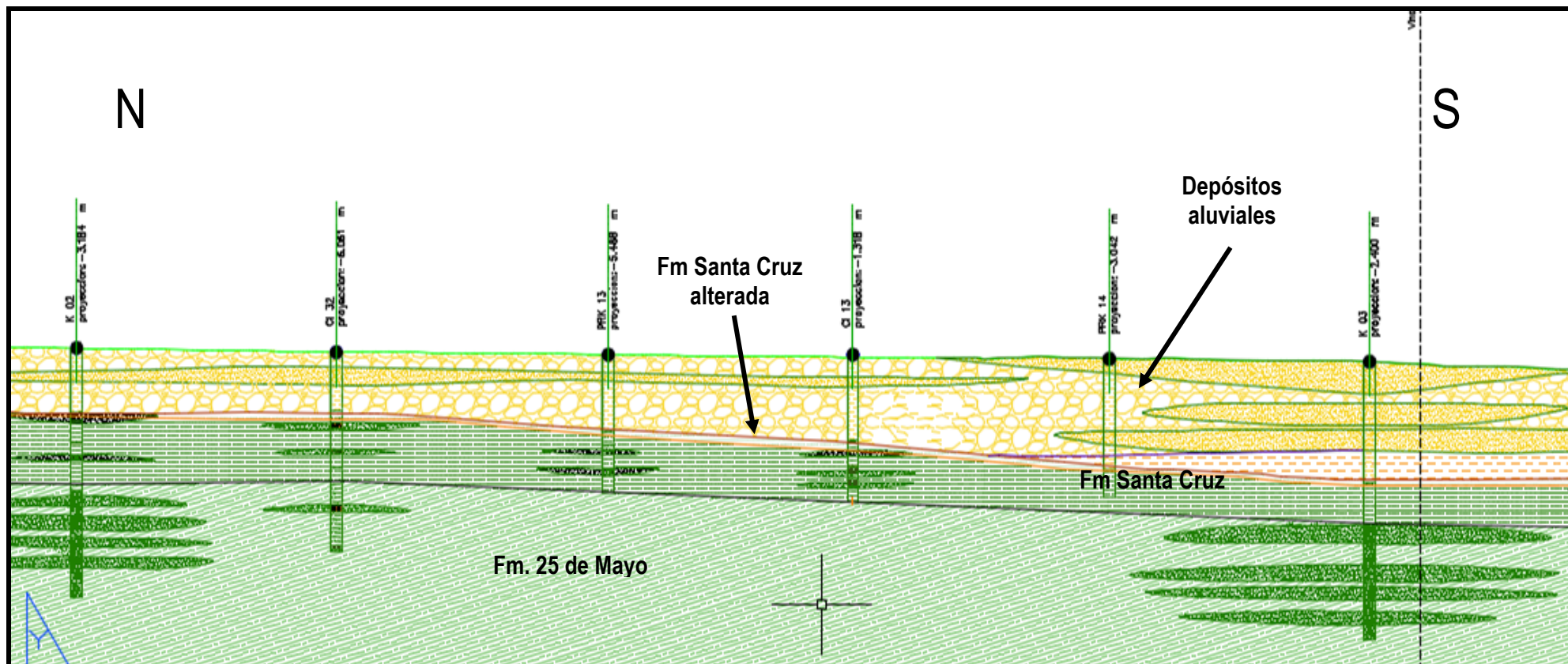


Figura 13.5: Perfil geológico longitudinal N-S en el eje del muro colado principal. Valle del río (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P900).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 286 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Doc. N°

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

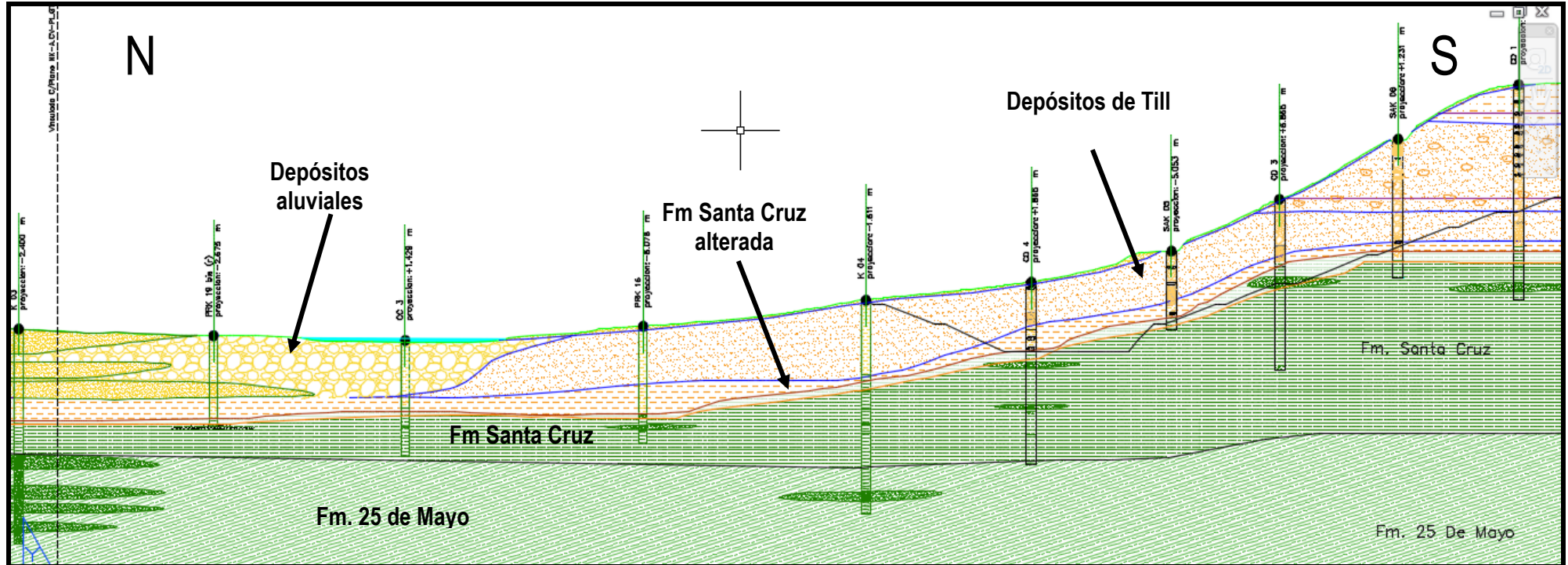


Figura 13.6: Perfil geológico longitudinal N-S en el eje del muro colado principal. Valle del río y margen derecha (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P900).



Figura 13.7: Detalle del material aluvional predominante en los depósitos del valle del río.

La curva granulométrica de la Figura 13.8 clasifica estos depósitos como GW con un porcentaje de rodados mayores a 10cm de diámetro entre 0 y 10%, arenas entre 15 y 35% y finos menores de 5%.

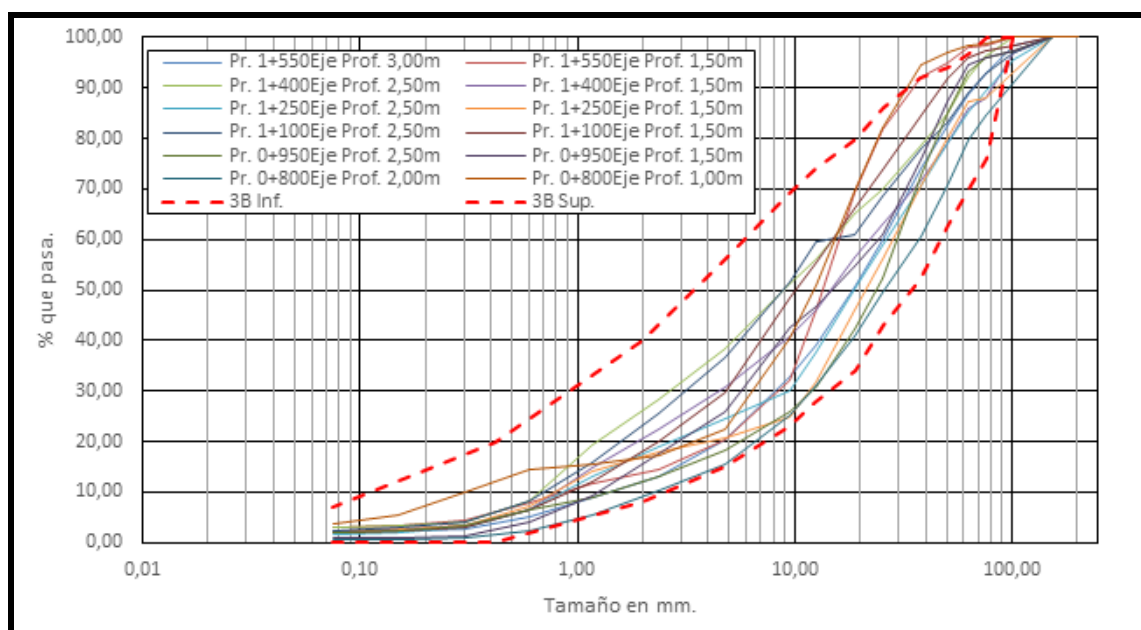



Figura 13.8: Curvas granulométricas de los aluviones del valle del río.



	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 288 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

Estos sedimentos cuaternarios se apoyan en general en discordancia erosiva sobre las rocas de la Fm Santa Cruz de edad terciaria (Figura 13.4 a Figura 13.6). En el sector sur apoyan sobre los depósitos de till inferior cohesivo como se observa en las Figura 13.5 y Figura 13.6. Se han identificado algunos lentes de sedimentos arenosos y areno gravosos especialmente en la zona del sondeo K 02 (Figura 13.5).

- d. Las rocas de la Fm Santa Cruz estan integradas fundamentalmente por arcilitas y limolitas puras, a veces arenosas, de color gris claro a gris verdoso, con estructuras por lo general masivas y localmente brechosas y laminadas (varvitas). Se observan también algunas lentes de areniscas pelíticas gris verdosa, masivas y areniscas negras friables con estratificación cruzada. El macizo exhibe muy escaso fracturamiento y las rocas son competentes a excepción de algunos tramos en areniscas negras. El macizo de la Fm. Santa Cruz presenta una capa superficial alterada con espesores que varían de 1 m a 5 m. Esta formada por roca descompuesta, predominantemente pelítica de color pardo claro a medio, muy baja competencia y consistencia plástica.
- e. Finalmente y subyaciendo a la Fm Santa Cruz, se encuentra la Fm 25 de mayo, solamente detectada en algunas de las perforaciones profundas y que no tiene influencia en la fundación de la presa y de las estructuras de hormigón.

## 13.2. Parámetros Geotécnicos del Aluvión

### 13.2.1. Velocidad de onda de corte, densidad relativa y deformabilidad

Los depósitos aluvionales compuestos básicamente por grvas arenosas con lentes de arena, constituyen el material de fundación de la presa. En este ítem se trata de precisar las condiciones que deben tener los sedimentos aluvionales sobre los que se fundará la presa. Se trata de ubicar los horizontes a partir de los cuales las deformaciones serán mínimas una vez que se apoye el cuerpo de la presa.

Para caracterizar este material desde el punto de vista de la deformabilidad, se llevaron a cabo mediciones con el método *MASW* en 2015 y una campaña de determinaciones de Densidades in situ y determinación de la relación de vacíos en la fundación de la presa en el valle del río en 2016.

El método *MASW* (*Multichannel Spectral Analysis of Surface Waves*) permite, a partir de la medición de Velocidad de onda de corte  $V_s$  estimar el grado de compacidad de los materiales granulares y calcular el valor del módulo de deformación dinámico de los mismos, parámetro fundamental para estimar el grado de asentamiento de la presa y su estabilidad bajo condiciones estáticas y dinámicas. Como principal característica de la  $V_s$  está el hecho de que solo se transmite por sólidos que tiene resistencia al corte y por lo tanto es insensible a la presencia del nivel freático.

Si bien en los Anexo 05 y Anexo 06 se presentan todos los resultados de estos estudios, cabe indicar que en la terraza aluvial de margen izquierda se ejecutaron en total 15 ensayos (AR01 a AR05, EJE01 a EJE05 y AB01 a AB05) como mostrado en la Figura 13.9. En la Margen derecha se han efectuado 7 determinaciones (Md1 a Md7) (Figura 13.10).

Para analizar la compacidad a lo largo de cada perfil se transformaron las  $V_s$  medidas en la velocidad normalizada  $V_{s1}$ , en función de la tapada. Para las gravas puede admitirse que en la mayoría de los casos prácticos la velocidad  $V_s$  sea una función de la tensión octaédrica  $\sigma_o$  donde  $\sigma'_o = (\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3)/3$ .

Para poder establecer correlaciones es necesario reducir  $V_s$  entonces a una presión efectiva de confinamiento, de referencia que es la presión del lugar o adoptado como una atmósfera, resultando el valor de  $V_{s1}$ :

$$V_{s1} = V_s / ( G'_o / p_a )^{0,25}$$

Se considera que a partir de  $V_{s1} > 200$  m/s, el comportamiento es dilatante y por lo tanto es esperable asentamientos pequeños cuando se cargue con el terraplén.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 289 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

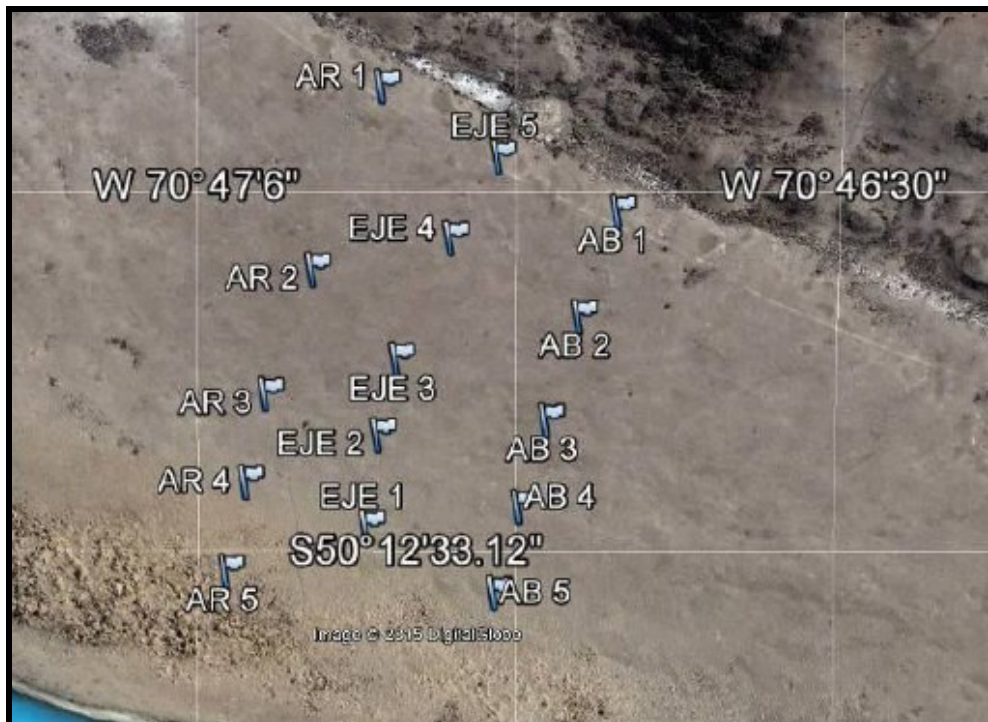


Figura 13.9: Ubicación de los perfiles MASW realizados en margen izquierda



Figura 13.10: Ubicación de los perfiles MASW realizados en margen derecha.

En la Tabla 13.1 se presentan los resultados de la velocidad  $V_{s1}$  normalizada de los MASW de margen derecha y en la Tabla 13.2 los resultados normalizados de los MASW de margen izquierda.

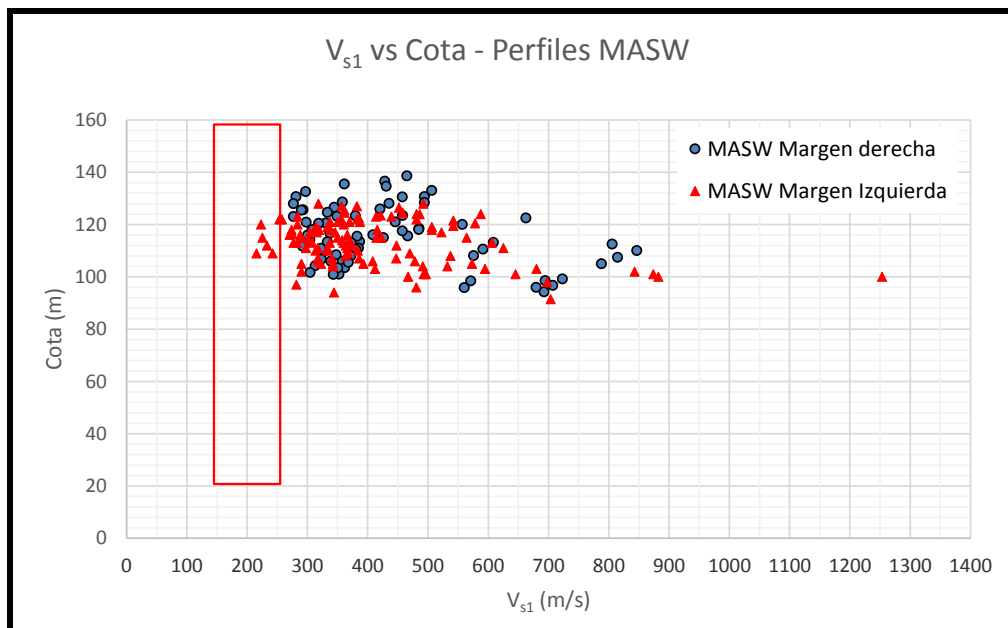
**Tabla 13.1: Resultados MASW con  $V_s$  normalizada – Aluvión Margen derecha**

	$V_s$ (m/s)	$V_{s1}$ (m/s)	Cota		$V_s$ (m/s)	$V_{s1}$ (m/s)	Cota	
MD1	280	337	116,7	MD5	550	663	122,5	
	300	304	114,2		550	557	120	
	310	292	111,7		500	458	117,5	
	360	325	109,2		500	426	115	
	370	323	106,7		1000	806	112,5	
	370	313	104,2		1100	847	110	
	370	305	101,7		1100	815	107,5	
	900	723	99,2		1100	788	105	
	900	707	96,7		MD6	410	494	128,4
	900	693	94,2			415	420	125,9
MD2	380	458	123,5	415		380	123,4	
	440	446	121	350		298	120,9	
	530	485	118,5	390		314	118,4	
	480	409	116	390		300	115,9	
	480	387	113,5	450		333	113,4	
	500	385	111	450		322	110,9	
	500	370	108,5	500		348	108,4	
	500	358	106	500		339	105,9	
	520	362	103,5	530	351	103,4		
	520	352	101	530	343	100,9		
1050	694	98,5	900	571	98,4			
1050	680	96	900	560	95,9			
MD3	410	494	130,6	MD7	300	361	135,5	
	430	436	128,1		500	506	133	
	320	293	125,6		500	458	130,5	
	410	349	123,1		325	277	128	
	410	330	120,6		360	290	125,5	
	630	485	118,1		360	277	123	
	630	467	115,6		430	318	120,5	
	850	609	113,1		430	308	118	
	850	591	110,6		550	382	115,5	
	850	576	108,1		550	373	113	
MD4	365	465	138,6	575	380	110,5		
	400	428	136,6	575	372	108		
	445	431	134,6	580	368	105,5		
	330	297	132,6					
	330	281	130,6					
	440	358	128,6					
	440	345	126,6					
	440	333	124,6					

**Tabla 13.2: Resultados MASW con  $V_s$  normalizada – Aluvión Margen derecha**

	$V_s$ (m/s)	$V_{s1}$ (m/s)	Cota		$V_s$ (m/s)	$V_{s1}$ (m/s)	Cota		$V_s$ (m/s)	$V_{s1}$ (m/s)	Cota
AB1	325	492	128	EJE1	170	257	122	AR1	375	452	126,5
	280	357	127		275	350	121		475	481	124
	580	587	124		270	273	118		500	416	118
	430	387	121		250	225	115		540	423	115
	380	316	118		280	233	112		600	448	112
	720	564	115		275	215	109		660	470	109
	800	606	113		425	317	106		700	478	106
	850	625	111		575	412	103		300	361	124,5
AB2	380	458	124,5	675	467	100	250	253	122		
	475	481	122	450	542	121,5	325	270	116		
	370	333	119	500	506	119	430	337	113		
	430	350	115	300	275	116,5	520	386	107		
	440	333	111	370	308	113	675	491	104		
	740	496	101	400	313	110	290	439	123		
AB3	325	414	123	425	317	107	300	382	122		
	280	284	120	730	481	96	310	314	119		
	580	522	117	350	422	123,5	320	288	116		
	430	358	114	365	370	121	340	283	113		
	380	298	111	375	338	118	480	383	110		
	720	537	108	370	301	114	575	447	107		
	800	573	105	440	333	110	700	532	104		
	850	594	103	410	290	105	1175	874	101		
AB4	320	385	122,5	540	344	94	235	356	122		
	220	223	120	300	361	125,5	265	338	121		
	350	315	117	280	284	123	315	319	118		
	340	277	113	400	360	120	460	414	115		
	320	242	109	450	366	116	450	374	112		
	450	322	105	480	364	112	460	367	109		
AB5	720	493	101	500	342	104	525	408	106		
	1050	698	98	1340	882	100	895	680	103		
	480	578	120,5	210	318	128	1685	1253	100		
	500	506	118	300	382	127	450	542	119,5		
	320	288	115	480	486	124	300	304	117		
	390	317	111	425	346	117	410	369	114		
AB5	450	341	107	475	360	113	440	366	111		
	410	290	102	500	342	105	450	363	108		
	420	282	97	980	645	101	500	393	105		
	1100	703	91,5				1100	843	102		

El gráfico de la Figura 13.11 muestra la variación de la  $V_{s1}$  en función de la cota para los MASW realizados en el aluvión de ambas márgenes.



**Figura 13.11: Correlación entre los valores normalizados ( $V_{s1}$ ) y la cota en mabs márgenes**

En la Figura 13.11 se ha representado la faja de variación de la  $V_{s1}$  entre 150 m/s y 250 m/s como siendo la faja de variación de suelos granulares con  $D_r > 70\%$ . En general, se puede observar que casi no existen depósitos contractivos, es decir con  $V_{s1}$  inferiores a 200 m/s. Esto asegura que al menos los materiales granulares tienen una  $D_r > 70\%$ . También se destaca que los valores son independientes respecto de la margen en que fue medida la  $V_s$  del aluvión, confirmando que los materiales son similares. Las lecturas se concentran en torno de los 300 a 500 m/s.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 292 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

Los ensayos CH ejecutados en los sedimentos de la llanura de inundación, PRK 11, PRK 12, PRK 13 de margen izquierda y PRK 16 en margen derecha se han realizado en gravas y bloques flotando en matrices arenosas y limosas. Los resultados de los ensayos Crosshole se presentan en el Anexo 07 mientras que la definición del módulo de rigidez dinámica se presenta en el Anexo 22 (NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900).

Los resultados muestran elevadas velocidades de ondas de corte con excepción de un delgado espesor superficial limoso del orden de 1 a 2 m. que es limoso y será removido.

A partir de los valores de  $V_s$  se puede calcular el módulo de corte a baja deformación  $G_{max}$  con la siguiente fórmula:

$$G_d = V_s^2 \cdot \rho$$

Los resultados se presentan en la Figura 13.12 donde se observa que a partir de los 10 m los valores mínimos superan  $G_{max} = 100$  MPa.

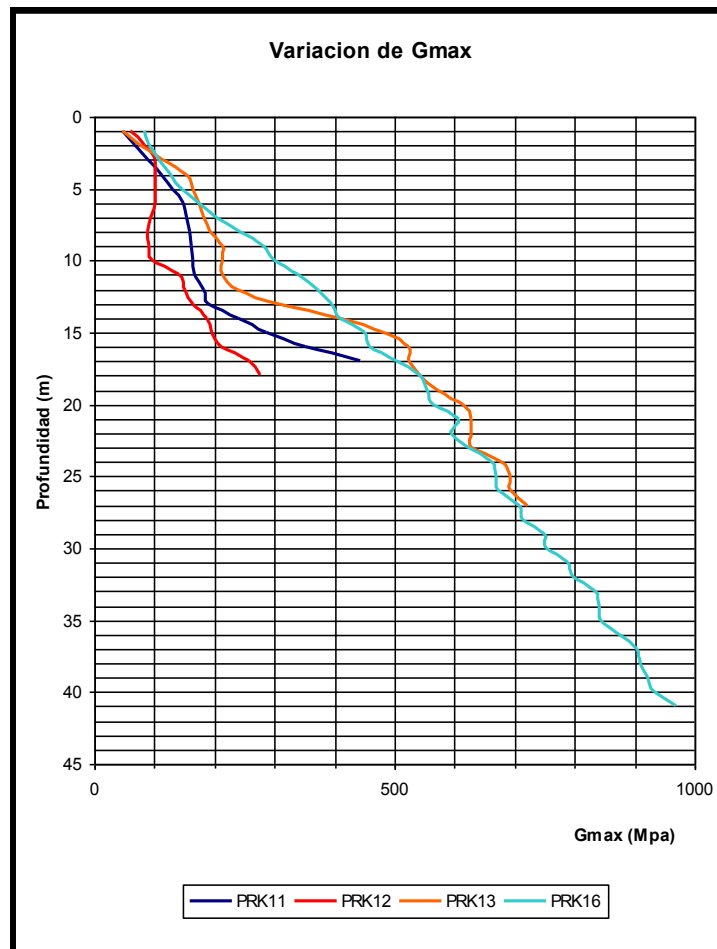



Figura 13.12: Variación de  $G_{max}$  con la profundidad en los sedimentos aluviales

Los sedimentos de la llanura de inundación presentan velocidades de ondas de corte elevadas a partir de los primeros 1 a 2 m de profundidad. Los ensayos CH se han realizado en gravas y bloques cuya rigidez aumenta en profundidad llegando a valores de suelos muy rígidos. Para pasar de los valores del módulo de corte  $G_{max}$  a valores de módulos de deformación es necesario considerar el rango de deformaciones que se quiera analizar. Dentro del mismo escenario distintos sectores de la fundación responderán de manera diferente.

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 293 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

Durante la campaña 2016 se realizaron calicatas para determinar la densidad *in situ* a 1 y 2 m de profundidad y granulometría del aluvión. En el Anexo 23 se incorpora el documento NK-A.CV-IL.GT-(PR-00-00)-P002 con el detalle de los trabajos realizados y los resultados obtenidos.

Las calicatas se alinearon según el eje de la presa y se ejecutaron en las progresivas 0+800, 0+950, 1+100, 1+250, 1+400 y 1+550. Los resultados se muestran en la Tabla 13.3.

**Tabla 13.3: Densidades *in situ*, peso específico sólido ponderado y relación de vacíos, 1° etapa.**

Datos de la capa				Densidades	P <sub>e</sub> sólidos	Relación de vacíos
Fecha	Denominación	Progr.	Cota	D <sub>s</sub>	P <sub>e</sub>	e
		[m]	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	
02/06/2016	NK-ED-01	1+550Eje	Prof. 3,0m	22,8	26,5	0,16
02/06/2016		1+550Eje	Prof. 1,5m	20,6	26,5	0,29
03/06/2016	NK-ED-02	1+400Eje	Prof. 2,5m	21,3	26,6	0,25
03/06/2016		1+400Eje	Prof. 1,5m	23,7	26,6	0,12
04/06/2016	NK-ED-03	1+250Eje	Prof. 2,5m	21,4	26,6	0,24
04/06/2016		1+250Eje	Prof. 1,5m	20,5	26,6	0,30
05/06/2016	NK-ED-04	1+100Eje	Prof. 2,5m	22,3	26,7	0,20
05/06/2016		1+100Eje	Prof. 1,5m	21,9	26,7	0,21
06/06/2016	NK-ED-05	0+950Eje	Prof. 2,5m	21,7	26,5	0,22
06/06/2016		0+950Eje	Prof. 1,5m	21,4	26,5	0,24
07/06/2016	NK-ED-06	0+800Eje	Prof. 2,0m	21,7	26,6	0,23
07/06/2016		0+800Eje	Prof. 1,0m	20,8	26,7	0,28


Los principales resultados indican que el manto superior de suelos finos con presencia orgánica se presenta con un espesor que va desde los 0,50 m en la progresiva 1+550, a 1,2m en la progresiva 0+800.

Las densidades naturales obtenidas son elevadas variando entre 20,5 y 23,7 kN/m<sup>3</sup> (promedio 21,7 kN/m<sup>3</sup>) confirmando su elevada compacidad. La densidad de sólidos oscila entre 26,5 y 26,7 kN/m<sup>3</sup> mientras que las densidades mínimas están en el orden de 19 kN/m<sup>3</sup>. La relación de vacíos varían entre 0,12 y 0,30.

Atendiendo a que los materiales aluvionales naturales son de similares características que los materiales que serán utilizados para su construcción (Figura 13.8), no será necesario adoptar una profundidad mínima de fundación que involucre estos materiales, sino que la profundidad podrá ser definida por sus características granulométricas y valores de densidad *in situ*. En tal sentido, las condiciones de los materiales de fundación deberían considerar principalmente el retiro del material fino que aflora en la superficie, con presencia de vegetación y materia orgánica

Con relación a la deformabilidad de los aluviones, para poder estimar los valores de módulo dinámico y estático de los aluviones de fundación se utilizaron los valores de módulo de rigidez al corte, G, y coeficiente de Poisson,  $\nu$ , obtenidos del análisis de deconvolución unidimensional (NK-A CV-MT FE-(OG-00-00)-P001-0A) realizado para la máxima profundidad de aluvión correspondiente al sondeos crosshole PRK 16.

Los acelerogramas corresponden a sismos para un período de recurrencia de 144 años (sismo básico de operación) y de 9 950 años. Para la determinación de G y  $\nu$  se tomó el promedio de los valores de cada uno de los tres sismos considerados para cada período de recurrencia. Con los valores de G y  $\nu$  se calcularon los módulos de deformación dinámico y el estático, que resultan de multiplicar este valor por un coeficiente igual a 0,8. (Tabla 13.4).

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 294 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

**Tabla 13.4: Parámetros de deformabilidad dinámico y estático para el aluvión de fundación de la presa.**

Profundidad		Sismo Recurr. 144 años				Sismo Recurr. 9950 años			
de	hasta	$G_{din}$	$\nu$	$E_{din}$	$E_{est(0,8)}$	$G_{din}$	$\nu$	$E_{din}$	$E_{est(0,8)}$
m	m	MPa		MPa	MPa	MPa		MPa	MPa
0	30	30 - 309	0,44 - 0,46	88 - 890	71 - 712	78 - 609	0,37 - 0,38	216 - 1667	172 - 1300

### 13.2.2. Permeabilidad del material aluvional

Los Ensayos Lefranc realizados en el eje de la presa y muro colado, presentan valores de permeabilidad que varían en función de la granulometría y de la densidad de los materiales. En el perfil del plano NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P901 se presentan los resultados según el sondeo donde se ejecuto. En las Tabla 13.5 y Tabla 13.6 se presentan los resultados de los ensayos de permeabilidad Lefranc a carga constante o variable realizados en los sondeos de la campaña de AyEE y de la campaña de 2006.


**Tabla 13.5: Permeabilidad Lefranc de los aluviones en los sondeos de la campaña de AyEE.**

SONDEO	TIPO DE ENSAYO	PROFUNDIDAD m	COTA m	PERMEABILIDAD cm/s	FORMACIÓN GEOLÓGICA
K2	Carga Constante	3	-3	1,90E-02	Aluvion rio Terr.Inf. MI
		6	-6	1,10E-02	
		9	-9	3,10E-02	
	Carga Variable	12	-12	2,70E-04	
		15	-15	5,00E-04	
K3	Carga Constante	18	-18	4,30E-02	Aluvion rio Terr.Inf. MI
		9	-9	6,30E-05	
		12	-12	2,30E-05	
		15	-15	2,40E-05	
		18	-18	1,00E-03	
		21	-21	4,30E-04	
		24	-24	1,10E-02	
		27	-27	2,50E-05	
		30	-30	1,00E-04	
K4	Carga Constante	33	-33	6,20E-04	Aluvion rio Terr.Inf. MD
		36	-36	2,30E-04	
		6	-6	2,70E-04	
		9	-9	6,50E-04	
		12	-12	1,90E-03	
		14,8	-14,8	1,20E-03	
		18	-18	2,50E-02	
		21	-21	1,50E-04	
K15	Carga Constante	31,5	-31,5	5,20E-04	Aluvion Margen izquierda
		34,5	-34,5	3,50E-04	
		37,5	-37,5	2,30E-04	
		3	-3	1,40E-03	
		6	-6	1,80E-05	

Tabla 13.6: Permeabilidad Lefranc de los aluviones en los sondeos de la campaña de 2006.

SONDEO	TIPO DE ENSAYO	PROFUNDIDAD m	COTA m	PERMEABILIDAD cm/s	FORMACIÓN GEOLÓGICA
CI 01	Carga Constante	6,45	111,75	Alta absorción	Aluvion MI Lecho del rio
		12,45	105,75	Alta absorción	
		16,45	101,75	Alta absorción	
		20,45	97,75	Alta absorción	
		25	93,2	Alta absorción	
		29	89,2	Alta absorción	
		33	85,2	Alta absorción	
		37,34	80,86	Alta absorción	
		41,09	77,11	5,10E-02	
CI 02	Carga Constante	5	121,2	3,10E-01   4,80E-01	Aluvion Norte MI
		9	117,2	7,40E-04   1,00E-03	
		13	113,2	Alta absorción	
		15	111,2	Alta absorción	
		18,45	107,75	Alta absorción	
CI 13	Carga Constante	4,45	116,75	Alta absorción	Aluvion MI
	Carga Variable	8	113,2	7,30E-03   9,10E-03	
		12	109,2	5,50E-06	
	Carga Constante	16	105,2	Alta absorción	
		20	101,2	9,20E-02   9,60E-02	
		24	97,2	Alta absorción	
		28,5	92,7	1,53E+00	
CI 14	Carga Constante	4,5	115,5	9,40E-02	Aluvion MI
		10,05	109,95	Alta absorción	
		15,75	104,25	Alta absorción	
		22,1	97,9	Alta absorción	
		29,2	90,8	5,10E-01   6,40E-01	
		37	83	Alta absorción	
CI 15	Carga Constante	4	117,7	Alta absorción	Aluvion MI
	Carga Variable	8	113,7	2,20E-05	
	Carga Constante	12	109,7	Alta absorción	
		16	105,7	Alta absorción	
		20	101,7	Alta absorción	
CI 18	Carga Constante	4	123,1	Alta absorción	Aluvion MI
		8	119,1	Alta absorción	
		12,03	115,07	3,10E-05	
		15,3	111,8	6,20E-07	
CI 19	Carga Constante	4	120,5	Alta absorción	Aluvion MI
		8	116,5	1,20E-02	
		12	112,5	Alta absorción	
		16,35	108,15	5,80E-07	
CI 23	Carga Constante	3	123	Alta absorción	Aluvion MI
		6	120	Alta absorción	
		9	117	Alta absorción	
		12	114	6,40E-02	
	Carga Variable	17,3	108,7	5,00E-05	
CI 31	Carga Constante	4	120,9	2,90E-02   3,10E-02	Aluvion MI
		12,45	112,45	8,10E-04	
		16,9	108	1,80E-02	
		20,9	104	Alta absorción	
		25,2	99,7	Alta absorción	
		29,5	95,4	Alta absorción	
		33,5	91,4	1,10E-04	
CI 32	Carga Constante	3	119,1	Alta absorción	Aluvion eje muro
	Carga Variable	6,2	115,9	6,30E-01   1,00E+00	
		9,8	112,3	2,20E-05	
	Carga Constante	12,8	109,3	Alta absorción	
		16,6	105,5	Alta absorción	
		20,5	101,6	1,20E+00	
CC 01	Carga Constante	7,5	104,7	Alta absorción	Aluvión lecho rio
		13,5	98,7	1,80E-01	
		19,5	92,7	Alta absorción	
		26,5	85,7	Alta absorción	
		30,2	82	Alta absorción	
	Carga Variable	39,5	72,7	5,30E-05	
CC 03	Carga Constante	11	102,4	Alta absorción	Aluvión lecho rio
		15	98,4	Alta absorción	
		19	94,4	Alta absorción	
		23	90,4	Alta absorción	
		27	86,4	Alta absorción	
		31	82,4	1,10E-01	
		35,2	78,2	7,40E-02	



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 296 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

La información fue clasificada siguiendo las categorías que se listan a continuación:

Alta permeabilidad ( $k > 10^{-1}$ )
Moderada Permeabilidad ( $k = 10^{-1}$ a $10^{-3}$ cm/s)
Permeabilidad baja ( $k = 10^{-3}$ a $10^{-5}$ cm/s)
Impermeable ( $k < 10^{-5}$ cm/s)

La permeabilidad varía entre  $10^{-7}$  cm/s, en el extremo menos permeable, a 1 cm/s en el extremo mas permeable. Se adopto como valor promedio de la permeabilidad del aluvión  $1,5 \cdot 10^{-2}$  cm/s.

Las principales conclusiones respecto de las propiedades geotécnicas del aluvión del río son:

- El material puede ser claificado como una grava bien graduada, con 2 a 7 % de cantos rodados mayores a 10 cm, 15 a 35 % de arenas y bajo contenido de finos (<5 %).
- Presenta su mayor espesor en proximidades del cauce actual, alcanzando casi 40m de espesor. Hacia los laterales norte y sur va disminuyendo su espesor y se interdigita con los depósitos de till y coluviales desarrollados en las terrazas vecinas.
- La densidad relativa del aluvión es >del 70 % y muy próximo a 100 %, lo cual le da alta compacidad y comportamiento dilatante.
- El módulo de corte dinámico ( $G_d$ ) varía de 100 MPa en superficie a casi 1 000 MPa a 40 m de profundidad. Los módulos de deformabilidad dinámico y estático utilizados para el análisis de estabilidad de la presa varían entre 90 y 1 700 MPa y 70 y 1 300 MPa respectivamente.
- La permeabilidad es variable conforme la naturaleza de la capa o lente que integra el aluvión, los cuales están directamente relacionados con los procesos fluviales que le dieron origen. La misma varía de 1 cm/s para las gravas limpias más permeables a  $1 \cdot 10^{-7}$  cm/s para depósitos limo arcillosos de llanura de inundación. Se asumió una permeabilidad promedio de  $1,5 \cdot 10^{-2}$  cm/s.

### 13.3. Techo de roca para muro colado

La integración de las investigaciones geológicas realizada permitio la construcción de un modelo tridimensional donde se se representan las superficies del contacto aluvión/till-Roca (CAR) y en contacto roca alterada-roca competente (CRC) que se muestran en el Anexo 16.

En el plano NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P900 y P901 (Anexo 17) y en las Figura 13.3 a Figura 13.6 se ha representado el perfil geológico con todas las unidades litológicas y la traza de ambos contactos.


Puede concluirse que el contacto entre el aluvión y la roca alterada es muy claro y neto, fácilmente identificables con las perforaciones.

Igualmente el contacto entre roca alterada y roca competente también se distingue con claridad pues no solo se presenta un cambio notorio de color (pardo para la alterada, gris verdoso para la competente) sino también un cambio en la competencia del material.

En las Figura 13.3 a Figura 13.6 se observa que el desarrollo del horizonte alterado es mas espeso en la margen izquierda (10 a 25 m) y margen derecha (5 a 10 m) que en el centro del valle donde no supera los 3 m de espesor.

La permeabilidad del manto alterado en el sitio de emplazamiento del muro colado, es difícil de cuantificar porque su espesor es menor que la altura del tramo usado para los ensayos de permeabilidad. Sin embargo es posible asignarle un promedio de 3 UL a la roca alterada, es decir aproximadamente  $3 \cdot 10^{-5}$  cm/s.

La roca competente subyacente tiene excelentes condiciones de permeabilidad (<1UL) por lo que se la puede considerar impermeable.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 297 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

A efectos del empotramiento del muro colado se ha considerado que la superficie CAR es la más adecuada pues permite una fácil identificación en campo durante la ejecución de las excavaciones.

Se aplicó el criterio usado por el diseñador del gradiente hidráulico admisible según el estado del macizo rocoso para plintos de presas CFRD en roca (Tabla 13.9), en este caso aplicable para el tramo de empotramiento del muro colado.

En función de la carga hidráulica máxima que tendrá el embalse y fijado el gradiente hidráulico de 4, el muro colado estará empotrado 7 m a partir del contacto aluvión-roca alterada, lo cual significa que en roca competente estará de 3 m a 5 m empotrado.

### 13.3.1. Zonificación de la Presa

La existencia del muro colado, implica la inclusión de un plinto flotante en el proyecto de la presa y la debida zonificación de materiales en derredor tanto en profundidad como aguas arriba y abajo del punto de encuentro de ambos. Además de la remoción de la capa superficial se excavara en profundidad colocando materiales seleccionados y compactados. En el documento NK-A.CV-MT.GT-(PR-01-00)-P002 Presa CFRD-Diseño de Materiales, se desarrolla este tópico con mayor detalle.

En la Figura 13.13 se muestra la sección típica de la presa. Los materiales previstos para la construcción de la presa son:

- a) Material 1A: este material recubre el plinto y tiene la función que en caso eventual de rotura del sello perimetral del plinto, pueda ser arrastrado por el agua y formar eventualmente un sello contra el material 2A para reducir la filtración. Para ello se requiere un suelo fino granular limoso no plástico (NP), ligeramente compactado sólo con el paso de los equipos. Se extiende en capas de 30 cm de espesor. La Fuente de este material seria la capa de suelo limoso que cubre el aluvión en todo el valle.
- b) Material 1B: se coloca como protección del material 1A. Corresponde a gravas arenosas obtenidas directamente de los préstamos de materiales y compactadas en capas de 30 cm de espesor.
- c) Material 2A: material de filtro que se coloca debajo del sello perimetral del plinto. Retiene las partículas del material 1A en caso de un arrastre inducido por la rotura de un sello concentrando los que formarán una capa mucho más impermeable que generará una pérdida importante de carga hidráulica a través de ella tendiendo al sellado de la fuga. Corresponde a gravas arenosas con tamaño máximo de ½" (12,7 mm) y compactada en capas de 30 cm a máxima densidad. Este material será procesado. Se requiere que el material no se degrade mecánica y físicamente durante su manipulación y que sea un material no plástico y no cohesivo que le permita ser autosellante ante una fisura. Por ser un filtro del material 1A, los límites granulométricos están fijados por las características granulométricas del material que se desea proteger. Así si el suelo superficial del sitio fuese limo-areno-arcilloso, el filtro debe tener  $D_{15} < 0.7$  mm. La banda granulométrica propuesta es (Figura 13.14):



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGCG-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 298 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900

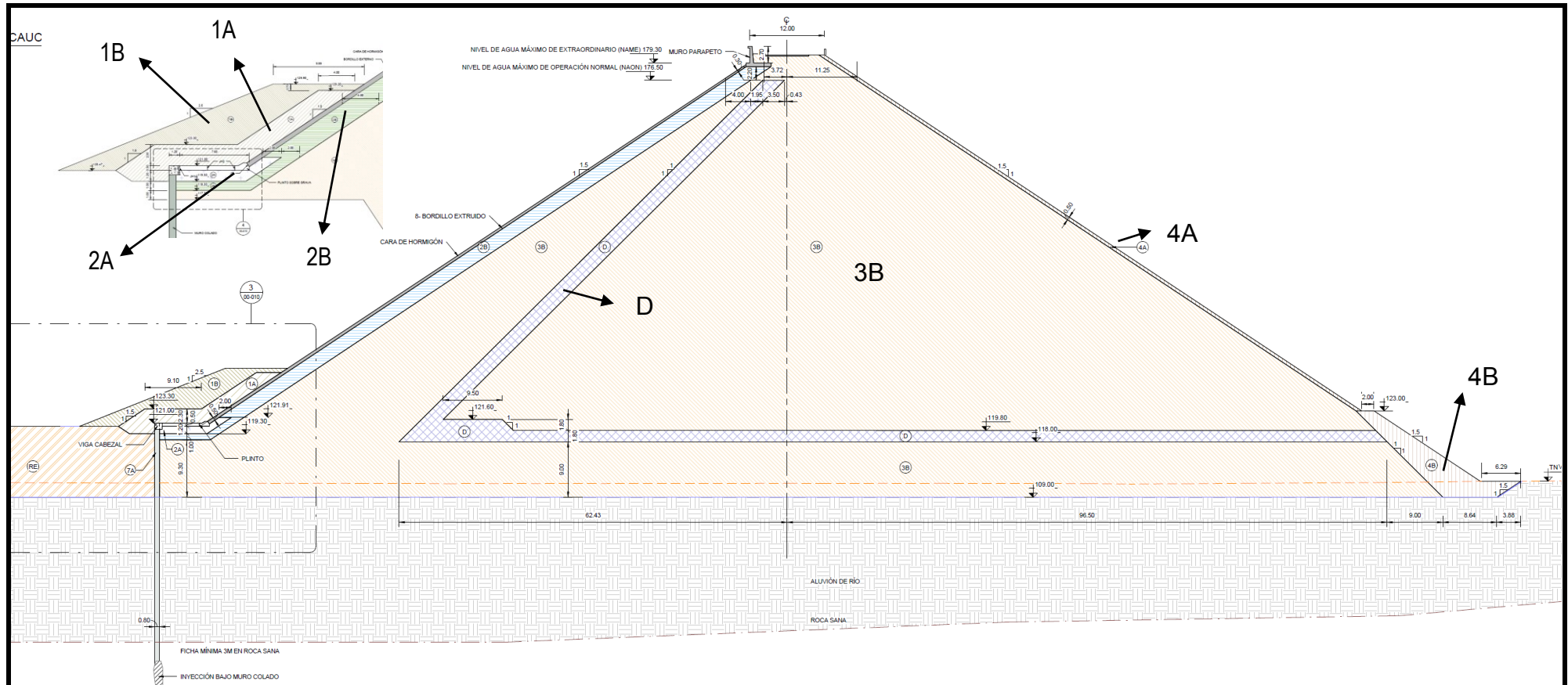


Figura 13.13: Sección típica de la presa

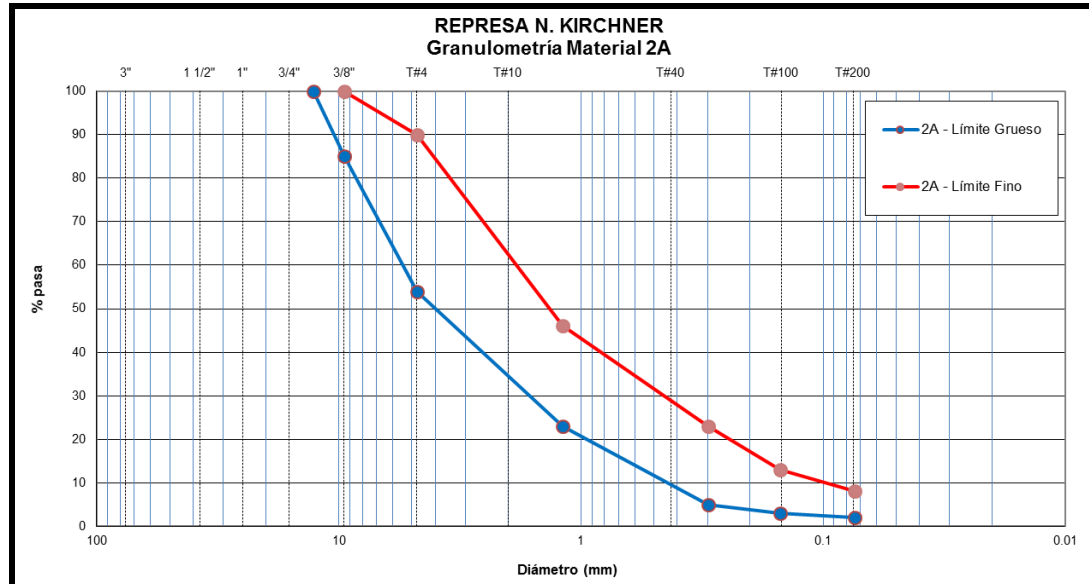


Figura 13.14: Material 2A – Banda granulométrica propuesta

- d) Material 2B: este material sirve de soporte para la losa de hormigón colocada sobre el talud de la presa para constituir la cara relativamente impermeable de la presa. Corresponde a gravas arenosas con tamaño máximo de 3" que se coloca en capas de 30 cm compactada. Este material será procesado. La faja granulométrica propuesta se presenta en la Figura 13.15.

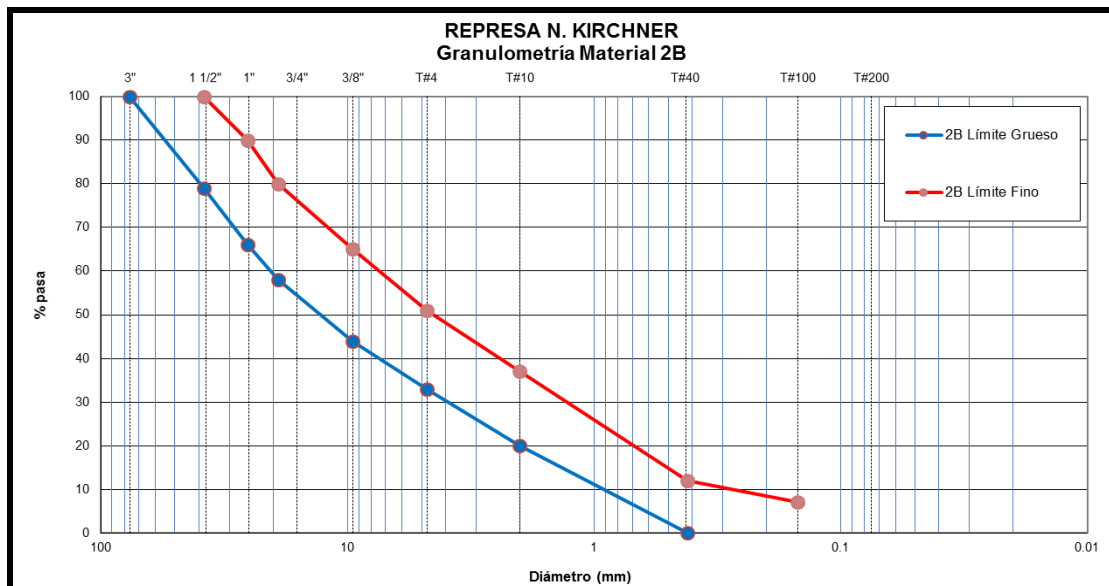


Figura 13.15: Material 2B – Banda granulométrica propuesta

- e) Material 3B: sirve de transición entre el material 2B y el dren (Material D). Se diseña como un filtro para el material 2B. Se colocará en capas de 60 cm de espesor y se compactará con adición de agua del orden de 150 a 200 litros por metro cúbico de material. Esto será verificado según los resultados del terraplén de prueba. La faja granulométrica propuesta se presenta en la Figura 13.16.

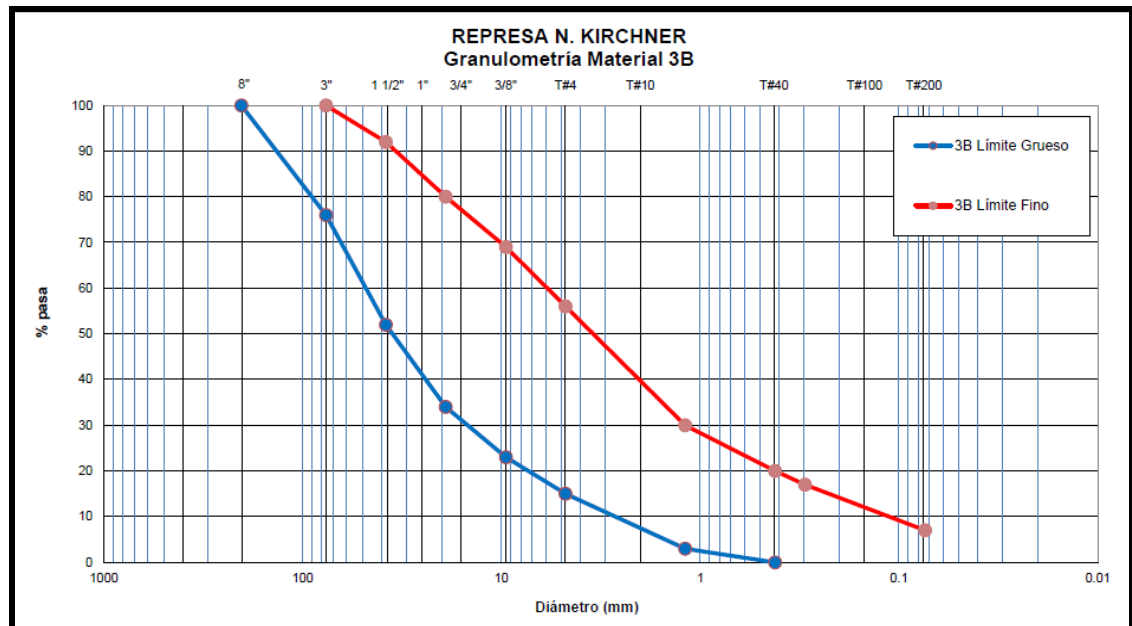


Figura 13.16: Material 3B – Banda granulométrica propuesta

- f) Material D: sirve para conformar el dren inclinado y los drenes horizontales (*finger drains*) que se encuentran sobre la fundación del espaldón de aguas abajo. Su propósito es captar las aguas de infiltración que eventualmente pueda darse en el caso que un sismo rompa la losa de hormigón aguas arriba sobre el talud de la presa, garantizando que no se sature el espaldón de aguas abajo de la presa y así se asegura la estabilidad en casos extremos. Igualmente su granulometría se define a partir de la granulometría del material 3B, como un filtro para este material. Corresponde a gravas limpias con tamaño máximo de 8" (203 mm) y cortado en 1/2". Se colocará en capas de 60 cm de espesor. La faja granulométrica propuesta se presenta en la Figura 13.17.

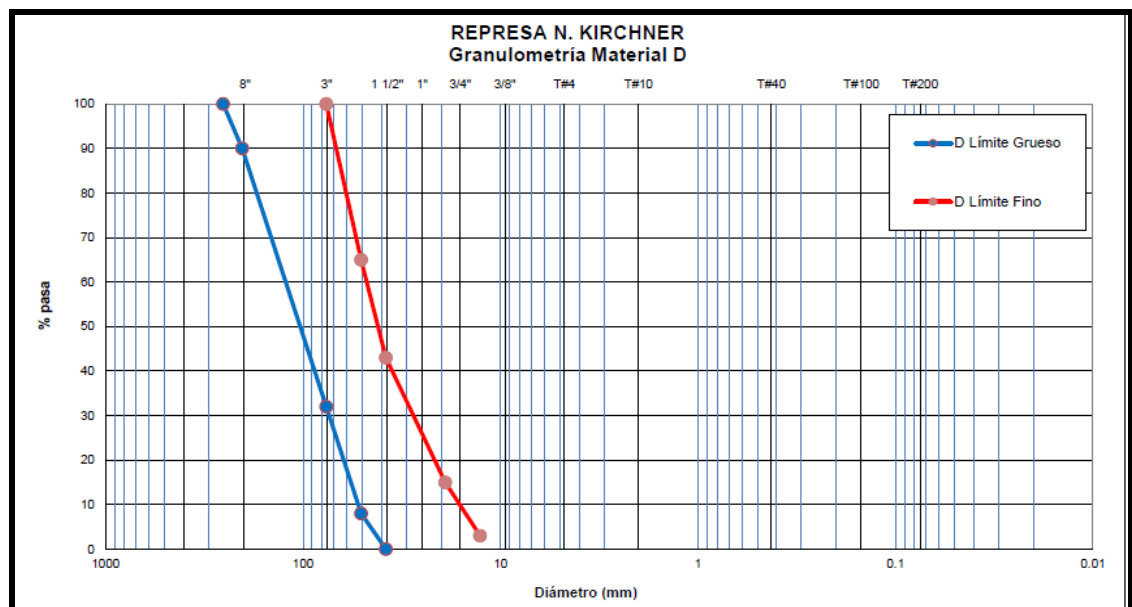



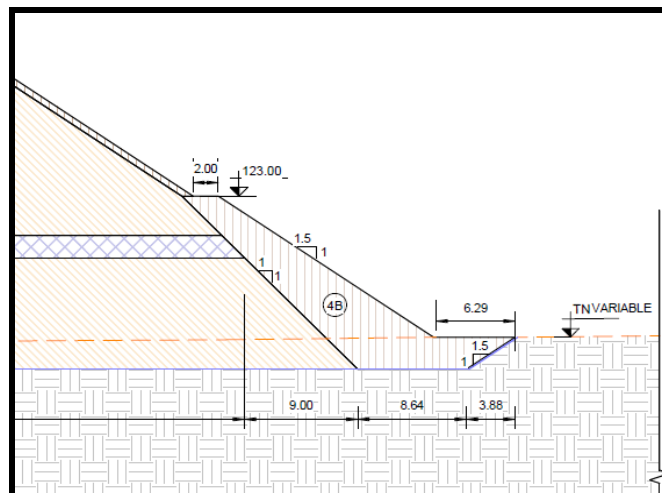
Figura 13.17: Material D – Banda granulométrica propuesta

- g) Material 4A: sirve como protección superficial del talud de aguas abajo de la presa. Corresponde a fragmentos de roca sana de tamaño máximo de 500 mm. La función principal es proteger el espaldón de la presa frente a la erosión superficial por escurrimiento de las lluvias que puedan afectar el sector o

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 301 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

para protección del talud por erosión que pueda causar el viento. Estará constituido por fragmentos limpios de roca sana. Este material deberá provenir de la explotación de una cantera en basalto.

- h) Material 4B: Sirve como un relleno de protección del pie del talud de la presa en el cauce del río (Figura 13.18). Corresponde a fragmentos de roca sana con tamaño máximo de 500 mm, que será obtenida de la cantera de basalto.



**Figura 13.18: Ubicación del Material 4B**

Los materiales provenientes de los yacimientos estudiados serán la fuente para preparar y producir los distintos materiales requeridos para la construcción de la presa CFRD, especialmente el material 3B y 1B que no requieren clasificación.

Los materiales 2A y 2B deberán ser procesados por medio de clasificación, eventual trituración y lavado en caso de requerirse a partir de las gravas arenosas disponibles en los yacimientos.

El material 1A podrá obtenerse de la capa de suelo limo arenoso que cubre los aluviones de la fundación de la presa.

El material D para el dren deberá ser procesado y clasificando del material procedente de los yacimientos al eliminar por tamizado el material menor a  $\frac{1}{2}$ " (12,7 mm). El tamaño máximo será de 10". El material de rechazo tamizado que pasa el tamiz de  $\frac{1}{2}$ " se utilizará para la fabricación del material 2A.

Los materiales 4A y 4B estarán constituidos por fragmentos limpios de roca sana procedentes de la explotación de afloramientos de basalto. El tamaño máximo será de 500 mm.


### 13.3.2. Análisis de filtraciones

El comportamiento frente a las posibles filtraciones que pudieran ocurrir durante la vida útil de la presa es un aspecto a considerar para garantizar un comportamiento adecuado y seguro durante la operación. En el documento NK-A.CV-MC.FE-(PR-01-00)-P003 Presa CFRD – Fundaciones y estructuras – Filtraciones se presenta en detalle el análisis. A continuación se describirán los principales asuntos y conclusiones.

Este documento tiene como objetivo presentar los modelos y cálculos de filtraciones realizados para la verificación y dimensionamiento del sistema de drenaje interno de la presa, bajo diferentes hipótesis relacionadas con daños que pudiesen originarse en la cara de hormigón y el muro colado.

Paralelamente, se utilizan estos modelos para evaluar el comportamiento y eficiencia del muro colado bajo diferentes profundidades de empotramiento en la roca de fundación bajo los depósitos aluvionales donde estará fundada la presa.

El alcance se limita a presentar los resultados en relación a la posición de la línea superior de flujo para los casos analizados, a la determinación de los caudales solicitantes de los drenes y la correspondiente verificación de la capacidad de los mismos y a la determinación de los gradientes de filtración en la roca de encastre del muro colado y su evaluación para definir la profundidad óptima de empotramiento.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 302 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

El sistema de drenaje propuesto para la Presa es del tipo dren chimenea inclinado que se conecta a nivel de fundación (cota 125 m) con un manto drenante horizontal tipo *Finger drains* con dimensiones de 15 m de ancho, 1,8 m de altura y separados cada 150 m.

Para las modelaciones se utilizó el software de elementos finitos SEEP/W de GeoStudio, mediante el cual se puede determinar la red de flujo resultante, los caudales de filtración y los gradientes en diferentes sectores del modelo. El modelo analizado es el mostrado en la Figura 13.13.

En la Tabla 13.7 se presentan los parámetros de permeabilidad asignados a los materiales del modelo. Los valores de coeficiente de permeabilidad utilizados para los materiales componentes de la presa corresponden a valores compatibles con sus características granulométricas a partir de la bibliografía de referencia. Paralelamente, se tomaron referencias de otros proyectos con materiales de similares características para comparación de los valores adoptados. La permeabilidad del material 3B será verificada luego de la ejecución del terraplén de prueba.

**Tabla 13.7: Coeficiente de Permeabilidad de los materiales.**

Material	Coeficiente de Permeabilidad Vertical Kv [cm/s]	Coeficiente de Permeabilidad Horizontal Kh [cm/s]	Relación de Permeabilidades Kh/Kv
1A	$5 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3}$	1
1B	$5 \times 10^{-1}$	$5 \times 10^{-1}$	1
2A	$1 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3}$	5
2B	$1 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3}$	5
3B	$1 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-2}$	5
D	1	1	1
	10	10	1
Pantalla	$1 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-8}$	1
Pantalla Fisurada	1	1	1
Muro Colado	$1 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-7}$	1
Muro Colado Fisurado	$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$	1
Aluvión	$1.5 \times 10^{-2}$	$1.5 \times 10^{-2}$	1
Roca Sana	$1 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-5}$	1

En la sección de aluvión mas profundo la presa Néstor Kirchner tendrá una altura máxima (H) del orden de 105 m (considerando el aluvión de fundación) y una longitud en la cresta (L) cercana a 1,663 m, para una relación L/H de 15,8, lo que implica que al ser suficientemente larga la estructura, el comportamiento esperado frente a las filtraciones será bidimensional y en consecuencia, el análisis de filtraciones en 2D es representativo del comportamiento esperado de la presa en la mayor parte de su extensión.

El modelo obtenido del programa *SEEP/W de GeoStudio* para el análisis de las filtraciones se muestra en la Figura 13.19.

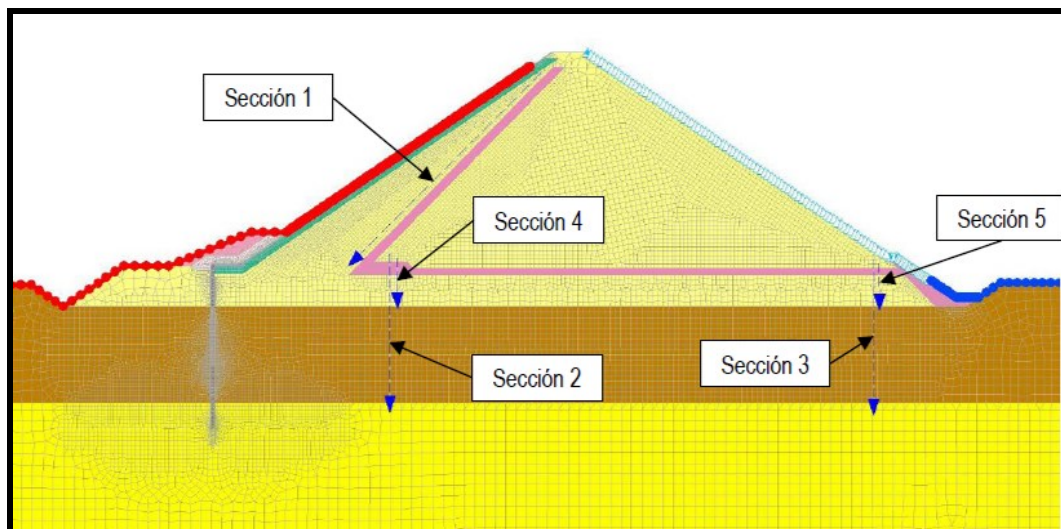


Figura 13.19: Modelo SEEP/W en Zona de Presa, Condiciones de Borde y Secciones de Flujo

Con los resultados obtenidos de los análisis de filtraciones, se verifico la capacidad drenante de los finger drains usando la formula de Leps. Para diferentes gradientes y con la geometría del 15m de ancho y 1,8m de altura, la capacidad del dren se muestra en la Figura 13.20.

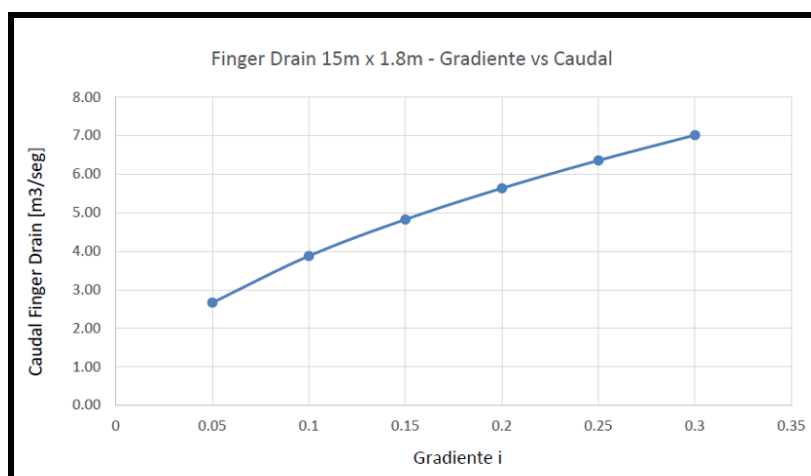


Figura 13.20: Capacidad Admisible por *Finger Drain*

Se analizaron diferentes escenarios:

- Situación normal, con empotramiento del muro colado en roca de 0 m, 2 m, 5 m, 7 m y 10 m.
- Fisuración de la cara de hormigón
- Fisuración del muro colado

Los caudales obtenidos de los análisis se muestran en la Tabla 13.8.



**Tabla 13.8: Caudales obtenidos por finger drains para diferentes situaciones de análisis**

Caso	Caudales Unitarios [l/s/m]					Caudales x 150m [l/s]				
	Sección 1	Sección 2	Sección 3	Sección 4	Sección 5	Sección 1	Sección 2	Sección 3	Sección 4	Sección 5
Muro Colado a Roca Sana	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0	32	37	7	9
Muro Colado 2m en Roca Sana	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0	21	26	4	6
Muro Colado 5m en Roca Sana	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0	16	21	3	6
Muro Colado 7m en Roca Sana	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0	15	20	3	6
Muro Colado 10m en Roca Sana	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0	13	18	2	5
Fisuración de cara ( $K_d = 0.01$ m/s)	6.3	5.4	7.6	3.7	3.9	945	804	1139	557	585
Fisuración de cara ( $K_d = 0.1$ m/s)	8.3	9.5	9.7	8.7	8.3	1245	1430	1455	1302	1239
Fisuración Muro Colado ( $K_d = 0.01$ m/s)	0.5	5.1	5.4	1.6	2.6	79	761	807	243	396
Fisuración Muro Colado ( $K_d = 0.1$ m/s)	0.4	6.3	6.4	3.0	5.0	63	950	954	450	750

Puede observarse que el máximo caudal que podrá solicitar a un finger drain es 1 455 l/s y se corresponde con el caso de fisuración de la cara de hormigón. De los modelos se verificó que los gradientes medios más bajos que se producen en el dren son del orden de 0,05 a 0,1 en general para todos los casos. Comparando el caudal solicitante (1 455 l/s) contra el caudal máximo que puede extraer el dren (2 700 l/s), el factor de seguridad es del orden de 1,9 (2 700/1 455), lo cual implica que el sistema de drenaje propuesto es suficiente para asegurar el correcto funcionamiento frente a los caudales de evacuación, aun para el caso extremo de fisuración de la cara de hormigón en una altura de 30 m y una longitud continua de 150 m.


Otro punto que ya se mencionó anteriormente es con relación a los gradientes para diferentes empotramientos del muro colado en función de la carga hidráulica promedio de 56 a 58 m:

- Empotramiento 2 m – Gradiente = 11,7
- Empotramiento 5 m – Gradiente = 5,4
- Empotramiento 7 m – Gradiente = 3,9
- Empotramiento 10 m – Gradiente = 2,8

Para evaluar estos resultados frente a los gradientes admisibles en la roca competente de fundación del muro colado, el diseñador uso como analogía el criterio desarrollado en el boletín 141 del *ICOLD* para la definición del ancho del plinto de una presa tipo *CFRD* sobre roca en función del gradiente. La Tabla 13.9 muestra el criterio utilizado en función del tipo de roca y diferentes propiedades de las mismas.

**Tabla 13.9: Criterios de fundación para plintos (ICOLD 141)**

Foundation Criteria for Plinth Width Selection							
A	B	C	D	E	F	G	H
I	Non-erodible	1/18	> 70	I to II	1 to 2	< 1	1
II	Slightly erodible	1/12	50 to 70	II to III	2 to 3	1 to 2	2
III	Erodible	1/6	30 to 50	III to IV	3 to 5	2 to 4	3
IV	Highly Erodible	1/3	0 to 30	IV to VI	5 to 6	> 4	4

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 305 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

donde:

**A = tipo de fundación**

**B = Clase de fundación**

**C = Gradiente (ancho plinto/profundidad del agua embalse lleno)**

**D = RQD**

**E = Grado de alteración (I rocas sanas, IV suelos residuales)**

**F = Grado de consistencia (1 rocas duras, 6 rocas friables)**

**G = macrodiscontinuidades por 10 m**

**H = Clases de excavación**

En cuanto al tramo del plinto en roca, el macizo rocoso de la fundación de la presa NK puede catalogarse como una roca masiva con un alto *RQD*, pocas discontinuidades con cierto grado de alteración en los primeros metros desde el contacto aluvión-roca, siendo una roca blanda que podría ser potencialmente erosionable principalmente en estos primeros metros, para luego mejorar su calidad. El empotramiento del muro colado, no estará expuesto al ambiente y presenta un buen comportamiento frente a la permeabilidad, con valores Lugeon generalmente muy bajos como se expuso en capítulos anteriores. Para su excavación no se requieren voladuras y puede realizarse por medios mecánicos.

Por todo lo anterior, se puede clasificar al macizo entre Fundación entre tipo II a tipo III (columna A), con quizás algunos sectores que puedan considerarse entre tipo III y tipo IV, estando más cercano al tipo III o IV en los primeros metros y luego mejorando a tipo II con la profundidad. A partir de la tabla anterior, se puede asumir una relación entre el ancho de plinto (o longitud de empotramiento) y la profundidad del agua (columna C) desde 1/3 (Tipo IV) a 1/12 (Tipo II). Para esta etapa de proyecto ejecutivo, se adoptó un gradiente admisible máximo de 4 desde el contacto aluvión-roca (CAR), para definir el empotramiento del muro colado. Este valor adoptado resulta conservador ya que se esperan mejores condiciones en el macizo donde se empotra el muro colado por lo expuesto anteriormente, por lo que el gradiente admisible podría ser mayor.


Aspectos tales como las características de masividad e impermeabilidad del macizo, la alteración limitada del mismo; los espesores de roca alterada (diferencia entre CAR y CRC) y la posible alteración en el proceso constructivo, se tendrán en cuenta durante la ejecución y estudios previos para ajustar este empotramiento. Además se debe tener en cuenta que se cuenta con la investigación prevista con las perforaciones de avance del muro colado, que si bien se ubican cada 48 m en avance, se localizarán y distribuirán sobretodo en las zonas donde se detectaron mayores admisiones en los ensayos Lugeon o donde se presente alguna duda sobre la calidad del macizo.

Comparando los gradientes calculados anteriormente para diferentes empotramientos del muro colado, puede verse que con 7 m de empotramiento se satisface que el gradiente de infiltración sea menor que 4 ( $i = 3,9$ ).

Por último, vale aclarar que se analizó el caso de empotramiento de 10 m en roca sana como estaba previsto en el proyecto original. En cuanto a caudales de filtración, éstos son bajos y no presentan sensibilidad frente a la longitud de empotramiento del muro colado. Respecto a los gradientes, se obtiene un valor de 2,8 que se considera demasiado bajo para las condiciones descritas del macizo, y por este motivo se considera que 10 m de empotramiento del muro colado resulta excesivo y no es necesario.

Los resultados presentados plantean a modo de conclusión que:

- el sistema de drenaje funciona adecuadamente para abatir las líneas de saturación hasta el nivel del finger drain, dejando la presa seca aguas abajo del mismo.
- Respecto a los caudales de filtraciones a extraer con los finger drains, se puede decir que el caudal solicitante máximo (1.455 l/s) es del orden del 54% de la capacidad máxima de un finger drain considerando gradientes bajos (2.700 l/s).

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 306 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

- c. El análisis de gradientes en la fundación del muro colado permite definir que un empotramiento conservador de 7m es adecuado para esta etapa de desarrollo del proyecto, para no superar los gradientes admisibles en la roca de implantación del mismo.

### 13.4. Criterios de Fundación de la Presa y plinto flotante.

Las determinaciones de  $V_s$  realizadas mediante el MASW señalan la existencia de materiales lo suficientemente compactos bajo la planta de la presa.

Las calicatas abiertas muestran la presencia de gravas y arenas, cuya densidad debe ser objeto de determinación en el nivel de fundación pero que a la luz de los resultados de la sísmica MASW tienen alta compacidad y  $D_r$  mayor de 75 %

El destape requerido para la fundación de la presa debe alcanzar niveles sin contenido orgánico, lo que se estima puede estar en el orden de 1 a 2 m en margen izquierda y de 1 m en margen derecha. De encontrarse otro tipo de sedimentos cuando se realice el destape, es necesario realizar ensayos para determinar sus características mediante identificación, como así también su densidad.

El plinto flotante estará apoyado sobre una capa de material preparado formado por una inferior de material 2B y una superior de material 2A en una excavación en cota 118,3 m. El plinto de hormigón tiene cota de coronamiento 121 msnm.

### 13.5. Criterios de Fundación del plinto en roca (NK-A.CV-MT.GT-(PR-02-01)-P001)

Si bien el plinto será flotante en la mayor parte de la extensión de la presa, sobre la margen derecha el plinto flotante se conectará con la estructura del desvío y descargador de fondo, a partir de la cual continuará el plinto fundado en roca hasta encontrar el muro de cierre de margen derecha. Sobre la margen izquierda el plinto flotante terminará en una estructura de hormigón llamada punto triple cuando se alcance la roca, a partir de la cual continuará el plinto fundado en roca hasta la cota de coronamiento.

El plinto sobre roca es una losa o zapata de hormigón reforzado que se vincula a la roca por medio de anclajes de acero, los cuales son instalados previamente al hormigonado. Al estar apoyada en roca corresponde a una estructura continua, sin juntas, siendo su espesor constante de 50 cm y su ancho de 6,8 m que corresponde a un gradiente promedio de 4 (Figura 13.21).

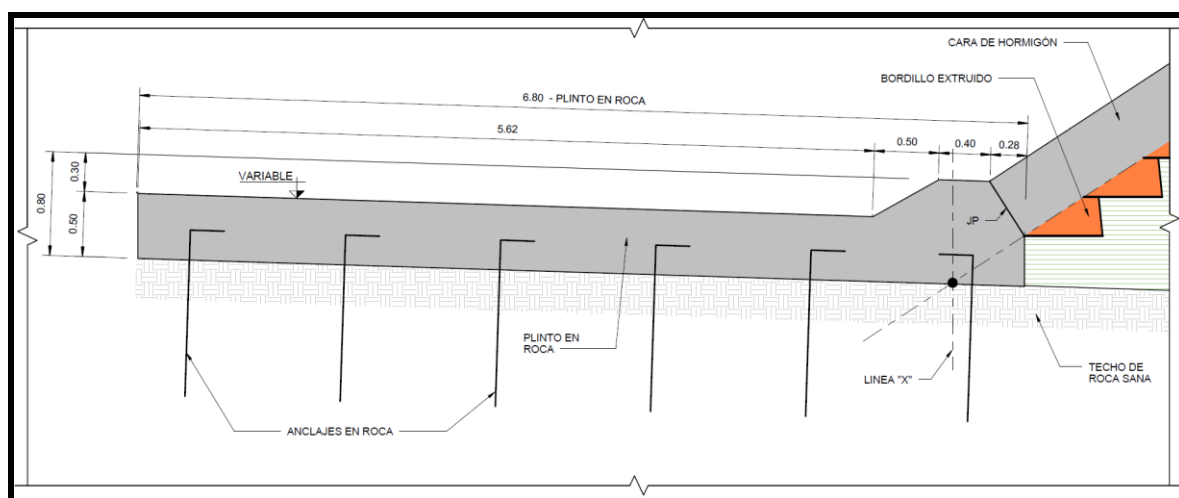



Figura 13.21: Sección del plinto en roca

Los niveles de excavación del plinto en roca se llevarán hasta la línea que define la subrasante de la estructura. Posteriormente se limpiará la superficie de roca y se realizará un mapeo geológico de superficie

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 307 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

para dejar registrada la presencia de discontinuidades geológicas y definir los tratamientos necesarios antes de hormigonar la losa.

Se trataran las zonas de cizalla, diaclasas abiertas y fallas mediante una limpieza cuidadosa y tratamiento dental con hormigón de acuerdo con las recomendaciones generales contenidas en la memoria NK-A.CV-MT.GT-(PR-02-01)-P001. Posteriormente se nivelará la superficie de la roca con 5 cm de espesor de hormigón, el cual servirá de protección para evitar daños de la superficie de la roca por el tránsito de personal y equipos en las labores de perforación para instalación de barras de anclaje y colocación de acero de refuerzo para el plinto. Seguidamente, se efectuará el hormigonado de la losa del plinto de forma tradicional.

Finalizado el hormigonado y alcanzado el mismo al menos el 70 % de su resistencia, se podrá proceder a realizar las inyecciones de contacto, de consolidación e impermeabilización en ese orden y de acuerdo a la metodología que sea definida después de ejecutadas las pruebas de inyectabilidad del macio rocoso con lechada de cemento.

En estas pruebas se definirán la profundidad, cantidad y secuencia de inyecciones asi como la lechada adecuada a las condiciones de la obra.

## 14. MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE LA MARGEN IZQUIERDA

En la margen izquierda se radican las estructuras más importantes de la obra: conjunto toma+central, vertedero, muro de cierre de MI y Canal de aducción (Figura 14.1).

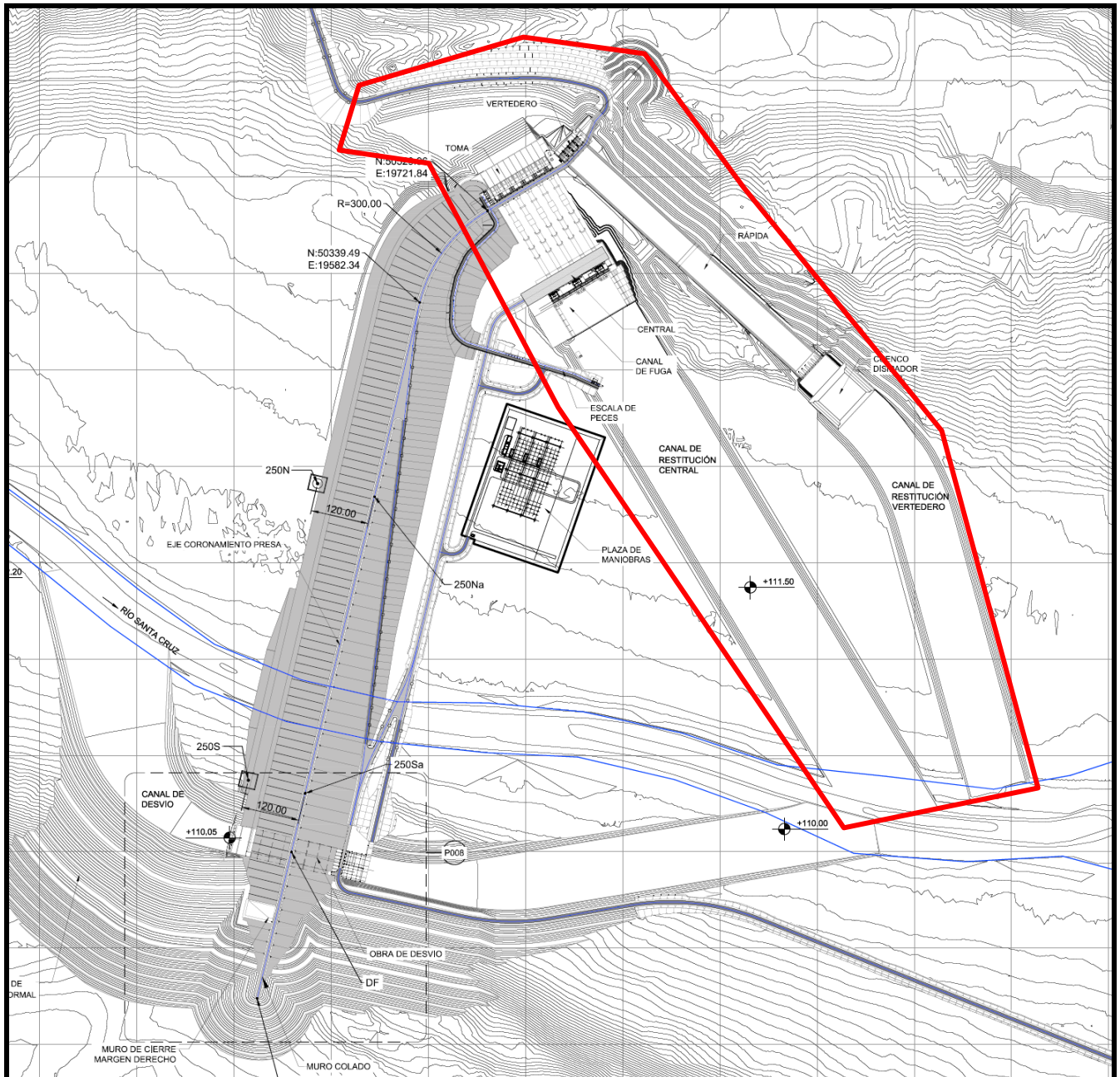



Figura 14.1: Ubicación de las estructuras de margen izquierda

El modelo geológico y geotécnico de estas estructuras se presenta en los planos NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P908 a P927 (Anexo 17), siendo los más relevantes:

- Planos P908 a P911 y P914: litológico y permeabilidad de la Toma + Central
- Planos P912 y P913: litológico y permeabilidad en el eje Toma – Vertedero – Muro de cierre MI
- Planos P915 a P919: litológico y permeabilidad en el eje del Vertedero y cuenco amortiguador.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 309 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

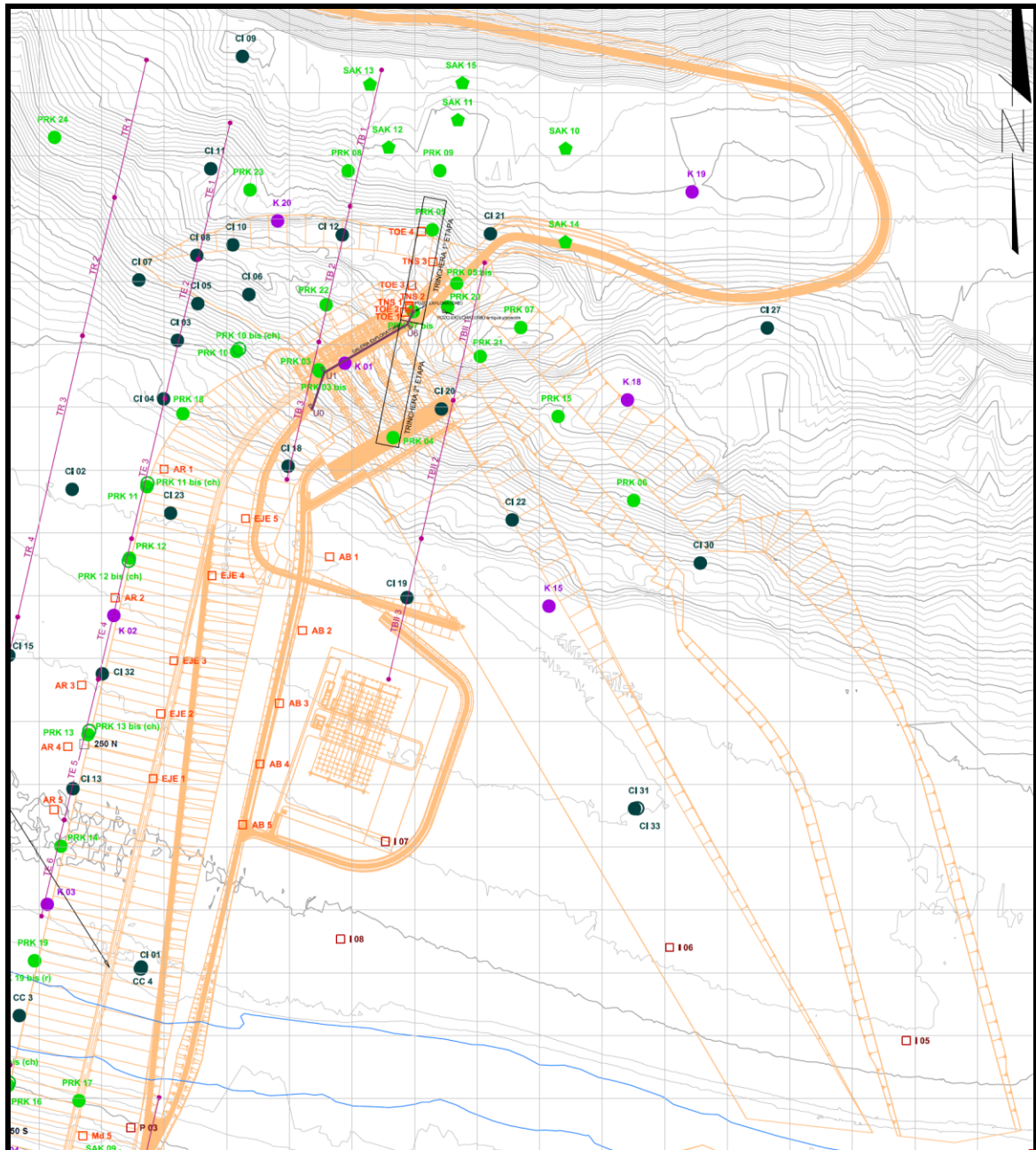
- Planos P920 y P927: litológico en secciones a lo largo del canal de aducción

En este Capítulo se presentaran los parámetros geológicos y geotécnicos de la fundación de las estructuras y de las excavaciones permanentes en el canal de aducción, raapida del vertedero, cuenco amortiguador, central y canales de restitución.

Todas las estructuras estan fundadas en rocas comptentes de la Fm. Santa Cruz a excepción de los canales de restitución de la central y del vertedero que será excavado en aluvión.

### 14.1. Investigaciones Realizadas

Las investigaciones en la zona de la presa Néstor Kirchner comprendieron la ejecución de perforaciones y de secciones geofísicas (Figura 14.2) y detalladas en el plano NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P003 (Anexo 03).




**Figura 14.2: Ubicación de las investigaciones geológicas realizadas en la margen izquierda**

De la campaña de la década del 80 liderada por AyEE se citan los sondeos K 01, K 15, K 18, K 19, K 20 y K 21.

De la campaña desarrollada por ESIN IATASA en 2006, se destacan los sondeos CI 03, CI 04, CI 05, CI 06, CI 07, CI 08, CI 09, CI 10, CI 11, CI 12, CI 18, CI 19, CI 20, CI 21, CI 22, CI 27, CI 30 y CI 31-CI 33. También se ejecutaron ensayos *crosshole* en el sondeo CI 31-CI 33.

Finalmente se ejecutaron secciones de prospección sísmica de refracción como las TR1 y TR2 (150 m aguas arriba del eje del muro colado), TE 1 y TE2 (prolongación del eje del muro colado), TB1 a TB3 (eje de la presa) y TBI1 a TBI3 (200 m aguas abajo del eje de la presa).

En la campaña 2015 se ejecutaron, en la terraza aluvial de margen izquierda, los sondeos PRK 03, PRK 03 bis, PRK 04, PRK 05, PRK 05 bis, PRK 06, PRK 07bis, PRK 08, PRK 09, PRK 10, PRK 15, PRK 20, PRK 21, PRK 22, PRK 23, PRK 24 y SAK 10 a SAK 15, así como los perfiles MASW TNS 1 a 3 y TOE 1 a 5. En el sondeo PRK 10 se ejecutaron ensayos *crosshole*.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 311 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

En el Anexo 04 se presentan todos los resultados de la campaña de sondeos, en el Anexo 07 los resultados de los crosshole y en los Anexo 05 y Anexo 06 los resultados de los MASW y los valores normalizados de la Vs respectivamente.

## 14.2. Marco Geológico

Los perfiles geológicos citados anteriormente, resumen el modelo geológico producto del análisis integrado de la información disponible.

El modelo geológico esta caracterizado por los siguientes aspectos de la evolución geológica:

- Sustrato formado por rocas terciarias continentales, de baja resistencia, estratificación subhorizontal y esencialmente de composición pelíticas (arcilitas y limolitas) pertenecientes a la Fm. Santa Cruz,
- Identificación dentro de la Fm de un nivel de areniscas negras friables de gran continuidad en el sitio de emplazamiento de las estructuras, a veces meteorizadas, entre cotas 134 m y 130 m.
- Derrame basáltico que formo las coladas presentes en la terraza superior e intermedia.
- Desarrollo de un gran evento glaciario e interglaciario (Co. Fortaleza) que actuo sobre el sustrato rocoso, afectándolo mecánicamente en el contacto y que además depósito sedimentos morrenicos variados.
- Desarrollo de procesos de remoción en masa generalizados que involucran deslizamientos rotacionales, expansiones laterales y flujos, desencadenados por el descalze de la ladera por erosion en su base debido al evento de ruptura del paleolago formado durante el holoceno en el valle del río Santa Cruz.

Este conjunto de elementos y procesos y la interpretación de los resultados de las investigaciones desarrolladas, permitio dividir los macizos entre 3 grandes grupos, separados entre si por las superficies CAR (contacto till-roca alterada) y CRC (contacto roca alterada-roca competente).

En el primer grupo, arriba de la superficie CAR, se agrupan:

- Depósitos de till complejo in situ o afectados por glacitectorismo y fenómenos de remoción en masa
- Coladas de basalto in situ y los afectados por fenómenos de remoción en masa.
- Rocas alteradas de la formación Santa Cruz afectadas por glacitectorismo y fenómenos de remoción en masa
- Depósitos aluvionales del río


En el segundo grupo, entre las superficies CAR y CRC, se agrupan todas las rocas de la Fm Santa Cruz afectados por meteorización (color pardo y baja competencia) pero que conservan su posición estratigráfica original, es decir que no fueron afectados por eventos glaciares y de remoción masa.

Finalmente, en el 3er grupo, debajo de la superficie CRC, se agrupan las rocas sanas, inalteradas y competentes de la Fm. Santa Cruz, con sus típicos colores gris claro a gris verdoso y resistencia baja entre 4 y 12 MPa.

Cabe recordar que las campañas anteriores plantearon dudas sobre las condiciones reales del macizo rocoso de la margen izquierda para laojar las estructuras de la presa, con relación a la magnitud de los fenómenos de remoción en masa identificados y a la resistencia del macizo rocoso. La ejecución de una campaña de investigaciones direccionada a estas dos problemáticas centrales sumado a la integración de toda la información aprovechable, permitio confluir en un modelo que no solo delimitó el espacio donde ocurrieron los deslizamientos (extensión y profundidad) sino también que los fecho en el tiempo y descubrió el mecanismo de deflagración (ruptura del paleolago).

Por otro lado, la profundización del conocimiento geológico, permitio la identificación de dos situaciones no detectadas anteriormente que impactaron en la definición de los criterios de diseño. Uno es el bloque de basalto desplazado de su posición original por una importante expansión lateral y que afecta la estabilidad de los taludes de margen izquierda del canal de aducción. La otra es la presencia de dos capas de arenisca



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 312 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

friable, limonitizada la de cota 165 m a 155 m y negra la de cota 133 m a 130 m, de muy baja resistencia y con una gran persistencia lateral.

Las principales formaciones geológicas son de Norte a Sur:

- a. Mesetas de basalto, pertenecientes a las coladas de edad Plioceno tardío a Pleistoceno que cubrieron en parte los depósitos fluvio glaciales de la terraza San Fernando y en parte directamente arriba de las rocas terciarias de la Fm. Santa Cruz. Se destaca la terraza superior de espesor entre 80 y 100 m. Topográficamente mas abajo se presenta el nivel denominado terraza intermedia que se estima pertenece a un nivel de colada inferior conectada al la principal. Se prevé la continuación de la perforación K 21 para verificar la hipótesis. Hacia el sur y por acción de un proceso de expansión lateral, se presenta un desprendimiento de basalto de la terraza intermedia.
- b. Depósitos glaciales y glacifluviales indiferenciados del evento Cerro Fortaleza. Estos depósitos cubren los basaltos y las rocas de la Fm. Santa Cruz, sin formar los niveles de terraza que se observan en la Margen derecha. Desde el punto de vista litológico se puede decir que esta formado por una complej mezcla de depósitos granulares fluvio glaciales, depósitos varvíticos, bloques de basalto y fragmentos de rocas de la Fm. Sta. Cruz deformados. Estos depósitos tienen algo de similitud con el till inferior cohesivo de margen derecha. Lateralmente los depósitos de till se interdigitan con los depósitos fluviales depositados por el río Santa Cruz durante la fase de modelado del valle. Los límites entre ambos grupos de depósitos son difusos.
- c. Los sedimentos fluviales y glacifluviales que rellenan el valle del río Santa Cruz, esta formado por cantos rodados, gravas y arenas que se interdigitan entre si de acuerdo con las geometría de los depósitos de origen fluvial, destacándose las estructuras de megaondulas y estratificación cruzada planar. Estos sedimentos cuaternarios se apoyan en general en discordancia erosiva sobre las rocas de la Fm. Santa Cruz
- d. Las rocas de la Fm. Santa Cruz estan integradas fundamentalmente por arcillitas y limolitas puras, a veces arenosas, de color gris claro a gris verdoso, con estructuras por lo general masivas y localmente brechosas y laminadas (varvitas). Se observan también algunas lentes de areniscas pelíticas gris verdosa, masivas y capas de areniscas negras friables con estratificación cruzada muy persistentes. El macizo exhibe muy escaso fracturamiento y las rocas son competentes a excepción de algunos tramos en areniscas negras. El macizo de la Fm. Santa Cruz presenta una capa superficial alterada con espesores que varían de 10 m a 25 m. Esta formada por roca descompuesta, predominantemente pelítica de color pardo claro a medio, muy baja competencia y consistencia plástica.

### 14.3. Modelo Geológico y Geotécnico para Toma, Conducción y Central


El arreglo general del conjunto Toma, Conducción y Central se muestra en la Figura 14.3. Se trata de una estructura de 197,5 m de longitud medida entre los ejes de la toma y de la central.

Se destaca en el corte la posición de las superficies de terreno natural, contacto till-roca alterada CAR y el contacto roca alterada-roca competente. Asimismo se constata que la fundación de las estructuras se realiza dentro de la roca competente.

En el Plano NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P908 y P909, se muestra el perfil geológico trazado por el eje longitudinal del circuito toma+conductos+central. Un extracto de estos perfiles se muestra en las Figura 14.4 y Figura 14.5.

El perfil, de dirección NW-SE, fue elaborado correlacionando la información de los sondeos CI 11, PRK 23, K 20, PRK 22, K 01, PRK 03 y 03bis, PRK 04, CI 22, K 15 y CI 31-CI 33. El perfil corta oblicuamente las líneas geofísicas TB2 y TBII2. Incluye la silueta de excavación del canal de aducción, la toma, los conductos y la central.

El perfil muestra un nivel superior constituido por los depósitos de till complejo del evento Co. Fortaleza que estan formados por en bloques de basalto de hasta 2 m de diámetro, mezclados con sedimentos fluvio-glaciares gravosos, todos afectados por deslizamientos rotacionales. En este conjunto se incluye la masa de basalto fracturado desprendido por la expansión lateral (sondeo PRK 23) cuya grieta de tracción esta ubicada en el sitio de la perforación CI 11. Debajo del basalto se ha representado un material que se ha

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 313 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

denominado “zona plastificada” por ser el nivel de cizallamiento que permitio el movimiento en la base del bloque y que originalmente eran rocas de la Fm. Sta Cruz.

Este conjunto esta en contacto con las rocas alteradas de la Fm. Santa Cruz, con espesores mayores en el extremo NW del perfil y afinándose hacia el SE. Se destaca la presencia entre cotas 160 m y 170 m de una capa de areniscas friables negras limonitizadas, que si bien es persistente no afecta la estabilidad de las estructuras. El contacto con la roca competente es subhorizontal hasta el sondeo K 01 y luego sigue inclinado paralelo a la superficie topográfica.

El macizo de roca competente esta integrado básicamente por arcillitas y limolitas masiva, brechosas y/o laminadas, de colores gris claro a gris verdoso. Los contactos son gradacionales. La monotonía de la secuencia es interrumpida por lentes de areniscas, algunas de naturaleza pelítica, color gris verdosas, formando probablemente lentes de hasta 50 a 75 m de longitud y 2 a 7 m de espesor. Tambien son comunes las capas de areniscas negras friables, de 1 a 10 m de espesor, de persistencia alta y que por su baja resistencia constituye una unidad geotécnica que condiciona la estabilidad de las estructuras.

La Figura 14.5 muestra el perfil geológico a lo largo del canal de restitución de la central. Se observa que los primeros 50 m se excavaran en roca competente, los siguientes 100 m en roca alterada y de ahí hasta el final se excavara en los aluviones del valle del río.

La Figura 14.6 muestra un corte longitudinal de la toma, del vertedero y del muro de cierre de margen izquierda, trazado por el eje de la presa. Se observan las mismas unidades descriptas en el perfil de la Figura 14.4.

### 14.3.1. Parámetros de Resistencia

Los parámetros de resistencia para el conjunto Toma, conducción, central y vertedero se presenta detalladamente en el documento NK-A.CV-MT.GT-(CH-00-00)-P902 (Anexo 24).

Para la obtención de los parámetros de resistencia del macizo rocoso de fundación, se partió de los ensayos de laboratorio disponibles de compresión diametral (brasileño), compresión uniaxial y compresión triaxial de las 3 campañas de investigación. En el Capítulo 8 se ha tratado con detalle este tema y en los Anexo 13 y Anexo 14 se presentan todos los datos.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 314 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900

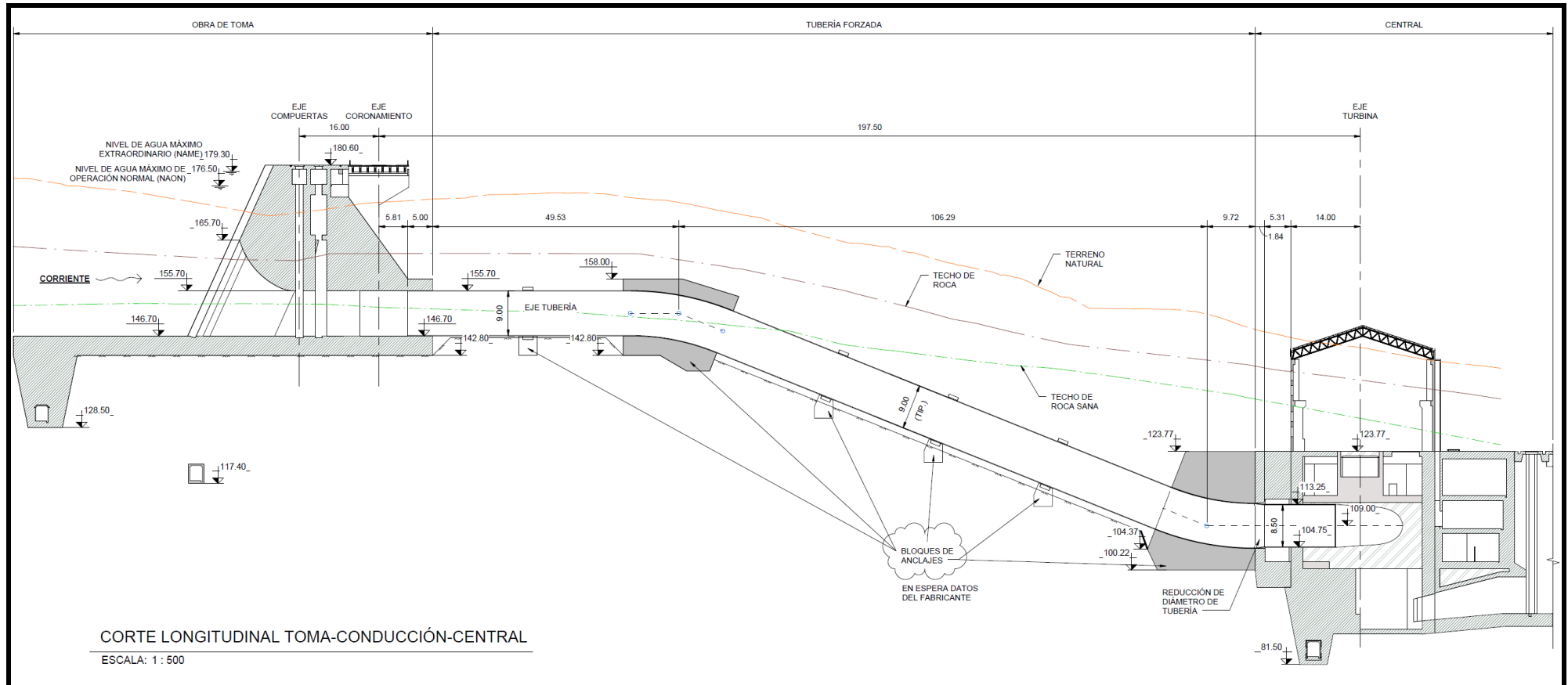


Figura 14.3: Corte longitudinal del circuito de generación



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 315 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

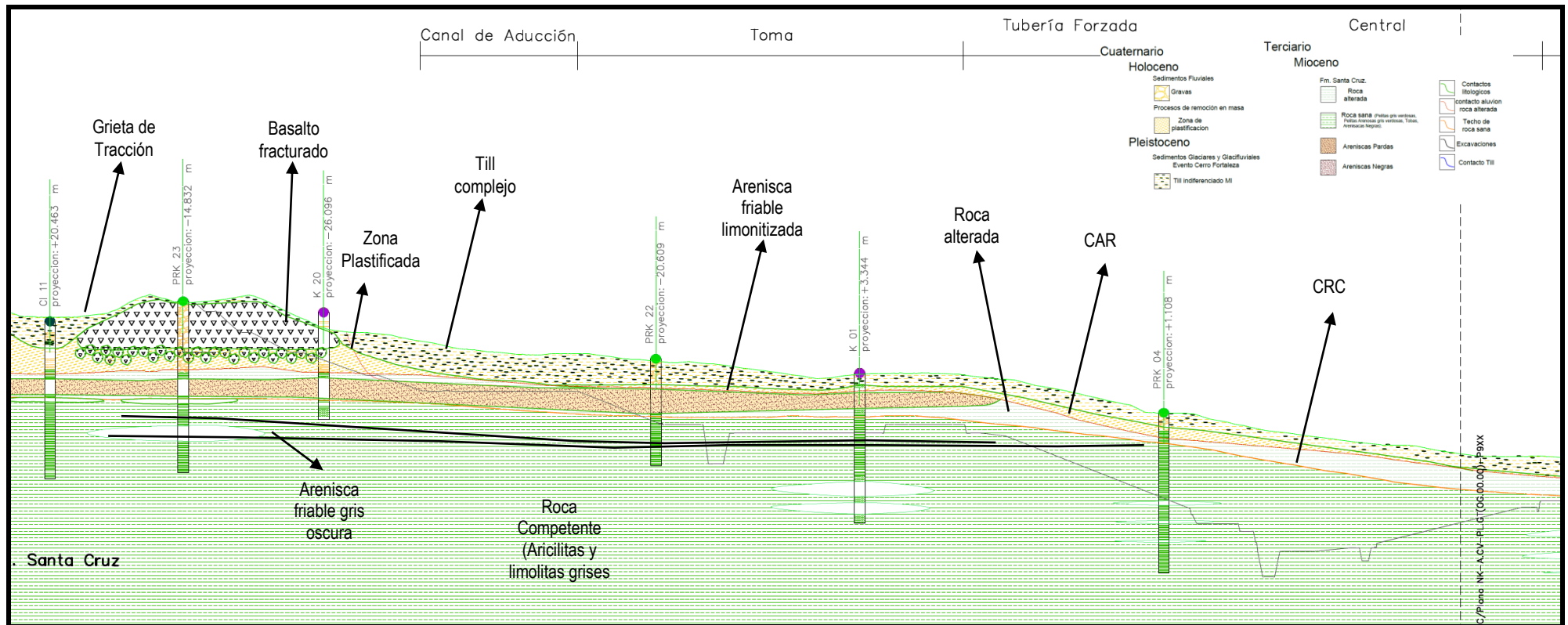


Figura 14.4: Perfil geológico longitudinal del circuito de generación (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P908 (Anexo 17))



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 316 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Doc. N°

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

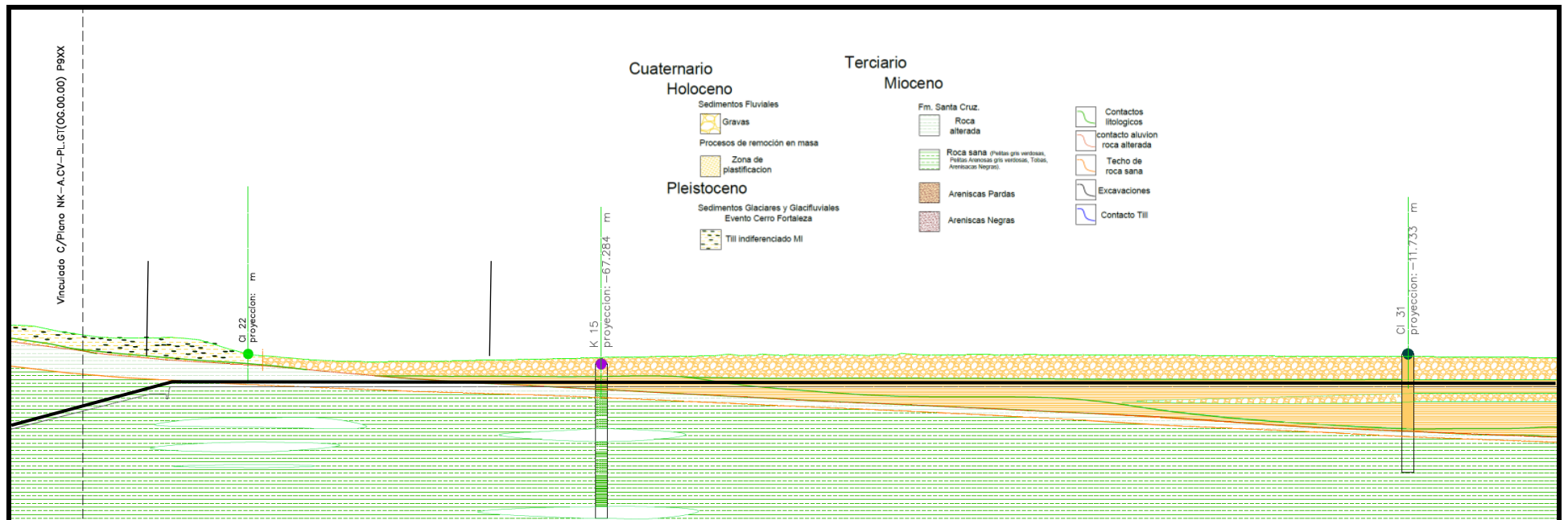


Figura 14.5: Perfil geológico longitudinal del canal de restitución de la central (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P909 (Anexo 17))



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 317 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

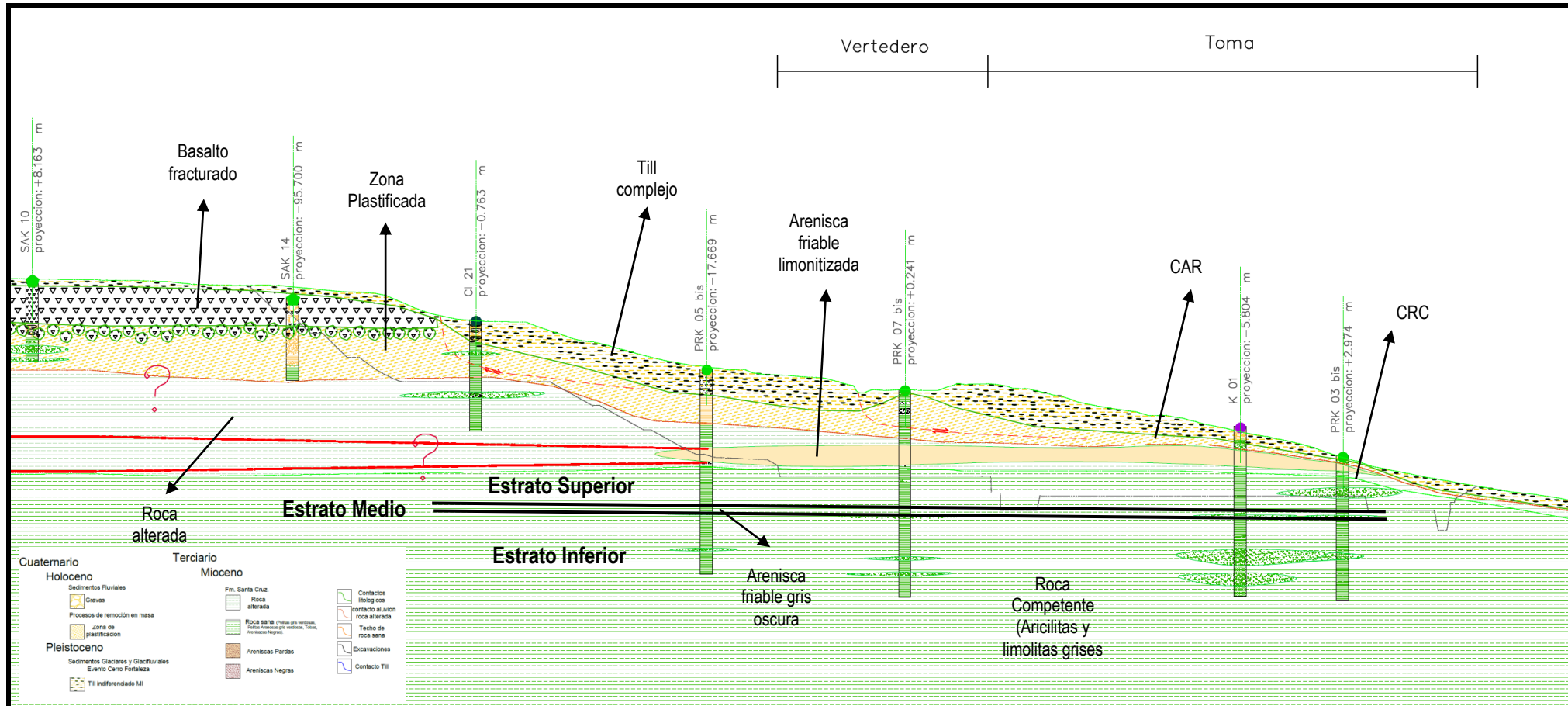


Figura 14.6: Perfil geológico longitudinal sobre el eje de la presa pasando por la toma, vertedero y muro de cierre de margen izquierda (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P912 (Anexo 17))



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 318 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Doc. N°

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900

Para homogeneizar los distintos tipos de ensayos de laboratorio se empleó un único procedimiento de análisis basado en el modelo de *Hoek Brown*, implementado en el programa *Roclab* (versión liberada de *Rocdata de Rocscience*). Este modelo permite variar las propiedades de deformación y de rotura de distintas rocas basadas en el *GSI (Geological Strength Index)*, con lo cual es posible pasar de resultados de laboratorio a estimaciones de valores geotécnicos en el macizo.

Se partió de la base de que los resultados de probetas de laboratorio tienen un *GSI* de 100 y que cuando disminuye el *GSI* se representa la situación del macizo in-situ. Como patrón de validación se tomaron los resultados de las mediciones de  $V_s$  registradas en 2015, a partir de lo cual se establecieron valores del módulo de deformación  $E$ , del macizo. Como las determinaciones geofísicas se realizaron bajo el nivel freático, se ha considerado que corresponden al macizo saturado.


Como criterio de diseño se adoptaron los parámetros del modelo de *Mohr-Coulomb*.

Al ser el modelo de *Hoek Brown* no lineal, a medida que aumentan las tensiones, la recta de resistencia intrínseca (leída como tangente a la curva) tiende a la horizontal por lo que el ángulo de resistencia interna,  $\phi$ , va disminuyendo y la cohesión,  $c$ , va aumentando. Para evitar errores se tomaron valores de tensiones de lectura de 0,5 y 1,2 MPa en correspondencia con estratos superficiales y estratos profundos. Estos niveles se fijaron de acuerdo al análisis tenso-deformacional realizado para las fundaciones de las estructuras.

La **Tabla 14.1** presenta los valores de *GSI* y de tensiones de medición del modelo *Mohr-Coulomb* resultante de los distintos ensayos.

**Tabla 14.1: Resistencia al corte en el macizo: cohesión ( $c_{\text{macizo}}$ ) y ángulo de fricción interna ( $\phi_{\text{macizo}}$ )**

Litología	Perforación	Cota (m)	$GSI_{\text{lab}}$	$\phi_{\text{lab}}$	$\sigma_{\text{lab}}$ (MPa)	$GSI_{\text{mac}}$	$\sigma$ (MPa)	$\phi_{\text{mac}}$	$c_{\text{mac}}$ (MPa)
Arenisca	K 02	94	100	47	1,3	80	1,2 0,7	45 49	0,6 0,4
Arenisca	K 03	67	100	41	2,8	65	1,2 0,5	39 48	0,4 0,3
Arenisca sat	K 15	85	100	40	0,8	90	1,2 0,7	37 41	0,5 0,5
limonita arc sat	K 15	100	100	33	0,6	90	1,2 0,5	27 33	0,4 0,3
Limolita tobácea	K 18	132	100	32	0,5	90	1,2 0,5	25 31	0,3 0,3
Arenisca Gris	PRK 3b 17	141	100	48	0,4	80	1,2 0,96 0,5	35 37 43	0,3 0,3 0,2
Toba	PRK 3b 22	135	100	40	0,5	85	1,2 0,5	33 40	0,3 0,2
Toba	PRK7b 26	165	100	40	0,4	85	1,2 0,5	31 37	0,3 0,2
Arcilita	PRK 3b18a	141	100	39	0,4	85	1,2 0,5	30 38	0,3 0,2
Arcilita	PRK3b 18b	141	100	46	0,9	85	1,2 0,5	42 48	0,5 0,3
Limolita	PRK 3b 13	147	100	42	1,2	80	1,2 0,8 0,5	40 32 48	0,5 0,2 0,4
Limolita	PRK 3b 14a	146	100	34	1,5	80	1,2 0,5	34 39	0,5 0,4
Limolita	PRK 3b 14b	146	100	34	1,5	80	1,2 0,5	34 39	0,5 0,4
Limolita	PRK 3b 15	145	100	39	0,9	80	1,2 0,5	32 39	0,3 0,2
Limonita individual	PRK 3b 15	145	100	49	1,1	80	1,2 0,5	48 52	0,5 0,3
Limolita individual	PRK 3b 16	145	100	38	1,4	75	1,2 0,5	38 43	0,4 0,3
Limolita	PRK3b 20 a	139	100	44	0,8	85	1,2 0,5	39 48	0,5 0,3
Limonita	PRK3b 20 b	139	100	41	0,6	80	1,2 0,5	34 41	0,3 0,2
Limonita	PRK 3b 21	137	100	42	0,9	80	1,2 0,5	37 44	0,4 0,3
Toba alterada	CI 10	170	100	45	0,1	85	0,8	24	0,1

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 319 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

**GSI inicio: valor asignado a ensayo de laboratorio**

**$\phi_{lab}, c_{lab}$ : parámetros de *Mohr Coulomb* determinados en laboratorio**

**GSI: valor definido en base a módulo del macizo en modelo *Hoek Brown***

**$\sigma$ : tensión de confinamiento para lectura en modelo *Hoek Brown***

**$\phi_{mac}, c_{mac}$ : parámetros de *Mohr Coulomb* definidos para GSI**

Los valores de GSI varían de acuerdo con la rigidez inicial de las probetas y los tipos de rocas. Para la definición de los módulos de las probetas iniciales se empleó el Módulo Relativo (MR: modulus ratio) del programa con valores de MR= 275 para pelitas, MR= 275 para areniscas y MR= 300 para tobas. Cuando los valores iniciales del módulo eran muy bajos no se modificaron al pasar de probeta a macizo, porque se consideró que al ser "blandos" no habría mayores diferencias por escala (entre Laboratorio y Campo), asemejándose más a un sedimento que a una roca.

Es de destacar que los valores finalmente empleados en los análisis corresponden a ensayos de perforaciones próximas a las obras de vertedero y central. Aquellos resultados correspondientes a las cotas superficiales que no han sido modificados por tensiones y quedaron en 1,2 MPa, no han sido tenidos en cuenta por encontrarse en perforaciones alejadas de la zona del Vertedero y la Central.

A partir de los valores de los ensayos de laboratorio se definieron los parámetros del modelo *Mohr-Coulomb* para las distintas litologías definidas en el modelo geológico. Se tuvo en cuenta la posición de los estratos con relación a las cotas, definiendo como superficiales a los ubicados arriba de la cota 134 y profundos a los que están por debajo de la cota 133 m (Figura 4.7). Para los estratos superficiales se tomó un confinamiento promedio correspondiente a 0,5 MPa (Tabla 14.2), mientras que para los profundos se toma 1,2 MPa (Tabla 14.3). La Tabla 14.4 representa a las areniscas negras friables del estrato medio.

Tabla 14.2: Propiedades geotécnicas de las rocas del estrato superior

	Arenisca Grisácea Superior	Arenisca Verdosa Superior	Pelitas Superiores	Tobas Superiores	GLOBAL
$\phi$ (°)	43	45.5	42.9	36.2	30
c (MPa)	0.2	0.4	0.3	0.2	0.3

Tabla 14.3: Propiedades geotécnicas de las rocas del estrato inferior

	Arenisca Grisácea inferior	Arenisca Verdosa inferior	Pelitas Inferiores	Tobas Inferiores	GLOBAL
$\phi$ (°)	35	40.5	36.4	29.7	30
c (MPa)	0.3	0.5	0.4	0.3	0.3

Tabla 14.4: Propiedades geotécnicas de las areniscas grisáceas del estrato medio

	Areniscas grisáceas cementadas	Areniscas grisáceas sin cementar	GLOBAL
$\phi$ (°)	35	35	30
c (MPa)	0.3	0	0.3

Para determinar las propiedades geotécnicas de los tres estratos, se analizó la distribución de cada tipo litológico y la participación porcentual de ellos en los espesores. Los valores promedios de los ensayos fueron ponderados en base a su espesor. La combinación ponderada se presenta para en cada estrato: superior, con cota mayor a 134 m, medio, entre cotas 133 m y 134 m e inferior a la cota 133 m. En los gráficos se presenta, como comparación, los valores globales correspondientes a estimaciones previas ( $\phi = 30^\circ$ ,  $c = 0,3$  MPa).





REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 320 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900

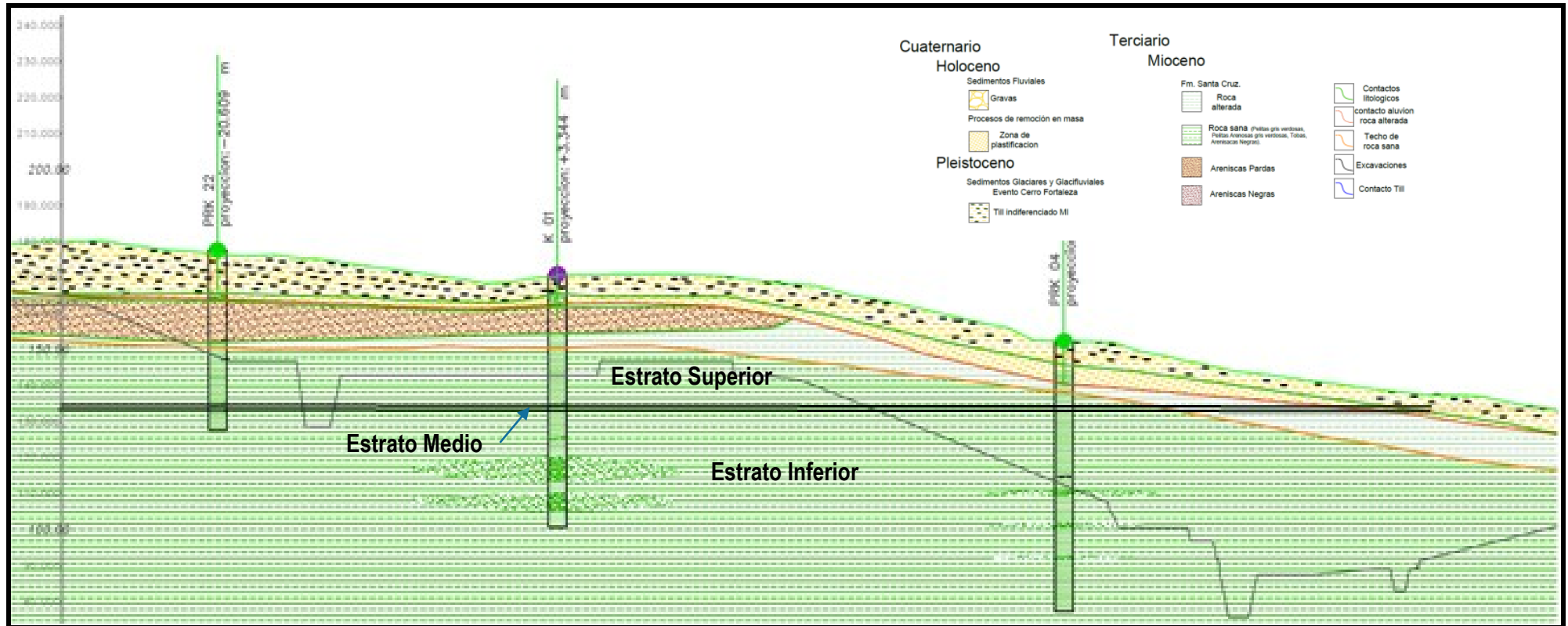
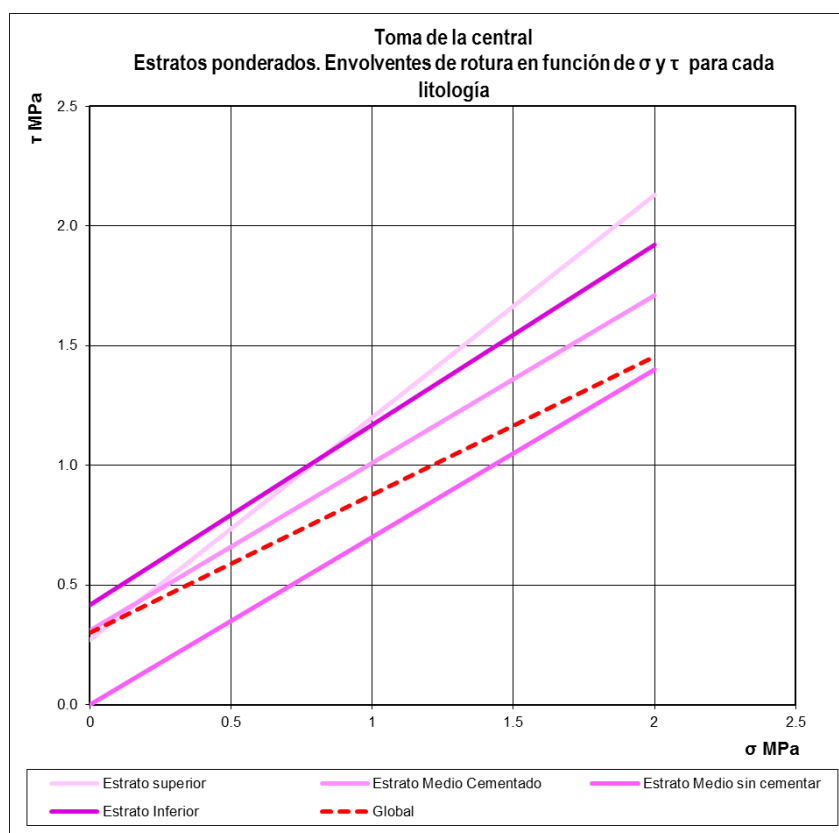


Figura 14.7: Perfil geológico longitudinal de Toma-Central con la identificación de los 3 estratos

Los parámetros geotécnicos ponderados de cada estrato para ser usados en la verificación de la estabilidad de las estructuras se presentan en la Tabla 14.5 y en la Figura 14.8.

**Tabla 14.5: Propiedades geotécnicas de los estratos de fundación de la Toma y Central**

	Superior	Medio cementado	Medio sin cementar	Inferior	GLOBAL
$\phi$ (°)	42.9	35.0	35.0	36.8	30
c (MPa)	0,3	0,3	0	0,4	0,3



**Figura 14.8: Envolterías de resistencia para verificación estructural de la toma y central**

Los parámetros de resistencia de la Tabla 14.5 son aplicables también al macizo de fundación del vertedero.


En el informe NK-A.CV-MC.FE-(TC-00-00)-P001 se presentan los resultados de los análisis de estabilidad de la estructura de toma y central tomando como base los parámetros de resistencia antes citados. Se concluyó que la estructura de la Toma y obra de Conducción de la Central NK verifica los criterios de estabilidad requeridos correspondientes a Deslizamiento, Volcamiento (excentricidades límites), Flotación y Tensiones en roca, para los distintos estados de carga analizados: Normal, Excepcional y Extremo.

### 14.3.2. Parámetros de Deformabilidad

Los parámetros de deformabilidad del macizo rocoso se han obtenido del Informe NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900 (Anexo 22).

La metodología se basó en el análisis de los resultados de los ensayos sísmicos del tipo *MASW* y *crosshole* ejecutados durante la campaña 2006 y 2015. Estos ensayos permiten medir la Velocidad de onda de corte  $V_s$  de los materiales que están relacionados con el módulo de corte ( $G_d$ ) por la siguiente expresión:

$$G_d = V_s^2 \cdot \rho$$

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 322 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

siendo:  $\rho$  = densidad de la roca

A partir del valor de  $G_d$ , se obtiene el módulo de deformación dinámico con la fórmula:

$$E_d = 2 \cdot G_d \cdot (1 + \nu)$$

siendo:  $\nu$  = coeficiente de Poisson

Existen varias relaciones empíricas que relacionan los módulos de deformación estáticos y dinámicos. A efectos de hacer un análisis de sensibilidad se considera que ese factor de correlación puede variar para las rocas entre 0,6 y 0,8.

En la Tabla 14.6 se presentan los valores de módulos dinámicos y estáticos obtenidos de los ensayos crosshole realizados en la campaña 2006.

**Tabla 14.6: Determinación de módulos [MPa] a partir de ensayos crosshole (CIM 2006)**

Cross-Hole $\alpha$	Cota aproximada $\alpha$	$V_s$ (m/s) $\alpha$	$G_d$ (MPa) $\alpha$	$E_d$ (MPa) $\alpha$	$E_{mass}$ $\alpha$	
					$E/E_d = -0.8\alpha$	$E/E_d = -0.6\alpha$
CC-1 (río) $\alpha$	77 $\alpha$	750 $\alpha$	1111 $\alpha$	2887 $\alpha$	2310 $\alpha$	1732 $\alpha$
CI-01 $\alpha$	85 $\alpha$	1200 $\alpha$	2843 $\alpha$	6937 $\alpha$	5550 $\alpha$	4162 $\alpha$
CD-03 $\alpha$	112 $\alpha$	600 $\alpha$	711 $\alpha$	1748 $\alpha$	1399 $\alpha$	1049 $\alpha$
PROMEDIO $\alpha$	$\alpha$	850 $\alpha$	1426 $\alpha$	3858 $\alpha$	3086 $\alpha$	2315 $\alpha$

En la Tabla 14.7 se presentan los resultados de los mismos módulos pero obtenidos de los ensayos crosshole de la campaña 2015.

**Tabla 14.7: Determinación de módulos [MPa] a partir de ensayos crosshole (CIM 2006)**

Cross-hole $\alpha$	Cota aproximada $\alpha$	$V_s$ (m/s) $\alpha$	$G_d$ (Mpa) $\alpha$	$E_d$ (Mpa) $\alpha$	$E_{mass}$ (MPa) $\alpha$	
					$E/E_d = -0.8\alpha$	$E/E_d = -0.6\alpha$
PRK-10 $\alpha$	111.5 $\alpha$	820 $\alpha$	1328 $\alpha$	3452 $\alpha$	2761 $\alpha$	2071 $\alpha$
PRK-11 $\alpha$	96.6 $\alpha$	663 $\alpha$	868 $\alpha$	2256 $\alpha$	1805 $\alpha$	1354 $\alpha$
PRK-12 $\alpha$	89.8 $\alpha$	913 $\alpha$	1819 $\alpha$	4729 $\alpha$	3783 $\alpha$	2838 $\alpha$
PRK-13 $\alpha$	71.2 $\alpha$	801 $\alpha$	1267 $\alpha$	3091 $\alpha$	2473 $\alpha$	1854 $\alpha$
PRK-16 (MD) $\alpha$	64.8 $\alpha$	789 $\alpha$	1229 $\alpha$	3023 $\alpha$	2419 $\alpha$	1814 $\alpha$
PROMEDIO $\alpha$	$\alpha$	797 $\alpha$	1281 $\alpha$	3310 $\alpha$	2648 $\alpha$	1986 $\alpha$

Destacase que el sondeo PRK 10 representa el macizo rocoso de margen izquierda, los sondeos PRK 11, 12 y 13 representan el sustrato rocoso del fondo del valle en MI, los sondeos PRK 16, CC 1 y CI 01 representan el macizo debajo del actual cauce y que el sondeo CD 03 representa el macizo rocoso de MD en el sector de terrazas.

Obviando los resultados "anómalos" del sondeo CI 01, los módulos  $E_d$  varían entre 1750 MPa a 4730 MPa, mientras que los  $E_{e(0,8)}$  oscilan entre 1400 MPa y 3780 MPa y los  $E_{e(0,6)}$  varían entre 1050 MPa y 2840 MPa.

También se calcularon los módulos dinámicos y estáticos a partir de los resultados obtenidos de los ensayos MASW (Tabla 14.8).

**Tabla 14.8: Determinación de módulos [MPa] a partir de ensayos MASW (2015)**

MASW	$E_d$ (MPa)	$E_{mass}$ (MPa)	
		$E/E_d = 0.8$	$E/E_d = 0.6$
PROM. MD	5068	4054	3041
PROM. MI	6930	5544	4158



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 323 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

En general los valores obtenidos con el método *MASW* son más altos que los obtenidos por el método *crosshole*. Según la Tabla 14.8 parecería que el macizo rocoso de margen izquierda tiene valores de módulos un poco más elevados que los de margen derecha.

Adicionalmente y a modo de verificación, se calculó el módulo de deformabilidad del macizo rocoso utilizando la correlación empírica propuesta por Barton:

$$E_{mass} = 10^{(V_p - 0,5)^3}$$

donde

$V_p$ : velocidad de ondas longitudinales en km/s

$E_{mass}$ : módulo de deformabilidad del macizo rocoso en GPa

Considerando el valor de  $V_p$  basado en  $V_s$  según la siguiente expresión:

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{2 - 2\nu}{1 - 2\nu}}$$

De esta forma se graficó la expresión del  $E_{mass}$  colocando además de las  $V_p$ , distintos valores de  $V_s$  que se obtienen de acuerdo a la relación de Poisson (Figura 14.9).

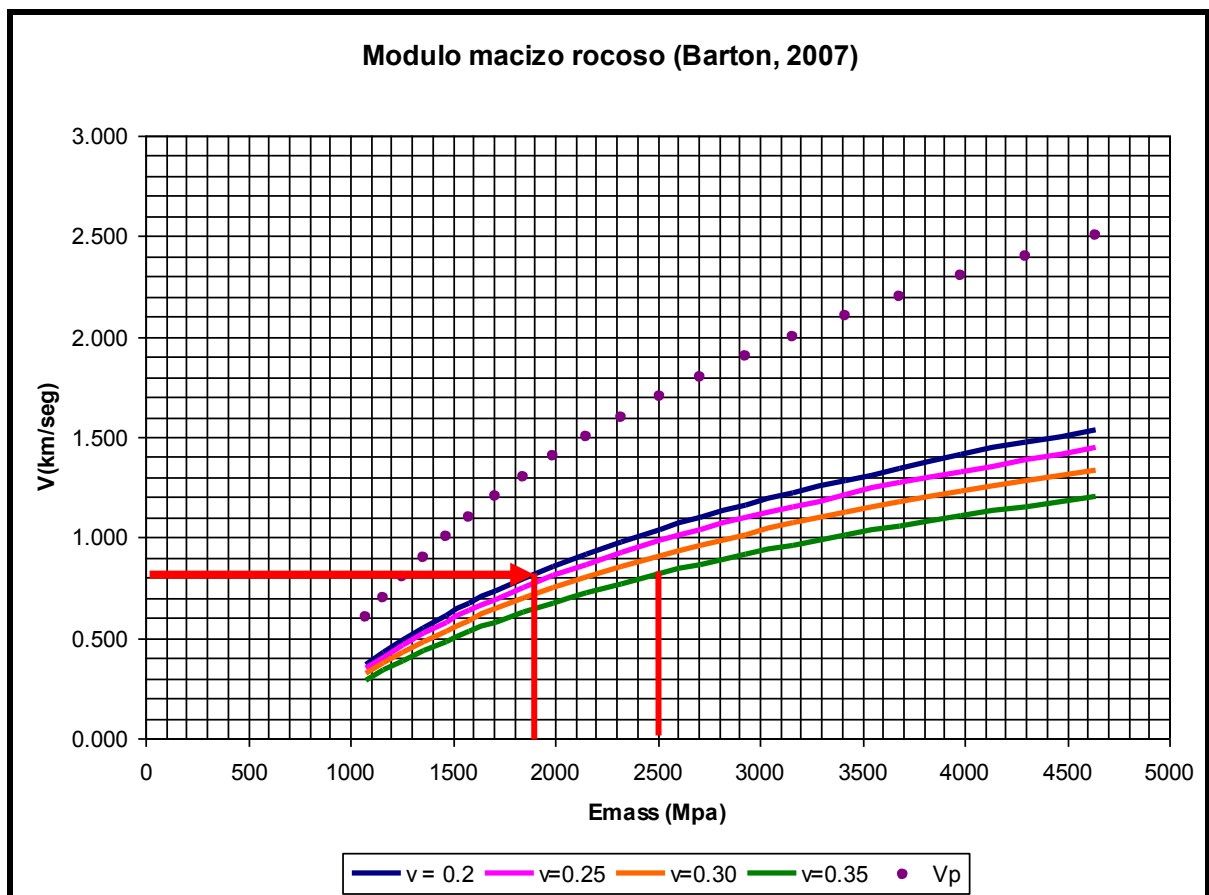



Figura 14.9: Correlación de  $E_{mass}$  con  $V_p$  y  $V_s$ . La flecha señala el entorno de módulos a partir de  $V_s = 800$  m/s

Si se considera que un  $V_s = 800$  m/s, el valor que se obtiene del  $E_{mass} = 1900-2500$  MPa. Este rango de valores es aproximado con los obtenidos con los métodos planteados previamente.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 324 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

Los resultados obtenidos tanto con los ensayos *CH* como por los *MASW* permiten cubrir gran parte de los sectores de obra. Para la presa N. Kirchner, los ensayos *CH* proveen los valores de  $V_s$  con mayor confiabilidad en profundidad. El rango de módulos de deformación está en el entorno de  $E_{mass} = 1800$  a 2500 MPa dependiendo de la ubicación que se considere.

Para el macizo rocoso de fundación de las estructuras de margen izquierda se ha empleado el valor de entre 1 800 y 2 500 MPa para los análisis de estabilidad tensión – deformación de las estructuras (NK-A.CV-MC.FE-(TC-00-00)-P001 REV 0D)

### 14.3.3. Capacidad de Carga de la Fundación

Los análisis de capacidad de carga de las estructuras de hormigón de la toma se detallan en el documento NK-A.CV-MT.FE-(TC-00-00)-P001-0A (Anexo 25). A continuación se presentara un resumen de este documento.

La capacidad de carga última se calculo utilizando los conceptos detallados en el ítem 12.6 de este informe. Se aplicó la ecuación de Terzaghi asumiendo una falla local por corte con factores de capacidad de carga como se presenta en el manual del USACE EM1110-1-2908. Rock Foundations. Este método es aplicable a las rocas de la Fm. Santa Cruz, la cual es un macizo rocoso débil caracterizado principalmente por la baja resistencia de su matriz.

La capacidad de carga de las fundaciones de las estructuras de hormigón depende de su forma, de las propiedades del suelo o del macizo de fundación y de la inclinación de la carga resultante aplicada. Cada módulo de la estructura de la toma tiene un ancho de 27 m y longitud de 86,35 m (Figura 14.10)

La propiedad del macizo rocoso se muestra en la Tabla 14.9:

**Tabla 14.9: Parámetros del macizo rocoso para el cálculo de la capacidad de carga admisible de la toma**

Peso unitario húmedo	$\gamma$	20 kN/m <sup>3</sup>
Peso sumergido	$\gamma'$	10 kN/m <sup>3</sup>
Ángulo de fricción	$\phi$	30°
Cohesión	c	300 kPa

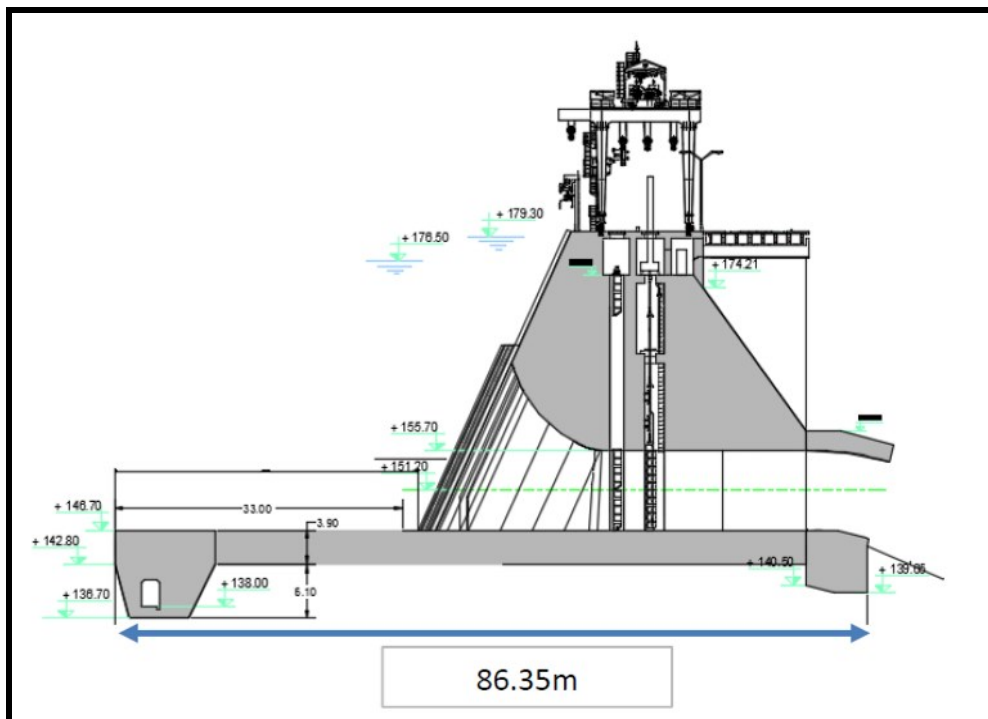
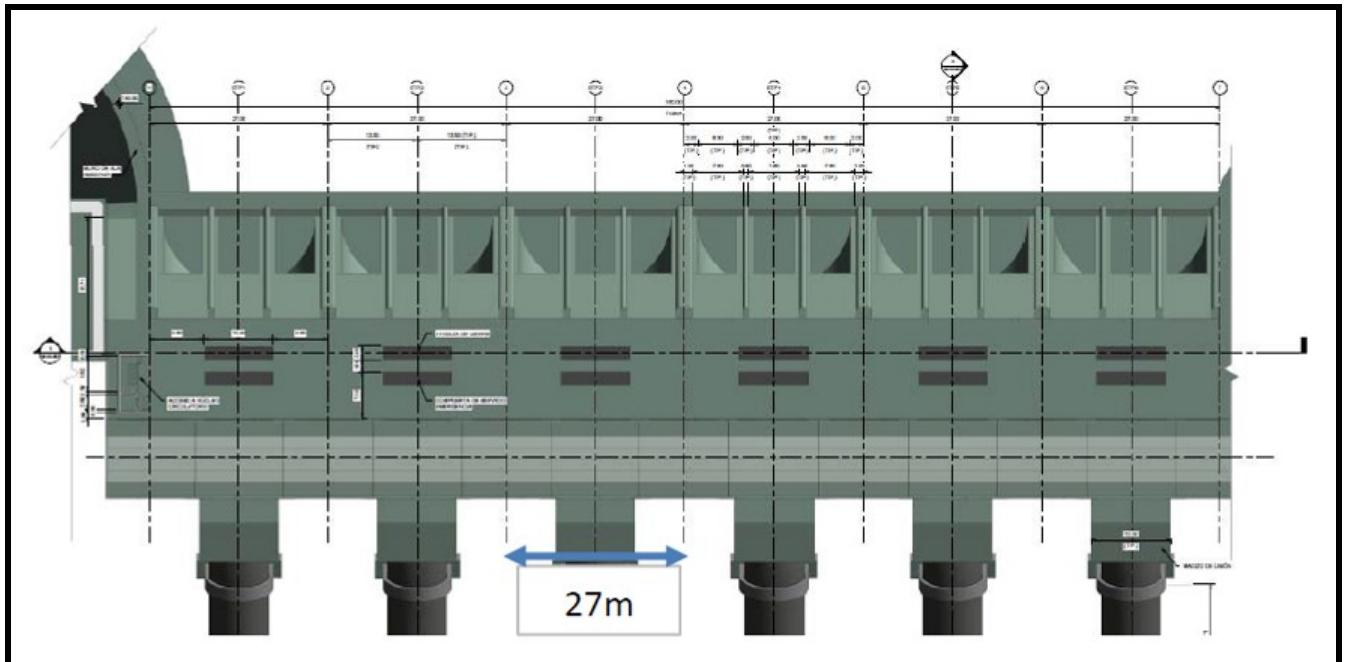



Figura 14.10: Planta y corte de la estructura de desvío/descargador de fondo

Para el cálculo de la capacidad de carga admisible para cargas permanentes se considero un factor de seguridad de 3 y para cargas transitorias o inusuales un  $F_s = 2$ .

En todos los casos se debe verificar que la tensión admisible obtenida no supere la resistencia a compresion simple de la roca, que es de 6.24 MPa considerando el promedio de las muestras de la campaña de 1977 y de las ensayadas en la campaña de 2015.

El análisis se llevo a cabo primero con carga uniformemente distribuida, sin considerar la excentricidad de la resultante de carga. Posteriormente se analizo la capacidad de carga considerando la excentricidad de la carga debido al empuje del agua del embalse. Para tener en cuenta este efecto, la norma del USACE propone reducir la dimensión de la base en la dirección en la que se presenta la excentricidad con la

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 326 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

expresión  $L' = L - 2e$  y utilizar esta longitud efectiva para realizar el cálculo basado en la ecuación de Terzaghi. La Tabla 14.10 muestra las combinaciones de carga consideradas:

**Tabla 14.10: Combinaciones de carga**

Nº	Combinación de Carga	Condición	Descripción	Nivel de Embalse [m]	Nivel de Restitución [m]	Eficiencia de Drenes	PGA [g]	Nivel de Sedimentos [m]
1	1.1	Caso I.A	Normal	0	0	0	0	0
2	1.1+1.2+1.3	Caso I.B	Normal	176.5	146.7	0.67	0	154.7
3	1.1+2.3	Caso II.A	Excepcional	0	0	0	0.172	0
4	1.1+1.3+2.1	Caso II.B	Excepcional	179.3	148.7	0.67	0	154.7
5	1.1+1.2+2.2	Caso II.C	Excepcional	176.5	146.7	0.33	0	154.7
6	1.1+1.2+1.3+2.3	Caso II.D	Excepcional	176.5	148.7	0	0.172	154.7
7	1.1+1.3+2.4	Caso II.E	Excepcional	176.5	146.7	0.67	0	154.7
8	1.1+1.2+3.1	Caso III.A	Extremo	176.5	146.7	0	0	154.7
9	1.1+1.2+1.3+3.2	Caso III.B	Extremo	176.5	146.7	0.67	0.345	154.7
10	1.1+2.1+2.2	Caso III.C	Extremo	179.3	146.7	1	0	154.7
11	1.1+1.2+2.2+2.3	Caso III.D	Extremo	176.5	146.7	0.67	0.172	154.7

Los resultados obtenidos para las diferentes condiciones de carga se muestran en la Tabla 14.11.

**Tabla 14.11: Tensiones resultantes en la roca de fundación**

Nº Combinación de Carga	Tipo de Combinación	$\sigma_{\text{máx}}$ [MPa]	Excentricidad [m]	$\sigma_{\text{adm}}$ [MPa]
2	Normal	0.629	10.4	2.10*
4	Excepcional	0.648	13.8	3.16**
9	Extrema (SMD)	0.747	13.0	4.21***

Se concluye que las tensiones transmitidas por las estructuras son menores que las tensiones admisibles.


#### 14.3.4. Condiciones de Permeabilidad

Un aspecto fundamental en el diseño de las estructuras es la condición de permeabilidad en la fundación. Para ello se ejecutaron una serie de ensayos de permeabilidad tipo Lugeon en las perforaciones exploratorias. El detalle de la metodología empleada para la ejecución de los ensayos y los sondeos donde fueron practicados, se detalla en los documentos del Anexo 04 y en el Capítulo 5 de este informe.

En las Figura 14.11 y Figura 14.12 se presentan los resultados de la permeabilidad en la sección longitudinal de la toma y central y en la sección paralela al eje toma+vertedero+muro de cierre MI, respectivamente. Se clasificó el valor Lugeon (UL) en las categorías mostradas en la Tabla 14.12.

**Tabla 14.12: Categorías de permeabilidad**

Unidades Lugeon UL	TABLA DE COLORES	Permeabilidad	
< 0,5		Muy baja	Baja
0,5 a 1		Baja	
1 a 3		Moderadamente baja	Moderada
3 a 5		Moderadamente alta	
5 a 8		Alta	Alta
> 8		Muy alta	

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 327 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

En la Figura 14.11 se puede apreciar que las mayores permeabilidades fueron medidas en las areniscas negras friables limonitizadas y areniscas pelíticas del sondeo PRK 23 y en las pelitas grises verdosas entre cotas 110 m y 145 m del sondeo PRK 04. En todos los casos no se observó relación directa entre el tipo de roca o el grado de fracturamiento con la magnitud de la absorción de agua en los ensayos. Esto tiene especial importancia porque se trataría de sectores localizados y no extendidos lateralmente.

Un dato importante de resaltar es que en el sitio del diente de la toma las absorciones son extremadamente bajas con excepción de uno de los ensayos donde se obtuvo una permeabilidad de 6,8 UL (Sondeo PRK 22).

En la sección de la Figura 14.12 se observa que en el sitio de la fundación de la toma el sondeo PK 03 bis muestra varios sectores con valores altos de permeabilidad que no se corroboran con los mostrados en el sondeo vecino K 01. En las actividades de ejecución de la cortina de impermeabilización se podrá comprobar si se trata de una anomalía o si es generalizado. De todas maneras el problema podrá ser subsanado con la inyección de lechada de cemento.

En el sector de fundación del vertedero y muro de margen izquierda las permeabilidades son muy bajas.





REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 328 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900

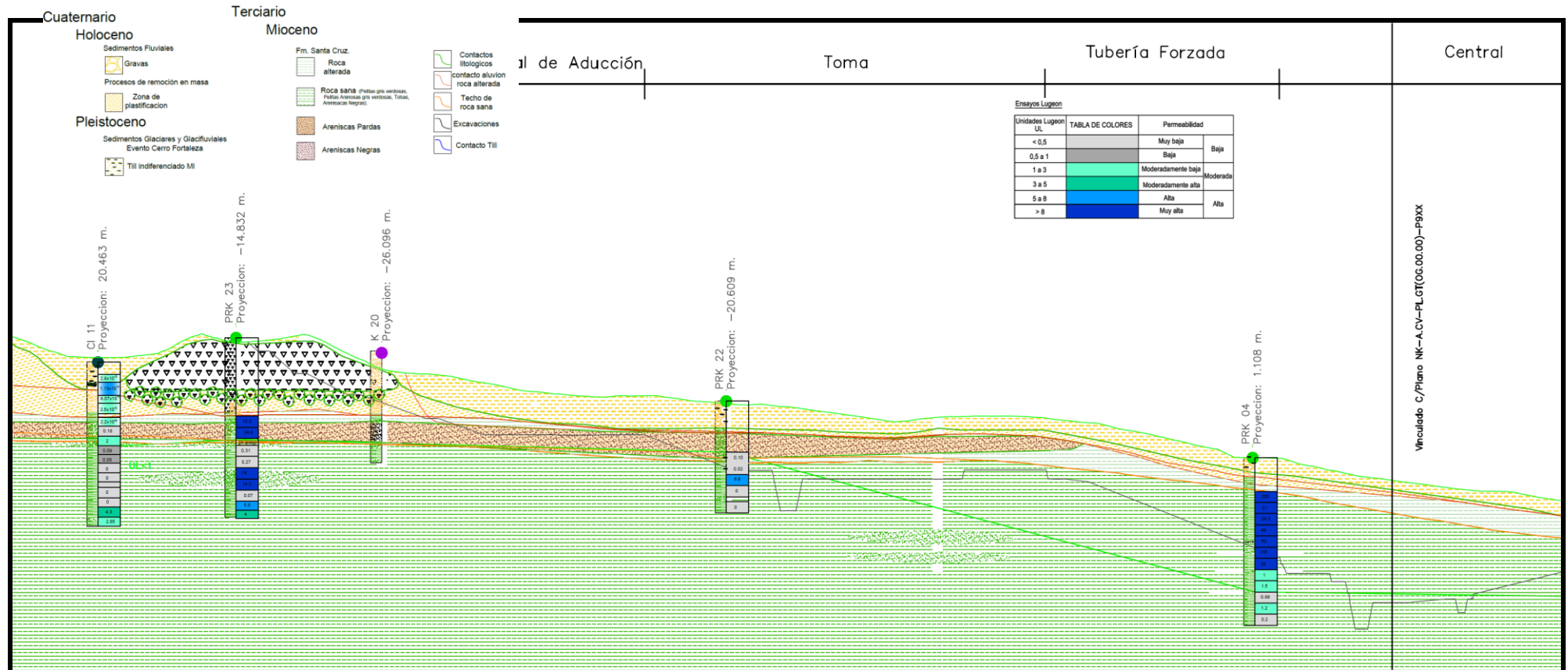


Figura 14.11: Sección geológica y permeabilidad a lo largo del eje Toma+Central



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 329 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Doc. N°

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

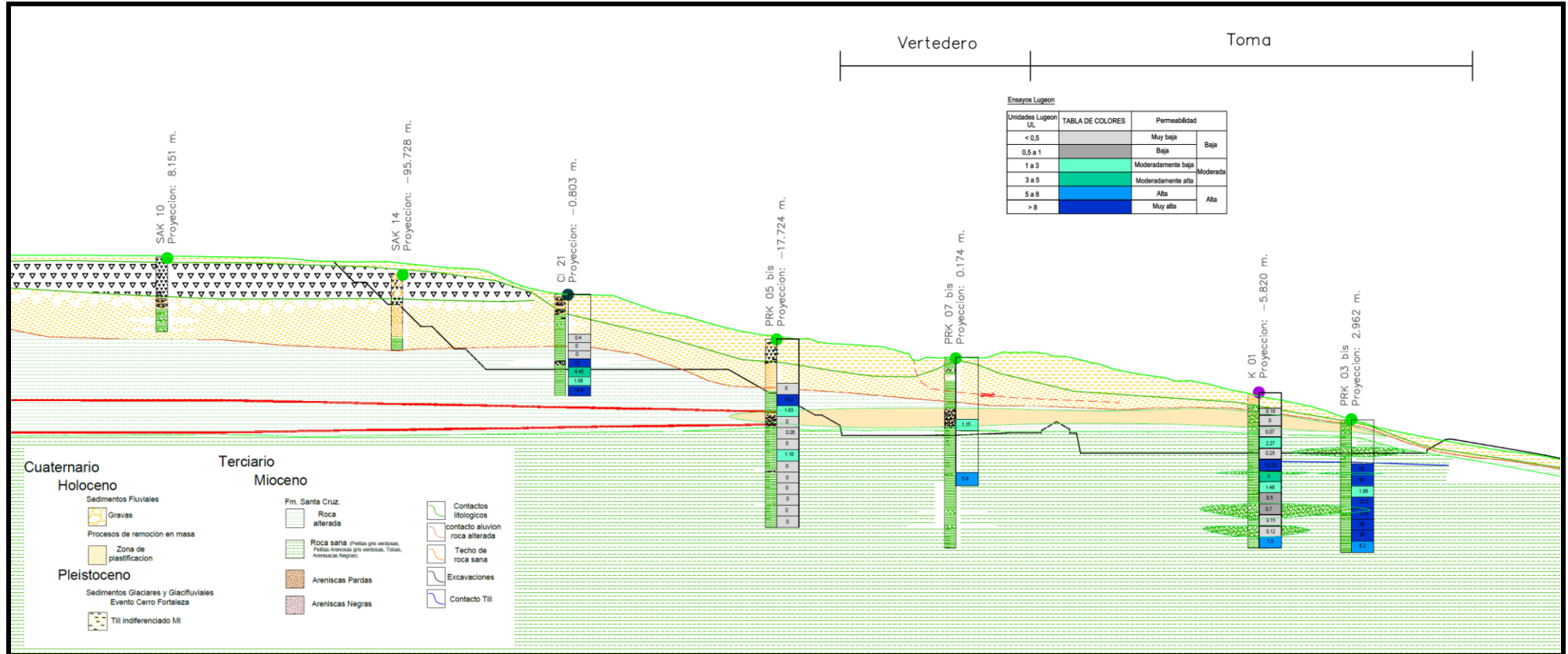


Figura 14.12: Sección geológica y permeabilidad a lo largo del eje Toma+Vertedero+Muro de cierre MI



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 330 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900

#### 14.4. Modelo Geológico y Geotécnico para el Vertedero, Rápida y Cuenco Amortiguador

El arreglo general del conjunto vertedero, rápida y cuenco amortiguador se muestra en la Figura 14.15.

El vertedero es una estructura de hormigón que se divide en cuatro vanos de iguales dimensiones con un ancho total de 58 m (Figura 14.13).

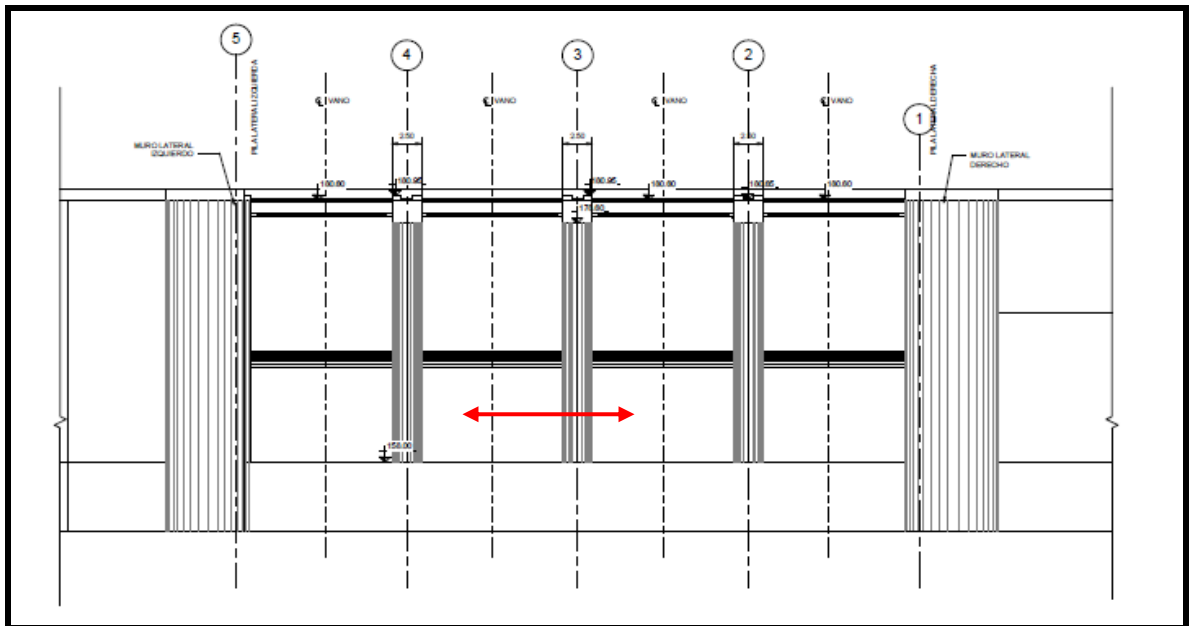


Figura 14.13: Corte longitudinal del circuito de generación

La sección transversal típica de la estructura de control se detalla en la Figura 14.14

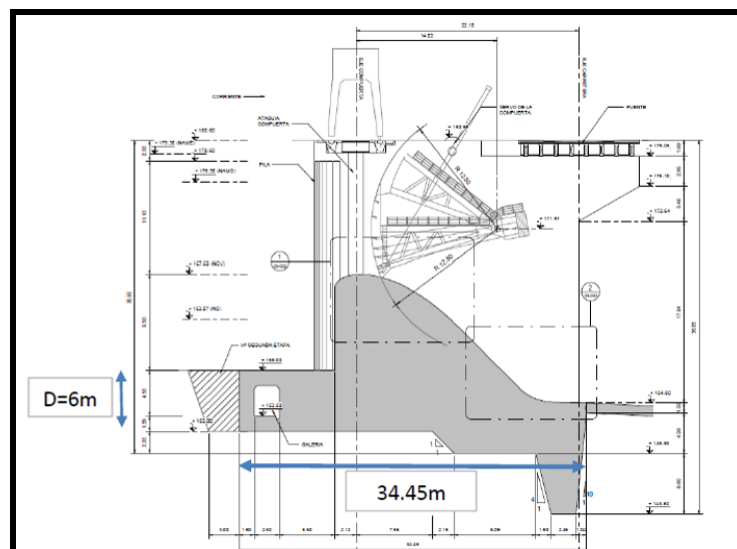


Figura 14.14: Sección típica y dimensiones principales del vertedero



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 331 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900

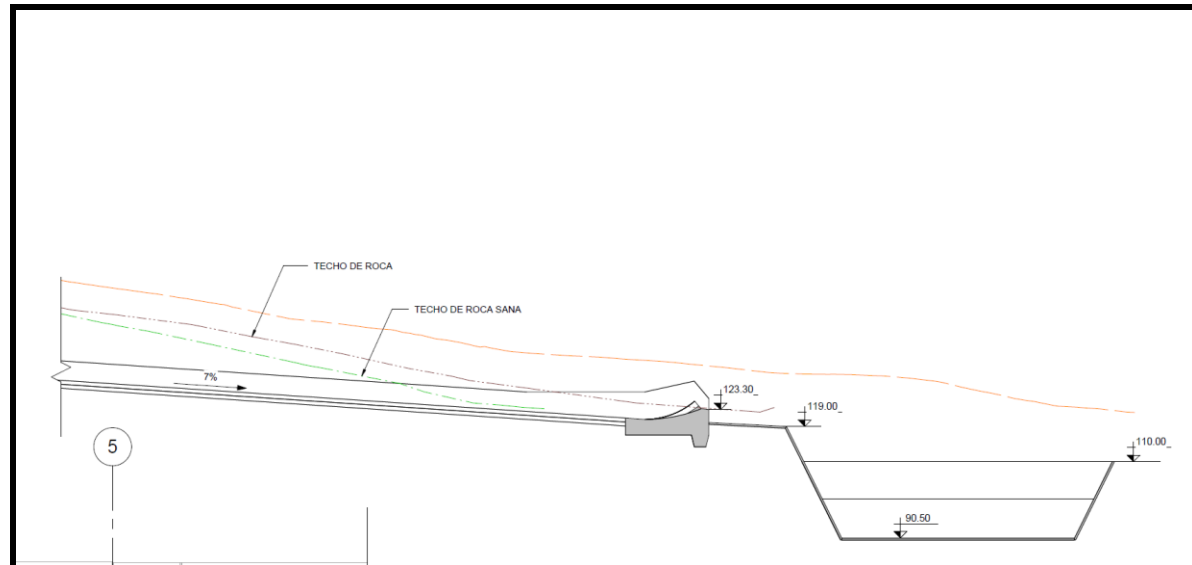
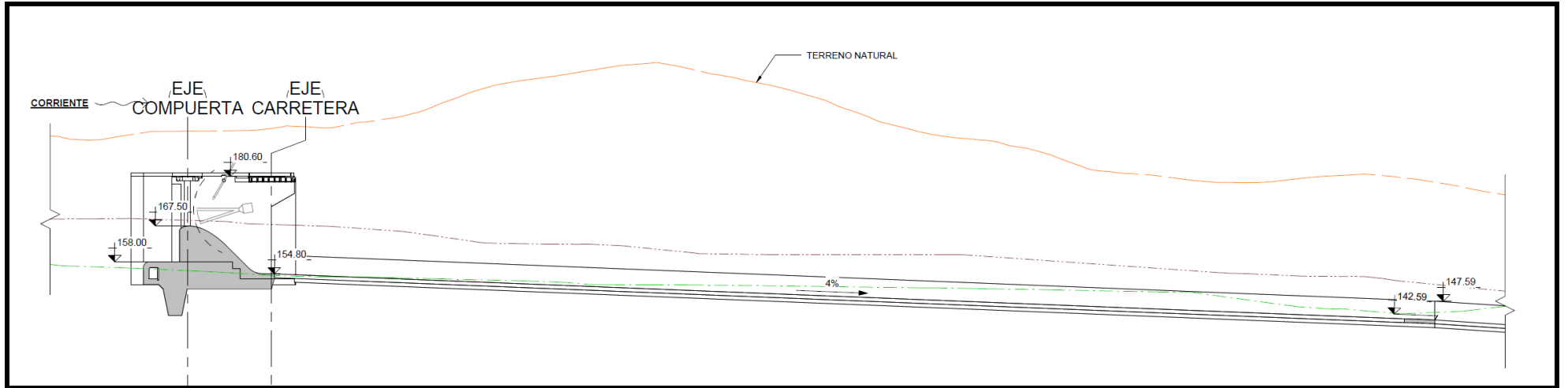



Figura 14.15: Corte longitudinal del vertedero, rápida y cuenco amortiguador

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 332 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900

Además del cuerpo principal del vertedero, la estructura se completa con la rápida, que es un canal inclinado 4%, y el cuenco amortiguador, excavación profunda al final de la rápida que sirva para amortiguar energéticamente el flujo y permitir una restitución de baja energía hacia el río. En la Figura 14.15 se observa una estructura de hormigón entre la rápida y el cuenco, llamada salto sky.

Se destaca en el corte de la Figura 14.15 la posición de las superficies de terreno natural, contacto till-roca alterada CAR y el contacto roca alterada-roca competente. Asimismo se constata que la fundación de las estructuras se realiza dentro de la roca competente.

En los planos NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P915 y P916, se muestra el perfil geológico trazado por el eje longitudinal del conjunto vertedero+rápida+cuenco. Un extracto de estos perfiles se muestra en la Figura 14.16 y Figura 14.17.

El perfil, de dirección NW-SE, fue elaborado correlacionando la información de los sondeos PRK 23, CI 12, PRK 07 bis, PRK 20, PRK 21, PRK 15, PRK 06 y CI 30. El perfil corta oblicuamente la línea geofísica TBII1. Incluye la silueta de excavación del vertedero, rápida, cuenco amortiguador y canal de restitución.

El perfil muestra un nivel superior constituido por los depósitos de till complejo del evento Co. Fortaleza que están formados por bloques de basalto de hasta 2 m de diámetro, mezclados con sedimentos fluvioglaciares gravosos, todos afectados por deslizamientos rotacionales. En este conjunto se incluye la masa de basalto fracturado desprendido por la expansión lateral (sondeo PRK 23) cuya grieta de tracción está ubicada en el sitio de la perforación CI 11. Debajo del basalto se ha representado un material que se ha denominado "zona plastificada" por ser el nivel de cizallamiento que permitió el movimiento en la base del bloque y que originalmente eran rocas de la Fm. Sta Cruz.

Este conjunto está en contacto con las rocas alteradas de la Fm. Santa Cruz, con espesores mayores en el extremo NW del perfil y afinándose hacia el SE. Se destaca la presencia entre cotas 160 m y 170 m de una capa de areniscas friables negras limonitizadas, que si bien es persistente no afecta la estabilidad de las estructuras pues las excavaciones están planificadas debajo de este nivel estratigráfico de baja resistencia. El contacto con la roca competente presenta una ligera inclinación aparente hacia el SE en concordancia con la estratificación de la secuencia.

El macizo de roca competente está integrado básicamente por arcilitas y limolitas masiva, brechosas y/o laminadas, de colores gris claro a gris verdoso. Los contactos son gradacionales. La monotonía de la secuencia es interrumpida por lentes de areniscas, algunas de naturaleza pelítica, color gris verdosas, formando probablemente lentes de hasta 50 a 75 m de longitud y 2 a 7 m de espesor. También se identificó una capa de areniscas negras friables, de 2 a 25 m de espesor, de persistencia alta y que por su baja resistencia constituye una unidad geotécnica que condiciona la estabilidad de las estructuras.

La Figura 14.17 muestra el perfil geológico a lo largo del canal de restitución del vertedero. Se observa que los primeros 165 m se excavaron en roca competente y de ahí hasta el final se excavaron en los aluviones del valle del río.

La Figura 14.18 muestra un corte longitudinal de la toma, del vertedero y del muro de cierre de margen izquierda, trazado por el eje de la presa. Se observan las mismas unidades descritas en el perfil de la Figura 14.16 y Figura 14.17 y se destaca la fundación del vertedero en roca competente.

Los fenómenos de remoción en masa se restringen a las unidades superficiales y solo son importantes en los análisis de estabilidad de los taludes de las excavaciones permanentes.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 333 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900

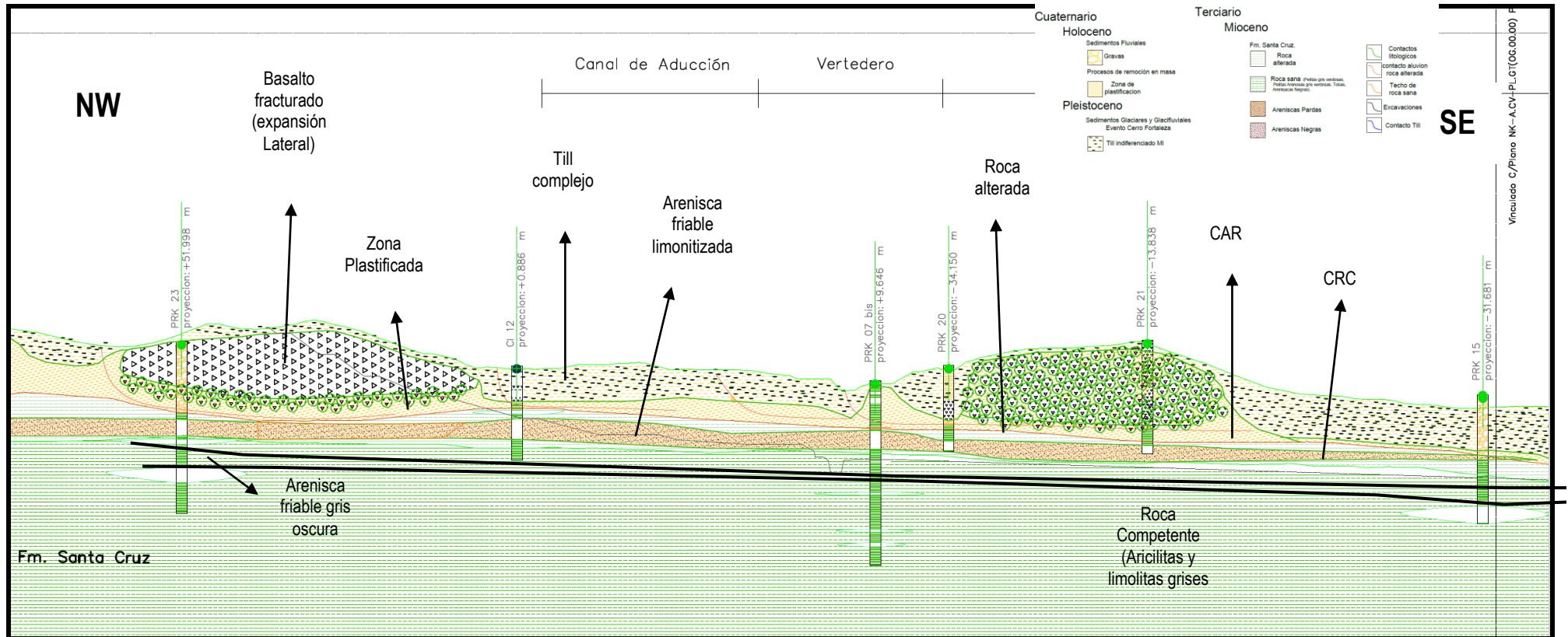


Figura 14.16: Perfil geológico longitudinal del vertedero-rápida-cuenca (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P915 (Anexo 17))



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 334 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

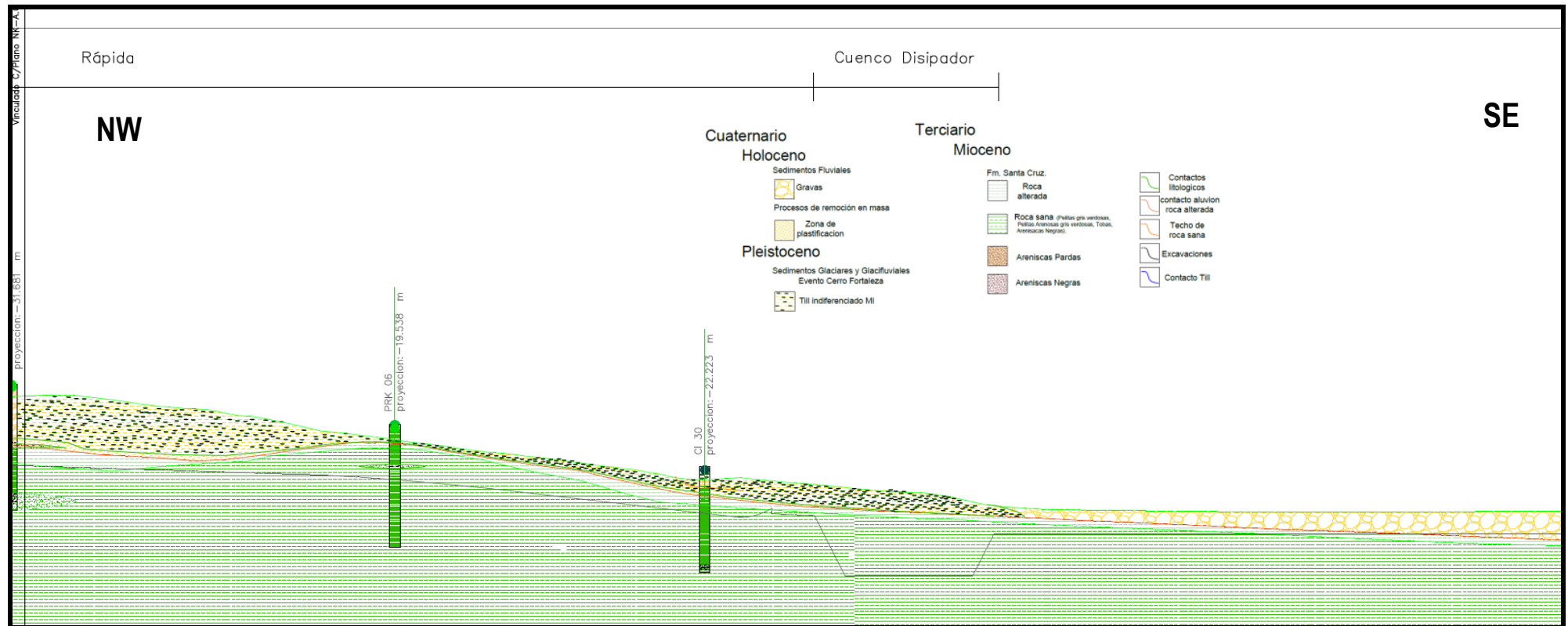


Figura 14.17: Perfil geológico longitudinal de la rápida, cuenco y canal de restitución del vertedero (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P916 (Anexo 17))



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 335 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

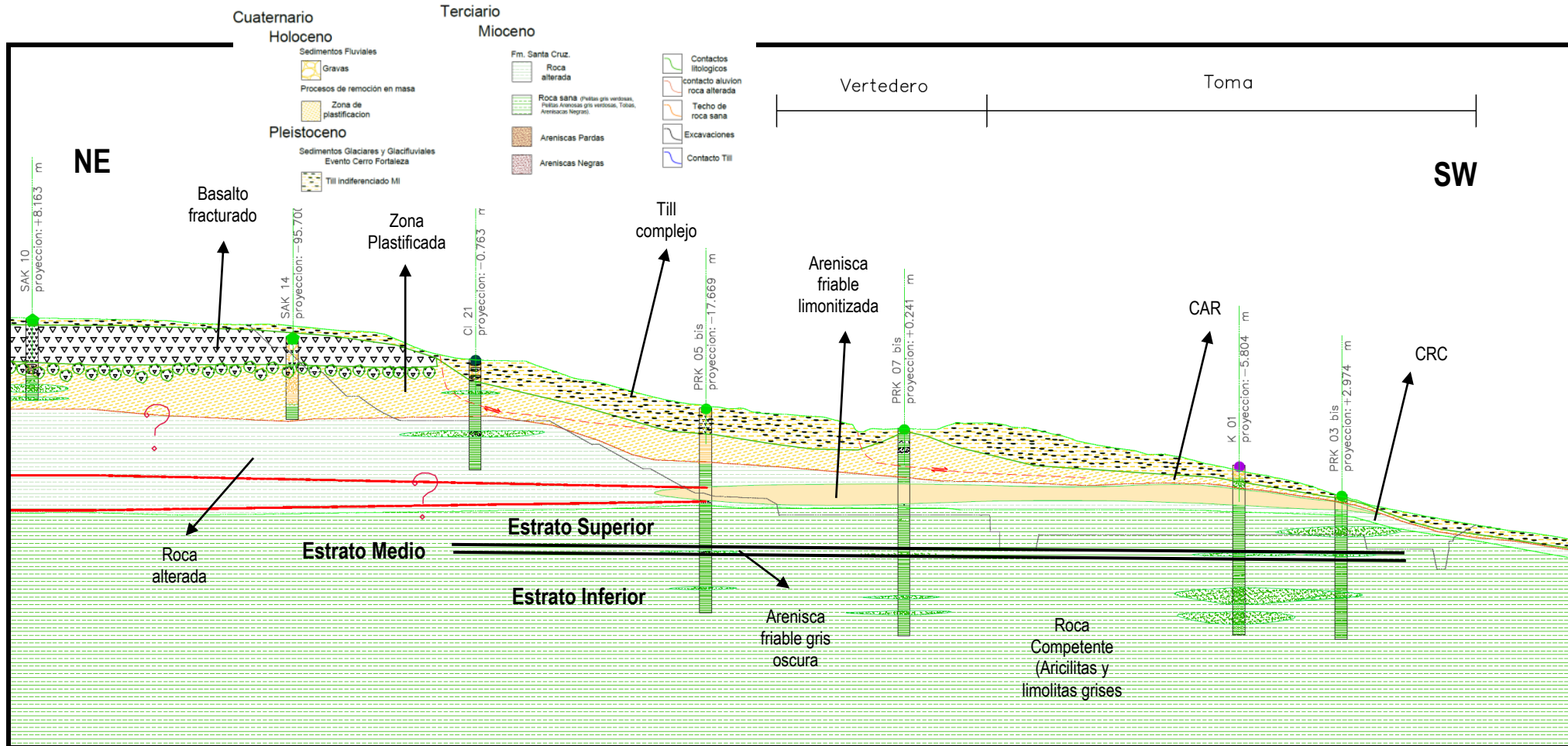


Figura 14.18: Perfil geológico longitudinal sobre el eje de la presa pasando por la toma, vertedero y muro de cierre de margen izquierda (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P912 (Anexo 17))



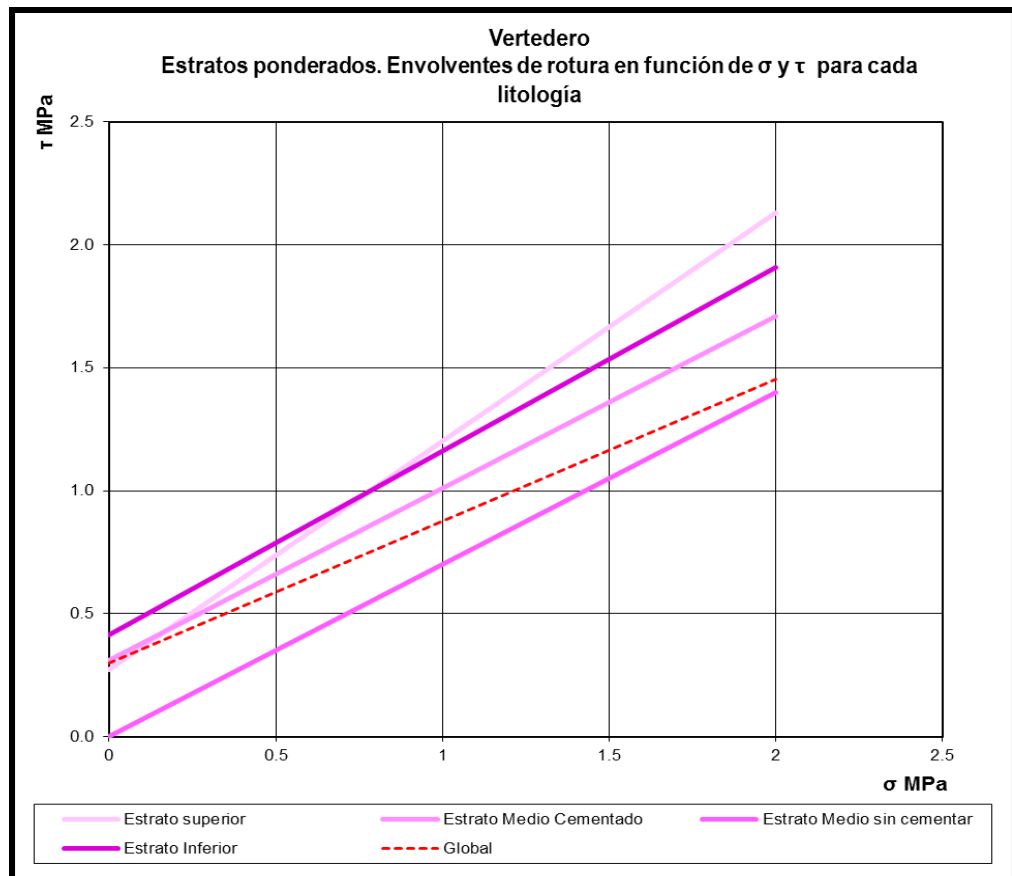
### 14.4.1. Parámetros de Resistencia

Los parámetros de resistencia para el conjunto Toma, conducción, central y vertedero se presenta detalladamente en el documento NK-A.CV-MT.GT-(CH-00-00)-P902 (Anexo 24).

La metodología de obtención de los mismos fue detallada en el ítem 14.3.1 por lo que solamente aquí se repetirán las tablas con los valores adoptados para los estratos de referencia (superior, medio e inferior) (Figura 14.19) para los análisis de estabilidad de las estructuras y de las excavaciones (Tabla 14.13).

**Tabla 14.13: Propiedades geotécnicas de los estratos de fundación del Vertedero**

	Superior	Medio cementado	Medio sin cementar	Inferior	GLOBAL
$\phi$ (°)	42.9	35.0	35.0	36.8	30
c (MPa)	0.3	0.3	0	0.4	0.3



**Figura 14.19: Envoltorias de resistencia para verificación estructural de la toma y central**

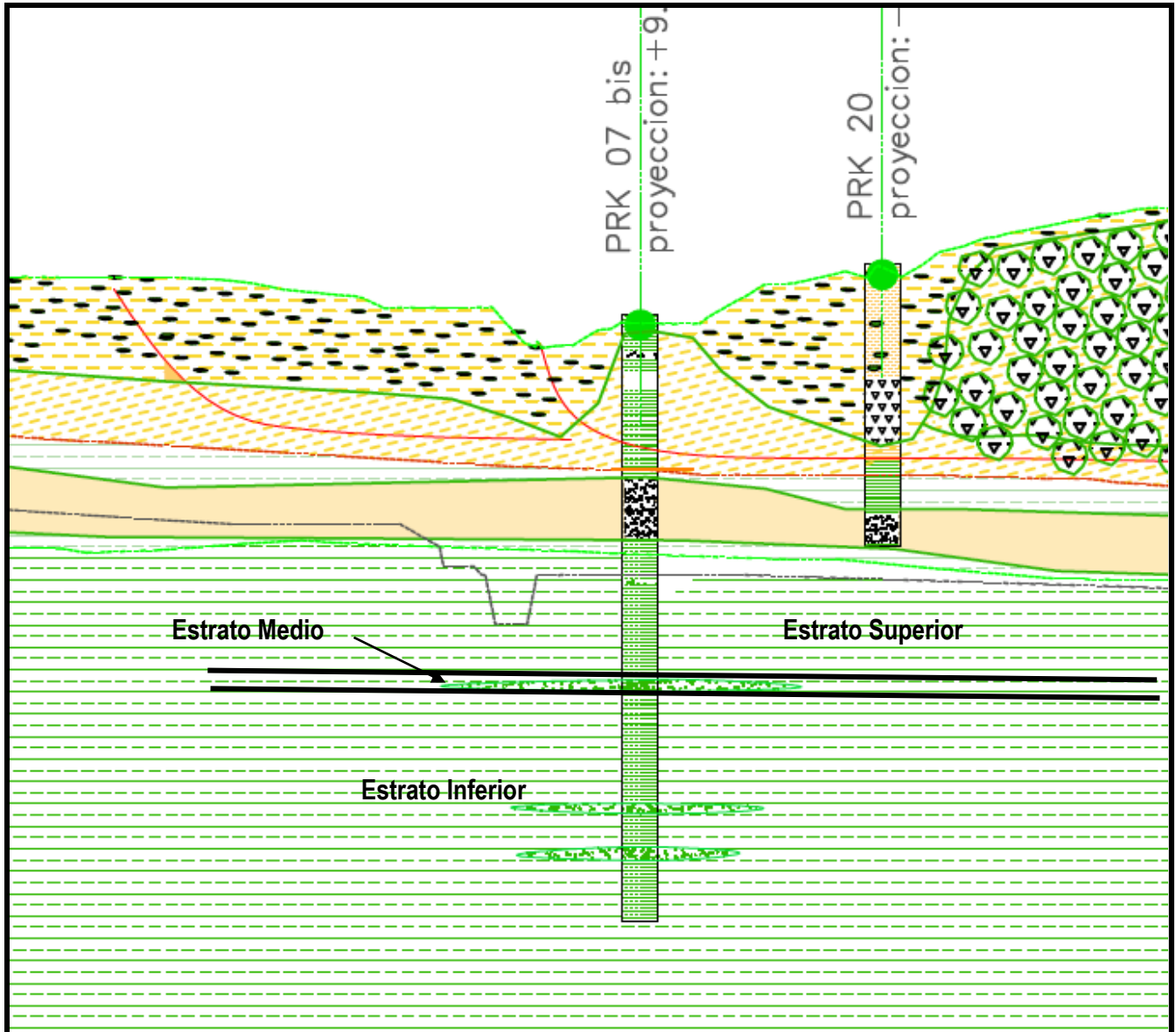


Figura 14.20: Perfil geológico longitudinal del vertedero con la identificación de los 3 estratos Parámetros de Deformabilidad

Los parámetros de deformabilidad del macizo rocoso del vertedero se han obtenido del Informe NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900 (Anexo 22). El análisis detallado de la metodología para la obtención de los mismos, se ha realizado en el ítem 14.3.2 de este informe por lo que solo se presentara los valores adoptados para el análisis de estabilidad por elementos finitos de la estructura (NK-A.CV-MC.FE-(TC-00-00)-P001-0D).

Para el macizo rocoso de fundación de las estructuras de margen izquierda se ha empleado el valor de entre 1 800 y 2 500 MPa para coeficiente de Poisson variable entre 0,2 y 0,35 (Figura 14.21).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 338 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

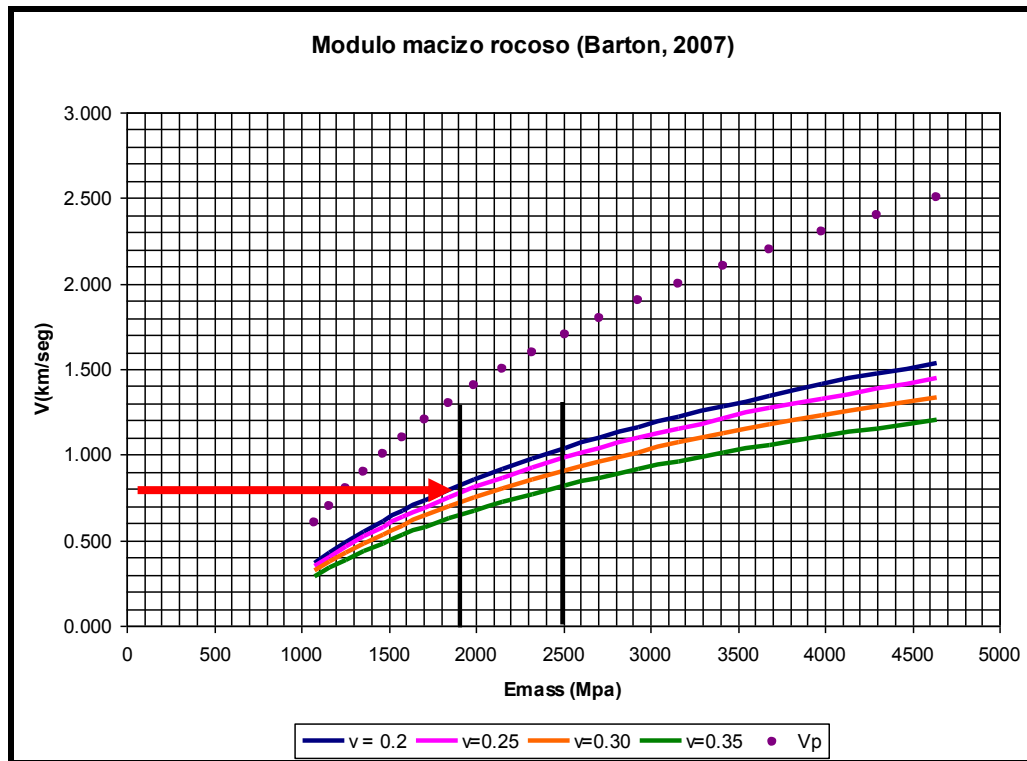


Figura 14.21: Correlación de Emass con Vp y Vs. La flecha señala el entorno de módulos a partir de Vs = 800 m/s adoptada para el vertedero

#### 14.4.2. Capacidad de Carga de la Fundación del vertedero

Los análisis de capacidad de carga de las estructuras de hormigón del vertedero se detallan en el documento NK-A.CV-MT.FE-(VE-00-00)-P001 (Anexo 26). A continuación se presentara un resumen de este documento.

La capacidad de carga última se calculo utilizando los conceptos detallados en el ítem 12.6 de este informe. Se aplico la ecuación de Terzaghi asumiendo una falla local por corte con factores de capacidad de carga como se presenta en el manual del USACE EM1110-1-2908. Rock Foundations. Este método es aplicable a las rocas de la Fm. Santa Cruz, la cual es un macizo rocoso débil caracterizado principalmente por la baja resistencia de su matriz.


La capacidad de carga de las fundaciones de las estructuras de hormigón depende de su forma, de las propiedades del suelo o del macizo de fundación y de la inclinación de la carga resultante aplicada. Cada módulo de la estructura del vertedero tiene un ancho de 14,5 m y longitud de 34,45 m (Figura 14.14 y Figura 14.14).

Las propiedades del macizo rocoso se muestran en la Tabla 14.14:

Tabla 14.14: Parámetros del macizo rocoso para el cálculo de la capacidad de carga admisible del vertedero

Peso unitario húmedo	$\gamma$	20 kN/m <sup>3</sup>
Peso sumergido	$\gamma'$	10 kN/m <sup>3</sup>
Ángulo de fricción	$\phi$	30°
Cohesión	c	300 kPa

Para el cálculo de la capacidad de carga admisible para cargas permanentes se considero un factor de seguridad de 3 y para cargas transitorias o inusuales un  $F_s = 2$ .

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 339 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

En todos los casos se verifico que la tensión admisible obtenida no supere la resistencia a compresion simple de la roca, que es de 6,39 MPa considerando el promedio de las muestras de la campaña de 1977 y de las ensayadas en la campaña de 2015.

El análisis se llevo a cabo primero con carga uniformemente distribuida, sin considerar la excentricidad de la resultante de carga. Posteriormente se analizo la capacidad de carga considerando la excentricidad de la carga debido al empuje del agua del embalse. Para tener en cuenta este efecto, la norma del USACE propone reducir la dimensión de la base en la dirección en la que se presenta la excentricidad con la expresión  $L' = L - 2e$  y utilizar esta longitud efectiva para realizar el cálculo basado en la ecuación de Terzaghi. La Tabla 14.15 muestra las combinaciones de carga consideradas:

**Tabla 14.15: Combinaciones de carga**

N°	Combinación de Carga	Condición	Descripción	Nivel de Embalse [m]	Nivel de Restitución [m]	Eficiencia de Drenes	PGA [g]	Nivel de Sedimentos [m]
1	1.1	Caso I.A	Normal	0	0	0	0	0
2	1.1+1.2+1.3	Caso I.B	Normal	176.5	154.8	0.667	0	163.07
3	1.1+2.3	Caso II.A	Excepcional	0	0	0	0.036	0
4	1.1+1.3+2.1	Caso II.B	Excepcional	179.3	154.8	0.667	0	163.07
5	1.1+1.2+2.2	Caso II.C	Excepcional	176.5	154.8	0.333	0	163.07
6	1.1+1.2+1.3+2.3	Caso II.D	Excepcional	176.5	154.8	0.667	0.036	163.07
7	1.1+1.2+3.1	Caso III.A	Extremo	176.5	154.8	0	0	163.07
8	1.1+1.2+1.3+3.2	Caso III.B	Extremo	176.5	154.8	0.667	0.39	163.07
9	1.1+2.1+2.2	Caso III.C	Extremo	179.3	154.8	0.333	0	163.07
10	1.1+1.2+2.2+2.3	Caso III.D	Extremo	176.5	154.8	0.333	0.036	163.07

Los resultados obtenidos para las diferentes condiciones de carga se muestran en la Tabla 14.16.

**Tabla 14.16: Tensiones resultantes en la roca de fundación**

N° Combinación de Carga	Tipo de Combinación	$\sigma_{m\acute{a}x}$ [MPa]	Excentricidad [m]	$\sigma_{adm}$ [MPa]
2	Normal	0.479	4.48	1.89*
4	Excepcional	0.561	5.86	2.89**
8	Extrema (SMD)	0.853	9.99	4.02***

Luego de la comparación de los valores de tensiones resultantes de los cálculos de estabilidad con las tensiones admisibles calculadas en este documento, se puede concluir que las tensiones resultantes son inferiores a las tensiones admisibles, por lo que se presenta una seguridad elevada frente a la falla por capacidad de carga.

### 14.4.3. Condiciones de Permeabilidad

Otro aspecto geotécnico que debe ser analizado para confirmar las condiciones de implantación de las estructuras es la condición de permeabilidad en la fundación. Como se xplico anteriormente, se ejecutaron una serie de ensayos de permeabilidad tipo Lugeon en las perforaciones exploratorias (PRK 23, CI 12, PRK 07 bis, PRK 20, PRK 05 bis, CI 21, K 01 y PRK 03 bis). El detalle de la metodología empleada para la ejecución de los ensayos y los sondeos donde fueron practicados, se detalla en los documentos del Anexo 04 y en el Capítulo 5 de este informe.

En las Figura 14.22 y Figura 14.23 se presentan los resultados de la permeabilidad en la sección longitudinal del vertedero y en la sección paralela al eje toma+vertedero+muro de cierre MI, respectivamente. Se clasifico el valor Lugeon (UL) en las categorías mostradas en la Tabla 14.17.

**Tabla 14.17: Categorías de permeabilidad**

Unidades Lugeon UL	TABLA DE COLORES	Permeabilidad	
		< 0,5	
0,5 a 1		Baja	
1 a 3		Moderadamente baja	Moderada
3 a 5		Moderadamente alta	
5 a 8		Alta	Alta
> 8		Muy alta	

En la Figura 14.22 se puede apreciar que las mayores permeabilidades fueron medidas en las areniscas negras friables limonitizadas del sondeo PRK 23 y PRK 20 (UL entre 4,6 y 25), en las areniscas pelíticas del PRK 23 (UL = 14) y en las areniscas negras entre cotas 130m y 135m del sondeo PRK 07 bis. Las rocas pelíticas grises competentes han mostrado en general muy bajas permeabilidades (<1 UL).

Si bien las areniscas friables limonitizadas parecen muy permeables, los ensayos realizados en el sondeo CI 12 muestran valores nulos de absorción. Aparentemente no se observó relación directa entre el tipo de roca o el grado de fracturamiento con la magnitud de la absorción de agua en los ensayos.

Un dato importante es que los ensayos de permeabilidad ejecutados en el sondeo PRK 05 bis sobre los niveles de roca competente presentan permeabilidades muy bajas.

En las actividades de ejecución de la cortina de impermeabilización se podrá comprobar la muy baja permeabilidad de la roca competente de fundación.

Los ensayos de inyectabilidad de lechada de cemento que se ejecutaran en este sector, suministrarán valiosa información para decidir el plan de ejecución de la cortina de impermeabilización.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 341 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900

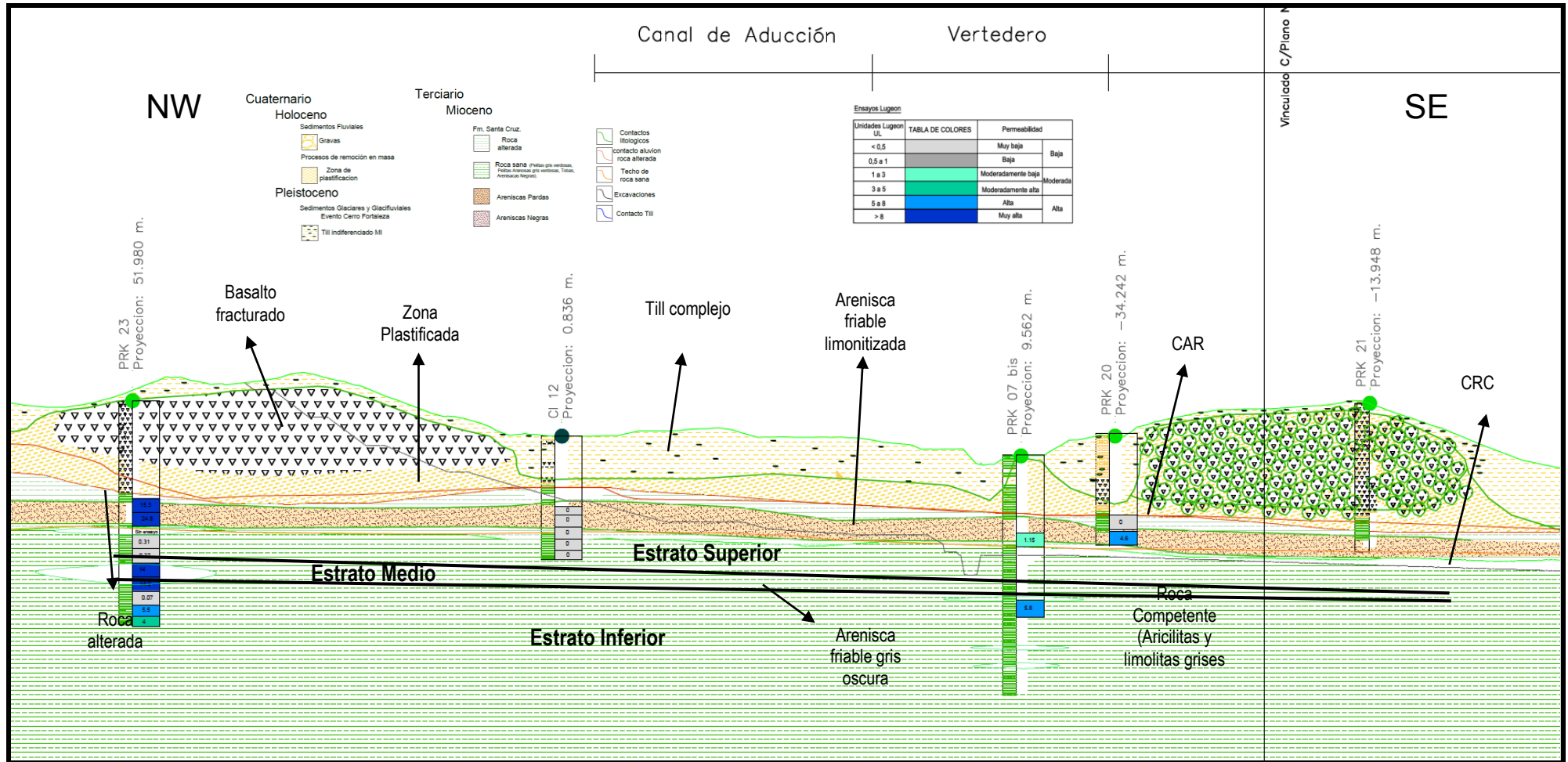


Figura 14.22: Sección geológica y permeabilidad a lo largo del eje vertedero+rápida (NW-SE)



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 342 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Doc. N°

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

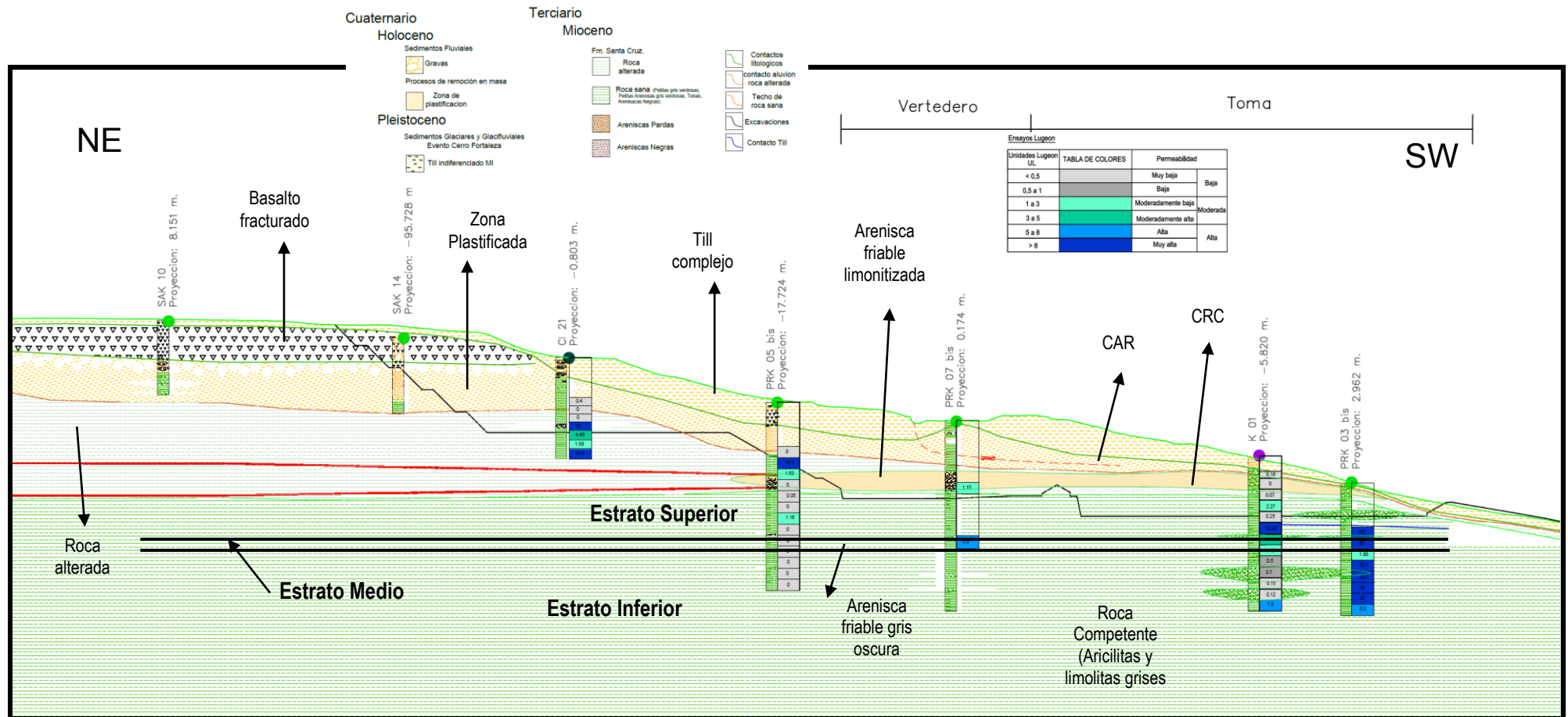



Figura 14.23: Sección geológica y permeabilidad a lo largo del eje Toma+Vertedero+Muro de cierre MI (NE-SW)

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 343 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900

#### 14.4.4. Diseño de Taludes de excavación

La definición del marco geológico de las obras y de las propiedades de resistencia, deformación y permeabilidad, han servido para analizar las diferentes configuraciones que pueden tener los taludes de excavación, teniendo en cuenta el tipo de material geológico (aluvión, till, roca alterada, roca competente), la duración en el tiempo (temporarios o permanentes), la presencia de agua (seco o saturados) y la acción sísmica (sismo *OBE* o *MDE*).

Los perfiles de las Figura 14.24, Figura 14.25 y Figura 14.26 muestran 3 secciones geológicas correspondientes a los taludes de excavación más importantes en la rápida, cuenco y central.

En La Figura 14.24, trazada por la central (plano NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P914 (Anexo 17)), se destacan los depósitos de till con bloques de basalto apoyados sobre roca alterada de la Fm. Santa Cruz (superficie CAR) y abajo las rocas competentes de la misma formación. Observese que la central será excavada casi integralmente en roca competente.

La Figura 14.25 corresponde a la sección transversal de máxima altura en la rápida del vertedero (plano NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P920 (Anexo 17)). Estas excavaciones de gran porte se ejecutaran en una masa de basalto muy fracturado y afectado tanto por el glaciar del evento Co. Fortaleza como por los fenómenos de remoción en masa. Con respecto a esto último, es difícil reconocer a que tipología corresponde el movimiento pues presenta características tanto de deslizamientos rotacionales como de una expansión lateral. De todas maneras, el hecho indudable es que en la base de esa masa ha ocurrido un movimiento cisallante y el material se encuentra con propiedades de resistencia residual.

La Figura 14.26 corresponde a la sección transversal del cuenco disipador (plano NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P919 (Anexo 17)). Las excavaciones del cuerpo principal del cuenco se realizaran en las rocas pelíticas grises competentes de la Fm. Santa Cruz y en la parte superior en roca alterada y depósitos de till.

Las propiedades de resistencia para los materiales presente en los taludes de la rápida del vertedero y del cuenco están presentados en el informe NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P903 (Anexo 27). El informe distingue entre estrato superior e inferior.

El superior está formado por depósitos coluviales y glaciarios alguno de los cuales han sufrido deslizamientos por lo que se consideran propiedades geomecánicas residuales (cohesión nula).

El estrato inferior se sitúa por debajo del precedente y está constituido por pelitas grisáceas y tobas con alteración superficial, en los primeros cinco a diez metros desde el techo de roca. En forma intercalada se observan lentes de areniscas grises y verdes.

Para los depósitos coluviales y glaciarios del estrato superior, los parámetros de resistencia considerados se presentan en la Figura 14.27.





REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGCG-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 344 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900

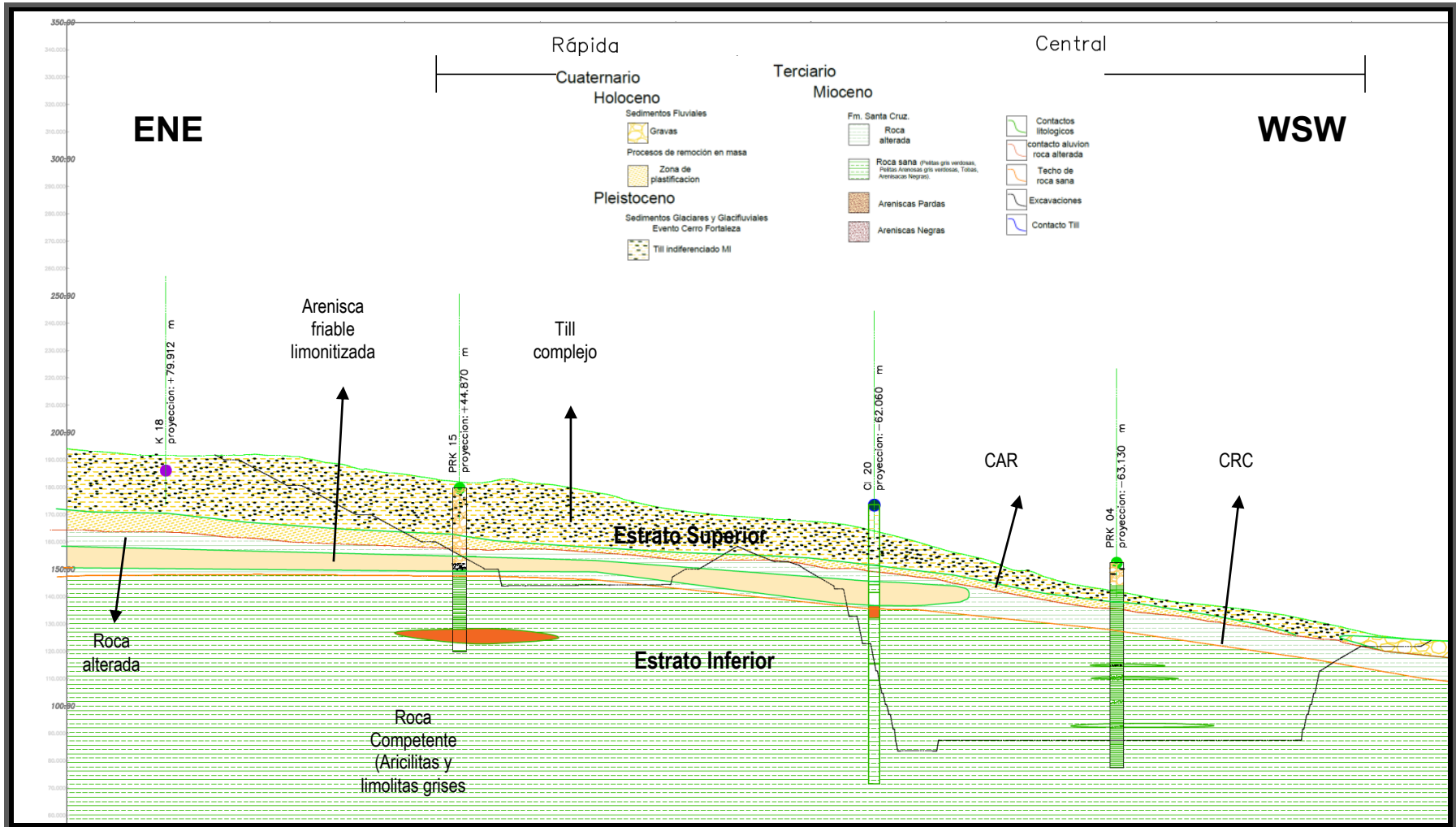


Figura 14.24: Sección geológica del perfil transversal a la central y a la rápida del vertedero (NE-SW) (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P914)



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 345 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

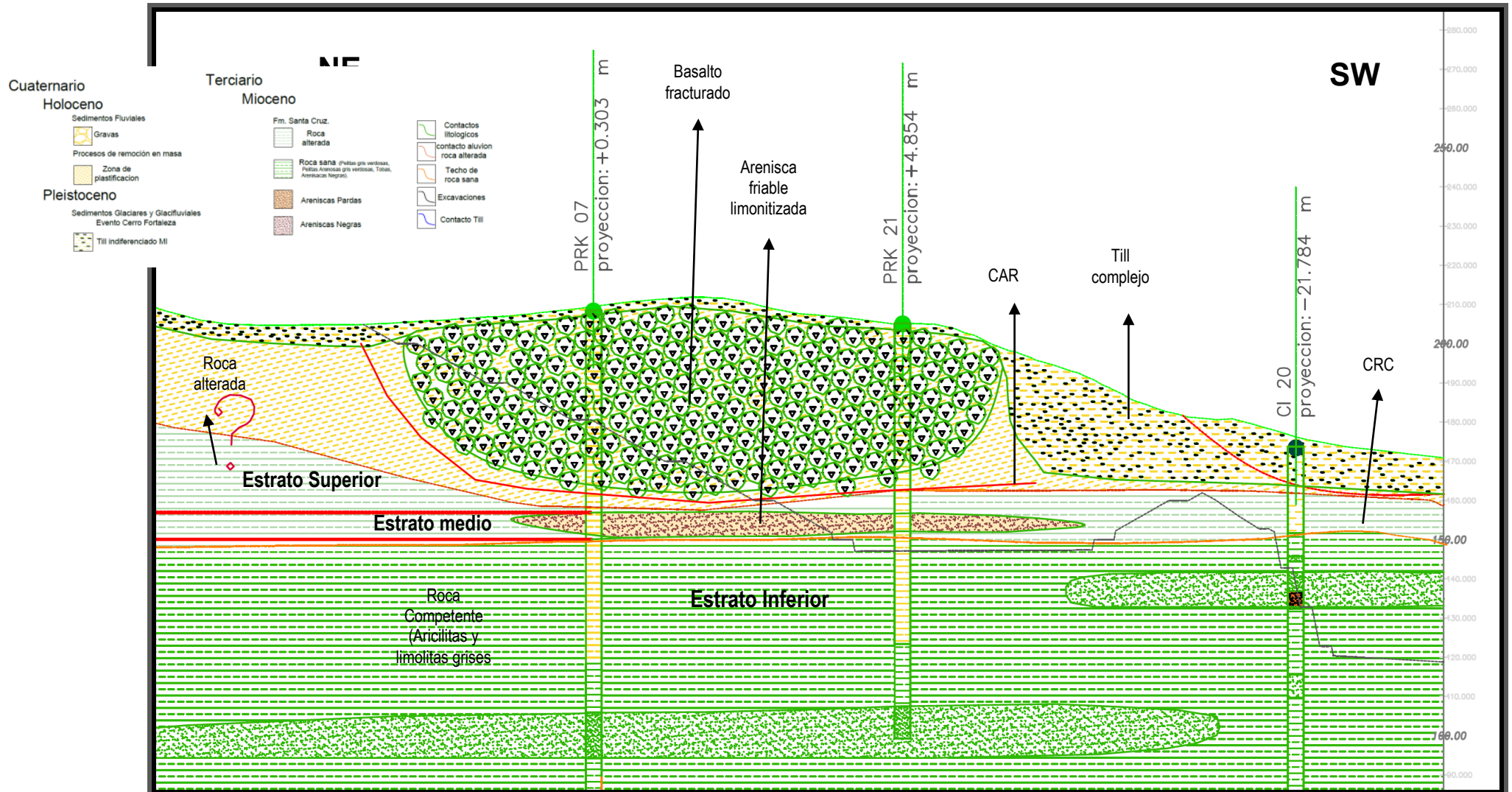


Figura 14.25: Sección geológica del perfil transversal de máxima altura del vertedero (NE-SW) (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P920)



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 346 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

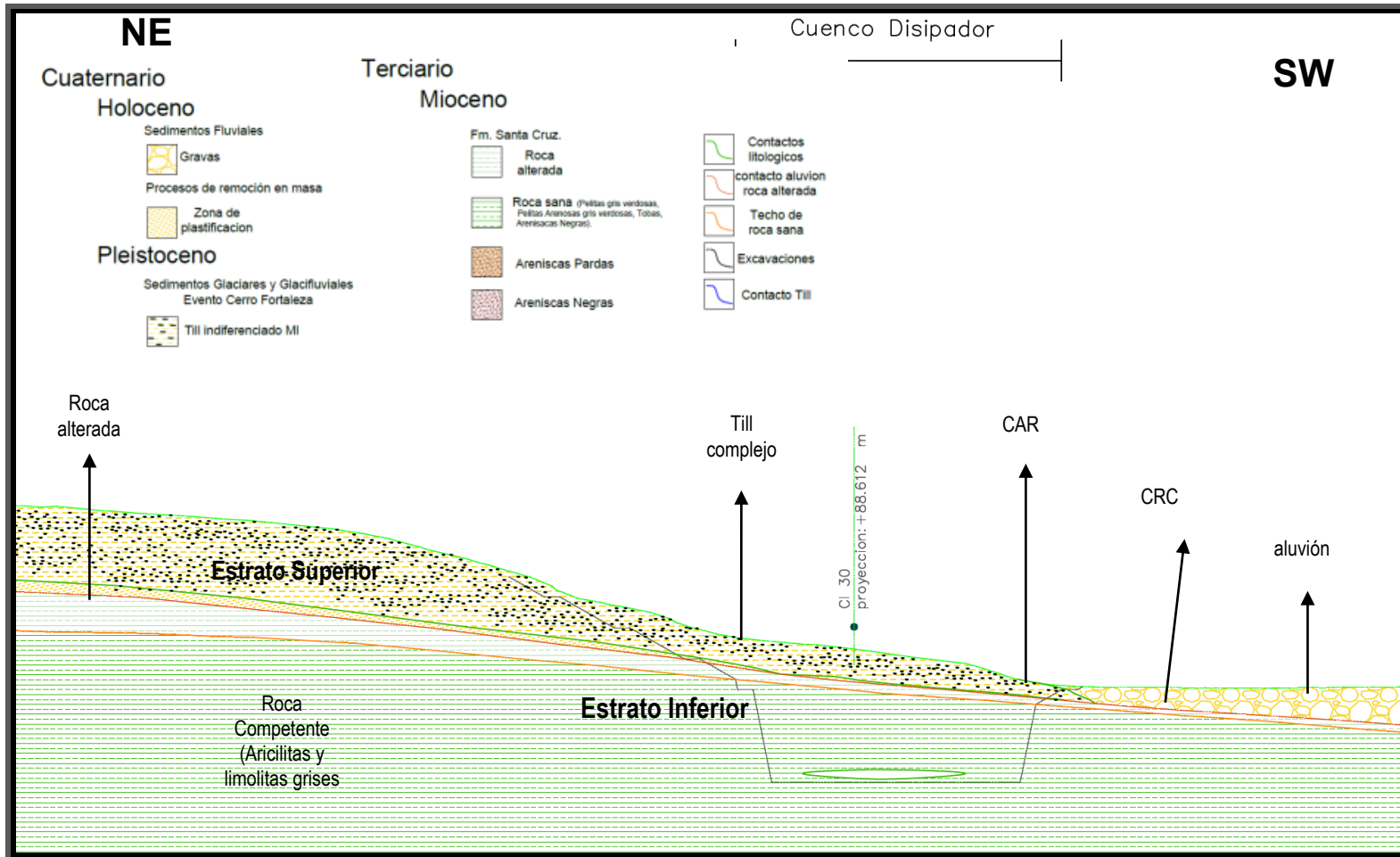


Figura 14.26. Sección geológica del perfil transversal al cuenco disipador (NE-SW) (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P919)

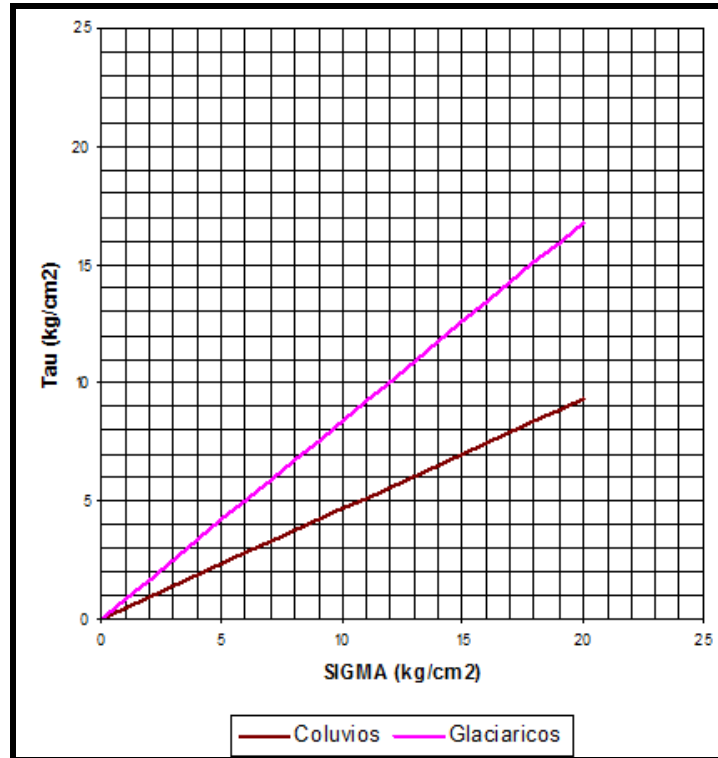


Figura 14.27: Envoltorias de resistencia de los depósitos coluviales y morrénicos

Para el estrato inferior los parámetros de resistencia considerados se presentan en la Figura 14.27.

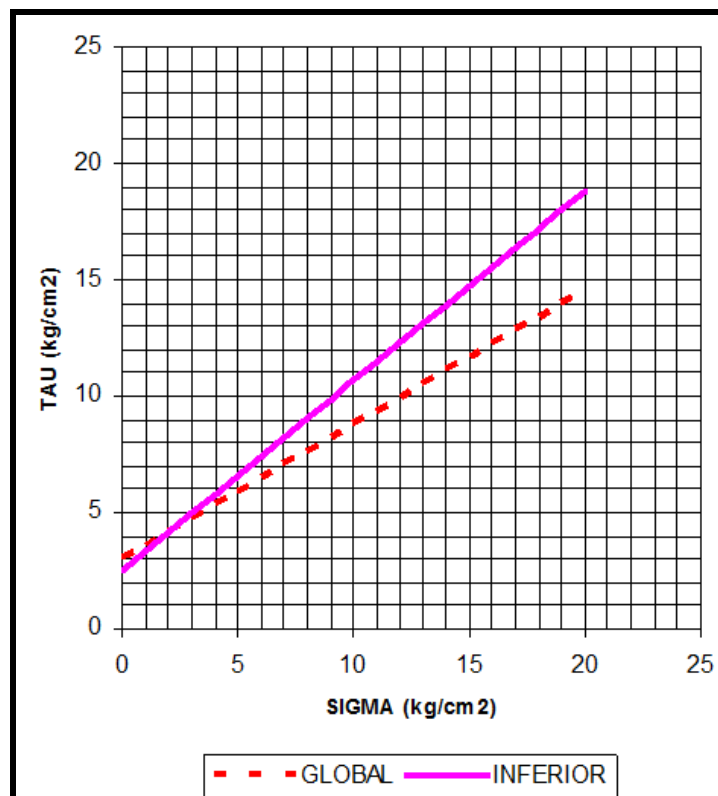



Figura 14.28: Envoltorias de resistencia de los depósitos coluviales y morrénicos

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 348 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

Finalmente, para ambos estratos los parámetros de resistencia considerados se presentan en la Tabla 14.18.

**Tabla 14.18: Parámetros de resistencia para verificación de excavaciones**

	Superior	Inferior
$\phi$ (°)	40	39
c (MPa)	0	0,3

Todas estas consideraciones y los análisis de estabilidad realizados, permitieron definir la siguiente geometría de excavación (Tabla 14.19):

**Tabla 14.19: Geometría de los taludes de excavación**


CARÁCTER	MATERIAL	Horizontal	Vertical	Ancho Berma (m)	Altura (m)
TEMPORARIO (Exc Investigación MD)	Aluvion/till	1,25	1,0	5	10
<b>PERMANENTES</b>					
Aluvion/till					
Aguas Arriba	Abajo N. Embalse (<176,5m)	2,50	1,0	5	10
	Arriba N. Embalse (>176,5m)	1,75	1,0	5	10
Aguas Abajo		1,75	1,0	5	10
Zona a rellenar		1,50	1,0	5	10
PERMANENTES	<b>Roca</b>				
	Competente (en zona a rellenar con H°)	0,20	1,0	0,5	10 a 12
	Competente	0,20	1,0	3	10 a 12
	Alterada	1,50	1,0	5	10 a 12

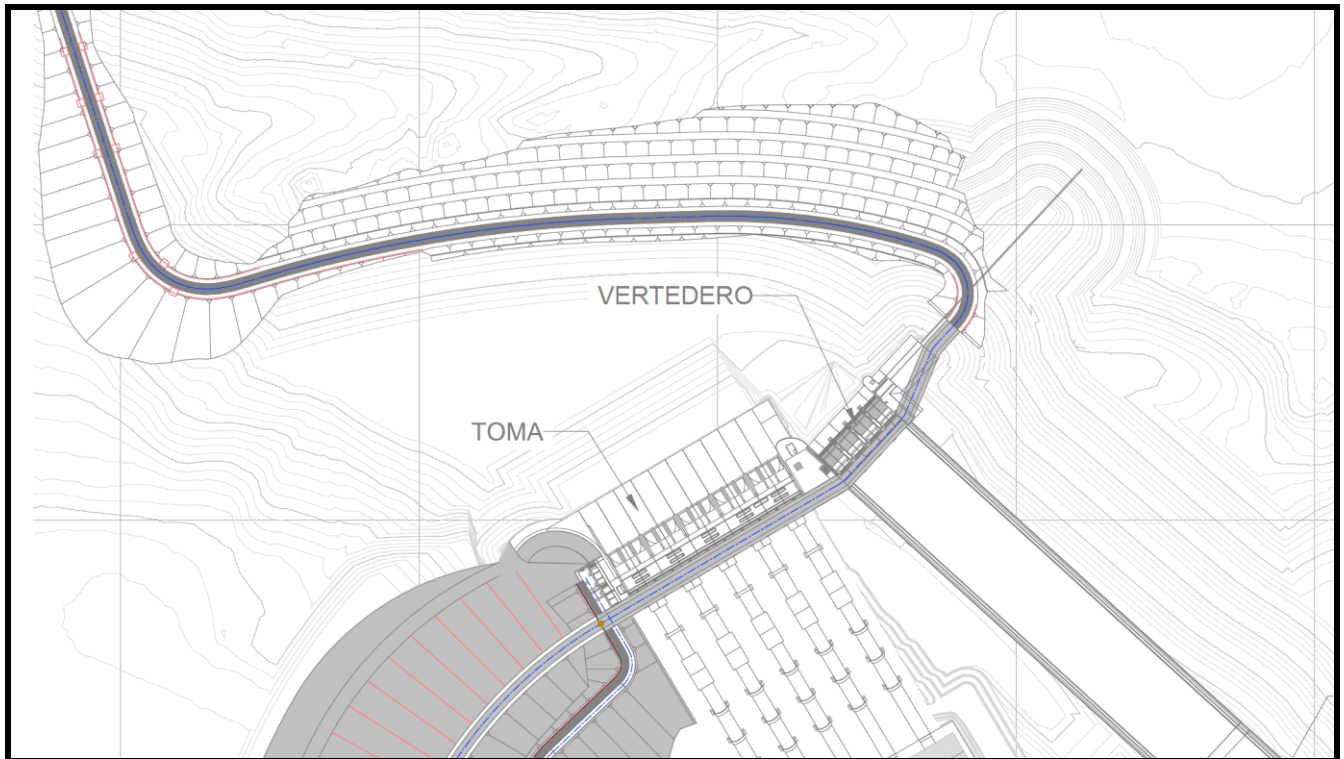
Los taludes en roca competente, como los de la central y cuenco disipador se excavaran con taludes 0,2h/1v, berma 0,5 m a 3 m y altura 10 a 12 m.

Los taludes en roca alterada y depósitos de till se excavaran con taludes 1,5h/1h, bermas de 5 m de ancho y taludes de 10 m a 12 m de altura.

## 14.5. Modelo Geológico y Geotécnico para el Canal de Aducción y Muro de cierre

El canal de aducción es la estructura de conducción del agua hacia el circuito de generación (toma+conductos+central) y hacia el circuito de evacuación de excedencias (vertedero+rápida+cuenco+canal de restitución). En la Figura 14.29 se muestra la disposición de la excavación. La cota inferior de la excavación del canal es 156,5 m.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 349 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902



**Figura 14.29: Planta general de las excavaciones del canal de aducción en margen izquierda**

Desde el punto de vista geológico, el sector de implantación de estas excavaciones esta condicionado por la presencia del bloque de basalto desprendido, por el fenómeno de expansión lateral, de la meseta basáltica intermedia.

Las investigaciones geológicas realizadas en el sector de implantación de la estructura se muestra en la Figura 14.30 y mas detalles en el plano NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00) P002 (Anexo 03).

Los resultados de las perforaciones de la campaña 2015 (serie PRK) pueden consultarse en el Anexo 04.

A efectos de resumir el modelo geológico de las excavaciones del canal, se elaboraron las secciones geológicas presentadas en los planos NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00) P920 a P927 (Anexo 17), correspondientes respectivamente a las secciones de progresivas 0+456, 0+310, 0+183, 0+100 y perfil longitudinal del bloque deslizado (Figura 14.31). Estos perfiles estan reproducidos en las Figura 14.32 a Figura 14.36.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 350 de 389

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

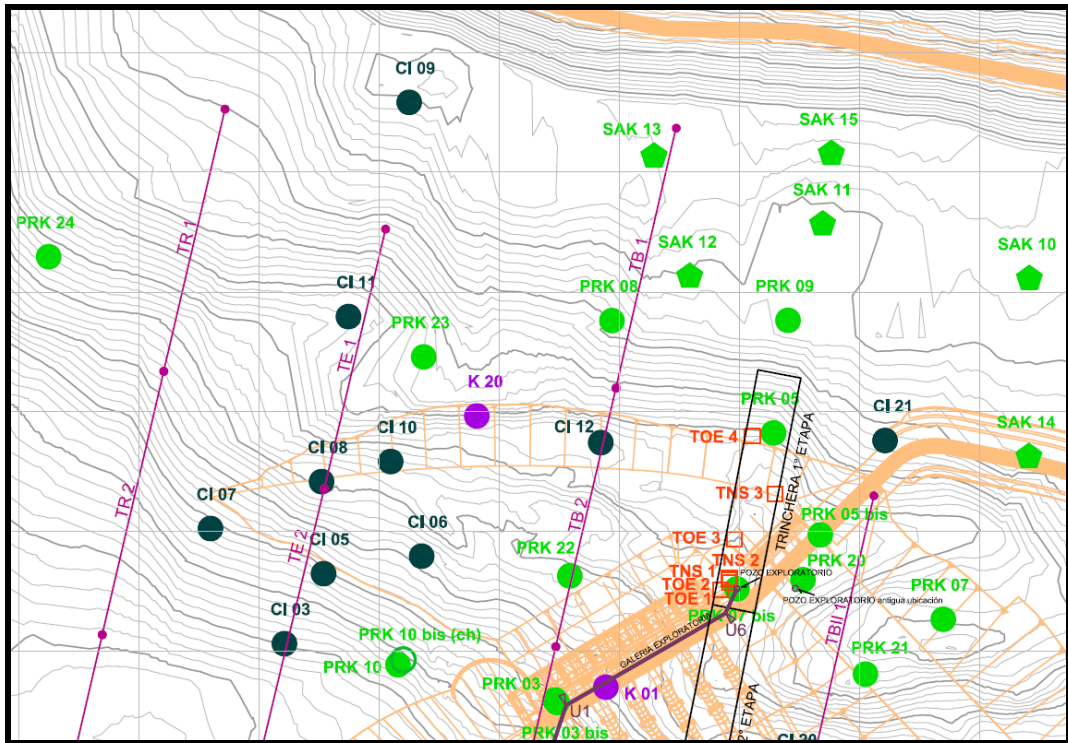


Figura 14.30: Planta general del canal de aducción con la ubicación de las investigaciones geológicas

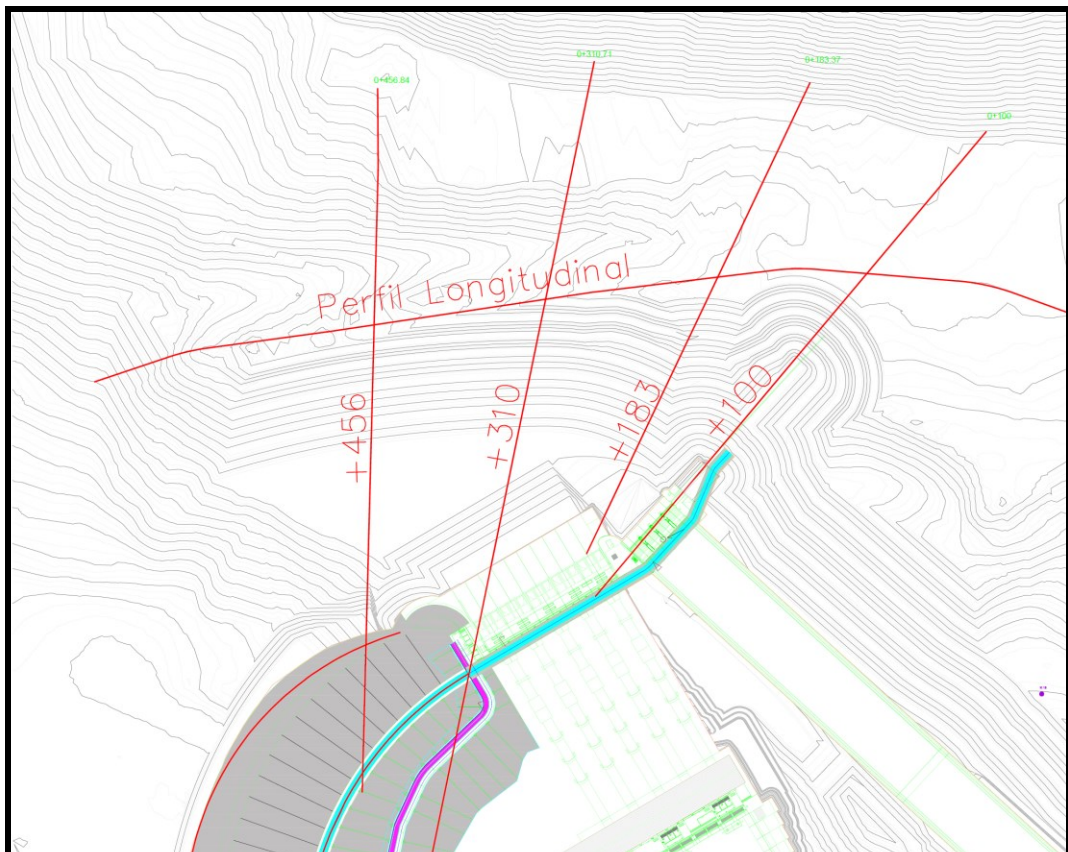


Figura 14.31: Planta general con la ubicación de los perfiles de las Figuras 14.29 a 14.33



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 351 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900

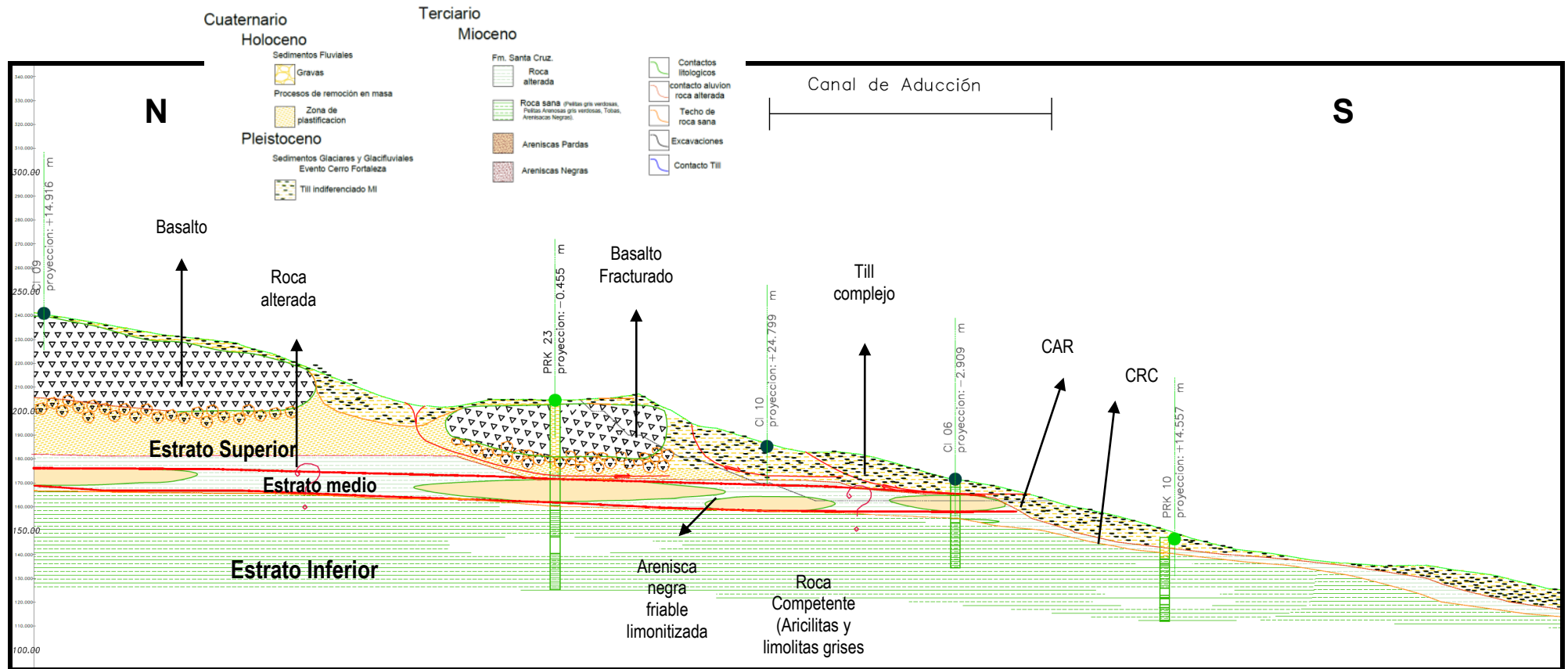


Figura 14.32: Perfil geológico progresiva 0+456 (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P923- (Anexo 17))





REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 352 de 389

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

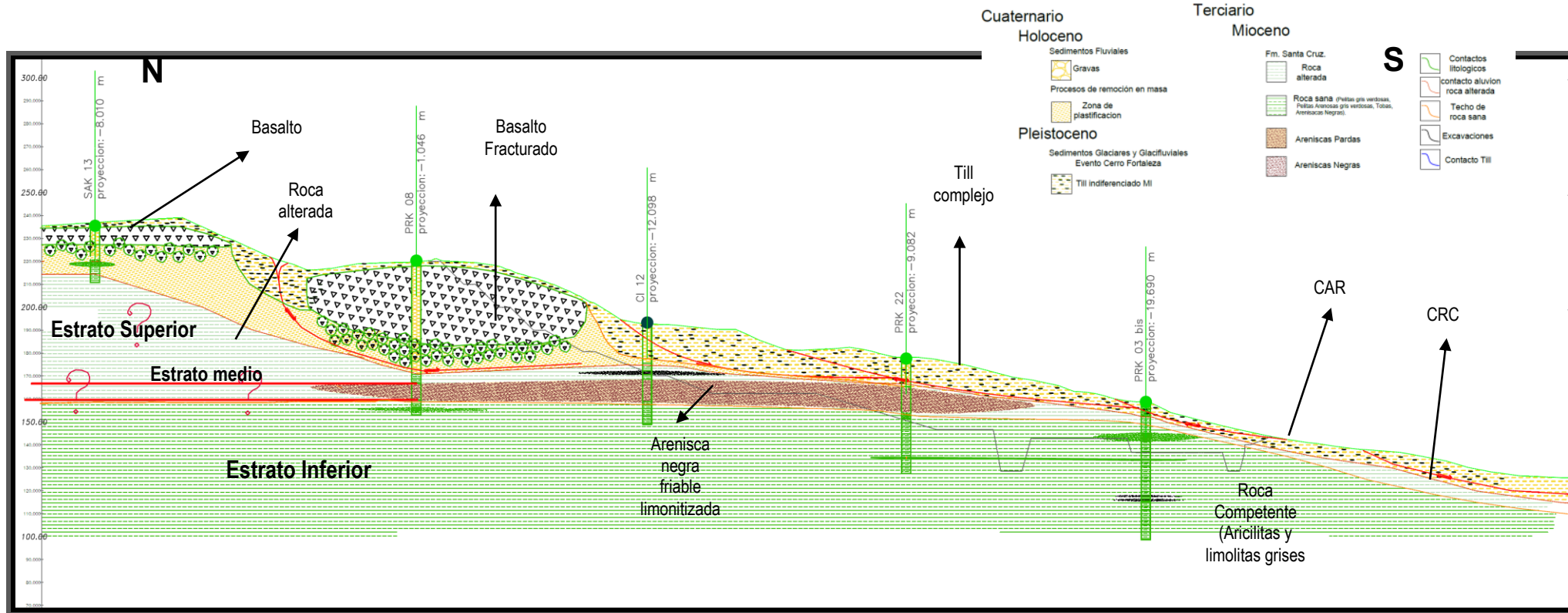


Figura 14.33: Perfil geológico progresiva 0+310 (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P924- (Anexo 17))



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 353 de 389

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

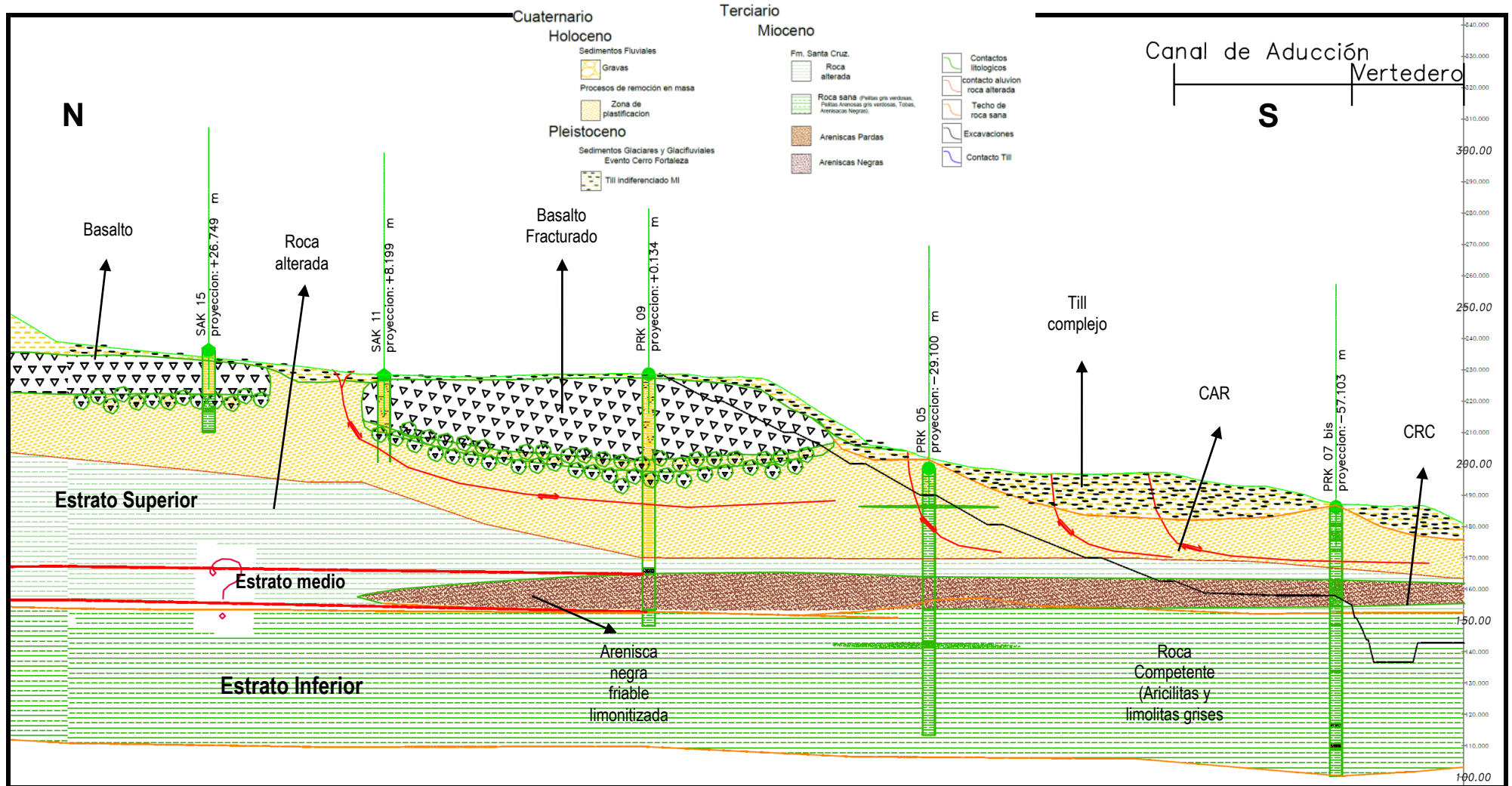


Figura 14.34: Perfil geológico progresiva 0+183 (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P925- (Anexo 17))



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 354 de 389

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

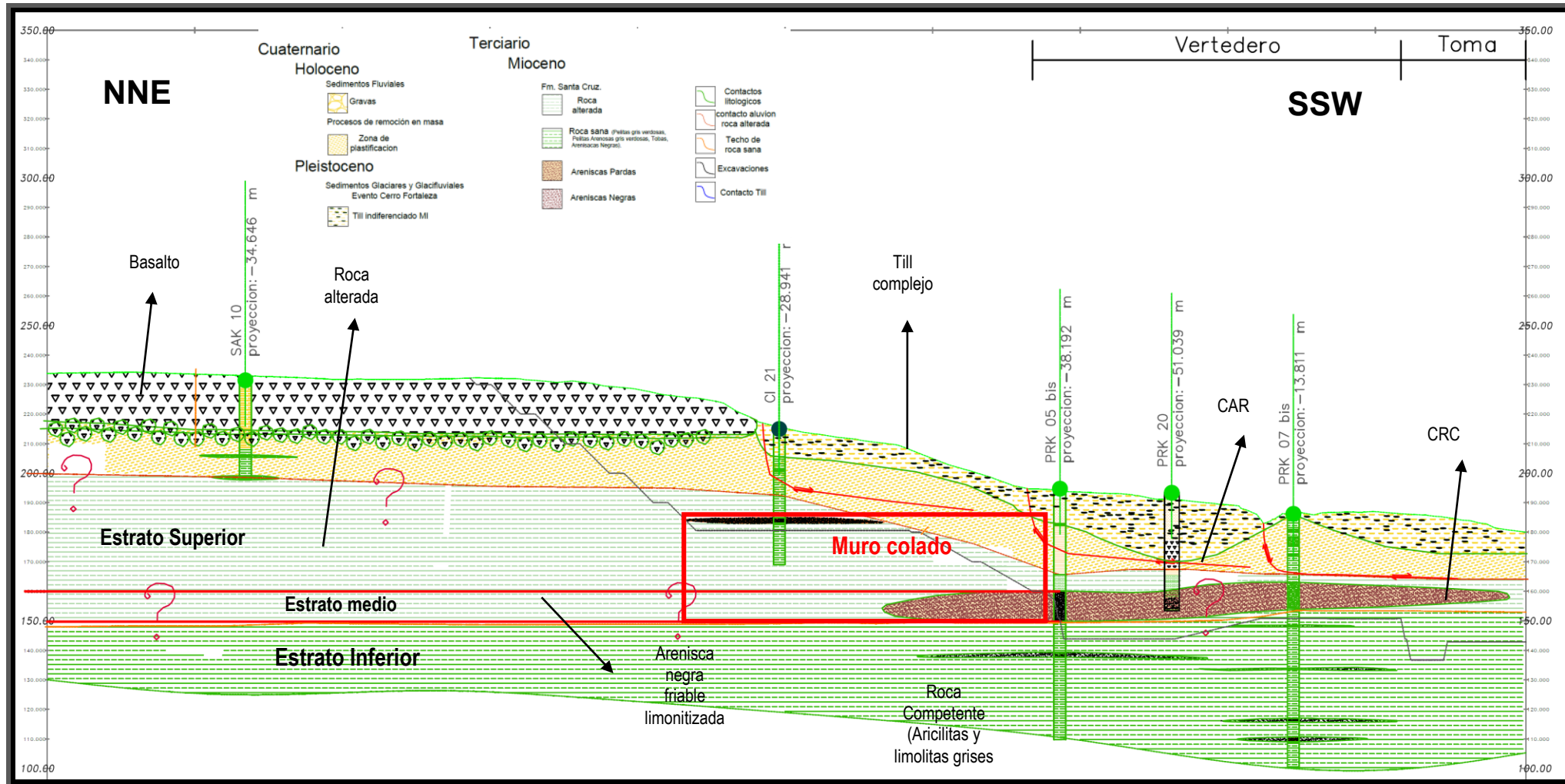


Figura 14.35: Perfil geológico progresiva 0+100 – Muro de cierre MI (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P926- (Anexo 17))

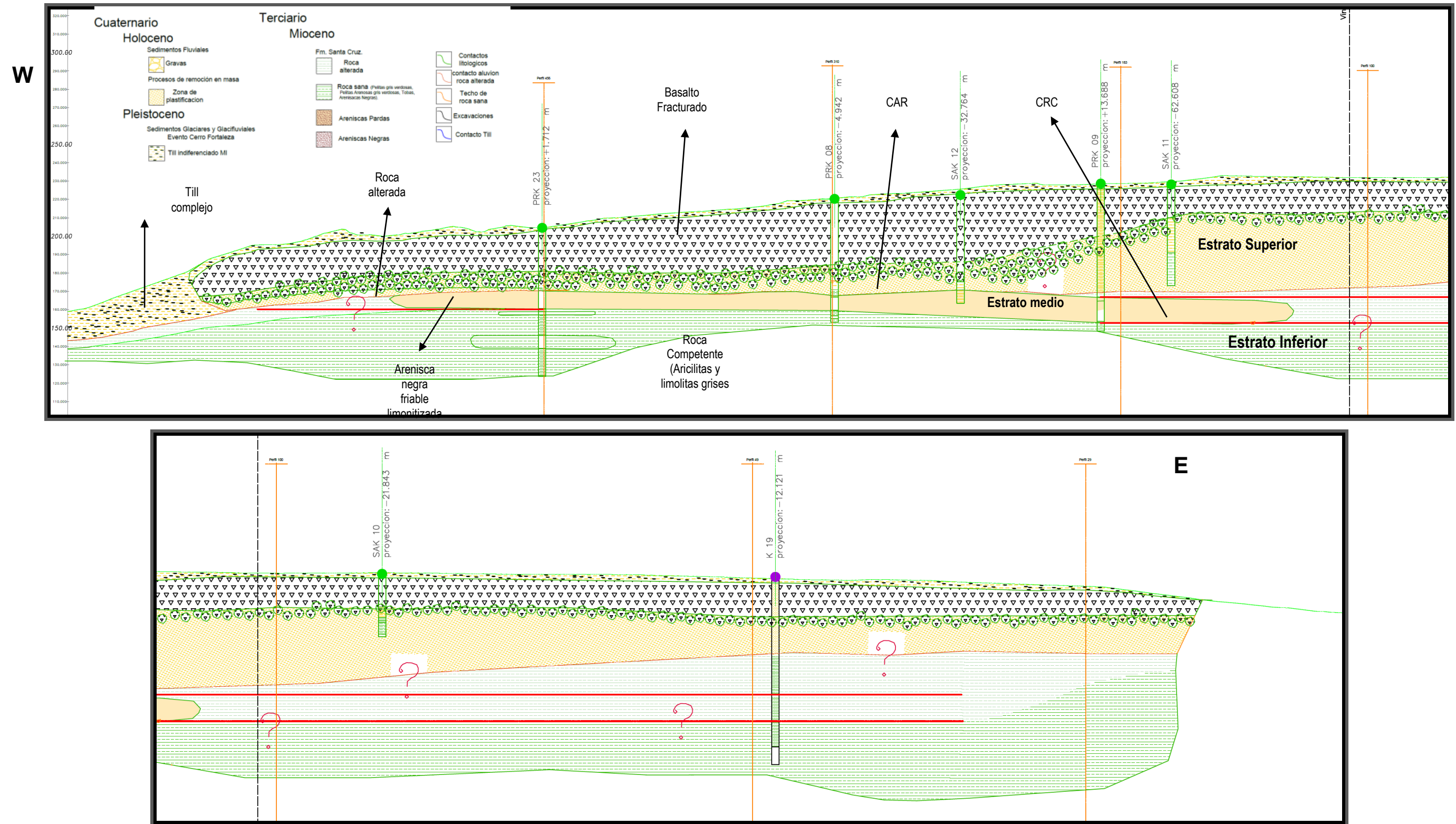

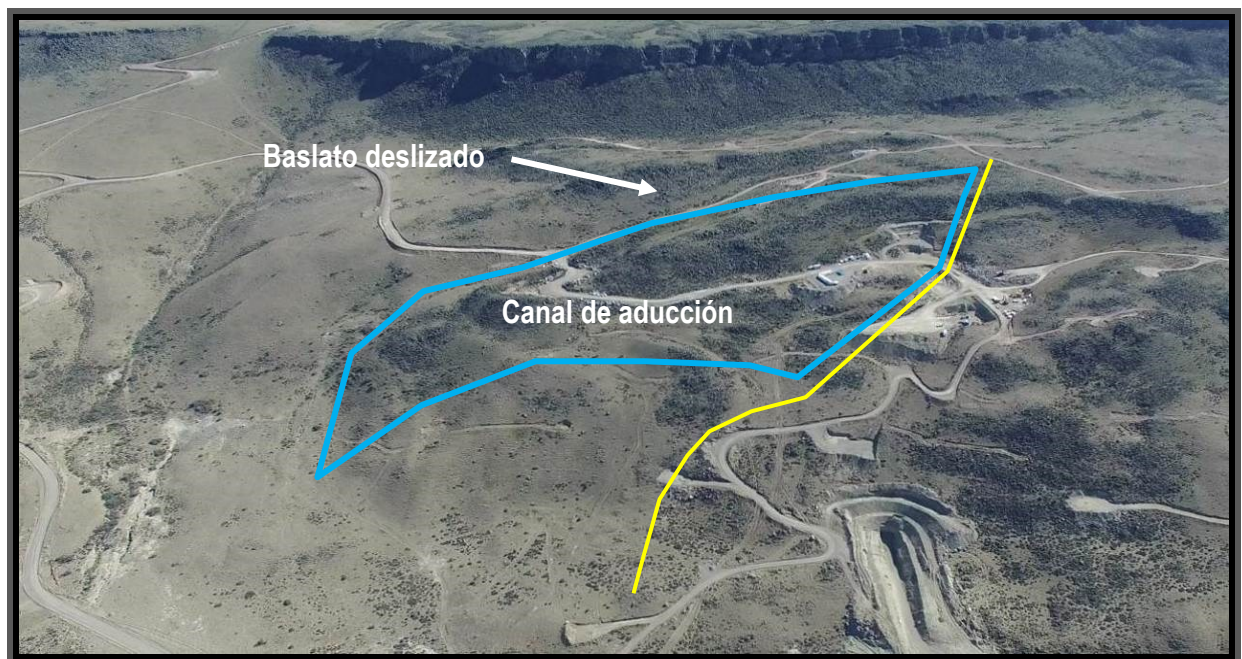


Figura 14.36: Perfil geológico progresiva 0+100 (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)P926- Anexo 17)

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 356 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900

En los perfiles se destacan varias unidades geológicas relevantes. En primer lugar se identifica la colada de basalto de la terraza intermedia que en principio parece estar vinculada a las coladas basales del basalto de la terraza principal. Sin embargo, la información del sondeo CI09 muestra abajo del basalto rocas alterada y fracturada de la Fm. Santa Cruz, similar al nivel plastificado caracterizado en el sector. Los estudios geomorfológicos realizados por el CICTERRA plantean la hipótesis de que ese nivel alterado y fracturado corresponda al nivel de despegue de un gran movimiento de toda la terraza superior.

La meseta intermedia sufrió un desmembramiento en dirección al sur de una “lengua” de basalto por efecto de una expansión lateral como se detalla en el Capítulo 9 de este informe (Figura 14.37).




**Figura 14.37: Vista aérea del sector de implantación del canal de aducción y del bloque de basalto deslizado**

Este desprendimiento presenta una clara hondonada en su parte trasera señalando la profunda gierta de tracción que se produjo al desplazarse la masa de basalto. El movimiento fue de tipo tijera con el punto de giro en proximidad del sondeo SAK 10. Ese movimiento ocasiono que la masa sufriera un resalto vertical de más de 20 m y horizontal de 40 m aproximadamente. La masa de basalto deslizada presenta un espesor creciente de oeste hacia el este (Figura 14.33) hasta el sondeo SAK 12, en donde pasa de 20 m a 40 m. Después del sondeo citado el espesor de la colada se reduce a 15 y 20m. Desde el punto de vista geológico esta constituido por basalto muy fracturado y dislocado por la acción del movimiento de remoción en masa y posterior acción glaciaria. Además se encuentra “intruído” de material limo arcilloso de color pardo claro proveniente de los niveles inferiores plastificados durante el movimiento. Se estima que el material que esta siendo cizallado, estaba también con alto grado de saturación y altas presiones neutras. En los testigos la zona de plastificación se caracteriza por la presencia de roca cizallada, fracturada, alterada y suelos. En el modelo geológico de los perfiles de las figuras 14.29 a 14.33 se ha incluido en la base del bloque un nivel brechado representando la zona de intrusión del material plastificado entre los bloques de basalto.

Debajo del basalto y de la zona plastificada se identifica aun una faja de rocas de la Fm. Santa Cruz alterada, de color parduzco, con estratos subhorizontales y sin señales de alteración mecánica. Presenta mayor resistencia y competencia que los materiales plastificados pero menor que los estratos subyacentes competentes de la Fm. Santa Cruz.

Dentro del nivel de roca alterada se distingue por su espesor y persistencia un estrato de arenisca negra fuertemente limonitizada, que conserva su típica estratificación cruzada planar. El color natural es el negro, pero el intemperismo genero una importante limonitización de los granos de arena debido a la oxidación de minerales ferromagnesianos y a la circulación de agua subterránea con el suficiente oxígeno como para alterar lo minerales. Se estima que la recarga del acuífero no sería muy distante.

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 357 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

Cubriendo todo el conjunto se desarrollan los depósitos glaciares y glacioluviales, que se denominaron genéricamente till complejo.

Subyaciendo todo el sistema se encuentran las rocas sanas y competentes de la Fm. Santa Cruz, en donde predominan los estratos arcilitos y limolíticos de color gris a gris verdoso y algunas lentes de areniscas pelíticas grises y tobas.

Las excavaciones del fondo del canal de aducción se definieron en cota 162,5, por lo que las mismas se ejecutaran en los niveles alterados del macizo mayormente dentro de la capa de arenisca friable limonitizada.


Los taludes de excavación dejaron expuesto la base del bloque de basalto deslizado por lo que se desarrollaron una serie de análisis de estabilidad tanto estático como pseudoestático.

Los parámetros geomecánicos para estos análisis fueron obtenidos del informe NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00) P901 (Anexo 28). En ese informe se definen parámetros para la roca competente (estrato inferior), la arenisca friable limonitizada entre cotas 160 m y 170 m (estrato medio), las pelitas del estrato superior, la roca alterada y el material plastificado (Tabla 14.20).

**Tabla 14.20: Parámetros geotécnicos usados en la verificación de la estabilidad de los taludes**

Macizo Rocoso	Parámetros Geomecánicos	
	c (MPa)	$\phi$ (°)
Basalto Fracturado	0,5	57
Roca alterada	0,13	25
Estrato superior	0,17	31
Arenisca friable sin cementar (estrato medio)	0	30
Arenisca cementada (estrato medio)	0,3	37
Estrato Inferior	0,42	36

En el cierre de margen izquierda se construirá un muro lateral que empalmado con un muro colado de 150 m de longitud, constituirá el sistema de estanquidad de esa margen (Figura 14.35). En la sección geológica de la Figura 14.35, se observa que la profundidad del muro colado está condicionado por la presencia de la capa de arenisca friable. La Tabla 14.21 resume todos los ensayos de permeabilidad Lugeon y Lefranc ejecutados en esta arenisca.


	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS		Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 358 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC		Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

**Tabla 14.21: Ensayos de permeabilidad en el estrato de arenisca friable limonitizada**

Sondeo	Tramo		UL	Estrato de Arenisca
	De	Hasta		
PRK 03 Bis	158,3	152,1	sin ensayo	157,9 a 152,5
PRK 5	163,5	157,5	0,5	163,9 a 153,6
	157,5	152,5	0,5	
PRK 5 bis	164,7	159,7	0,5	160,5 a 151,7
	159,7	154,7	0,6	
	154,7	149,7	0	
PRK 07 Bis	158,3	153,3	1,2	162,9 a 154,3
PRK 08	167,8	162,8	0	159,7 a 156,8
	162,8	157,8	4,8	
PRK 09	167,3	162,8	0,4	166,3 a 153
	162,2	157,3	0	
	157,3	152,5	0	
PRK 20	159,2	154,2	2,6	157,5 a 154,8
PRK 22	154,3	165,7	0,1	165,8 a 152,9
PRK 23	160	158	<1	168,1 a 160,4
CI 06	161,1	160,1	$5,23 \times 10^{-5} (*)$	164,8 a 158,3
CI 10	164,5	163,5	$5,2 \times 10^{-5} (*)$	167,3 a 160,8
CI 12	168,3	165,1	0	168,8 a 159,03
	163	160,7	0	

(\*) Ensayos Lefranc

Se observa que desde el punto de vista de la permeabilidad el estrato puede ser considerado como muy poco permeable. Sin embargo, dada la heterogeneidad litológica de la arenisca, esta propiedad será verificada con sondeos exploratorios adicionales antes de la ejecución del muro.


 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 359 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

## 15. INVESTIGACIONES FUTURAS

Si bien se considera que el modelo geológico y geotécnico propuesto para el diseño ejecutivo de la presa Nestor Kirchner es sólido con el nivel de información disponible de las 3 campañas de investigaciones ejecutadas, se estima necesario realizar algunas actividades de investigación complementarias:


- a. Terminar el pozo exploratorio hasta su cota final 126,5 msnm
- b. Ejecución de la trinchera exploratoria en margen derecha para clasificar geotécnicamente los niveles del till inferior.
- c. Continuación del sondeo K 21, situado en la parte alta de la terraza basáltica superior en margen izquierda, para detectar el contacto entre el basalto y la Fm. Santa Cruz.
- d. Ejecutar perforaciones exploratorias con recuperación de testigos y ensayos de permeabilidad en los sondeos de instalación de la instrumentación geotécnica de margen izquierda (inclinómetros y piezómetros)
- e. Completar la campaña de investigación de yacimientos para materiales de la presa haciendo espacial hincapié en los niveles más profundos de los aluviones (>4 m).
- f. Ejecutar ensayos triaxiales en las gravas para el relleno para confirmar los parámetros mecánicos adoptados en el diseño.



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 360 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902


## 16. BIBLIOGRAFÍA

- CICTERRA (2015) "Investigación Geológica, sedimentológica, estratigráfica y geomorfológica Valle del Río Santa Cruz - Argentina. CICTERRA - CONICET - UNC. INFORMES I-II-III.
- Varnes, D. J. 1978. Slope movement types and processes. In: Special Report 176: Landslides: Analysis and Control (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.). Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C., 11-33.
- MALAGNINO, E.C., 1991. Estudio Geológico Regional de Cordillera Patagónica y Patagonia Extrandina. Cuenca Austral. BHP. Inédito
- MALAGNINO, E. C. 2000a. Geología, Geomorfología, Riesgo Geológico, Hidrología, Hidrogeología y Geología Ambiental en: Proyecto de Asistencia Técnica para el Desarrollo del Sector Minero PASMA II, Provincias de Santa Cruz, Tierra del Fuego, Neuquén, Río Negro y Chubut. UGAM. Inédito
- MALAGNINO, E., 2000b. Suelos estructurales fósiles en las planicies glacifluviales de la Provincia de Santa Cruz. Centro de Investigaciones en Recursos Geológicos, 67 p.
- MALAGNINO E.C., 2004. Evaluación Geológica de los represamientos Cóndor Cliff y Barrancosa. Provincia de Santa Cruz. Gobierno de la Provincia de Santa Cruz –UNPA.
- MALAGNINO, E.C. 2015. En EIA Aprovechamientos Hidroeléctricos del Río Santa Cruz (Presidente Dr. Néstor C. Kirchner y Gobernador Jorge Cepernic), Provincia de Santa Cruz. Capítulo 4 – Línea de Base Ambiental. Geología. SERMAN.
- STRELIN, J.A., 1995. New evidences on the relationships between the oldest extra-andean glaciations in the Río Santa Cruz area. Quat. of South Am. and Ant. Peninsul. A.A. Balkema, 9 (1991): 105-116, Rotterdam
- STRELIN, J.A. y MALAGNINO E.C., 1996. Glaciaciones Pleistocenas del Lago Argentino y Alto Valle del Río Santa Cruz. XIII Congreso Geológico Argentino, Vol IV: 311-326.
- STRELIN, J., RE, G., KELLER, R. AND MALAGNINO E. 1999. New evidences concerning the Plio-Pleistocene landscape evolution of southern Santa Cruz region. Journal of South American Earth Sciences 12: 333-341.
- STRELIN J.A. and E.C. MALAGNINO, 2000. Late-Glacial History of Lago Argentino, Argentina, and Age of the Puerto Bandera Moraines. . Quaternary Research 54, 339-347.
- STRELIN, J.A. and E.C. MALAGNINO, 2009. Charles Darwin and the oldest glacial events in Patagonia: the erratic blocks of the Río Santa Cruz valley. Revista de la Asociación Geológica Argentina 64 (1): 101 - 108 (2009) 101.
- Andrus, D.A., P. Piratheepan, B.S. Ellis, J. Zhang, and C.H. Juang (2004). Comparing liquefaction evaluation methods using penetration-Vs relationships, Soil Dyn. and Earthquake Engrg, 24 (9-10), 713-721
- Bolognesi AJL, Varde O.A. And Giuliani F. (1987) Shear wave velocity in gravels. Proc. 8 PanAm Conf. Soil Mech. Geotech engng.
- DM-7. (1971) Design manual for Soil Mechanics, Foundations and Earth Structures, Department of the Navy. Washington.
- Yi F. (2010) Procedure to evaluate liquefaction induced settlement based on shear wave velocity. EERI 9th US National conference on Earthquake Engineering. Toronto.

 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS</p>	<p>Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 361 de 389</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900</p>


## **ANEXO 1 – PLANO DE UBICACIÓN DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS CAMPAÑAS 1970-1980 Y 2006-2007 (NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P001)**

NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P001: Estudios Complementarios – Geología – Investigaciones Campañas 2006-2007 y 1970-80 – Plano de Ubicación

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 362 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

**ANEXO 2 – INFORME INVESTIGACIÓN GEOLOGICA, SEDIMENTOLOGICA,  
 ESTRATIGRAFICA Y GEOMORFOLÓGICA. VALLE DEL RÍO SANTA CRUZ. PROVINCIA  
 SANTA CRUZ - ARGENTINA**


Inforem y mapas geológico y geomorfológico

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 363 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

### **ANEXO 3 – PLANO DE UBICACIÓN DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS CAMPAÑA 2015 (NK-A.CV-PL.GT(OG-00-00)-P002)**

NK-A.CV-PL.GT(OG-00-00)-P002: Estudios Complementarios – Geología – Investigaciones Campaña 2015 – Plano de Ubicación

NK-A.CV-PL.GT(OG-00-00)-P003: Estudios Complementarios – Geología – Investigaciones Campañas 2014, 2015, 2006-2007 y 1970-80 – Plano de Ubicación

	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 364 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

## ANEXO 4 – INFORME CAMPAÑA DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS CAMPAÑA 2015 (NK-A.CV-ES.GT-(OG-00-00)-P001)

NK-A.CV-ES.GT-(OG-00-00)-P001: Presa Néstor Kirchner. Campaña de investigaciones geológicas 2015. Resultados finales. Estudios geotécnicos.

Anexo I: NK-A.CV-PL.G-(OG-00-00)-P003: Presa Néstor Kirchner. Obras civiles. Estudios complementarios-Geología. Investigaciones Campaña 2015.

Anexo II: NK-A.CV-PL.G-(OG-00-00)-P004. Presa Néstor Kirchner. Obras civiles. Estudios complementarios-Geología. Investigaciones Campañas 2015, 2006-2007 y 1970-1980.

Anexo III: NK-A.CV-ES.GT-(OG-01-01)-P001. Presa Néstor Kirchner. Campaña de investigaciones geológicas 2015. Resultados finales. Estudios geotécnicos.

Anexo IV: Presa Néstor Kirchner. Campaña de estudios 2015. Caracterización dinámica de suelos. Ensayo sísmico entre pozos (Cross-Hole).

Detalle del documento JC-A.CV-ES.GT-(OG-01-01)-P001-0A (Anexo III)

	Fotos	Partes diarios	Lefranc	Lugeon	Logueo
PRK 01	14	10		5	2
PRK 02	18	27		4	3
PRK 03	10	11		6	2
PRK 03 bis	12	10		8	2
PRK 04	14	12		12	3
PRK 05	15	17		13	3
PRK 05 bis	14	23		13	3
PRK 06	10	27		7	2
PRK 07	9	15		3	3
PRK 07 bis	16	18		3	3
PRK 08	3	16		4	3
PRK 09	4	18		4	3
PRK 10	5	18		5	2
PRK 11	3	9		3	1
PRK 12	3	9		5	2
PRK 13	5	20		4	2
PRK 14	4	12		2	2
PRK 15	7	13		10	2
PRK 16	5	15		4	2
PRK 17	4	6		3	2
PRK 18	6	7		5	2
PRK 19	2	13		1	2
PRK 19 bis (r)	2	8		2	2
PRK 20	6	6		2	2
PRK 21	7	11			2
PRK 22	6	6		5	2
PRK 23	10	15		11	3
PRK 24	5	9		9	2



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA  
SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA  
SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS

Revisión: 0A  
Fecha: 28-09-16  
Página: 365 de 389


APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902


	Fotos	Partes diarios	Lefranc	Lugeon	Logeo
SAK 01	21	18	2		3
SAK 02	12	9	1		2
SAK 03	1	5			1
SAK 04	12	29	2		2
SAK 05	11	21			2
SAK 06	20	48			3
SAK 07	24	32	3	1	3
SAK 08	17	17	1		1
SAK 09	6	10			1
SAK 10	4	4			2
SAK 11	4	1			1
SAK 12	8	21			2
SAK 13	4	4			1
SAK 14	4	7			2
SAK 15	4	4			1
SAK 16	3	21			1
SAK 17	11	7			1
SAK 17 bis	9	27			1
SAK 18	12	19			2
SAK 19	12	8		1	2
SAK 20	14	54	1		3
SAK 21	14	42	2		2
SAK 21 bis	19	10	1	1	3

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 366 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

## **ANEXO 5 – INFORME SOBRE ENSAYOS MASW CAMPAÑA 2015 Y ENSAYOS DE PULSO ECO EN TESTIGOS DE ROCA**


Informe Determinación experimental del perfil de Ondas de corte del suelo con el método “MASW” – ENDEIC SA. 2015

Informe Determinación experimental de la velocidad de propagación de ondas Vp en testigos de roca con el método “pulso eco” ENDEIC SA. 2015

 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS</p>	<p>Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 367 de 389</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902</p>


## ANEXO 6 – RESULTADOS NORMALIZADOS DE LOS ENSAYOS MASW CAMPAÑA 2014 Y 2015



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 368 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902


## **ANEXO 7 – INFORME ENSAYO SISMICO ENTRE POZOS CROSSHOLECAMPAÑA - PROINGEO**

Informe sobre ensayos de crossholereali<ados en los sondeos PRK10,11,12,13 y 16 durante la campaña 2015 por la empresa PROINGEO

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 369 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902


## ANEXO 8 – INFORME GEOLÓGICO DE LA TRINCHERA EXPLORATORIA DE MARGEN IZQUIERDA PRESA (NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P002-0A)

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)P002: Informe geológico de la trinchera exploratoria

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 370 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902


## ANEXO 9 – INFORME GEOLÓGICO DEL POZO EXPLORATORIO DE MARGEN IZQUIERDA PRESA (NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001-0A)

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001: Informe geológico del pozo exploratorio

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 371 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902


## **ANEXO 10 – INFORME FINAL PELIGROSIDAD SISMICA Y VOLCÁNICA (GE-A.CV-ES.RS-(OG-00-00)-P001-0B)**

GE-A.CV-ES.RS-(OG-00-00)-P001-0B Informe Final Peligrosidad Sísmica y Volcánica

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 372 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902


## ANEXO 11 – INFORME FINAL OLEAJES INDUCIDOS POR SISMO(GE-A.CV-ET.RS-(OG-00-00)-P900)

GE-A.CV-ET.RS-(OG-00-00)-P900 Evaluación de posibles oleajes inducidos por sismo en los embalses de las presas Presidente Néstor Kirchner y Gobernador Jorge Cepernic sobre el Río Santa Cruz

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS		Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 373 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC		Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

## ANEXO 12 – ESTUDIO SOBRE LOS YACIMIENTOS DE MATERIALES DE LA PRESA (NK-A.CV-IV.GT-(PR-00-00)-P001)


NK-A.CV-IV.GT-(PR-00-00)-P001. Estudios sobre los yacimientos de materiales de la presa

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS		Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 374 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC		Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

## ANEXO 13 – INFORMES DE LOS LABORATORIOS IDIA E IMS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN

Informe laboratorio IDIA – Julio 2016


Informe Laboratorio IMS – Julio 2016

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 375 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

## ANEXO 14 – ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO (NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900)


NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P900. Análisis de los ensayos de laboratorio



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 376 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

## ANEXO 15 – INFORME SOBRE TIPOLOGIAS, GENESIS Y EDAD DE LOS MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA QUE SE LOCALIZAN EN EL PROYECTO DE CIERRE DE LA PRESA NÉSTOR KIRCHNER


Incluye mapa geomorfológico

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 377 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

## ANEXO 16 – PLANOS DE CONTACTO ALUVIÓN-TILL/ROCA ALTERADA (CAR) Y CONTACTO ROCA ALTERADA/ROCA COMPETENTE (CRC)


Plano contacto aluvión-till/roca alterada (CAR)

Plano contacto aluvión-till/roca alterada (CRC)

	<p>MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS</p>	<p>Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 378 de 389</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902</p>


## ANEXO 17 – PERFILES GEOLÓGICOS

Codigo	Descripcion
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P900	Perfil litologico Eje Muro Colado
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P901	Perfil litologico Eje Muro Colado
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P902	Perfil de Permeabilidad Eje Muro Colado
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P903	Perfil de Permeabilidad Eje Muro Colado
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P904	Perfil Geofisico Eje Muro Colado
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P905	Perfil litologico Canal de desvio
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P906	Perfil litologico Eje Margen Derecha
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P907	Perfil litologico Eje Margen Derecha
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P908	Perfil litologico Eje de la Toma
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P909	Perfil litologico Eje de la Toma
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P910	Perfil de Permeabilidad Eje de la Toma
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P911	Perfil de Permeabilidad Eje de la Toma
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P912	Perfil Litologico Toma-Vertedero
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P913	Perfil de Permeabilidad Toma -Vertedero
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P914	Perfil Litologico de la Central
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P915	Perfil Litologico Eje del Vertedero
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P916	Perfil Litologico Eje del Vertedero
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P917	Perfil de Permeabilidad Eje del Vertedero
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P918	Perfil de Permeabilidad Eje del Vertedero
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P919	Perfil Litologico Del Cuenco Amortiguador
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P920	Perfil Litologico Progresiva +049
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P921	Perfil Litologico Progresiva +029
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P922	Perfil Litologico Progresiva +029
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P923	Perfil Litologico Progresiva +456
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P924	Perfil Litologico Progresiva +310
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P925	Perfil Litologico Progresiva +183
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P926	Perfil Litologico Progresiva +100
NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P927	Perfil Litologico Lengua de Basalto MI

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 379 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902


## ANEXO 18 – MEMORIA DE CALCULO PARAMETROS GEOTECNICOS MATERIALES MARGEN DERECHA (NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P001

NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P001. Obras Civiles – Obras de Desvío – Parámetros Geotécnicos Materiales Margen Derecha - Geotecnia

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 380 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902


## ANEXO 19 – MEMORIA DE CALCULO ESTABILIDAD DE TALUDES PERMANENTES MARGEN DERECHA (NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P002

NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P002. Obras Civiles – Obras de Desvío y Descargador – Memoria de cálculo Estabilidad de Taludes permanentes - Geotecnia

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 381 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902


## ANEXO 20 – MEMORIA TECNICA CAPACIDAD DE CARGA OBRA DE DESVIO Y DESCARGADOR (NK-A.CV-MT.FE-(DD-00-00)-P001

NK-A.CV-MT.FE-(DD-00-00)-P001. Obras Civiles – Obras de Desvío y Descargador – Memoria Tecnica – Capacidad de Carga.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 382 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

## ANEXO 21 – MEMORIA DE CÁLCULO FILTRACIONES MURO COLADO MARGEN DERECHA (NK-A.CV-MC.GT-(PR-07-00)-P002


NK-A.CV-MC.GT-(PR-07-00)-P002. Obras Civiles – Presa – Muro colado – Fundaciones y Estructuras – Filtraciones - Memoria de Cálculo

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 383 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

## ANEXO 22 – MEMORIA TECNICA DEFORMABILIDAD DE MACIZOS ROCOSOS.(NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900


NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900. Obras Civiles – Obras Generales – Deformabilidad de Macizos Rocosos



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 384 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902


## ANEXO 23 – INFORME DE LABORATORIO MATERIAL ALUVIONAL DE LA FUNDACIÓN DE LA PRESA (NK-A.CV-IL.GT-(PR-00-00)-P002

NK-A.CV-IL.GT-(PR-00-00)-P002. Obras Civiles – Estudio de la Fundación de la presa – Ensayos de Laboratorio

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 385 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902


## **ANEXO 24 – INFORME SOBRE CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA FUNDACIÓN DE LA TOMA, CENTRAL Y VERTEDERO (NK-A.CV-MT.GT-(CH-00-00)-P902**

NK-A.CV-MT.GT-(CH-00-00)-P902. Obras Civiles – Obras Generales – Caracterización Geotécnica e la Fundación de la Toma, Central y Vertedero

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 386 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902


## ANEXO 25 – MEMORIA TÉCNICA DE CAPACIDAD DE CARGA DE LA TOMA (NK-A.CV-MT.FE-(TC-00-00)-P001

NK-A.CV-MT.FE-(TC-00-00)-P001. Obras Civiles – OC – Toma y Conducción para Generación - MT – Fundación y Estructura. – Capacidad De Carga

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 387 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902


## ANEXO 26 – MEMORIA TÉCNICA DE CAPACIDAD DE CARGA DEL VERTEDERO (NK-A.CV-MT.FE-(VE-00-00)-P001

NK-A.CV-MT.FE-(VE-00-00)-P001. Obras Civiles – OC – Vertedero - MT – Fundación y Estructura. – Capacidad De Carga

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 388 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

## ANEXO 27 – MEMORIA GEOTECNICA DE LA FUNDACION DE LA RAPIDA Y CUENCO DEL VERTEDERO (NK-A.CV-MT.GT-(VE-00-00)-P903

NK-A.CV-MT.GT-(VE-00-00)-P903. Obras Civiles – Obras Generales – MT Geotécnica de la fundación de la rápida y cuenco del vertedro

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINERIA SECRETARIA DE ENERGIA ELECTRICA SUBSECRETARIA DE OBRAS HIDROELECTRICAS	Revisión: 0A Fecha: 28-09-16 Página: 389 de 389
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(OG-00-00)-P902

## ANEXO 28 – MEMORIA GEOTECNICA CANAL DE ADUCCIÓN (NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P901

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P901. Obras Civiles – Obradcis Generales – MT Geotécnica del Canal De Aduccion

NOTAS

--

REFERENCIA

--


NOTAS INSPECCIÓN

<p>.....</p> <p>.....</p>
---------------------------


QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN PREVIA AUTORIZACIÓN DE REPRESAS PATAGONIA UTE

0A	EMISIÓN ORIGINAL	18-11-15	JC	CT	LF	NB
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	PROYECTÓ	EJECUTÓ	REVISÓ	VERIFICÓ

**MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS**  
**SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS**  
**SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS**

 <p><b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>
--	---


	NOMBRE	FECHA	<p><b>REPRESA Pte. Dr. Néstor KIRCHNER</b></p> <p><b>OBRAS CIVILES</b></p> <p><b>OBRAS DEL DESVÍO Y DESCARGADOR</b></p> <p><b>MC.GT – ESTABILIDAD DE TALUDES</b></p>				
	EJECUTÓ	CT					18-11-15
	REPRES. TEC.						
			Etapa Proyecto:				
			PE				
			Nivel desarrollo:				
			200				
	Pag.	Form.	Esc.	Doc. N°	Rev.		
	1/19	A4	s/e	NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P002	0A		

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 18-11-15 Página: 2 de 20
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P002

## TABLA DE CONTENIDO

1. OBJETIVO .....	4
2. REFERENCIAS.....	4
2.1. PLANOS Y DOCUMENTOS DEL PROYECTO.....	4
2.2. PUBLICACIONES TÉCNICAS .....	5
3. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....	6
4. SISMOS DE DISEÑO.....	6
5. DEFINICIÓN DEL COEFICIENTE SEUDOESTÁTICO.....	7
6. SECCIÓN DE ANÁLISIS.....	8
7. METODOLOGÍA DE CÁLCULO .....	10
8. RESULTADOS .....	11
8.1. SECCIÓN 1 .....	11
8.1.1. Condición normal de operación: nivel 176,5 msnm .....	11
8.1.1.1. Geometría del modelo.....	11
8.1.1.2. Análisis de estabilidad global .....	11
8.1.1.2.1. Estático .....	11
8.1.1.2.2. Seudoestático .....	12
8.1.1.3. Análisis de estabilidad local .....	12
8.1.1.3.1. Estático en till inferior bajo el nivel del embalse .....	12
8.1.1.3.2. Seudoestático en till inferior.....	13
8.1.1.3.3. Estático en till medio .....	13
8.1.1.3.4. Seudoestático en till medio.....	14
8.1.2. Condición máxima normal durante el desvío: nivel 119 msnm para un caudal de 1.400 m <sup>3</sup> /s.....	14
8.1.2.1. Geometría del modelo.....	14
8.1.2.2. Análisis de estabilidad global .....	15
8.1.2.2.1. Estático .....	15
8.1.2.2.2. Seudoestático .....	15
8.2. SECCIÓN 2.....	16
8.2.1. Geometría del modelo .....	16
8.2.2. Análisis de estabilidad global.....	16
8.2.2.1. Estático.....	16
8.2.2.2. Seudoestático.....	17
8.2.3. Análisis de estabilidad local.....	17
8.2.3.1. Estático.....	17
8.2.3.2. Seudoestático.....	18
8.3. SECCIÓN 3 .....	18
8.3.1. Análisis de estabilidad global estático .....	18
8.3.2. Análisis de estabilidad global seudoestático.....	19
8.3.3. Análisis de estabilidad local estático.....	19
8.3.4. Análisis de estabilidad local seudoestático.....	20
9. CONCLUSIONES.....	20




	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 18-11-15 Página: 3 de 20
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P002

## FIGURAS

FIGURA 1 – PLANTA EXCAVACIÓN FINAL EN CANAL Y ESTRUCTURA DE DESVÍO .....	8
FIGURA 2 – SECCIÓN 1.....	9
FIGURA 3 – SECCIÓN 2.....	9
FIGURA 4 – SECCIÓN 3.....	9
FIGURA 5 – SECCIÓN 1. DISTRIBUCIÓN DE MATERIALES Y NIVEL DEL EMBALSE .....	11
FIGURA 6 – SECCIÓN 1. SUPERFICIE CRÍTICA PARA ESTABILIDAD GLOBAL .....	11
FIGURA 7 – SECCIÓN 1. SUPERFICIE CRÍTICA PARA ESTABILIDAD GLOBAL SEUDOESTÁTICA.....	12
FIGURA 8 – SECCIÓN 1. SUPERFICIE CRÍTICA PARA ESTABILIDAD LOCAL ESTÁTICA .....	12
FIGURA 9 – SECCIÓN 1. SUPERFICIE CRÍTICA PARA ESTABILIDAD LOCAL SEUDOESTÁTICA .....	13
FIGURA 10 – SECCIÓN 1. SUPERFICIE CRÍTICA PARA ESTABILIDAD LOCAL ESTÁTICA EN EL TILL MEDIO .....	13
FIGURA 11 – SECCIÓN 1. SUPERFICIE CRÍTICA PARA ESTABILIDAD LOCAL SEUDOESTÁTICA EN EL TILL MEDIO.....	14
FIGURA 12 – SECCIÓN 1. CONDICIÓN DE OPERACIÓN DEL CANAL DE DESVÍO ANTES DEL EMBALSE .....	14
FIGURA 13 – SECCIÓN 1. ESTABILIDAD LOCAL ESTÁTICA EN EL CANAL DE DESVÍO EN OPERACIÓN .....	15
FIGURA 14 – SECCIÓN 1. ESTABILIDAD LOCAL SEUDOESTÁTICA EN EL CANAL DE DESVÍO EN OPERACIÓN .....	15
FIGURA 15 – SECCIÓN 2. DISTRIBUCIÓN DE MATERIALES Y NIVEL DE OPERACIÓN DEL EMBALSE .....	16
FIGURA 16 – SECCIÓN 2. SUPERFICIE CRÍTICA PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD GLOBAL ESTÁTICA .....	16
FIGURA 17 – SECCIÓN 2. SUPERFICIE CRÍTICA PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD GLOBAL SEUDOESTÁTICO .....	17
FIGURA 18 – SECCIÓN 2. SUPERFICIE CRÍTICA PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD LOCAL ESTÁTICO .....	17
FIGURA 19 – SECCIÓN 2. SUPERFICIE CRÍTICA PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD GLOBAL SEUDOESTÁTICO .....	18
FIGURA 20 – SECCIÓN 3. SUPERFICIE CRÍTICA PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD GLOBAL ESTÁTICO .....	18
FIGURA 21 – SECCIÓN 3. SUPERFICIE CRÍTICA PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD GLOBAL SEUDOESTÁTICO .....	19
FIGURA 22 – SECCIÓN 3. SUPERFICIE CRÍTICA PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD LOCAL ESTÁTICO .....	19
FIGURA 23 – SECCIÓN 3. SUPERFICIE CRÍTICA PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD LOCAL SEUDOESTÁTICO.....	20

## TABLAS

TABLA 1 – VALORES PARA EL COEFICIENTE DE SEUDOACELERACIÓN ( $K_H$ ) POR VARIOS AUTORES (TOMADO DE LA REFERENCIA 17).....	7
--	---

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 18-11-15 Página: 4 de 20
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P002


## 1. OBJETIVO

Este informe tiene como objetivo presentar los resultados de los análisis de estabilidad estática y pseudoestática por equilibrio límite utilizando el programa de computador SLOPE/W de GeoStudio, para los taludes de excavación permanente del canal de desvío de la presa NK. Se evaluará la seguridad de los mismos bajo las condiciones de operación y bajo las solicitaciones del sismo máximo de diseño (MDE).

## 2. REFERENCIAS


### 2.1. PLANOS Y DOCUMENTOS DEL PROYECTO

1. NK-A.CV-PL.EX-(DD-00-00)-P001-0D. Represa Pte. Dr. Néstor Kirchner – Obras Civiles – Obras del Desvío y Descargador – Excavación – Planimetría General
2. NK-A.CV-PL.EX-(DD-00-00)-P002-0A. Represa Pte. Dr. Néstor Kirchner – Obras Civiles – Obras del Desvío y Descargador – Canal de Desvío Aguas Abajo – Excavación – Perfil Longitudinal
3. NK-A.CV-PL.EX-(DD-01-00)-P001-0D. Represa Pte. Dr. Néstor Kirchner – Obras Civiles – Obras del Desvío y Descargador – Canal de Desvío Aguas Arriba – Excavación – Cortes – PR 0+000 a PR 0+400
4. NK-A.CV-PL.EX-(DD-01-00)-P002-0D. Represa Pte. Dr. Néstor Kirchner – Obras Civiles – Obras del Desvío y Descargador – Canal de Desvío Aguas Arriba – Excavación – Cortes – PR 0+450 a PR 0+550
5. NK-A.CV-PL.EX-(DD-01-00)-P003-0D. Represa Pte. Dr. Néstor Kirchner – Obras Civiles – Obras del Desvío y Descargador – Canal de Desvío Aguas Arriba – Excavación – Cortes – PR 0+600 a PR 0+650
6. NK-A.CV-PL.EX-(DD-01-00)-P004-0C. Represa Pte. Dr. Néstor Kirchner – Obras Civiles – Obras del Desvío y Descargador – Canal de Desvío Aguas Arriba – Excavación – Cortes – PR 0+700 a PR 0+750
7. NK-A.CV-PL.EX-(DD-01-00)-P005-0C. Represa Pte. Dr. Néstor Kirchner – Obras Civiles – Obras del Desvío y Descargador – Canal de Desvío Aguas Arriba – Excavación – Cortes – PR 0+800 a PR 0+850
8. NK-A.CV-PL.EX-(DD-01-00)-P006-0B. Represa Pte. Dr. Néstor Kirchner – Obras Civiles – Obras del Desvío y Descargador – Canal de Desvío Aguas Arriba – Excavación – Cortes – PR 0+900 a PR 0+950
9. NK-A.CV-PL.EX-(DD-02-00)-P001-0D. Represa Pte. Dr. Néstor Kirchner – Obras Civiles – Obras del Desvío y Descargador – Canal de Desvío Aguas Abajo – Excavación – Cortes – PR 1+250 a PR 1+300
10. NK-A.CV-PL.EX-(DD-02-00)-P002-0D. Represa Pte. Dr. Néstor Kirchner – Obras Civiles – Obras del Desvío y Descargador – Canal de Desvío Aguas Abajo – Excavación – Cortes – PR 1+350 a PR 1+400
11. NK-A.CV-PL.EX-(DD-02-00)-P003-0C. Represa Pte. Dr. Néstor Kirchner – Obras Civiles – Obras del Desvío y Descargador – Canal de Desvío Aguas Abajo – Excavación – Cortes – PR 1+450 a PR 1+550
12. NK-A.CV-PL.EX-(DD-02-00)-P004-0C. Represa Pte. Dr. Néstor Kirchner – Obras Civiles – Obras del Desvío y Descargador – Canal de Desvío Aguas Abajo – Excavación – Cortes – PR 1+600 a PR 1+800
13. NK-A.CV-PL.EX-(DD-02-00)-P005-0B. Represa Pte. Dr. Néstor Kirchner – Obras Civiles – Obras del Desvío y Descargador – Canal de Desvío Aguas Abajo – Excavación – Cortes – PR 1+850 a PR 2+150
14. NK-A.CV-PL.EX-(DD-02-00)-P006-0A. Represa Pte. Dr. Néstor Kirchner – Obras Civiles – Obras del Desvío y Descargador – Canal de Desvío Aguas Abajo – Excavación – Cortes – PR 2+200 a PR 2+500
15. NK-A.CV-PL.EX-(DD-03-00)-P001-0D. Represa Pte. Dr. Néstor Kirchner – Obras Civiles – Obras del Desvío y Descargador – Estructura de Control – Excavación – Cortes – PR 1+000 a PR 1+050
16. NK-A.CV-PL.EX-(DD-03-00)-P002-0D. Represa Pte. Dr. Néstor Kirchner – Obras Civiles – Obras del Desvío y Descargador – Canal de Desvío Aguas Abajo – Excavación – Cortes – PR 1+071.97 a PR 1+100
17. NK-A.CV-PL.EX-(DD-03-00)-P003-0B. Represa Pte. Dr. Néstor Kirchner – Obras Civiles – Obras del Desvío y Descargador – Canal de Desvío Aguas Abajo – Excavación – Cortes – PR 1+150 a PR 1+200
18. GE-A.CV-CD.CI-(OG-00-00)-P001-0D. Obras Civiles – Obras Generales – Criterios de Diseño
19. GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P002-0A. Peligrosidad Sísmica y Volcánica – Informe Final (En Borrador)

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 18-11-15 Página: 5 de 20
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P002

## 2.2. PUBLICACIONES TÉCNICAS

20. Melo, C. & Sharma, S. Seismic Coefficients for Pseudostatic Slope Analysis (2004). 13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, Canada, August 1-6, 2004. Paper No. 369
21. Day, Robert (2002). Geotechnical Earthquake Engineering Handbook, McGraw-Hill
22. SLOPE/W Slope Stability Analysis, GeoStudio 2012. Geo-Slope International. Calgary, Alberta, Canada

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 18-11-15 Página: 6 de 20
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P002

### 3. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

En margen derecha de la presa NK se realizaron determinaciones geofísicas con el método MASW con el objeto de definir la compactación de los materiales presentes. El ensayo MASW permite determinar la velocidad de ondas de corte  $v_s$  a partir del análisis espectral de ondas superficiales. En el Informe Geológico-Geotécnico del proyecto se encuentra detallado este programa de investigación.

El análisis de las velocidades de ondas de corte  $v_s$  de los sedimentos glaciáricos de margen derecha permite inferir que los mismos están con grados de compactación muy elevados, lo que lleva a una  $D_r$  del orden de 100%, salvo en algunos casos aislados que puede tener un valor algo inferior, pero siempre mayor al 70%.

Para el material presente, pueden adoptarse ángulos de fricción interna del orden de  $40^\circ$  en razón de la alta densidad relativa estimada a partir de los ensayos de onda de corte y de los altos valores de densidad in situ. La densidad in situ promedio medida sobre 20 calicatas fue de  $20 \text{ kN/m}^3$ .

También hay que tener en cuenta la conformación de la matriz del Till con algunos porcentajes de finos con plasticidad que acompañan a las arenas, como también la cementación observada de carácter leve a media en superficie pero seguramente mayor en el interior del macizo, aspectos que aportarían para considerar en los análisis un valor bajo de cohesión. Sin embargo, para efectos de los análisis de estabilidad se optó por asignar cohesión nula a estos materiales.

Para poder confirmar las propiedades geomecánicas de los materiales, durante las excavaciones temporales que se realicen como primera etapa de las excavaciones del estribo derecho, se harán inspecciones permanentes, se tomarán densidades in situ, se podrán hacer ensayos geofísicos en las bermas y se tomarán muestras para ensayos de macro-granulometrías para poder caracterizar los materiales del Till, y en general, los materiales que se encuentren sobre la ladera derecha por donde discurre el trazado del canal de desvío.

Entonces, las excavaciones a desarrollarse en la margen derecha de NK para el canal de desvío serán sobre suelos de Till en todo su desarrollo a excepción de los taludes inferiores donde posiblemente se encontrará roca. Las propiedades adoptadas son las siguientes:

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^2$$

$$\phi = 40^\circ$$

$$c = 0 \text{ kPa}$$

La roca alterada y la roca sana que se muestra en las secciones de excavación más adelante, no afectan los resultados de los análisis de taludes puesto que sus propiedades mecánicas son mejores que las asignadas al Till, por lo que las superficies potenciales de deslizamiento no penetran en los estratos rocosos.


Con respecto al nivel freático en el macizo del estribo derecho, en las exploraciones efectuadas a la fecha no se ha detectado nivel freático; no se reporta o se indica cero, lo cual se interpreta como que no se encontró el nivel de agua dentro del sondeo. Por lo anterior, en los análisis de estabilidad se asume el talud sin nivel freático, excepto en los casos donde se considera el nivel del embalse o nivel de agua en el canal de desvío.

### 4. SISMOS DE DISEÑO

De acuerdo con los resultados del estudio de amenaza sísmica (Referencia 16) para el proyecto NK, los sismos de diseño se indican a continuación.

- a. Sismo Básico de Operación (OBE):
  - i.  $PGA = 0,036g$  a nivel de roca
  - ii.  $M = 6,3$
  - iii.  $PR = 144$  años
- b. Sismo Máximo de Diseño (MDE):
  - i.  $PGA = 0,39g$  a nivel de roca
  - ii.  $M = 7,0$
  - iii.  $PR = 10.000$  años

Por el carácter de ser taludes definitivos se verificará sólo para el sismo máximo de diseño (MDE).

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 18-11-15 Página: 7 de 20
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P002

## 5. DEFINICIÓN DEL COEFICIENTE SEUDOESTÁTICO

El método de análisis de estabilidad pseudoestático para el diseño de taludes utiliza una fuerza horizontal producto del peso de la masa a deslizarse y una pseudoaceleración (reflejo del entorno sísmico y condiciones geotécnicas del sitio), para simular la fuerza de inercia ( $F_h$ ) generada por el sismo. Este método se utiliza tanto para analizar la estabilidad de taludes en presas como laderas naturales y taludes de excavaciones. Esta pseudoaceleración, llamada comúnmente coeficiente sísmico ( $K_h$ ), deberá ser una fracción de la aceleración pico en roca (PGA) correspondiente a la sollicitación dinámica de diseño en el sitio, ya que el método simula con una fuerza permanente, constante y en la dirección del deslizamiento los efectos de la fuerza de inercia real producida por el sismo que es transitoria, alternante, y aleatoria en magnitud y dirección. Así,  $F_h = (K_h \times \text{PGA}) \times P$ , siendo P el peso de la masa a deslizarse.


En general, la definición del coeficiente  $K_h$  para los análisis de estabilidad pseudoestáticos ha sido discutida por diversos autores pero más profusamente para presas que para taludes naturales. En la Tabla 1 se presenta un compendio de valores tomados de la Referencia 17.

**Tabla 1 – Valores para el coeficiente de pseudoaceleración ( $K_h$ ) por varios autores (tomado de la Referencia 17)**

Horizontal Seismic Coefficient, $k_h$	Description	
0.05 - 0.15	In the United States	
0.12 - 0.25	In Japan	
0.1	"severe" earthquakes	Terzaghi [4]
0.2	"violent, destructive" earthquakes	
0.5	"catastrophic" earthquakes	
0.1 - 0.2	Seed [2], FOS $\geq$ 1.15	
0.10	Major Earthquake, FOS > 1.0	Corps of Engineers [5]
0.15	Great Earthquake, FOS > 1.0	
½ to ⅓ of PHA	Marcuson [6], FOS > 1.0	
½ of PHA	Hynes-Griffin [7], FOS > 1.0	
FOS = Factor of Safety. PHA = Peak Horizontal Acceleration, in g's.		

En comentarios recogidos del libro Geotechnical Earthquake Engineering Handbook (Day, 2002), Referencia 18, para la definición coeficiente  $K_h$  se recomienda considerar además la magnitud del sismo; para mayor magnitud, más alto el valor para este coeficiente; también menciona que para mayor valor de la PGA mayor sería el coeficiente  $K_h$ , pero no indica valores precisos. Algunos otros autores y entidades recomiendan un coeficiente de 2/3. Sin embargo, como se indicó, las discusiones anteriores se han dado más alrededor de taludes de presas que de taludes de excavación; en general, el comportamiento en la cresta de una presa es diferente de la excavación de una ladera natural donde la amplificación de la aceleración es menor que en la presa puesto que involucra sólo una cara libre y un gran volumen de la masa hacia el interior del talud.

Es así como la definición del valor del coeficiente es más subjetiva y dependerá de las condiciones propias del sitio, de las sollicitaciones sísmicas y del buen juicio del ingeniero. Luego de analizar y comparar los valores recomendados en la literatura para la determinación del coeficiente  $K_h$ , para los análisis de los taludes de excavación del canal de desvío, aun cuando tienen una altura importante sobre el estribo derecho, se optó por utilizar un valor de  $K_h$  de 0,5.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 18-11-15 Página: 8 de 20
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P002

## 6. SECCIÓN DE ANÁLISIS

La Figura 1 muestra la planta de la excavación inicial del estribo derecho para el canal y estructura de desvío planteada hacia el estribo derecho. Se analizarán la Sección 1, localizada hacia aguas arriba, la cual estará sometida a niveles de operación del embalse, la Sección 2, que en parte tiene carácter de temporal puesto que corresponde a la zona de implantación del muro de cierre de la margen derecha y donde podrá construirse un relleno compactado como parte de la presa de cierre y que servirá como cuña estabilizadora como se verá más adelante, y la Sección 3, localizada hacia aguas abajo donde no hay efecto de la operación del embalse.

En la Figura 2 se muestra la Sección 1. La geometría considerada, bajo el nivel del embalse, corresponde a taludes con pendiente de 2,5H:1,0V entre bermas de 5 o 10 m; en general la altura entre bermas es inferior a 10 m pero hay dos sectores con alturas máximas de 13,3 m. Por encima del nivel del embalse la pendiente de los taludes entre bermas es de 1,75H:1,0V, la altura entre bermas también es de 10 m. Se han planteado dos bermas de 10 m ancho, localizadas en las cotas 140 y 180 msnm, que están concebidas como vías industriales para los accesos para la excavación del estribo derecho. Hacia el lado izquierdo de la sección, puede observarse que se ha dejado una berma intermedia de 20 m de ancho como protección de la zona de los trabajos de hormigonado de la estructura de desvío, obligando al retiro de los equipos de excavación de la presa.

En la Figura 3 se muestra la Sección 2 a analizar. La pendiente entre bermas es de 1,75H:1,0V.

La Figura 4 presenta la geometría de la Sección 3. Puede observarse que la pendientes entre bermas es de 1,75H:1,0V. Igualmente se dejaron tres bermas de 10 m de ancho para circulación durante las excavaciones del estribo derecho.

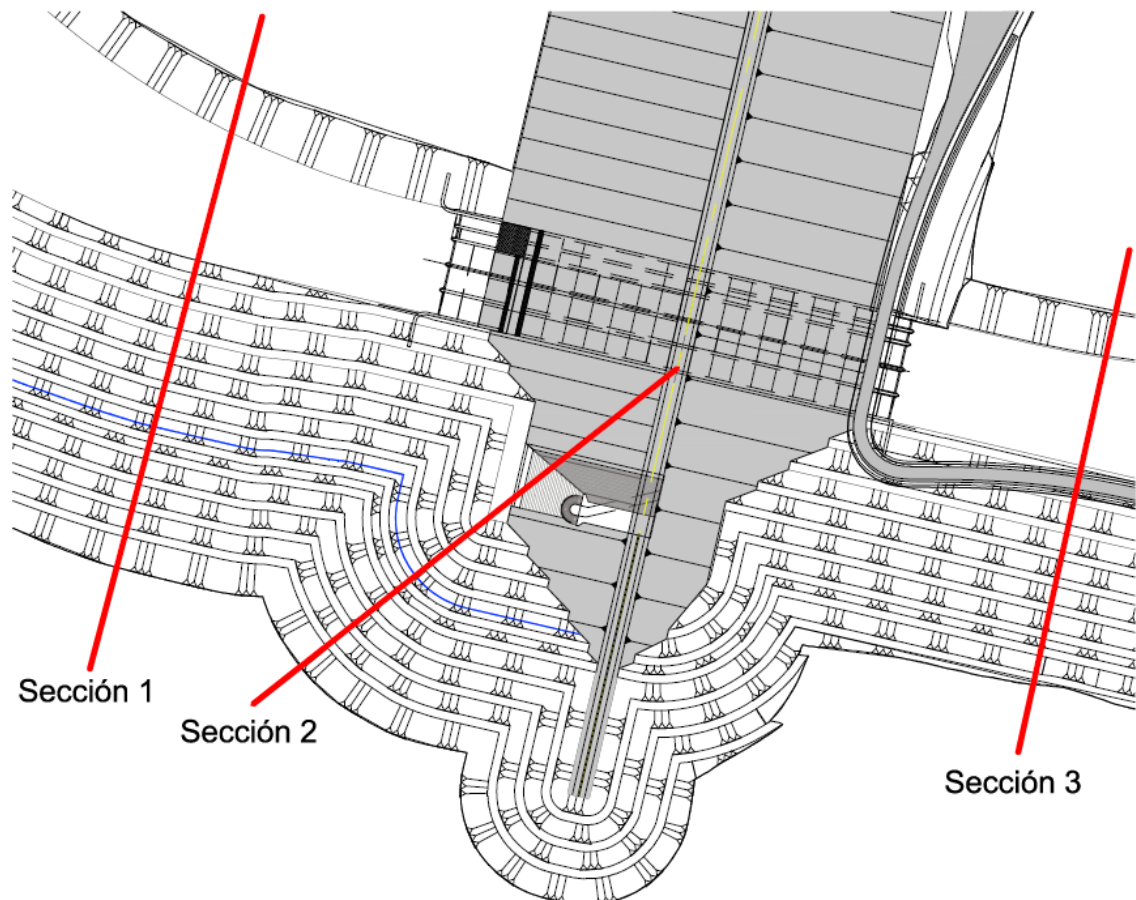


Figura 1 –Planta Excavación Final en Canal y Estructura de Desvío

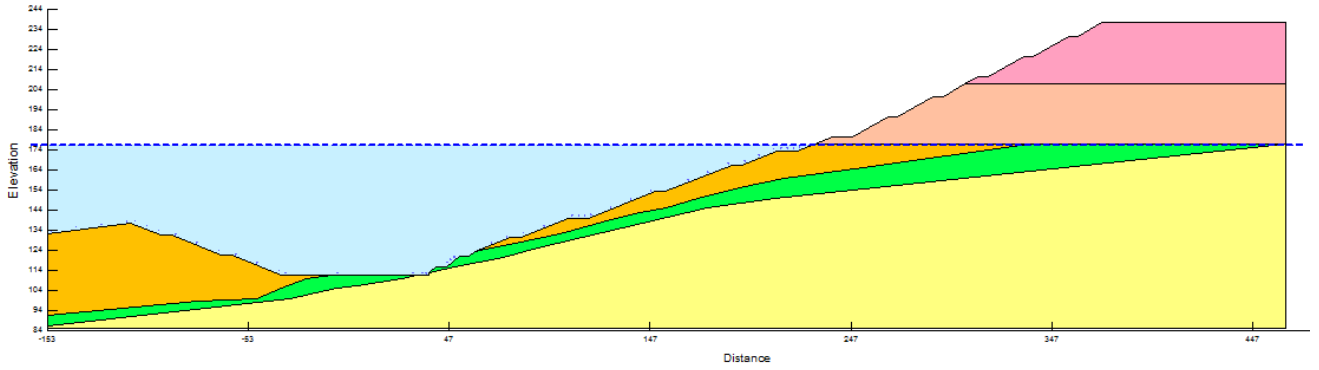


Figura 2 – Sección 1

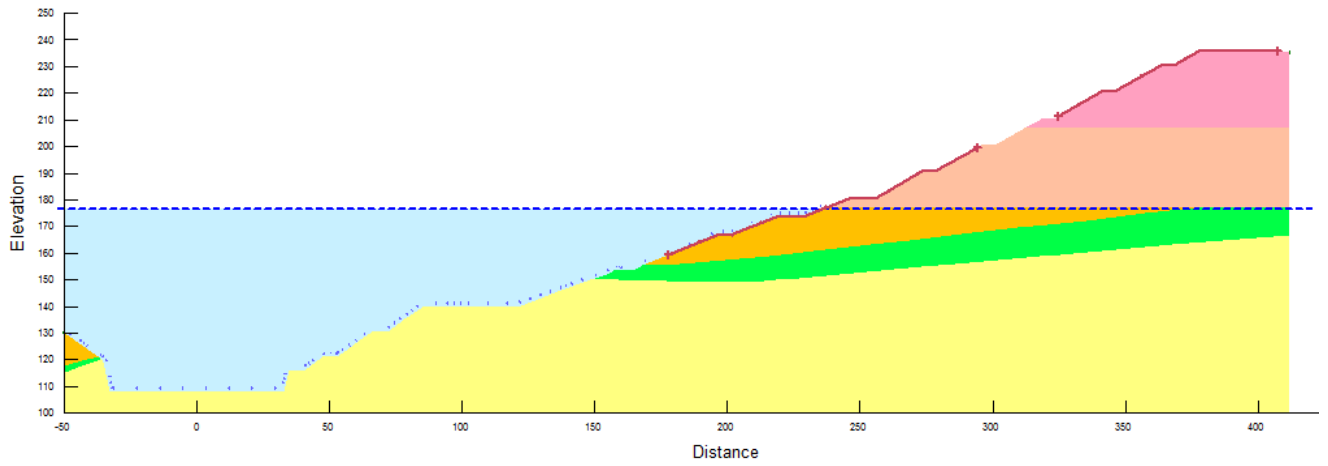


Figura 3 – Sección 2

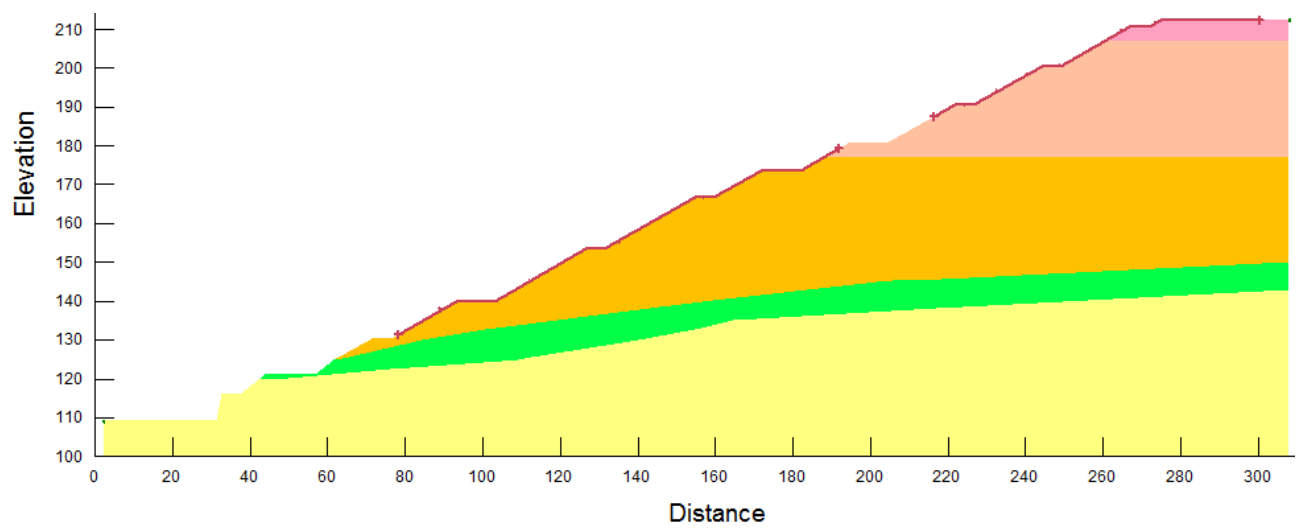



Figura 4 – Sección 3

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 18-11-15 Página: 10 de 20
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P002

## 7. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Los taludes de excavación definitivos para el canal y estructura de desvío de la presa NK, para las tres secciones indicadas, se analizaron bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas utilizando el programa SLOPE/W (Referencia 20) y para los casos que se anuncian a continuación.

### Casos Analizados

Se analizó en primer lugar la estabilidad global de los taludes considerando superficies potenciales que afecten gran parte del mismo. Posteriormente se analizó la estabilidad local mediante superficies de falla confinadas entre bermas.

Para la Sección 1 se analizaron las siguientes condiciones:

- Condición normal de operación: nivel 176,5 msnm
- Condición máxima normal durante el desvío: nivel 119 msnm para un caudal de 1.400 m<sup>3</sup>/s

La Sección 2 se analizó bajo la siguiente condición:

- Condición normal de operación: nivel 176,5 msnm


Es importante anotar que para estas dos secciones no se consideró el caso de un desembalse rápido que pudiese generar presiones intersticiales remanentes en los suelos por efecto del descenso del embalse, en razón de la baja velocidad de descenso y además por las características drenantes propias del till inferior. Por otra parte, sobre la Sección 2 no hay efectos de la operación del nivel del canal de desvío.

La Sección 3, localizada aguas abajo de la presa, no estaría afectada por el nivel del embalse por lo cual se analizó en estado seco.

Los criterios de aceptación propuestos en los criterios de diseño para suelos friccionantes y no cohesivos son los siguientes:

- Análisis estático para un factor de seguridad (FS) igual o mayor a 1,5
- Análisis pseudoestático para un factor de seguridad (FS) igual o mayor a 1,0



	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 18-11-15 Página: 11 de 20
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P002

## 8. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de los modelos para cada una de las situaciones anteriormente descritas.

### 8.1. SECCIÓN 1

#### 8.1.1. Condición normal de operación: nivel 176,5 msnm

##### 8.1.1.1. Geometría del modelo

En la Figura 5 se muestra la distribución de los materiales en la Sección 1 y el nivel de agua del embalse en operación normal. En dicha figura, los materiales se identifican de arriba hacia abajo como: till superior, till intermedio, till inferior, roca alterada y roca sana.

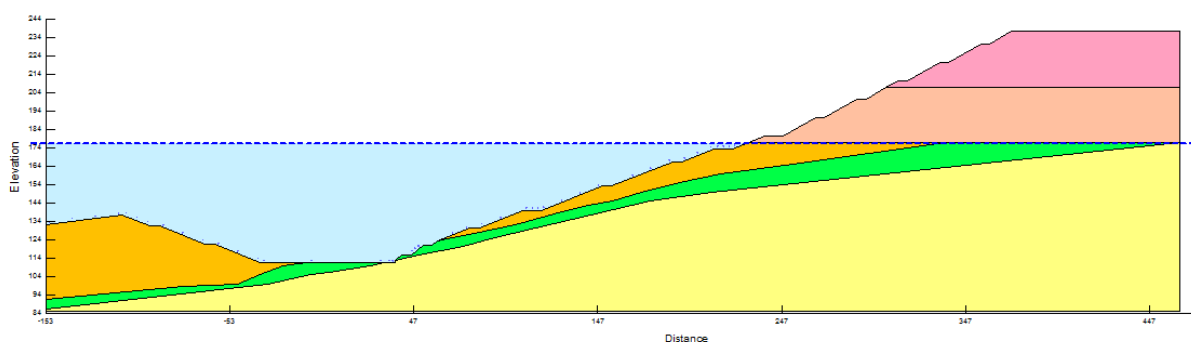


Figura 5 – Sección 1. Distribución de materiales y nivel del embalse

#### 8.1.1.2. Análisis de estabilidad global

##### 8.1.1.2.1. Estático

Para este caso, que se muestra en la Figura 6, la superficie potencial de deslizamiento se define en la parte del talud superior por encima del nivel del agua para un factor de seguridad de 1,96 cumpliendo con el requerimiento exigido de un factor de seguridad igual o superior a 1,5.

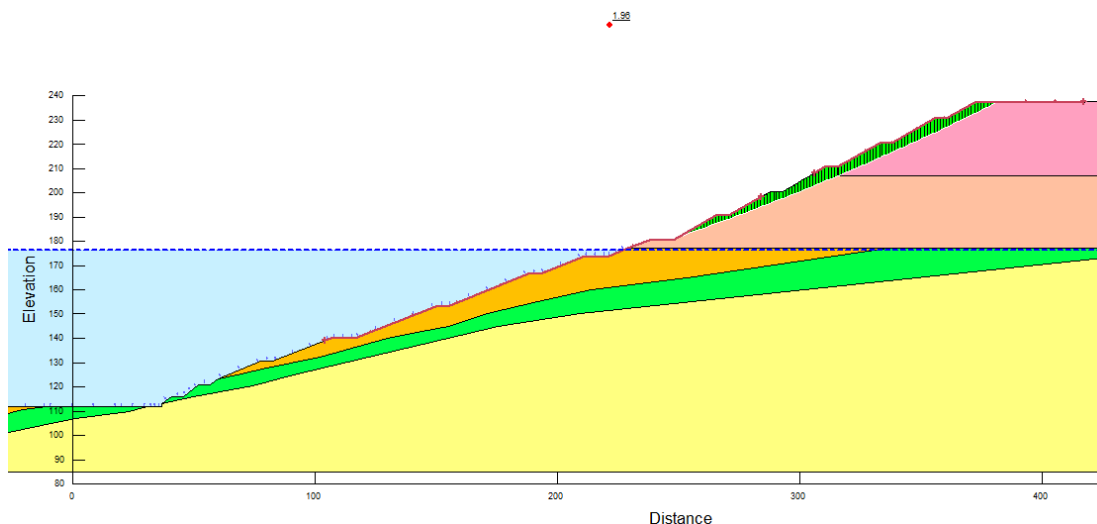


Figura 6 – Sección 1. Superficie crítica para estabilidad global

### 8.1.1.2.2. Seudoestático

En la Figura 7 se muestra la superficie crítica para el análisis de estabilidad global seudoestático para la Sección 1.

La superficie de deslizamiento involucra ambos sectores, por encima y por debajo del nivel del embalse. El factor de seguridad obtenido es de 1,23 cumpliendo con el requerimiento exigido de un factor de seguridad igual o superior a 1,0.

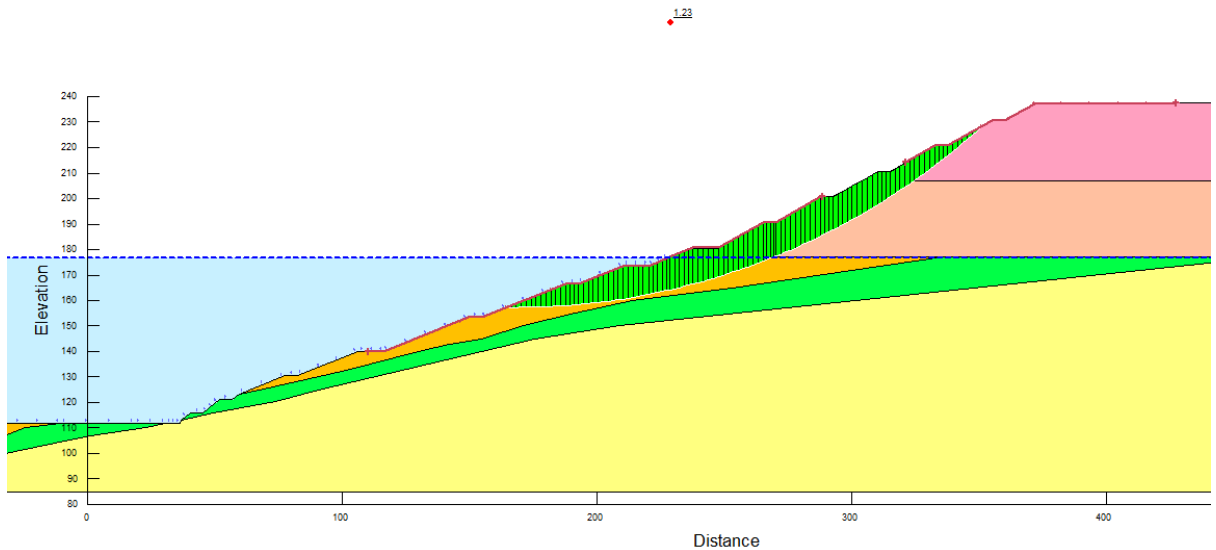


Figura 7 – Sección 1. Superficie crítica para estabilidad global seudoestática

### 8.1.1.3. Análisis de estabilidad local

#### 8.1.1.3.1. Estático en till inferior bajo el nivel del embalse

En la Figura 8 se muestra la superficie más crítica en el till inferior por debajo del embalse. El factor de seguridad obtenido fue de 2,15 cumpliéndose con los requerimientos del diseño para un FS mayor a 1,5.

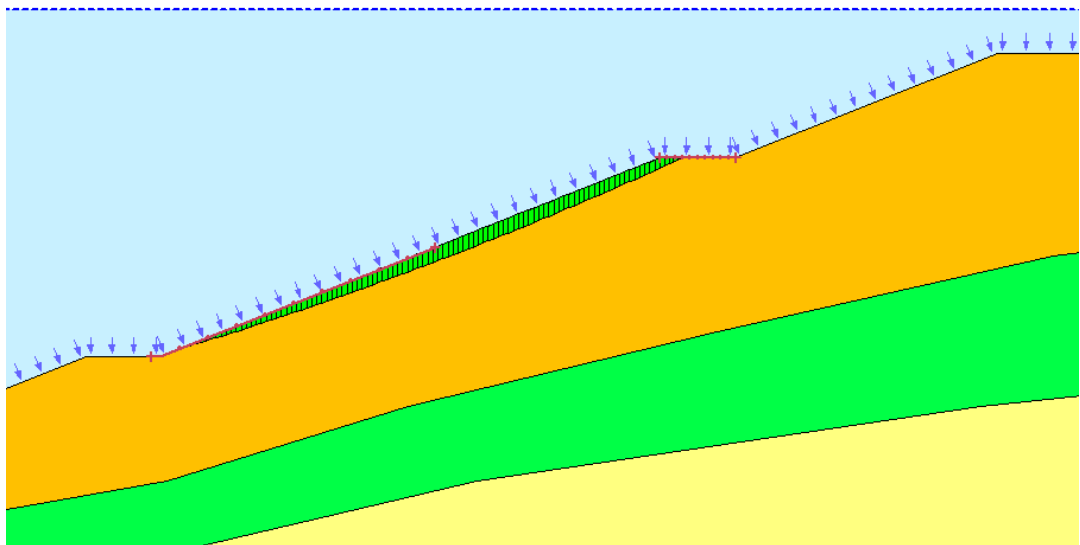


Figura 8 – Sección 1. Superficie crítica para estabilidad local estática

### 8.1.1.3.2. Seudoestático en till inferior

En la Figura 9 se presenta la superficie crítica para el caso seudoestático local.

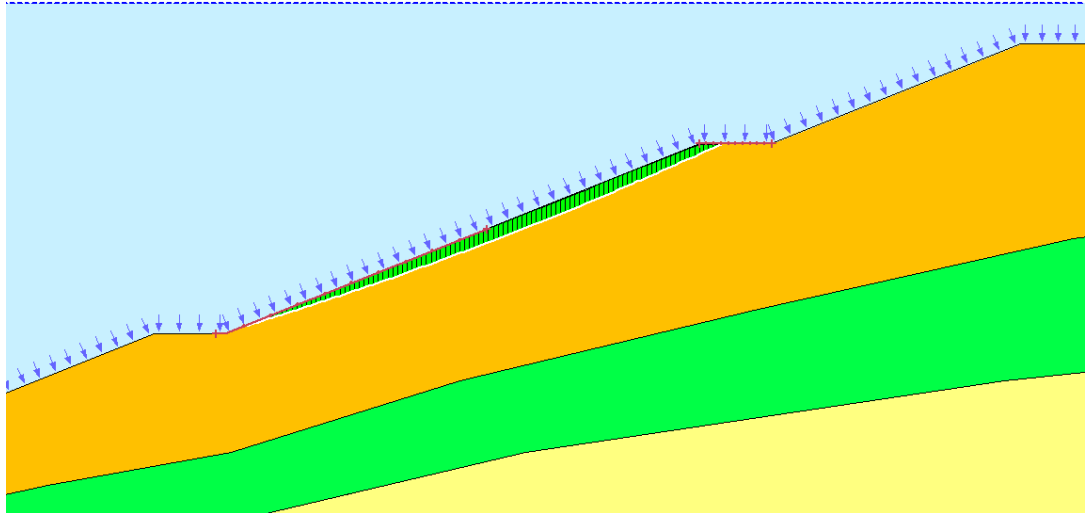


Figura 9 – Sección 1. Superficie crítica para estabilidad local seudoestática

Para este caso, la superficie potencial de deslizamiento se define entre dos bermas bajo el nivel del embalse, involucrando un espesor mínimo de materiales. El factor de seguridad obtenido es de 0,96, el cual es ligeramente inferior al valor exigido de 1,0, lo cual podría aceptarse para estas condiciones extremas del sismo máximo de diseño.

### 8.1.1.3.3. Estático en till medio

Para este caso, en la Figura 10 se muestra la superficie crítica. El FS obtenido es de 1,55 satisfaciendo los requerimientos del diseño.

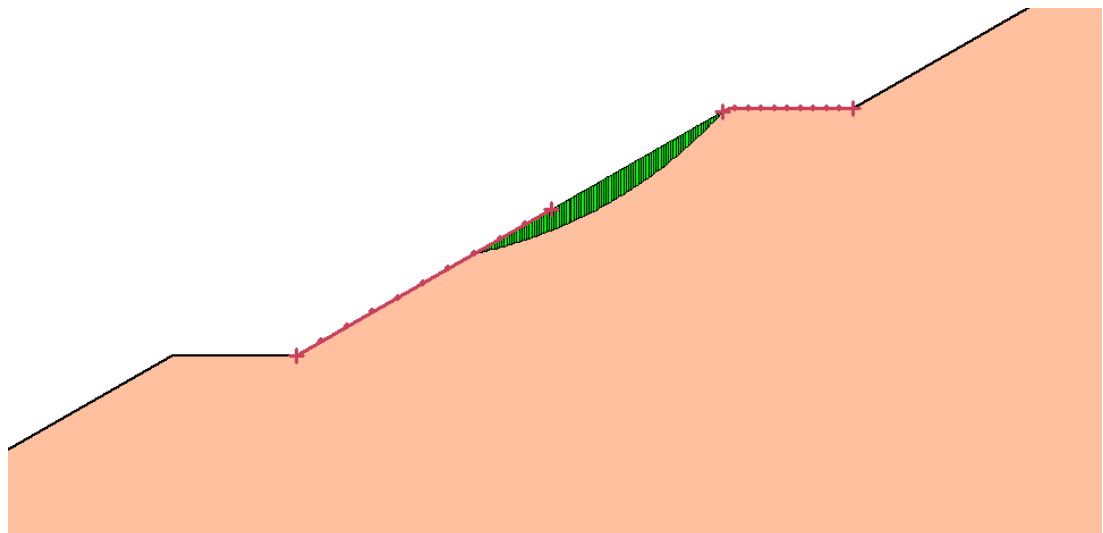



Figura 10 – Sección 1. Superficie crítica para estabilidad local estática en el till medio

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 18-11-15 Página: 14 de 20
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P002

#### 8.1.1.3.4. Seudoestático en till medio

El till intermedio se localiza por encima del nivel del embalse. El factor de seguridad obtenido para la superficie potencial de deslizamiento confinada entre dos bermas es de 1,04 cumpliendo con los requerimientos del diseño. Este análisis es igualmente válido para el till superior puesto que los parámetros de resistencia al corte son iguales y la geometría de la excavación también.

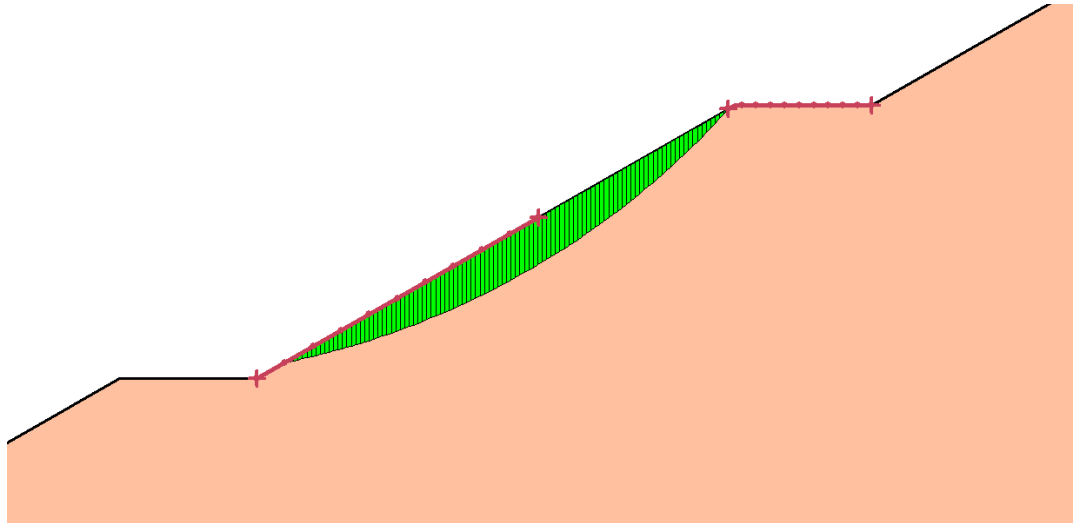


Figura 11 – Sección 1. Superficie crítica para estabilidad local seudoestática en el till medio

#### 8.1.2. Condición máxima normal durante el desvío: nivel 119 msnm para un caudal de 1.400 m<sup>3</sup>/s

##### 8.1.2.1. Geometría del modelo

En la Figura 12 se muestra para la Sección 1 el nivel de agua en el canal durante la operación del desvío antes del llenado. Para esta condición solo se evaluarán los taludes que se ven afectados por el nivel del agua en la operación del canal de desvío en el till inferior.

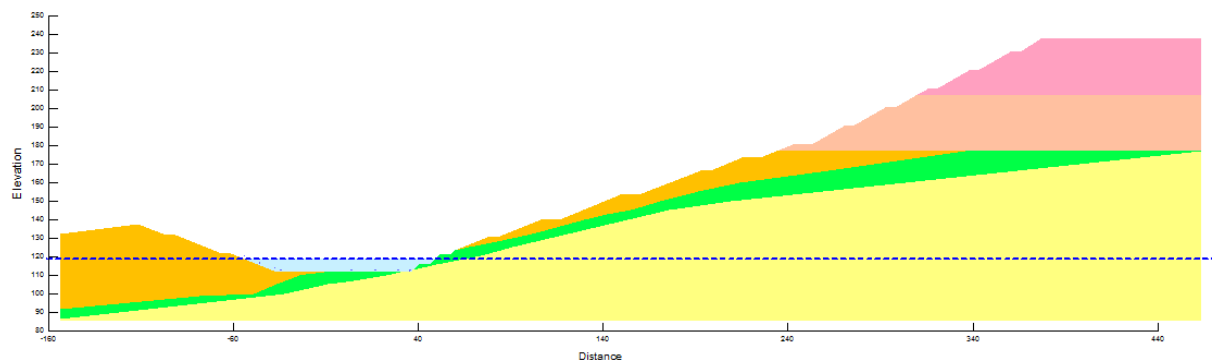



Figura 12 – Sección 1. Condición de operación del canal de desvío antes del embalse

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 18-11-15 Página: 15 de 20
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P002

## 8.1.2.2. Análisis de estabilidad global

### 8.1.2.2.1. Estático

En la Figura 13 se muestra la superficie crítica de deslizamiento para el análisis global de estabilidad estático.

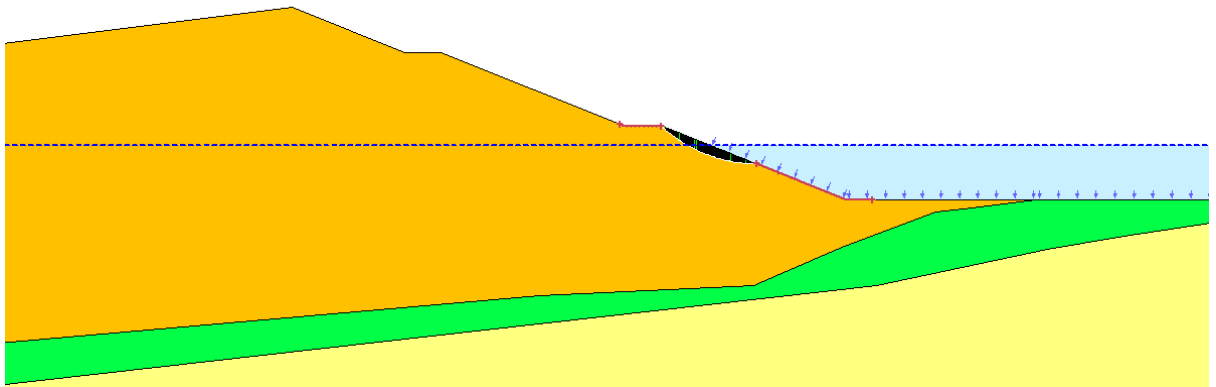


Figura 13 – Sección 1. Estabilidad local estática en el canal de desvío en operación

En la Figura 13 se observa que para el análisis local estático la superficie potencial de menor factor de seguridad se localiza arriba y abajo del nivel de agua del canal. El factor de seguridad obtenido de 2,05 es satisfactorio.

### 8.1.2.2.2. Seudoestático

En la Figura 14 se muestra la superficie crítica de deslizamiento para condiciones seudoestáticas. Para este caso el factor de seguridad es de 1,03 cumpliendo con el requerimiento de los criterios de diseño.

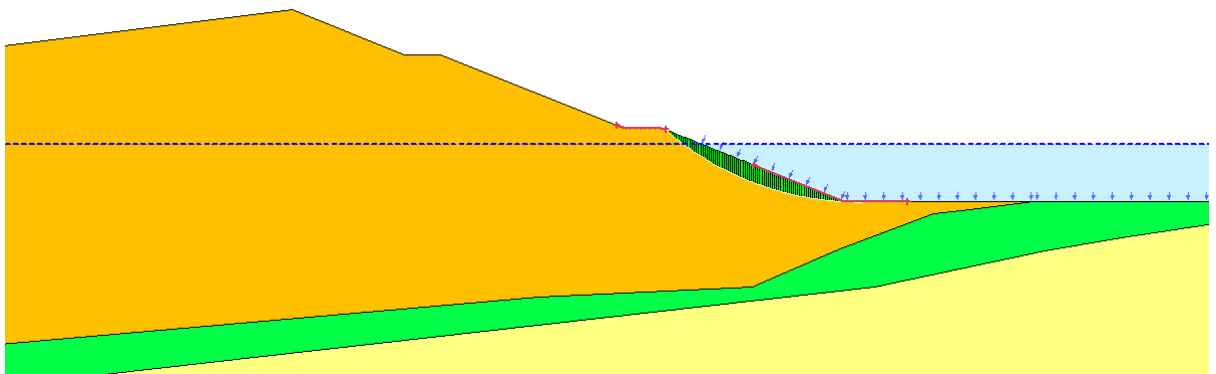


Figura 14 – Sección 1. Estabilidad local seudoestática en el canal de desvío en operación

## 8.2. SECCIÓN 2

Como se dijo anteriormente, la Sección 2 está asociada con la excavación para la estructura de cierre sobre el estribo derecho. Se analiza esta sección bajo la condición de operación normal del embalse a la cota 176,5 msnm.

La geometría modelada se muestra en la Figura 15 donde, de manera similar a la Sección 1, los materiales están definidos de igual manera de arriba hacia abajo: till superior, till intermedio, till inferior, roca alterada y roca sana.

### 8.2.1. Geometría del modelo

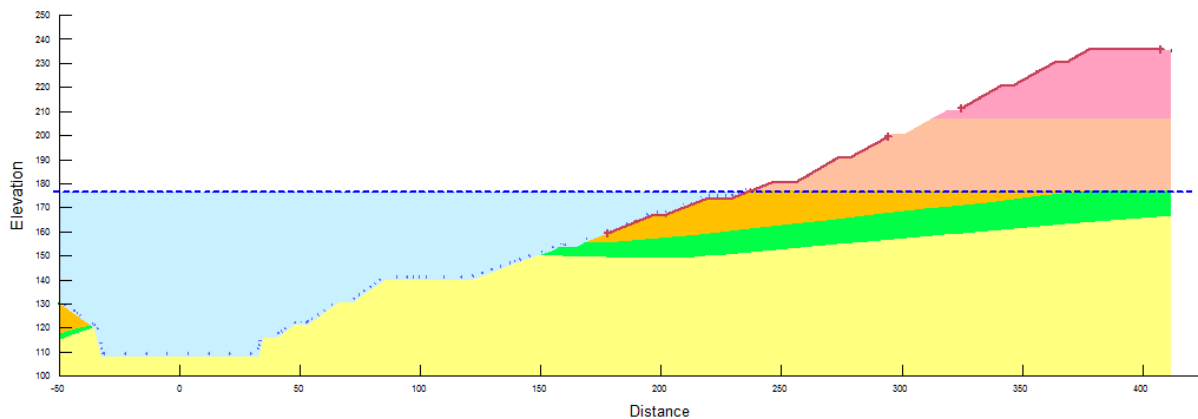


Figura 15 – Sección 2. Distribución de materiales y nivel de operación del embalse

### 8.2.2. Análisis de estabilidad global

#### 8.2.2.1. Estático

En la Figura 16 se muestra la superficie crítica de deslizamiento para el análisis global de estabilidad estática.

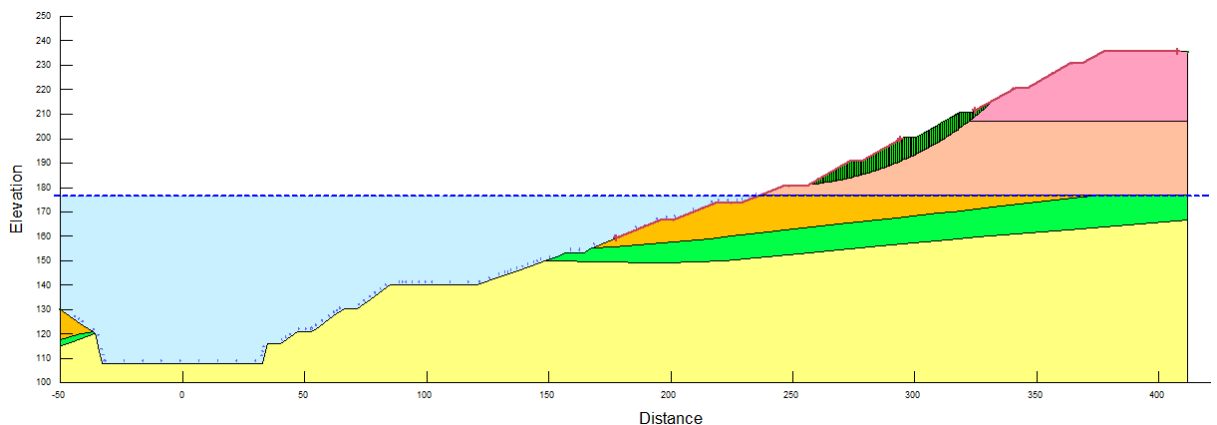


Figura 16 – Sección 2. Superficie crítica para el análisis de estabilidad global estática

Los resultados del análisis indican que la superficie de deslizamiento crítica se forma en el sector por encima del nivel del embalse. El factor de seguridad obtenido es de 1,94 cumpliendo con el factor mínimo exigido de 1,5.

### 8.2.2.2. Seudoestático

En la Figura 17 se muestra la superficie crítica de deslizamiento para el análisis global de estabilidad seudoestática.

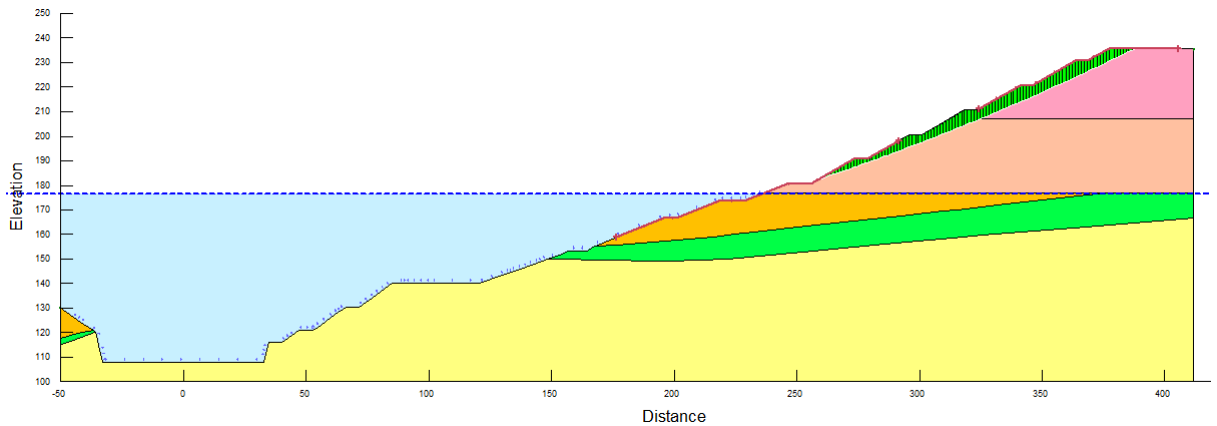


Figura 17 – Sección 2. Superficie crítica para el análisis de estabilidad global seudoestático

Se observa en la Figura 17 que la superficie crítica para el factor de seguridad más bajo se forma en la parte superior del talud donde no hay efecto del embalse. El factor de seguridad obtenido es de 1,25 satisfaciendo los criterios de diseño.

### 8.2.3. Análisis de estabilidad local

#### 8.2.3.1. Estático

En la Figura 18 se presenta la superficie crítica de deslizamiento para el análisis de estabilidad estático local. La superficie potencial de menor factor de seguridad se localiza debajo del nivel de agua del embalse. El factor de seguridad obtenido de 2,19 satisface los requerimientos mínimos.

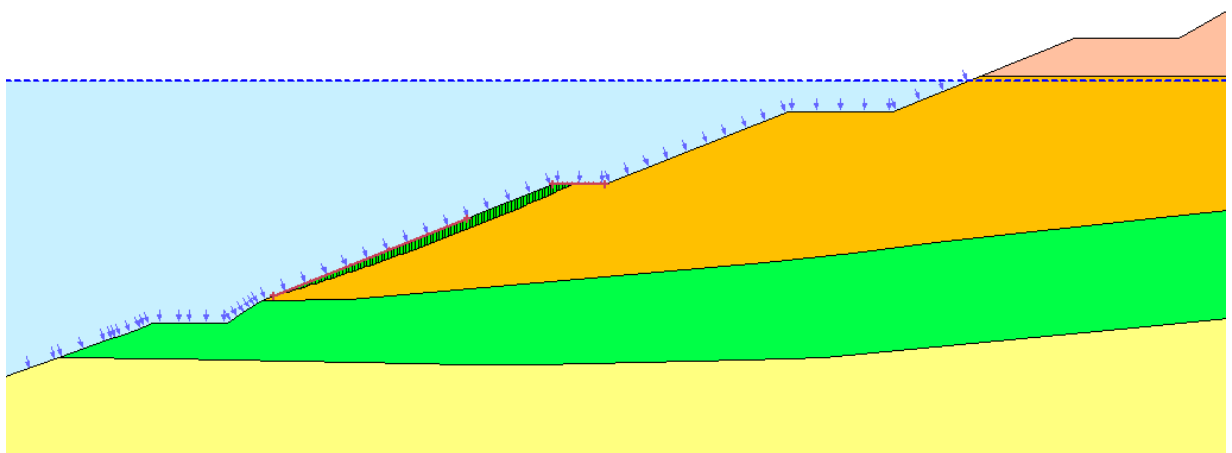



Figura 18 – Sección 2. Superficie crítica para el análisis de estabilidad local estático

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 18-11-15 Página: 18 de 20
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P002

### 8.2.3.2. Seudoestático

En la Figura 19 se muestra la superficie crítica de deslizamiento obtenida en el análisis local de estabilidad seudoestático para la Sección 2.

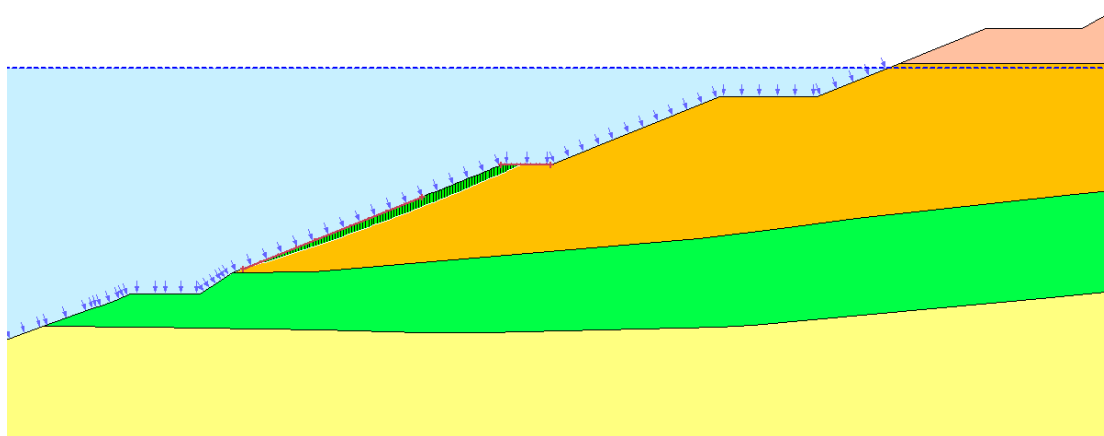


Figura 19 – Sección 2. Superficie crítica para el análisis de estabilidad global seudoestático

De manera similar como se vio para la falla local seudoestática en la Sección 1, el factor de seguridad es de 0,95 e inferior al valor mínimo exigido de 1,0. Sin embargo, para este caso, el relleno compactado que cerrará la presa contra el estribo derecho hasta el nivel de la cresta de la presa, servirá para confinar este talud y garantizar su estabilidad durante operación.

## 8.3. SECCIÓN 3

La Sección 3, localizada hacia aguas abajo se considera que no tiene efectos del nivel freático en el macizo.

### 8.3.1. Análisis de estabilidad global estático

En la Figura 20 se muestra la superficie crítica de deslizamiento para el análisis global de estabilidad estática. Los resultados del análisis indican que la superficie de deslizamiento crítica se forma en el sector del till medio. El factor de seguridad obtenido es de 2,02 cumpliendo con el factor mínimo exigido de 1,5.

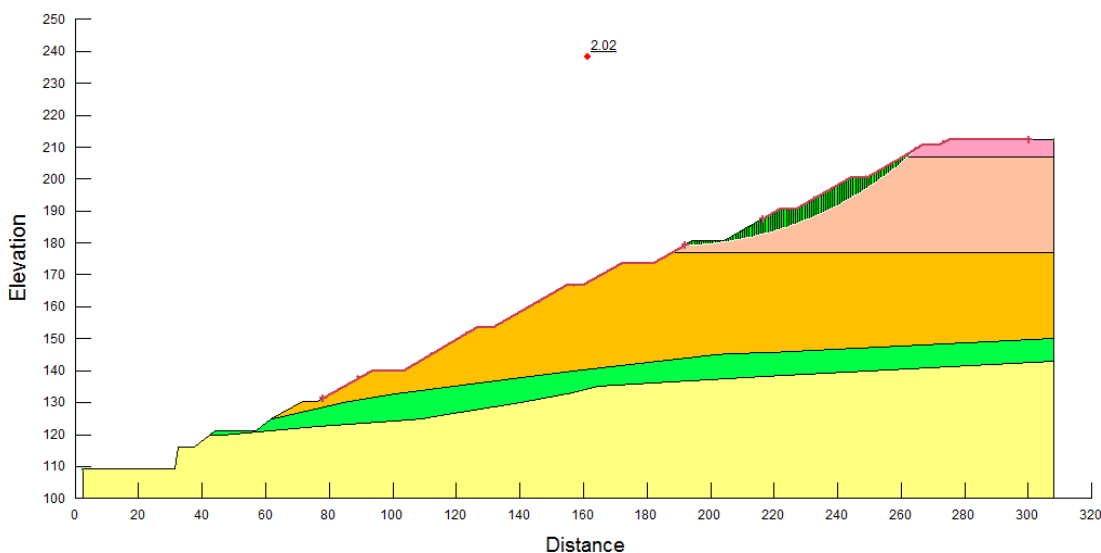


Figura 20 – Sección 3. Superficie crítica para el análisis de estabilidad global estático



### 8.3.2. Análisis de estabilidad global pseudoestático

En la Figura 21 se muestra la superficie crítica de deslizamiento para el análisis global de estabilidad pseudoestática. En dicha figura se observa que la superficie crítica involucra prácticamente todo el talud. El factor de seguridad obtenido es de 1,30 satisfaciendo los criterios de diseño.

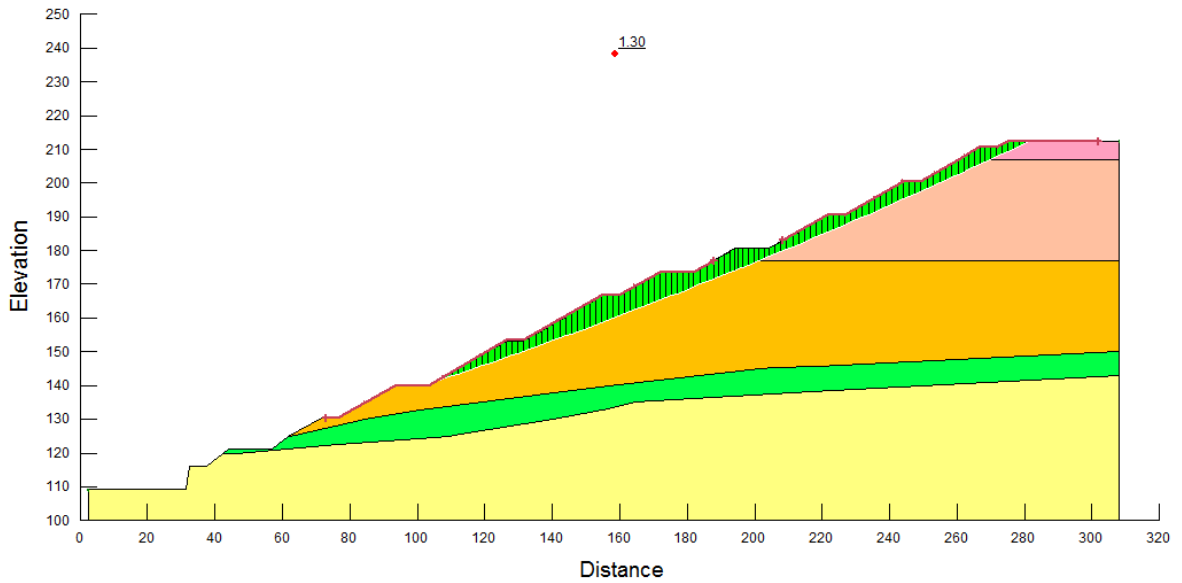


Figura 21 – Sección 3. Superficie crítica para el análisis de estabilidad global pseudoestático

### 8.3.3. Análisis de estabilidad local estático

En la Figura 22 se presenta la superficie crítica de deslizamiento para el análisis local de estabilidad estática. La superficie potencial de menor factor de seguridad se localiza entre bermas del till inferior. El factor de seguridad obtenido de 1,55 el cual satisface justamente los requerimientos mínimos.

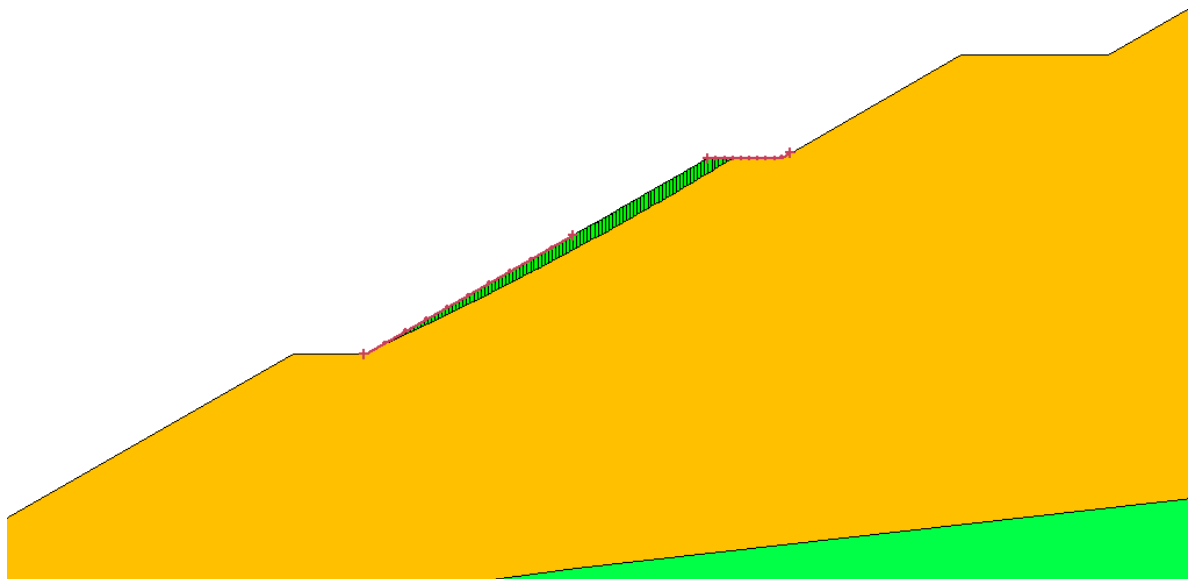



Figura 22 – Sección 3. Superficie crítica para el análisis de estabilidad local estático

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 18-11-15 Página: 20 de 20
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P002

### 8.3.4. Análisis de estabilidad local pseudoestático

En la Figura 23 se muestra para la Sección 3, la superficie crítica de deslizamiento obtenida en el análisis local de estabilidad pseudoestática entre dos bermas para la mayor altura de talud del orden de 13 m. El FS mínimo calculado fue de 1,02 cumpliendo con el criterio de diseño.



Figura 23 – Sección 3. Superficie crítica para el análisis de estabilidad local pseudoestático

## 9. CONCLUSIONES

Para confirmar o modificar los parámetros geomecánicos de los materiales tomados para los análisis de estabilidad objeto del presente documento, inicialmente durante las excavaciones temporales que se realicen como primera etapa de las excavaciones del estribo derecho en la Presa NK, se harán inspecciones permanentes, se tomarán densidades in situ, se podrán hacer ensayos geofísicos en las bermas y se tomarán muestras para ensayos de macro-granulometrías para poder caracterizar los materiales encontrados y, si es del caso, modificar los parámetros asignados y revisar, si se requiere, la estabilidad de los taludes con los nuevos parámetros.

A partir de los resultados presentados anteriormente puede concluirse que los taludes definitivos para el canal y estructura de desvío sobre margen derecha de la presa, adoptados para las excavaciones, bajo las hipótesis presentadas en este documento, resultan adecuados y satisfacen los requerimientos de seguridad a largo plazo.

NOTAS

--

REFERENCIA

--

NOTAS INSPECCIÓN

--

QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN  
PREVIA AUTORIZACIÓN DE REPRESAS PATAGONIA UTE

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	PROYECTÓ	EJECUTÓ	REVISÓ	VERIFICÓ
0C	Actualización formato de informe y actualización geometría de excavación	12/09/2016	MG	MG	JEF	GV
0B	Se incorpora estabilidad con cohesión cero y programa investigaciones solicitada por la Inspección.	18/11/2015	JEF	JEF	MG	GV
0A	Emisión original	30/09/2015	MG	MG	GV	GV

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA  
SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA




APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

NOMBRE		FECHA
EJECUTÓ	MG	13/09/2016
REPRES. TEC.		
Etapa Proyecto:		
PE		
Nivel desarrollo:		
200		
Pag.	Form.	Esc. Doc. N°
1/11	A4	s/e NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P001

**REPRESA Pte. Dr. Néstor KIRCHNER**  
  
OBRAS CIVILES-  
EXCAVACIONES MARGEN DERECHA-1RA ETAPA  
ESTABILIDAD DE TALUDES PROVISORIOS

Rev.  
0C


	<p>MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA</p> <p>SECRETARIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA</p> <p>SUBSECRETARIA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA</p>	<p>Revisión: 0C</p> <p>Fecha: 13-09-16</p> <p>Página: 2 de 10</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P001</p>

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. OBJETIVO</b> .....	<b>3</b>
<b>2. REFERENCIAS</b> .....	<b>3</b>
2.1. PLANOS Y DOCUMENTOS DEL PROYECTO .....	3
2.2. PUBLICACIONES TÉCNICAS .....	3
<b>3. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES</b> .....	<b>4</b>
<b>4. SISMOS DE DISEÑO</b> .....	<b>5</b>
<b>5. SECCIÓN DE ANÁLISIS</b> .....	<b>5</b>
<b>6. METODOLOGÍA DE CÁLCULO</b> .....	<b>7</b>
<b>7. RESULTADOS</b> .....	<b>8</b>
7.1. ESTABILIDAD GLOBAL .....	8
7.2. ESTABILIDAD LOCAL .....	9
<b>8. CONCLUSIONES</b> .....	<b>10</b>

## FIGURAS

FIGURA 1 – PLANTA EXCAVACIÓN INICIAL EN ESTRUCTURA DE DESVÍO .....	5
FIGURA 2 – SECCIÓN 1-1 .....	6
FIGURA 3 – DETALLE DE GEOMETRÍA DE LAS BERMAS .....	6
FIGURA 4 – MODELO DE LA SECCIÓN 1-1 .....	7

	<p>MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA</p> <p>SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA</p> <p>SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA</p>	<p>Revisión: 0C</p> <p>Fecha: 13-09-16</p> <p>Página: 3 de 10</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P001</p>

## 1. OBJETIVO

Este informe tiene como objetivo presentar los resultados de los análisis de estabilidad estática y pseudoestática por equilibrio límite utilizando el programa de computador SLOPE/W de GeoStudio, para los taludes iniciales temporales de la obra de desvío de la presa NK. Se evaluará la seguridad de los mismos bajo las condiciones de construcción y bajo las solicitaciones del sismo básico de operación (OBE).

A solicitud de la Inspección, se agrega a esta revisión el punto 9 donde se enuncian las investigaciones que se llevaran a cabo mientras se ejecutan estas excavaciones de 1ra etapa.


## 2. REFERENCIAS

### 2.1. PLANOS Y DOCUMENTOS DEL PROYECTO

1. NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P020-0C. Represa Pte. Dr. Néstor Kirchner – Obras Civiles – Excavaciones de Investigación Geotécnica – Detalle en Planta y vista Modelo 3D.
2. NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P021-0C. Represa Pte. Dr. Néstor Kirchner – Obras Civiles – Investigación Geotécnica – Excavaciones Generales – Replanteo de Excavación.
3. NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P022-0C. Represa Pte. Dr. Néstor Kirchner – Obras Civiles – Investigación Geotécnica – Excavaciones Generales – Tablas de Puntos de Replanteo de Excavación.
4. NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P023-0C. Represa Pte. Dr. Néstor Kirchner – Obras Civiles – Investigación Geotécnica – Excavaciones Generales – Planta y perfiles para replanteo de excavación.
5. NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P024-0C. Represa Pte. Dr. Néstor Kirchner – Obras Civiles – Investigación Geotécnica – Excavaciones Generales – Planta general y Perfil Tipo de Excavación.
6. NK-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P025-0C. Represa Pte. Dr. Néstor Kirchner – Obras Civiles – Investigación Geotécnica – Excavaciones Generales – Detalle etapas de ejecución de ensayos MASW y Calicatas.
7. GE-A.CV-CD.CI-(OG-00-00)-P001-0D. Obras Civiles. Obras Generales. Criterios de Diseño.
8. GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P002-0B. Peligrosidad Sísmica y Volcánica. Informe Final.

### 2.2. PUBLICACIONES TÉCNICAS

9. ICOLD Bulletin 141 (2010). Concrete Face Rockfill Dams, Concepts for Design and Construction.
10. Verdugo, R. & De la Hoz, K. (2005). Caracterización Geomecánica de Suelos Granulares Gruesos. Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol. 6 (2) 199.
11. Seismic Design of Concrete Faced Rockfill Dams. H.B. Seed et al. ASCE Symposium on CFRDs. Detroit, Michigan, October 1985.
12. Norwegian Electricity Association (2002). Research Program: Stability and Breaching of Dams. Report on Sub-Project SP1: Shear Strength of Rockfill and Stability of Dam Slopes. Oslo, December 2002.
13. ICOLD Bulletin 92 (1993), Rock Materials for Rockfill Dams. Review and Recommendations.
14. Lambe and Withman, Mecánica de Suelos; Editorial Limusa duodécima reimpresión de la segunda edición, 2000.
15. SLOPE/W Slope Stability Analysis, GeoStudio 2012. Geo-Slope International. Calgary, Alberta Canada.
16. Kramer, S. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering; Prentice Hall.

	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0C Fecha: 13-09-16 Página: 4 de 10
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P001

### 3. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

En margen derecha de PNK se realizaron determinaciones geofísicas con el método MASW con el objeto de definir la compactidad de los materiales presentes.

El ensayo MASW permite determinar la velocidad de ondas de corte  $V_s$  a partir del análisis espectral de ondas superficiales.

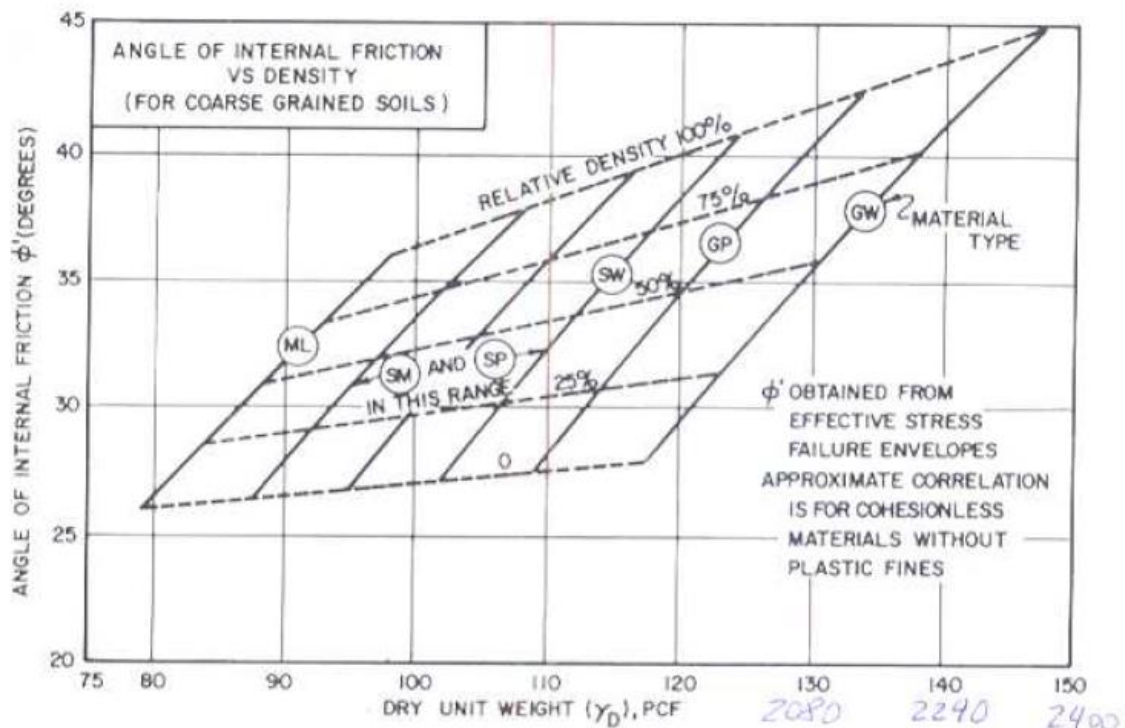
En el Informe Geológico-Geotécnico del proyecto se encuentra detallado este programa de investigación.

El análisis de las velocidades de ondas de corte  $V_s$  de los sedimentos glaciáricos de margen derecha permite inferir que los mismos están con grados de compactación muy elevados, lo que lleva a una  $D_r$  del orden de 100%, salvo en algunos casos aislados que puede tener un valor algo inferior, pero siempre mayor al 70%.

Para los tipos de gravas presentes, se puede adoptar ángulos de fricción interna mínimos del orden de  $40^\circ$ . Para poder asignar valores con mayor precisión falta realizar ensayos para determinar la granulometría, pues las densidades obtenidas indican un manto compacto. Se incluye abajo un gráfico utilizado para estimar el ángulo de fricción.

La densidad in situ promedio medida sobre 20 calicatas es de  $2,03 \text{ tn/m}^3$ .

También hay que tener en cuenta la conformación de la matriz del till con algunos porcentajes de finos con plasticidad que acompañan a las arenas, como también la cementación observada de carácter leve a media en superficie pero seguramente mayor en el interior del macizo, aspectos que colaboran en la conformación de cohesión. En los till sin presencia de agua se considerará a largo plazo, un aporte de la cohesión de valores mínimos.




Las excavaciones a desarrollarse en la margen derecha de NK serán sobre suelos de till en todo su desarrollo a excepción de los taludes inferiores donde se encontrarán en roca. Las propiedades de resistentes adoptadas son las siguientes:

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^2$$

$$\phi = 40^\circ$$

Si bien un back análisis realizado sobre talud seco nos daría una cohesión  $c = 10 \text{ kPa}$ , finalmente se decidió adoptar un valor de  $c$  nula.

	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0C Fecha: 13-09-16 Página: 5 de 10
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P001

La roca alterada y la roca sana que se verá en el corte no se consideraron para el análisis de taludes presentado, aunque sí fueron modelados.

#### 4. SISAMOS DE DISEÑO

De acuerdo con los resultados del estudio de amenaza sísmica (Referencia 5) para el proyecto NK, los sismos de diseño se indican a continuación. El coeficiente pseudoestático  $k_h$  para los análisis pseudoestáticos de estabilidad de los taludes temporales presentados en este documento se define como 0.5 de la PGA.

Por el carácter de ser taludes temporarios de excavación se aplicara solo el sismo básico de operación.

Sismo básico de operación (OBE)

PGA = 0,036 g

**$k_h = 0,018 \text{ g (0,5 PGA)}$**

M = 6,3

PR = 144 años

#### 5. SECCIÓN DE ANÁLISIS

La Figura 1 muestra la planta de la excavación inicial de Primera Etapa planteada en el sector de la estructura de desvío. Se analizará la sección 1-1 que es la de mayor altura y se muestra en la Figura 2.

La geometría considerada para los taludes es con bermas generales de 10 m máximo de altura, 5m de ancho y talud 1:25H:1V. Con esta geometría se obtiene una pendiente global de 1.75H:1V como se muestra en la Figura 3.

La Figura 4 muestra la geometría del modelo de Slope/W representativa de la sección de máxima altura.

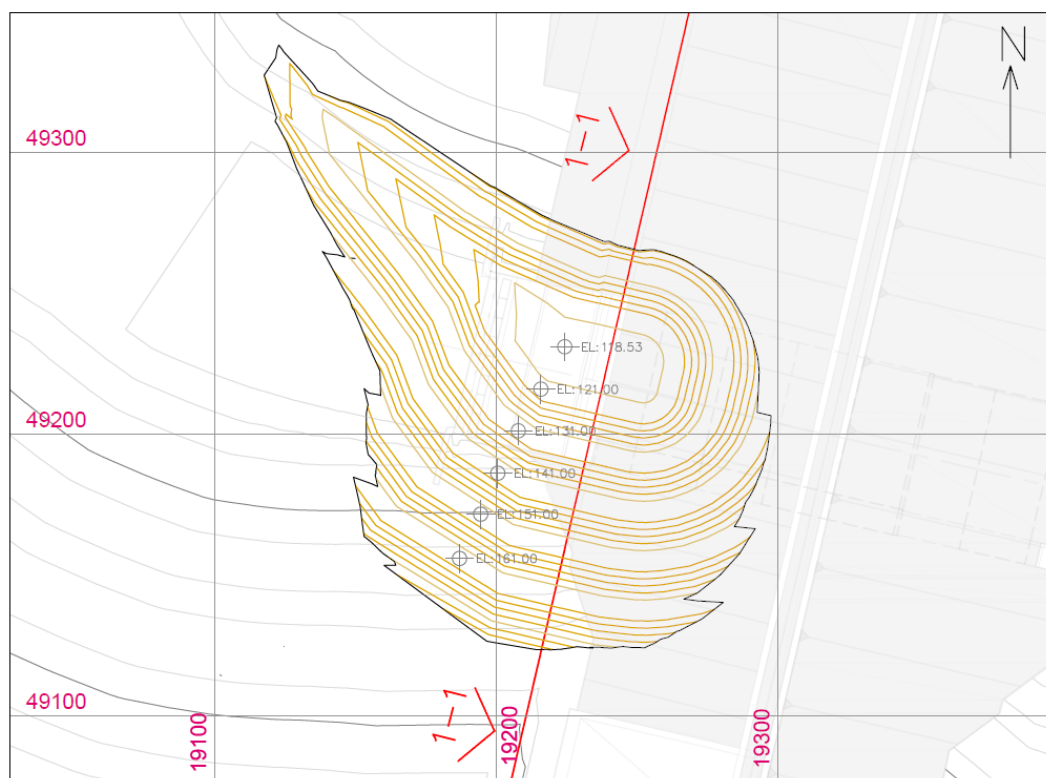


Figura 1 – Planta Excavación Inicial en Estructura de Desvío



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA  
SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

Revisión: 0C  
Fecha: 13-09-16  
Página: 6 de 10

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P001

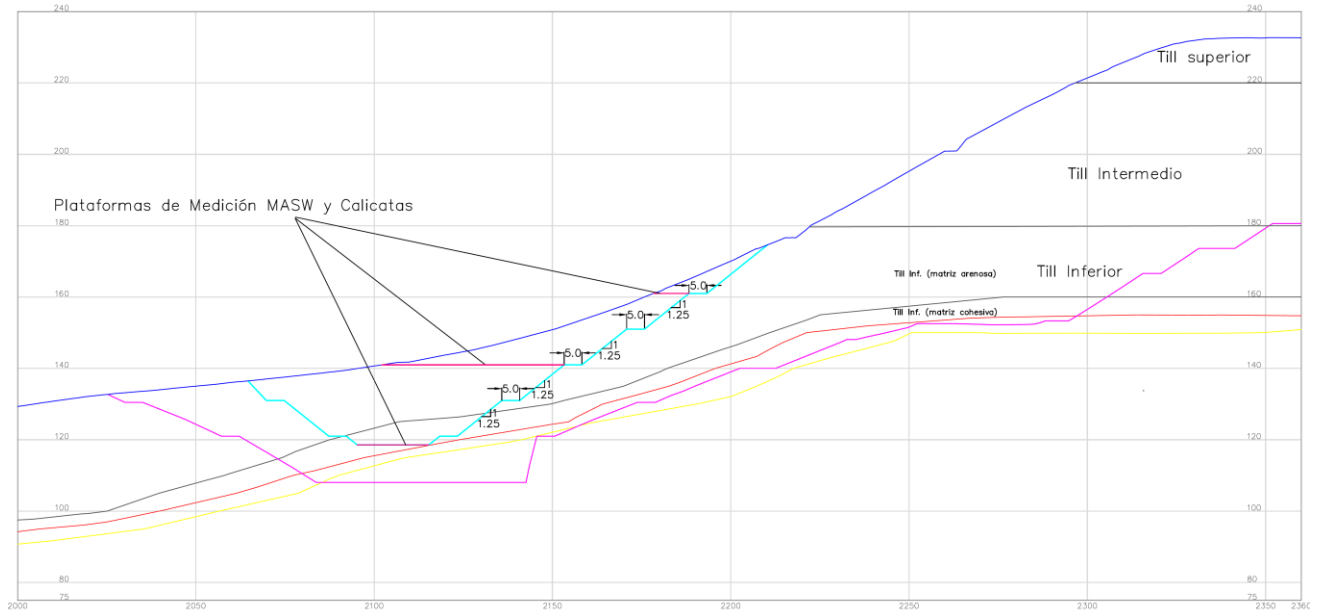


Figura 2 – Sección 1-1

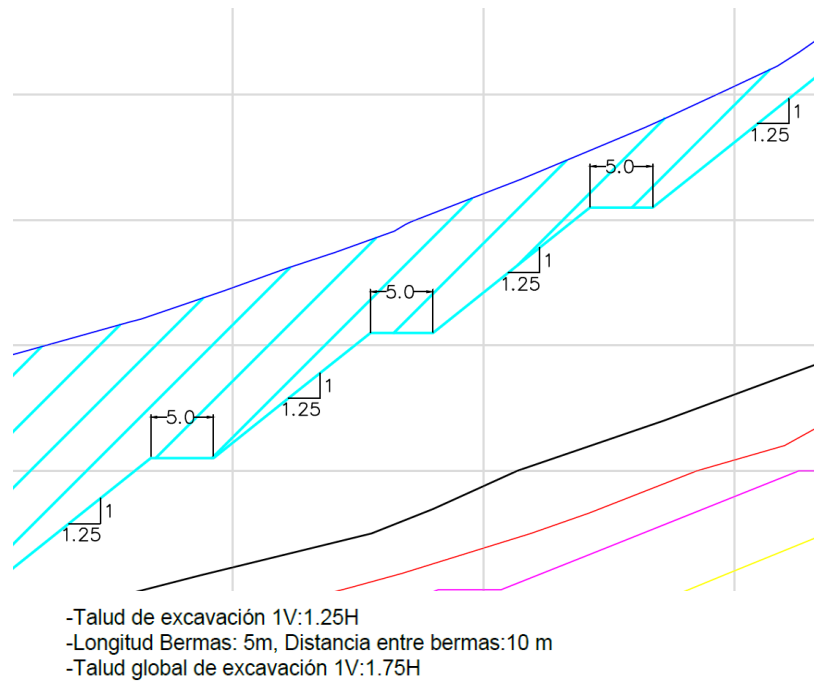


Figura 3 – Detalle de Geometría de las Bermas



	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0C Fecha: 13-09-16 Página: 7 de 10
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P001

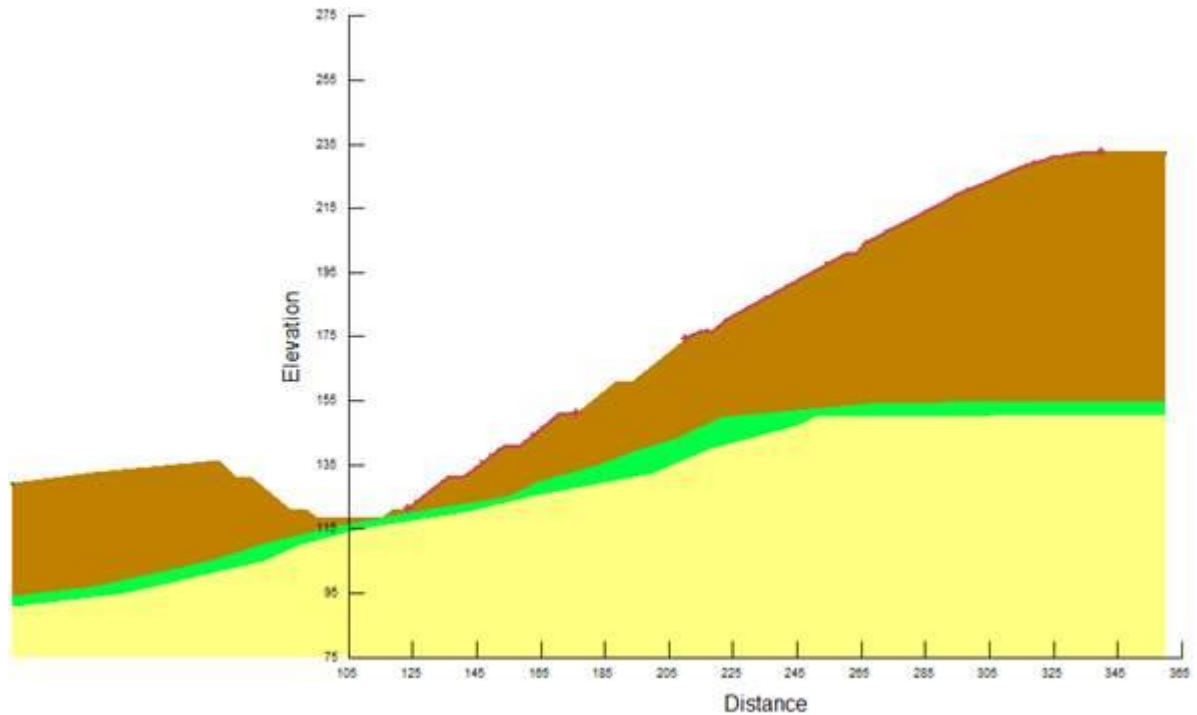


Figura 4 – Modelo de la Sección 1-1

## 6. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Para los análisis de estabilidad de los taludes de excavación de primera etapa del desvío se analiza la estabilidad estática y pseudoestática de los mismos bajo las condiciones de operación normal o de período de construcción, utilizando el programa SLOPE/W (Referencia 15).

Se analizó en primer lugar la estabilidad global del talud, con superficies que afecten a gran parte del mismo. Posteriormente se analizó la estabilidad local de las bermas mediante superficies de falla locales que solo afecten a una berma.

## 7. RESULTADOS

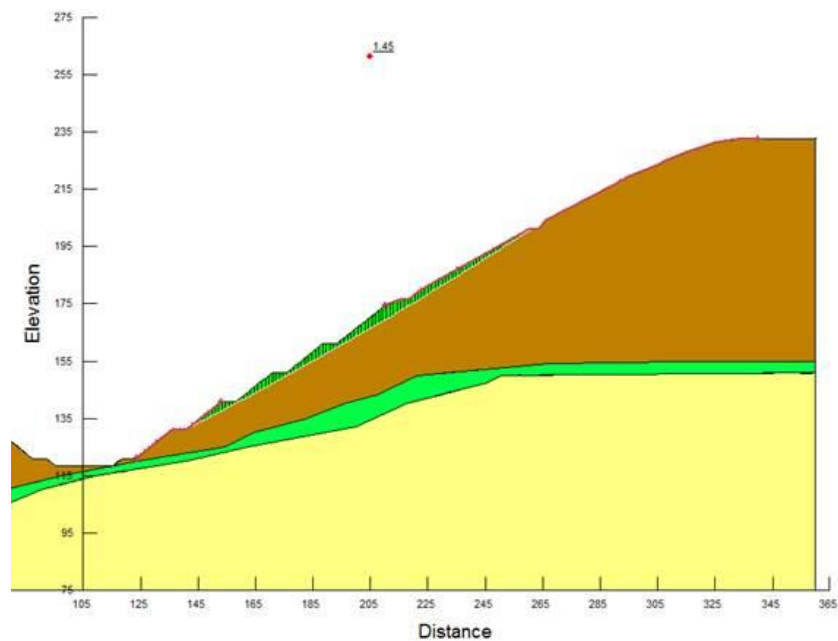
A continuación se presentan los resultados de los modelos para cada una de las situaciones anteriormente descritas.

Los criterios de aceptación propuestos son:

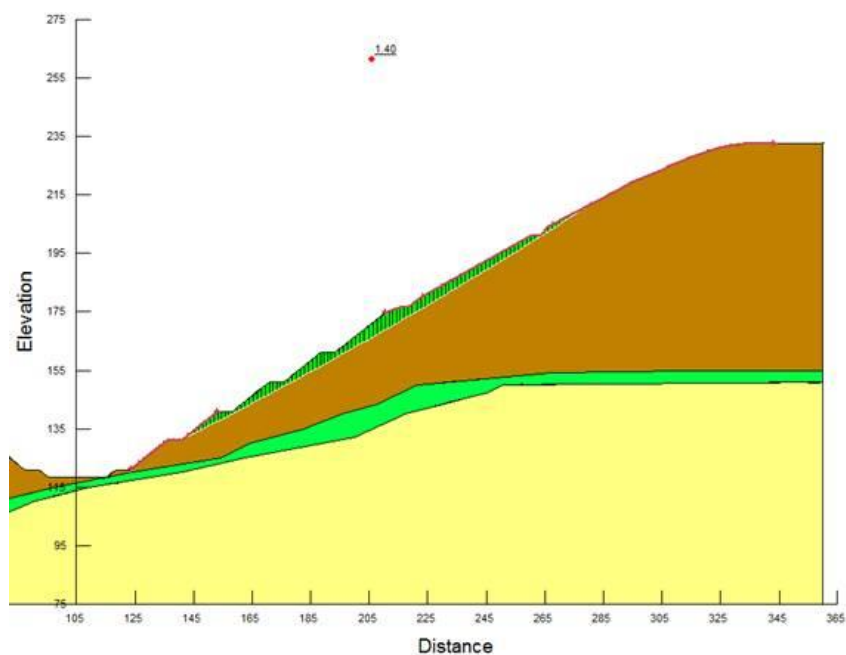
- Análisis estático FS mayor a 1,20
- Análisis seudoestático FS mayor a 1,05

### 7.1. ESTABILIDAD GLOBAL

#### a. Análisis estático – FS = 1.45

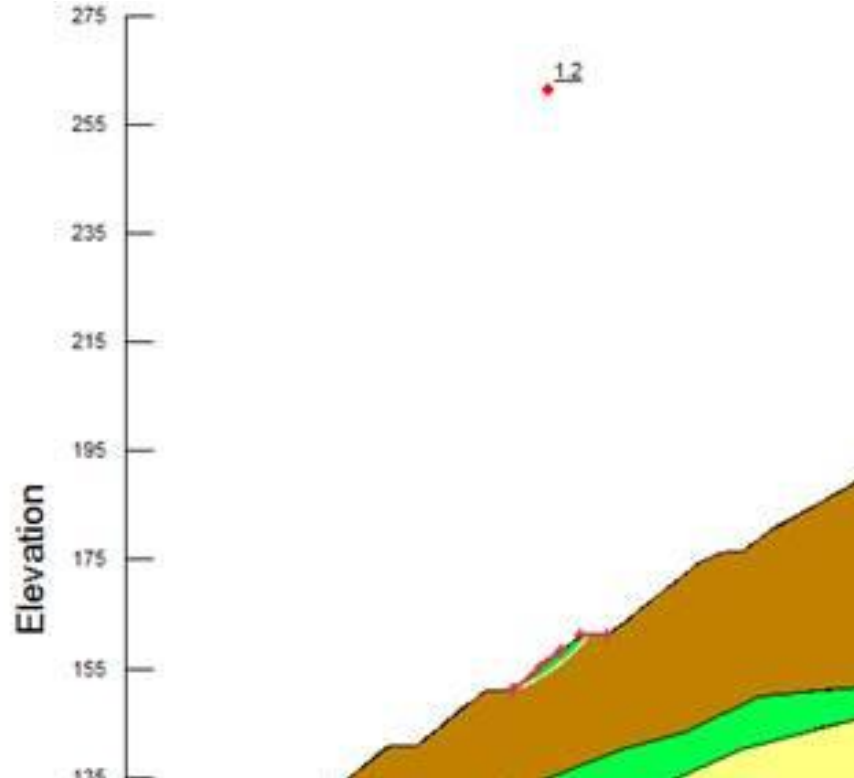


#### b. Análisis seudoestático – kh = 1/2 PGA – FS = 1.40

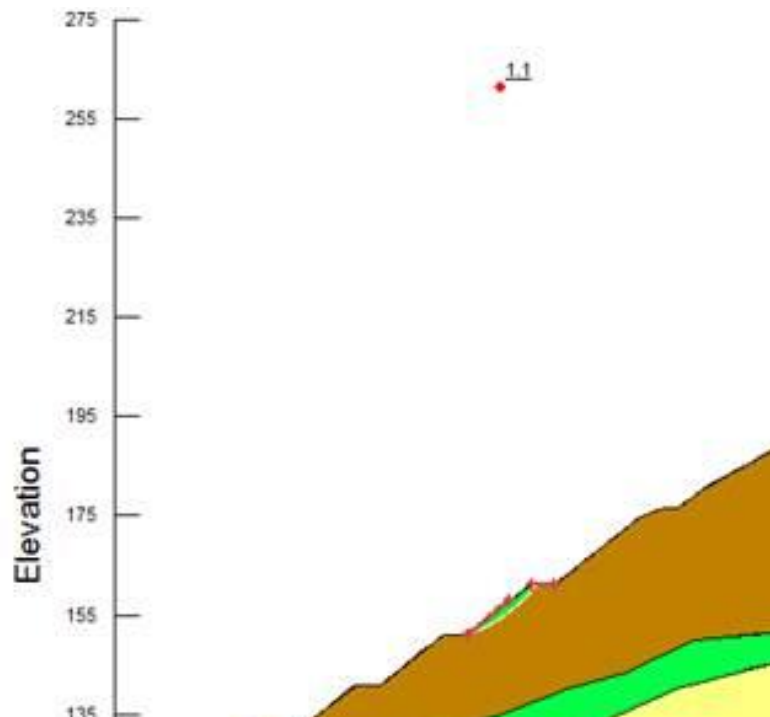



## 7.2. ESTABILIDAD LOCAL

### a. Análisis estático – FS = 1.20



### b. Análisis seudoestático – $k_h = \frac{1}{2} \text{PGA}$ – FS = 1.10



	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0C Fecha: 13-09-16 Página: 10 de 10
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P001

## 8. CONCLUSIONES

A partir de los resultados presentados anteriormente puede concluirse que los taludes temporales adoptados para las excavaciones de primera etapa del sector de desvío resultan adecuados y satisfacen los requerimientos de seguridad.

Las investigaciones a ejecutar están detalladas en el documento NK-A-CV-ET.GT-(OG-00-00)-P001.

De manera complementaria a los ensayos de laboratorio e in situ que se plantean en esa especificación técnica, se propone monitorear la estabilidad de los taludes mediante la instalación de marcos superficiales y su control topográfico con periodicidad a acordar con la Inspección de obra.

NOTAS

--

REFERENCIA

--

NOTAS INSPECCION

<p>.....</p> <p>.....</p>
---------------------------

QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL SIN  
PREVIA AUTORIZACION DE REPRESAS PATAGONIA UTE

0A	EMISION ORIGINAL	10-07-16	RJR	RJR / REG	OAV	GLV
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	PROYECTÓ	EJECUTÓ	REVISÓ	VERIFICÓ

**MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA**  
**SECRETARÍA DE ENERGÍA ELECTRICA**  
**SUBSECRETARIA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA**




**APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ**  
 Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

NOMBRE		FECHA
EJECUTÓ	RJR	10-07-16
REPRES. TEC.		

**Presa Pte. Néstor Kirchner**  
**OBRAS CIVILES-OBRAS GENERALES.**  
**MEMORIA GEOTÉCNICA DE LA FUNDACIÓN DE LA**  
**RÁPIDA Y CUENCO DE VERTEDERO**

Etapa Proyecto:	
PB	
Nivel desarrollo:	
100	
Pag.	Form.
1/40	A4

Esc.	Doc. N°	Rev.
s/e	NK-A.CV-MT.GT-(VE-00-00)-P903	0A

	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0A Fecha: 10-07-16 Página: 2 de 18
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(VE-00-00)-P903

## TABLA DE CONTENIDO

1. ALCANCE .....	3
2. ANTECEDENTES DE ESTUDIOS HASTA 2007 .....	4
3. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE LAS CAMPAÑAS PREVIAS .....	6
4. RESULTADOS DE LA CAMPAÑA 2015-2016 .....	8
4.1. Verificaciones y actividades complementarias .....	8
4.2. Homogeneización de ensayos de laboratorio .....	9
4.3. Derivación de las propiedades geotécnicas de los Estratos .....	11
5. MODELACIÓN DE LOS TALUDES DE LA RÁPIDA Y DE CUENCO AMORTIGUADOR.....	13
5.1. Esquema general .....	13
6. RECOMENDACIONES .....	17
7. CONCLUSIONES.....	18

## FIGURAS


FIGURA 1: PERFIL GEOFÍSICO DE REFRACCIÓN A LA SALIDA DEL VERTEDERO (CIM 2006) .....	7
FIGURA 2: UBICACIÓN DE LAS PERFORACIONES Y SECCIONES ANALIZADAS .....	8
FIGURA 3: MODELO NO LINEAL DE HOEK BROWN CON LECTURA DE VALORES DE C Y $\phi$ .....	9
FIGURA 4: PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE ESTRATOS SUPERFICIALES .....	11
FIGURA 5: PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE ESTRATOS PROFUNDOS.....	12
FIGURA 6: REFERENCIAS PARA LOS PERFILES.....	13
FIGURA 7: MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO PARA EL PERFIL EN LA RÁPIDA. PROGRESIVA 029 .....	14
FIGURA 8: MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO PARA EL PERFIL TRANSVERSAL DEL CUENCO DISIPADOR .....	15
FIGURA 9: RÁPIDA Y CUENCO AMORTIGUADOR. PROPIEDADES PONDERADAS DEL ESTRATO INFERIOR.....	16
FIGURA 10: CANAL DE RÁPIDA Y CUENCO. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS PARA VERIFICACIÓN DE EXCAVACIONES .....	17

## TABLAS

TABLA 1: COMPRESIÓN UNIAxIAL, PTE. KIRCHNER.....	4
TABLA 2: ENSAYOS CROSS-HOLE.....	5
TABLA 3: PARÁMETROS ESIN-IATASA, PTE. KIRCHNER.....	6
TABLA 4: RESISTENCIA AL CORTE EN EL MACIZO: COHESIÓN ( $C_{MACIZO}$ ) Y ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA ( $\phi_{MACIZO}$ ) .....	10

## ANEXOS

ANEXO 1 – NK ANÁLISIS GEOTÉCNICO PERFIL RÁPIDA DEL VERTEDERO  
 ANEXO 2 – NK ANÁLISIS GEOTÉCNICO PERFIL CUENCO AMORTIGUADOR

	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0A Fecha: 10-07-16 Página: 3 de 18
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(VE-00-00)-P903

## 1. ALCANCE

Este documento técnico contiene una evaluación de los antecedentes disponibles, análisis y conclusiones para la caracterización geotécnica en la presa Presidente Néstor Kirchner (PNK) aplicables para utilizar en el diseño de excavaciones para la rápida y el cuenco del vertedero.

Se destaca que las conclusiones y recomendaciones emitidas son solo válidas para los sectores citados.

Este documento técnico reemplaza y supera a todo otro documento anterior emitido sobre la caracterización geotécnica de los terrenos de fundación.


Se han tenido en cuenta los antecedentes enumerados en informes previos tales como

GE-A.CV-IV.GT-(OG-00-00)-P001-0A. Parámetros geotécnicos de Diseño.

NK-A.CV-IV.GT-(OG-00-00)-P001. Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Rocas

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900. Deformabilidad de macizos rocosos

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001-0A. Mapeo Geológico del pozo exploratorio

	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0A Fecha: 10-07-16 Página: 4 de 18
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(VE-00-00)-P903

## 2. ANTECEDENTES DE ESTUDIOS HASTA 2007

La variabilidad de los parámetros geotécnicos de los terrenos involucrados, en la fundación de las obras es propia de las formaciones sedimentarias. Esto es válido tanto para el basamento rocoso como para los depósitos que se encuentran cubriéndolo.

En la presa N. Kirchner el basamento rocoso queda definido como tobas, pelitas tobáceas, areniscas tobáceas e intercalaciones de areniscas con espesores de varios metros en las partes más altas de los perfiles relevados. Esta unidad yace bien estratificada, en bancos de varios decímetros hasta 2 o 3 m de potencia (ESIN IATASA 2006). Los contactos entre las distintas litologías son predominantemente transicionales.

En el Informe IECI, para la presa N. Kirchner, los resultados de los ensayos de compresión uniaxial en probetas a humedad natural se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1: Compresión Uniaxial, Pte. Kirchner**

Tipo de Roca	Margen Izquierda (MPa)	Valle (MPa)	Margen Derecha (MPa)
Limolita		4,3 – 9,0	
Arcilla	5,8 – 7,8		no se alcanzó roca
Arenisca	7,8	1,4 – 6,8	

En el informe de 2006 se comenta en forma genérica, que en la presa N. Kirchner, los ensayos de compresión simple sobre testigos de las distintas litologías de la Formación Santa Cruz proporcionan valores que varían entre 5 MPa y 10 MPa.

Las diferencias de comportamiento se deben a las características litológicas de las partículas, de los cementantes que las unen y a su grado de alteración. En el pliego se enfatiza la importancia del cementante, sobre todo teniendo en cuenta que las partículas de origen volcánico tienden a generar arcillas de tipo montmorillonítico.

En cuanto al grado de alteración, se ha resaltado que por cuestiones tensionales, la parte más superficial del basamento se ha descomprimido y alterado.

Los materiales que constituyen el basamento son susceptibles de sufrir, al ser expuestos a la atmósfera, procesos de "slaking", que es un disgregamiento de partículas, las que son erosionadas con facilidad. Para mitigar este problema es necesario proteger rápidamente las excavaciones con hormigón proyectado, por ejemplo.

Los ensayos Lugeon presentan valores de absorción bajos, entre 0.6 y 2.8 en la presa N. Kirchner, con excepción de sectores fracturados locales, algunos bancos de areniscas y porciones superiores de las perforaciones en taludes descomprimidos, tal como la margen izquierda.


En cuanto a los depósitos sedimentarios incoherentes dentro del valle, en la presa N. Kirchner se han ubicado depósitos de till (QC1) en ambas márgenes, en la parte media del talud de la margen izquierda, en coincidencia con el sector de cierre y en margen derecha donde alcanzan espesores significativos. Asimismo existen depósitos glaciáricos más modernos (QC2) que no afloran en superficie.

Agua abajo, aparecen formaciones aluvionales que preservan más claramente la herencia glaciárica en sectores proximales, occidentales. Se las ha identificado como el afloramiento remanente más oriental de estos aluviones proglaciarios.

En la parte inferior del valle, se encuentra la unidad cuaternaria en la que se ubica el cauce actual del río Santa Cruz (QC3). Son depósitos fluviales con predominio de grava y gravilla polimíctica, que desarrollan terrazas extensas, de distinta extensión en ambas márgenes del río.

Es de destacar la presencia de capas de material más fino dentro del aluvión del cauce de la presa N. Kirchner en la margen izquierda del río, por debajo de cota 120.



	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0A Fecha: 10-07-16 Página: 5 de 18
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(VE-00-00)-P903

La unidad cuaternaria más reciente son depósitos coluvio-aluviales (QC4) dispuestos principalmente sobre los faldeos de ambas márgenes y el suelo actual de la presa N. Kirchner.

Las propiedades de estos sedimentos dependen del grado de empaquetamiento que tengan las partículas. La conductividad hidráulica (permeabilidad) ha sido medida por medio de ensayos Lefranc, mientras que la densidad ha sido estimada a partir de ensayos de velocidad de ondas de corte y de ensayos de penetración.

En la presa N. Kirchner se han estudiado en forma separada las distintas unidades. La más moderna aluvial, QC3, tiene predominio de gravas limpias, por lo que la conductividad hidráulica tiende a ser mayor que  $10^{-1}$  cm/s. En los depósitos de till, QC1, varían entre  $10^{-1}$  y  $10^{-2}$  cm/s


Las mediciones de velocidad de ondas de corte han sido realizadas sobre las distintas formaciones mediante ensayos Cross-Hole. Como la velocidad aumenta con el confinamiento, la forma de analizarla es mediante  $V_{s1}$ , una normalización de manera de eliminar la influencia de la profundidad (Ver Tabla 2).

Si bien se han analizado distintos depósitos, los más significativos son los que participarán en la fundación de las obras, QC3. En el análisis de los valores de  $V_{s1}$  hay que tener en cuenta que el límite que marca el comportamiento contractivo de los materiales granulares está en alrededor de 200 m/s.

Es importante destacar que la región donde se encuentran los emplazamientos, al tener una sismicidad relativamente moderada, la probabilidad de que ocurra licuación es muy baja. La temática generada por los valores de  $V_{s1}$  para el diseño está relacionada con la delimitación de compacidades en problemas de fundación y de deformaciones de los terraplenes y otras obras apoyadas sobre el aluvión.

**Tabla 2: Ensayos Cross-Hole**

Estrato	Profundidad (m)	$V_s$ (m/s)	$V_{s1}$ (m/s)	Observación
QC4 Margen derecha	0-2	< 200	<275	Sin freática
QC1 Margen derecha	2-15	200	160	Sin freática
	>15	250-300	198-240	Sin freática
QC3 Centro	0-10	200	175	Sin freática
	10-17	150	121	Lentes arcillosos
	>17	200-250	160-205	Freática a 11 m

	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0A Fecha: 10-07-16 Página: 6 de 18
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(VE-00-00)-P903

### 3. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE LAS CAMPAÑAS PREVIAS

En la Tabla 3 se presentan los valores adoptados por ESIN-IATASA para el proyecto licitatorio; donde  $\gamma$ ,  $\gamma_d$  y  $\gamma_s$  son el peso unitario, el peso unitario seco y el peso específico, respectivamente;  $c$  y  $\phi$  son los parámetros de resistencia al corte, cohesión y ángulo de fricción interna;  $E$  es el módulo de deformación.

**Tabla 3: Parámetros ESIN-IATASA, Pte. Kirchner**

Descripción	$\gamma$	$\gamma_d$	$\gamma_s$	$\phi$	$c$	$E$
	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(°)	(MPa)	(MPa)
Roca Margen Izquierda	20	17,5	26,2	33	0,025	1200
Roca Terraza Inferior	20,5	17,8	25,9	35	0,060	1500
Roca Margen Derecha	20	17,5				

Las características cambiantes de las propiedades en las formaciones sedimentarias condicionan los parámetros de diseño a adoptar para el emplazamiento de las obras el Informe ESIN IATASA solo implica una guía de valores sugeridos para el diseño de la presa N. Kirchner. Una recopilación más detallada de los análisis se encuentra en GE-A.CV-IV.GT-(OG-00-00)-P001-0A Parámetros geotécnicos de Diseño.

En esa etapa que abarca hasta el año 2007, se ejecutaron ensayos triaxiales y de compresión simple con condiciones de humedad natural. Los ensayos triaxiales fueron realizados con presiones de cámara de 1, 2 y 4 MPa.

Los valores de resistencia  $\phi$  y  $c$ , definidos en la Tabla 3 resultan extremadamente conservativos, con relación a los resultados de los ensayos triaxiales de estas formaciones sedimentarias obtenidos en el sitio de PNK.

En el sector de estudios existen perfiles geofísicos de refracción, y un ensayo cross-hole. En la Figura 1 se presenta la sección más representativa del sector en correspondencia con las perforaciones CI 19 CI 20 y CI 21 que está en la progresiva 040 aproximadamente al comienzo de la salida del control del vertedero (Figura 2).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA  
SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 10-07-16  
Página: 7 de 18

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
NK-A.CV-MT.GT-(VE-00-00)-P903

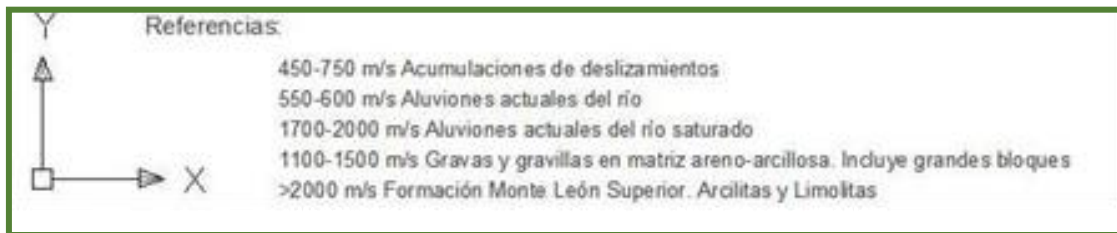
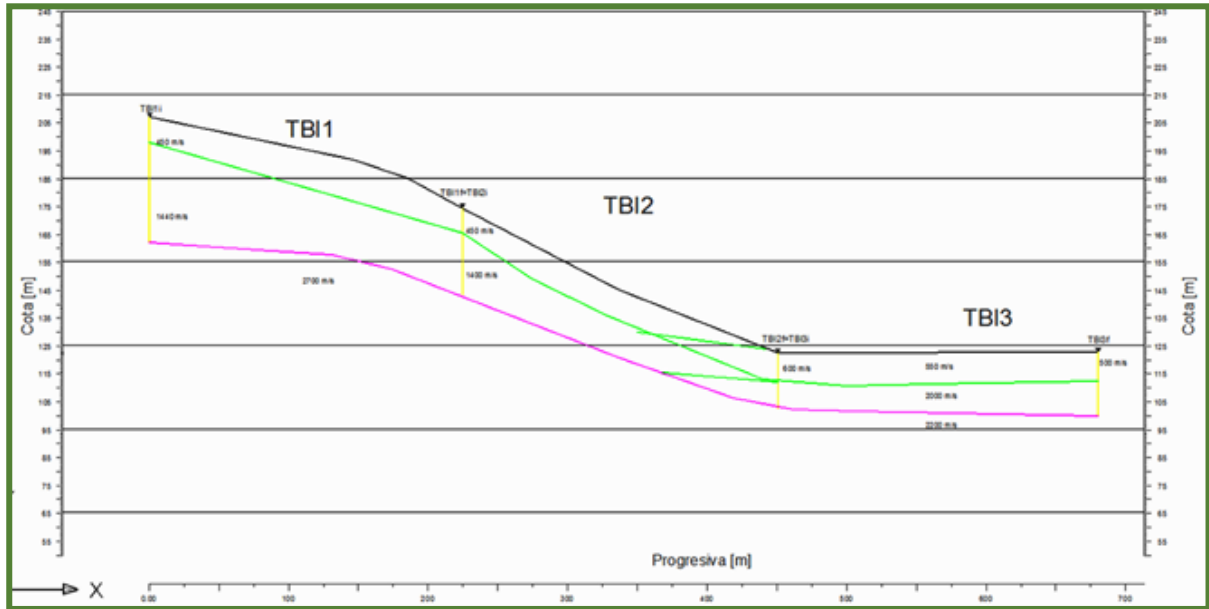



Figura 1: Perfil geofísico de refracción a la salida del vertedero (CIM 2006)

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0A Fecha: 10-07-16 Página: 8 de 18
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(VE-00-00)-P903

## 4. RESULTADOS DE LA CAMPAÑA 2015-2016

### 4.1. Verificaciones y actividades complementarias

En el sitio de emplazamiento del canal de aducción se han realizado nuevas perforaciones tal como se observa en la Figura 2. Las perforaciones denominadas CI xx corresponden a las campañas anteriores del proyecto. Las perforaciones denominadas PRK xx y SAK xx corresponden a la campaña de prospección 2015-2016.

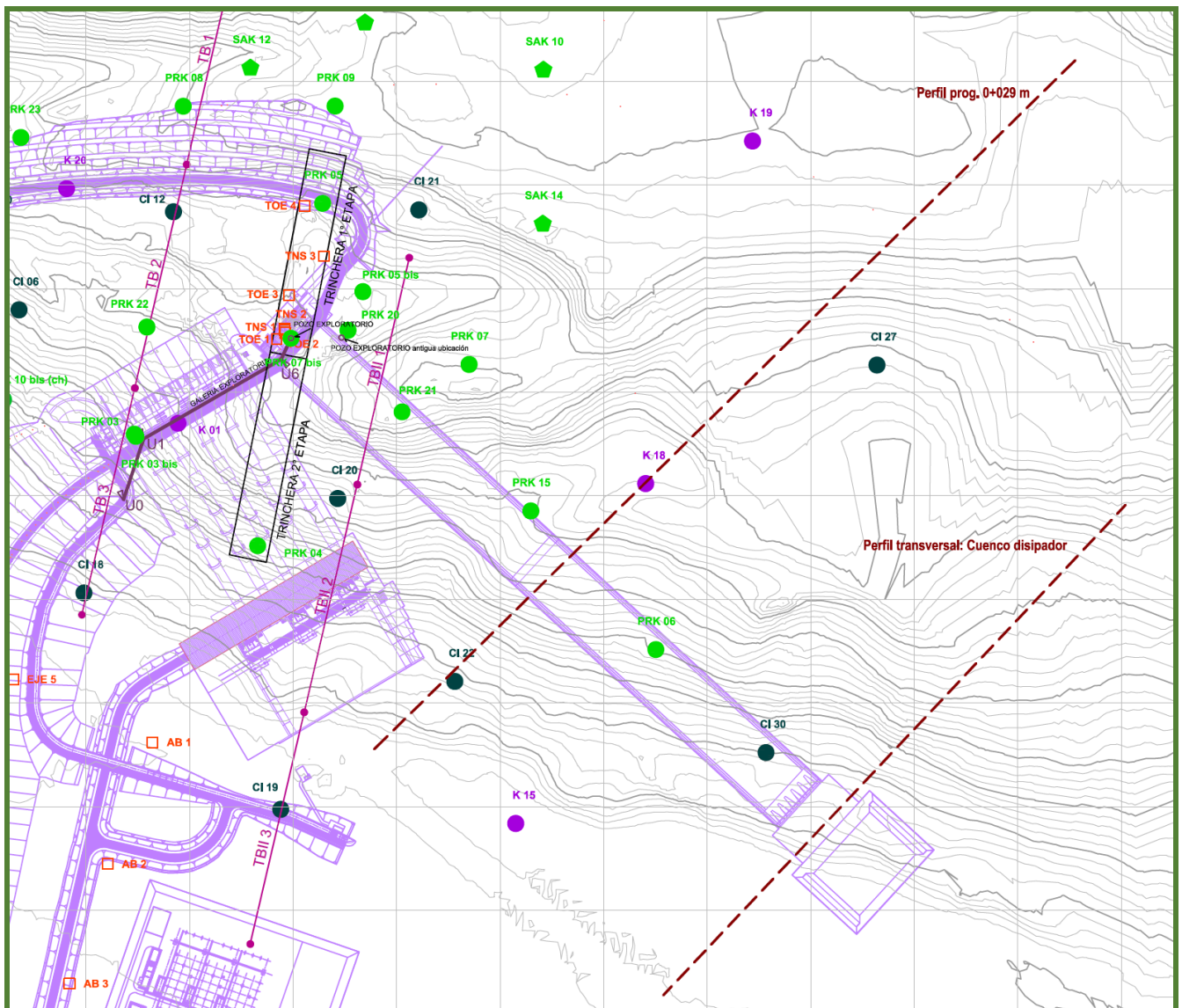



Figura 2: Ubicación de las perforaciones y secciones analizadas

Las perforaciones de todas las campañas fueron empleadas para definir un modelo geológico que permitiera definir la estratigrafía de la fundación de las estructuras.

Los resultados de algunos ensayos de laboratorio han sido compilados en el informe NK-A.CV-IV.GT-(OG-00-00)-P001. Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Rocas. En la clasificación de los tipos litológicos presentes se distinguen:

	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0A Fecha: 10-07-16 Página: 9 de 18
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(VE-00-00)-P903

- Areniscas finas a medias, gris oscuro a pardo cuando presentan alteración limonita, cementadas a friables, grano fino a medio, estratificadas
- Areniscas pelíticas a pelitas arenosas, color gris verdoso, masivas
- Pelitas arcillosas y limosas, masivas, color gris verdosa a parda clara,
- Pelitas estructura brechosa.
- Tobas y areniscas tobaceas, gris claro a oscuro, masivas.

En forma complementaria se ejecutaron algunos ensayos geofísicos del tipo *MASW* con el objeto de caracterizar, mediante el empleo de  $V_s$ , los sedimentos superficiales y los macizos rocosos subyacentes. Algunos resultados referidos a la obtención de módulos de deformación se encuentran en el informe sobre *Deformabilidad de macizos rocosos*.

## 4.2. Homogeneización de ensayos de laboratorio

Para homogeneizar los distintos tipos de ensayos de laboratorio se empleó un único procedimiento de análisis basado en el modelo de *Hoek Brown*, implementado en el programa *Roclab* (versión liberada de *Rocdata de Rocscience*). Este modelo permite variar las propiedades de deformación y de rotura de distintas rocas basadas en el *GSI (Geological Strength Index)*, con lo cual es posible pasar de resultados de laboratorio a estimaciones de valores geotécnicos en el macizo.

Se partió de la base de que los resultados de probetas de laboratorio tienen un *GSI* de 100 y que cuando disminuye el *GSI* se representa la situación del macizo in-situ. Como patrón de validación se tomaron los resultados de las mediciones de  $V_s$  registradas en 2015, a partir de lo cual se establecieron valores del módulo de deformación  $E$ , del macizo. Como las determinaciones geofísicas se realizaron bajo el nivel freático, se ha considerado que corresponden al macizo saturado.

Como se estableció en el Apartado 4, las verificaciones requieren de parámetros del modelo de *Mohr-Coulomb*. Al ser el modelo de *Hoek Brown* no lineal, a medida que aumentan las tensiones, la recta de resistencia intrínseca (leída como tangente a la curva) tiende a la horizontal por lo que el ángulo de resistencia interna,  $\phi$ , va disminuyendo y la cohesión,  $c$ , va aumentando. Así la resistencia del macizo tiende a disminuir con el confinamiento (Figura 3).

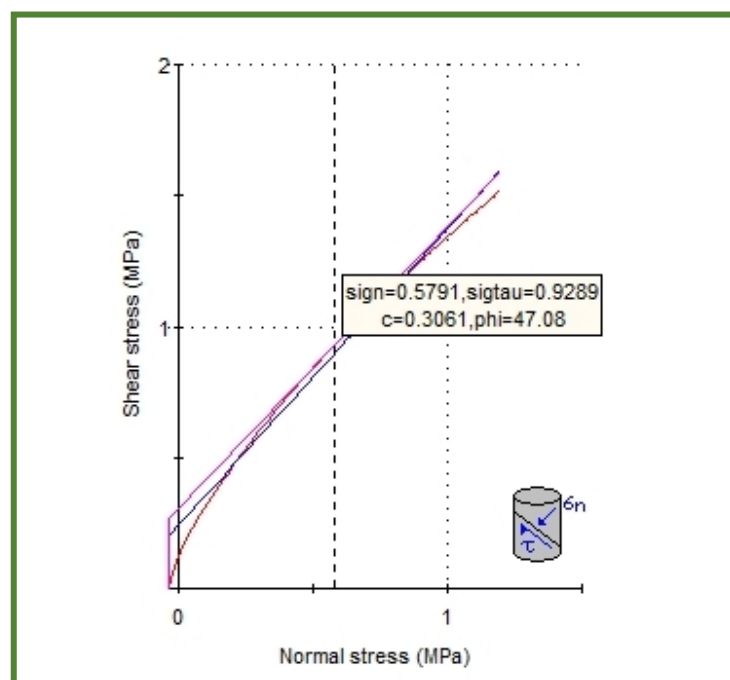



Figura 3: Modelo no lineal de Hoek Brown con lectura de valores de  $c$  y  $\phi$

	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0A Fecha: 10-07-16 Página: 10 de 18
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(VE-00-00)-P903

Para evitar errores se tomaron valores de tensiones de lectura de 0,5 y 1,2 MPa en correspondencia con estratos superficiales y estratos profundos. Estos niveles se fijaron de acuerdo al análisis tenso-deformacional realizado para las fundaciones de las estructuras.

Tabla 4 presenta los valores de  $GSI$  y de tensiones de medición del modelo *Mohr-Coulomb* resultante de los distintos ensayos. Las perforaciones que comienzan con K son las campañas previas de AyEE, mientras que las iniciadas con PRK son de 2015.

**Tabla 4: Resistencia al corte en el macizo: cohesión ( $c_{macizo}$ ) y ángulo de fricción interna ( $\phi_{macizo}$ )**

Litología	Perforación	Cota (m)	$GSI_{lab}$	$\phi_{lab}$	$C_{lab}$ (MPa)	$GSI_{mac}$	$\sigma$ (MPa)	$\phi_{mac}$	$C_{mac}$ (MPa)
Arenisca	K 02	94	100	47	1,3	80	1,2	45	0,6
							0,7	49	0,4
Arenisca	K 03	67	100	41	2,8	65	1,2	39	0,4
							0,5	46	0,3
Arenisca sat	K 15	85	100	40	0,8	90	1,2	37	0,5
							0,7	41	0,5
limonita arc sat	K 15	100	100	33	0,6	90	1,2	27	0,4
							0,5	33	0,3
Limolita tobácea	K 18	132	100	32	0,5	90	1,2	25	0,3
							0,5	31	0,3
Arenisca Gris	PRK 3b 17	141	100	48	0,4	80	1,2	35	0,3
							0,96	37	0,3
							0,5	43	0,2
Toba	PRK 3b 22	135	100	40	0,5	85	1,2	33	0,3
							0,5	40	0,2
Toba	PRK7b 26	165	100	40	0,4	85	1,2	31	0,3
							0,5	37	0,2
Arcilita	PRK 3b18a	141	100	39	0,4	85	1,2	30	0,3
							0,5	36	0,2
Arcilita	PRK3b 18b	141	100	46	0,9	85	1,2	42	0,5
							0,5	48	0,3
Limolita	PRK 3b 13	147	100	42	1,2	80	1,2	40	0,5
						50	0,8	32	0,2
						80	0,5	46	0,4
Limolita	PRK 3b 14a	146	100	34	1,5	80	1,2	34	0,5
							0,5	39	0,4
Limolita	PRK 3b 14b	146	100	34	1,5	80	1,2	34	0,5
							0,5	39	0,4
Limolita	PRK 3b 15	145	100	39	0,9	80	1,2	32	0,3
							0,5	39	0,2
Limonita individual	PRK 3b 15	145	100	49	1,1	80	1,2	46	0,5
							0,5	52	0,3
Limolita individual	PRK 3b 16	145	100	38	1,4	75	1,2	36	0,4
							0,5	43	0,3
Limolita	PRK3b 20 a	139	100	44	0,8	85	1,2	39	0,5
							0,5	46	0,3
Limonita	PRK3b 20 b	139	100	41	0,6	80	1,2	34	0,3
							0,5	41	0,2
Limonita	PRK 3b 21	137	100	42	0,9	80	1,2	37	0,4
							0,5	44	0,3
Toba alterada	CI 10	170	100	45	0,1	85	0,8	24	0,1

Referencias:

$GSI$  inicio: valor asignado a ensayo de laboratorio

$\phi_{lab}, C_{lab}$ : parámetros de *Mohr Coulomb* determinados en laboratorio

$GSI$ : valor definido en base a módulo del macizo en modelo *Hoek Brown*

$\sigma$ : tensión de confinamiento para lectura en modelo *Hoek Brown* (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

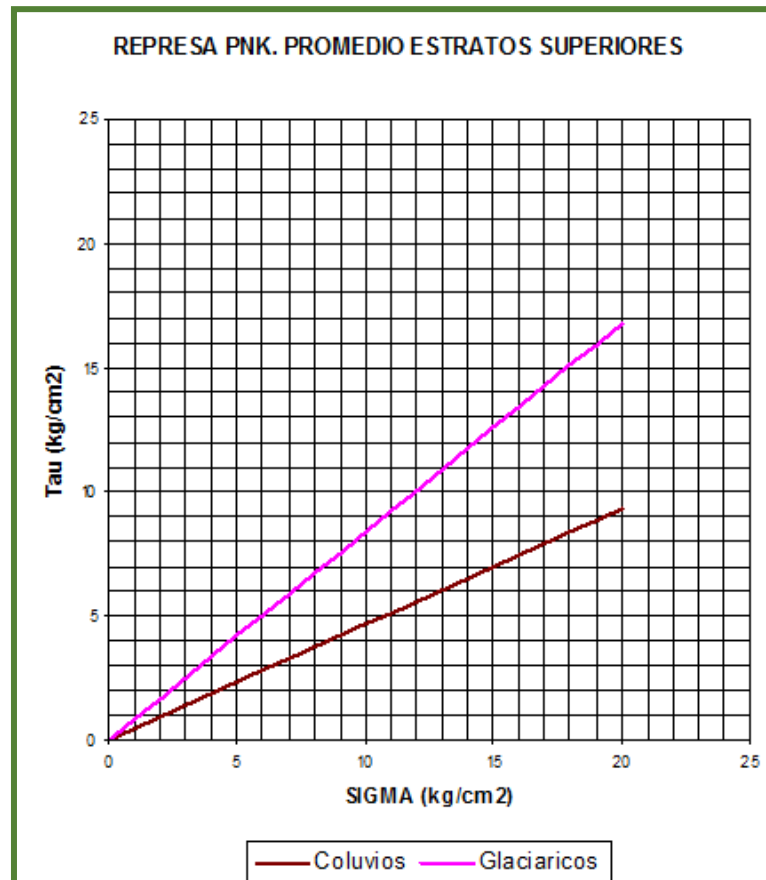
$\phi_{mac}, c_{mac}$ : parámetros de *Mohr Coulomb* definidos para  $GSI$

Los valores de  $GSI$  varían de acuerdo con la rigidez inicial de las probetas y los tipos de rocas. Para la definición de los módulos de las probetas iniciales se empleó el Modulo Relativo (MR: modulus ratio) del programa con valores de MR= 275 para pelitas, MR=275 para areniscas y MR=300 para tobas. Cuando los valores iniciales del módulo eran muy bajos no se modificaron al pasar de probeta a macizo, porque se consideró que al ser “blandos” no habría mayores diferencias por escala (entre Laboratorio y Campo), asemejándose más a un sedimento que a una roca.

Es de destacar que los valores finalmente empleados en los análisis corresponden a ensayos de perforaciones próximas al sector relacionado con el canal de aducción. Aquellos resultados correspondientes a las cotas superficiales que no han sido modificados por tensiones y quedaron en 1,2 MPa no han sido tenidos en cuenta por encontrarse en perforaciones alejadas de la zona de interés.

### 4.3. Derivación de las propiedades geotécnicas de los Estratos

Los perfiles transversales a las obras señalan la existencia de dos capas diferenciables. La superficial corresponde a depósitos glaciáricos y fluvioglaciáricos sobre los que yacen coluvios más modernos. El espesor esta capa oscila entre 15 y 30 metros (Figura 4).



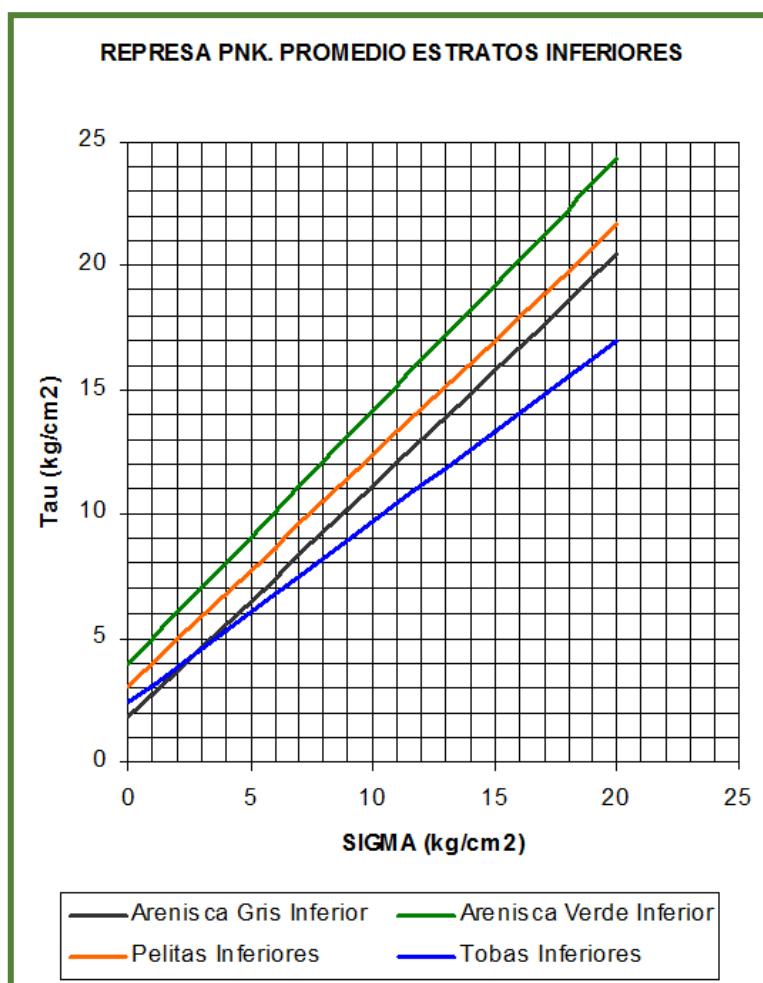
	Coluvios	Glaciáricos
$\phi$ (°)	25	40
$c$ (MPa)	0	0

**Figura 4: Propiedades geotécnicas de estratos superficiales**

Las propiedades del estrato superior se han determinado analizando la compacidad definida por los perfiles geofísicos (Figura 1). Cuando se realicen las primeras excavaciones se deberán verificar las densidades reales.

Por debajo se encuentran los macizos sedimentarios que han sido caracterizados mediante ensayos de laboratorio. A tal fin se ha considerado en el modelo de *Hoek Brown* un confinamiento de 0,5 MPa (Figura 5).


En la caracterización de los estratos inferiores se han tomado los valores correspondientes a los ensayos de margen izquierda.



	Arenisca Gris inferior	Arenisca Verde Inferior	Pelitas Inferiores	Tobas Inferiores
$\phi$ (°)	43	45	42	32
c (MPa)	0,2	0,4	0,4	0,2

**Figura 5: Propiedades geotécnicas de estratos profundos**



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0A Fecha: 10-07-16 Página: 13 de 18
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(VE-00-00)-P903

## 5. MODELACIÓN DE LOS TALUDES DE LA RÁPIDA Y DE CUENCO AMORTIGUADOR

### 5.1. Esquema general

A lo largo de su traza el canal de la rápida y el cuenco amortiguador colindan con taludes naturales de distinta altura y composición litológica. Por ello, los cortes interceptarán capas de los mismos estratos a distintas cotas (Ver Figura 2, Figura 6, Figura 7 y Figura 8).



Figura 6: Referencias para los perfiles



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGOC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA  
SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 10-07-16  
Página: 14 de 18

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Doc. N°

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

NK-A.CV-MT.GT-(VE-00-00)-P903

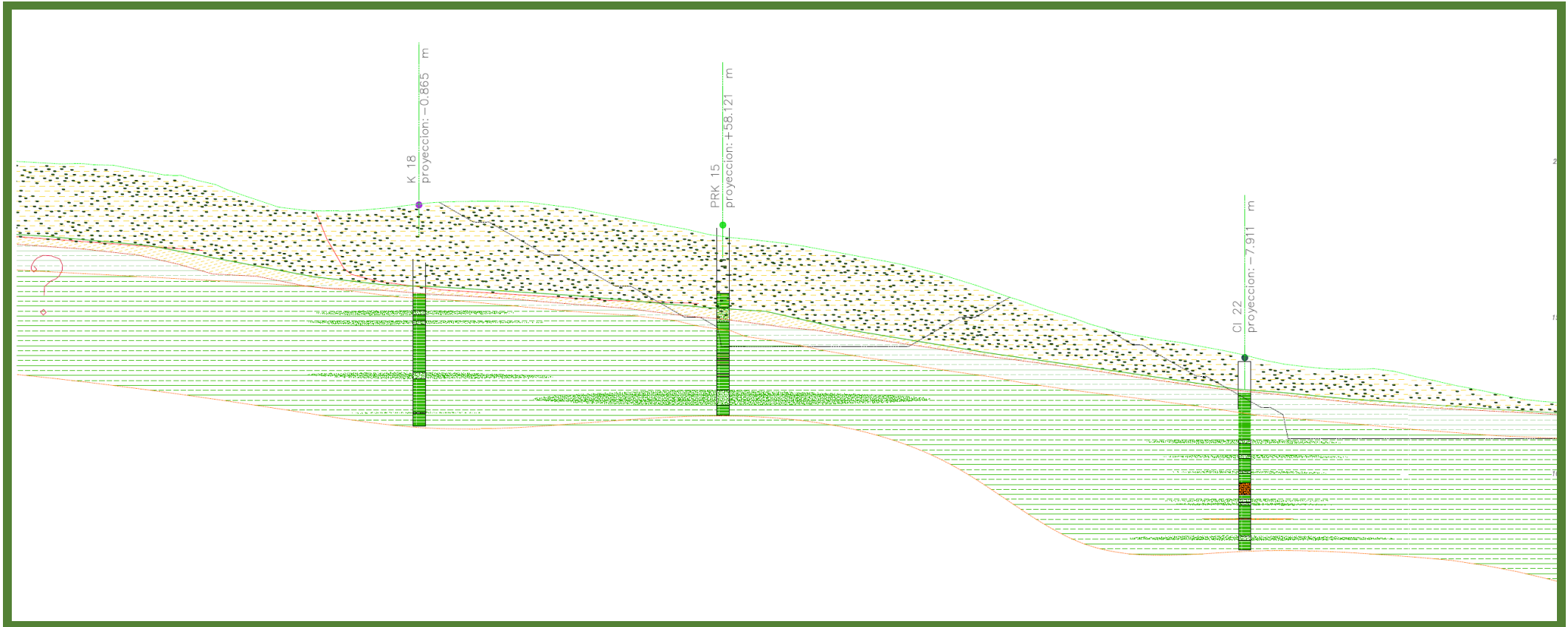


Figura 7: Modelo geológico geotécnico para el perfil en la rápida. Progresiva 029



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGCG-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA  
SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

Revisión: 0A  
Fecha: 10-07-16  
Página: 15 de 18

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(VE-00-00)-P903

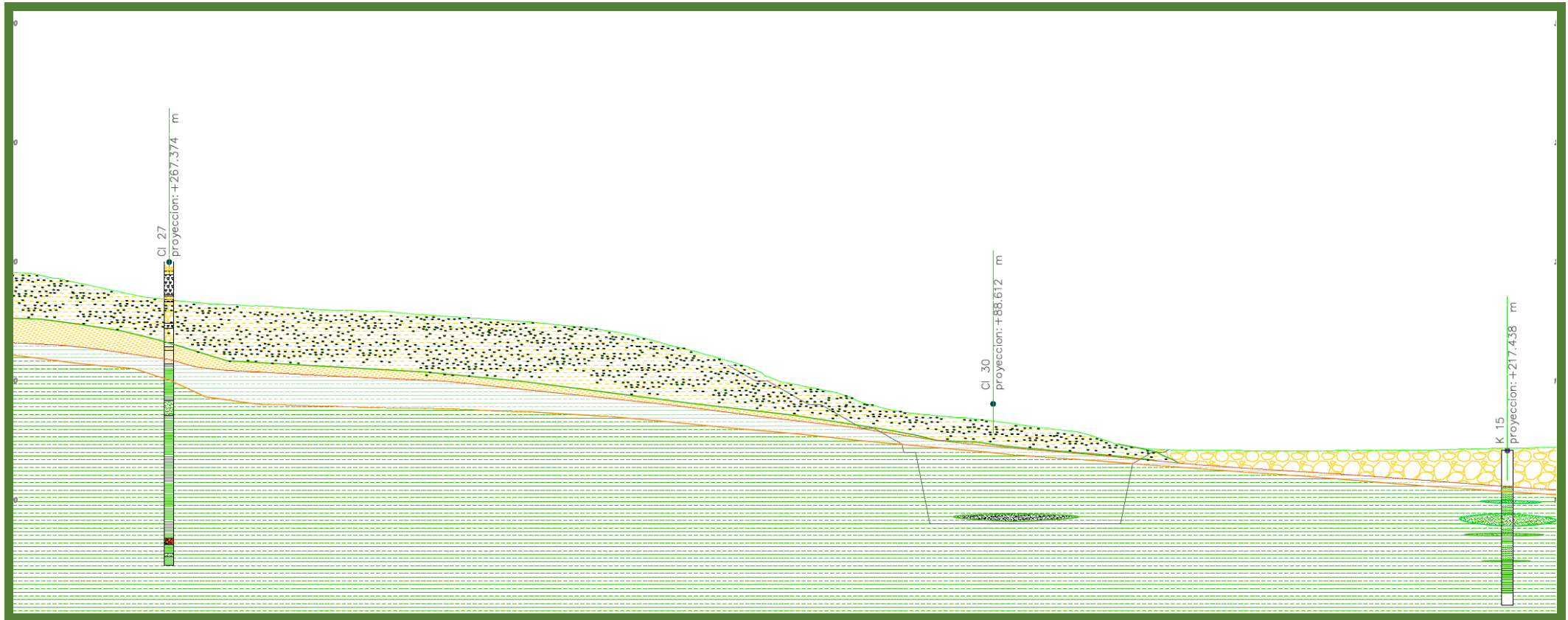


Figura 8: Modelo geológico geotécnico para el perfil transversal del cuenco disipador

Superficialmente, a lo largo de la rápida los taludes serán excavados en coluvios y depósitos glaciáricos y glaciofluviales, alguno de los cuales han sufrido deslizamientos. Esto hace que se consideren propiedades geomecánicas residuales, lo que implica cohesión nula.

Los parámetros que se deben considerar son los correspondientes a la Figura 4.

El estrato inferior se sitúa por debajo del precedente y está constituido por pelitas grisáceas y tobas con alteración superficial, en los primeros cinco a diez metros desde el techo de roca. En forma intercalada se observan lentes de areniscas grises y verdes. La combinación ponderada se presenta en Figura 9.

PONDERACIÓN POR ESPESOR DE ESTRATOS DE DISTINTA LITOLOGIA	
Estrato inferior: 30 m de espesor	
Pelitas totales	23 m
Areniscas verdes	2 m
Areniscas grises	2 m
Tobas	3 m

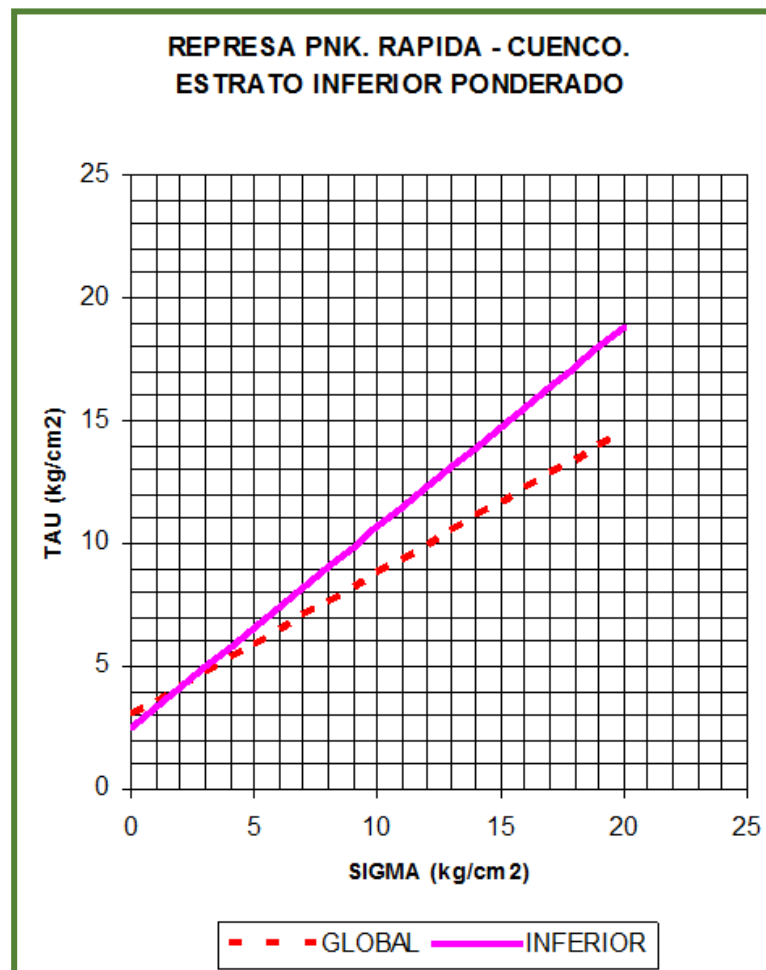


Figura 9: Rápida y cuenco amortiguador. Propiedades ponderadas del estrato inferior.

## 6. RECOMENDACIONES

El análisis de los ensayos acumulados a través de las distintas campañas geotécnicas permite establecer los valores de parámetros geotécnicos a emplear a lo largo de los cortes del canal de la rápida y cuenco amortiguador.

Los parámetros geotécnicos para ser usados en la verificación se han graficado en la Figura 10.

	Superior	Inferior
$\phi$ (°)	40	39
c (MPa)	0	0,3

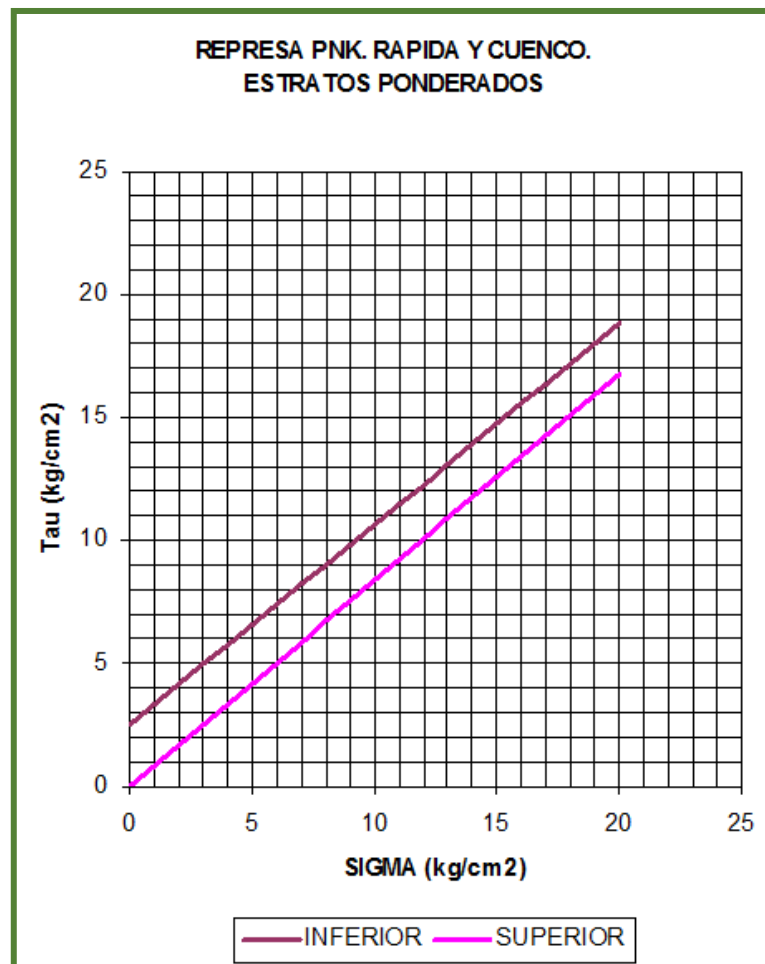



Figura 10: Canal de rápida y cuenco. Propiedades geotécnicas para verificación de excavaciones

Es importante que al ejecutar las primeras excavaciones se analice el estado de los terrenos superiores para verificar sus densidades y posibles deslizamientos.

	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0A Fecha: 10-07-16 Página: 18 de 18
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(VE-00-00)-P903

## 7. CONCLUSIONES


Para el análisis de la estabilidad de las excavaciones a lo largo del canal de la rápida y cuenco amortiguador de la presa N. Kirchner se ha planteado un modelo de rotura donde intervienen dos estratos bien diferenciados. El estrato superior está constituido por sedimentos con claros signos de deslizamientos.

Las propiedades de estrato inferior se han ponderado en base a sus espesores. Esto requiere de parámetros geotécnicos para cada una de los estratos atravesados. Los valores de los ensayos se han promediado para cada litología definida en el modelo geológico.

El ajuste de los resultados de laboratorio ha sido realizado en base a disminuir el *GSI* del modelo de *Hoek Brown* hasta alcanzar valores de módulo de deformación similares a los medidos *in situ* con velocidad de ondas de corte  $V_s$ . Como las mediciones corresponden al macizo saturado y la  $V_s$  no es afectada por la presencia de agua, se considera que se alcanza una deformabilidad similar a la observada en el macizo *in situ*.

Cuando se comparan los rangos de valores de  $c$  y  $\phi$  recomendados en 2006 con los resultados de los ensayos de laboratorio, se observa que las previsiones anteriores eran conservativas, aun teniendo en cuenta que los parámetros del macizo no son equivalentes a los obtenidos en los ensayos de laboratorio, por efectos de los distintos tipos de discontinuidades.

La primera estimación de valores realizada en octubre de 2015 también es algo conservadora, salvo para el estrato superior.

	<p>MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA</p> <p>SECRETARIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA</p> <p>SUBSECRETARIA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 10-07-16</p> <p>Página: 19 de 40</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>NK-A.CV-MT.GT-(VE-00-00)-P903</p>

**ANEXO 1 – NK ANÁLISIS GEOTÉCNICO PERFIL RÁPIDA DEL VERTEDERO**

ENSAYOS DE LABORATORIO DE CAMPAÑA 2006-2015

CI1 PERFORACION POR EL EJE 2007 33 kg/cm2 Resistencia a compresion simple  
 PRK 02 PERFORACION CAMPAÑA 2015 33.5°c=28.5 Resistencia a compresion triaxial  
 CDC PROY PERFORACION PROYECTADA 2007

ARENISCA GRIS OSCURA  
 ARENISCA ARCILLOSA VERDOSA  
 PELITA-ARCILITA VERDOSA MASIVA  
 TOBA

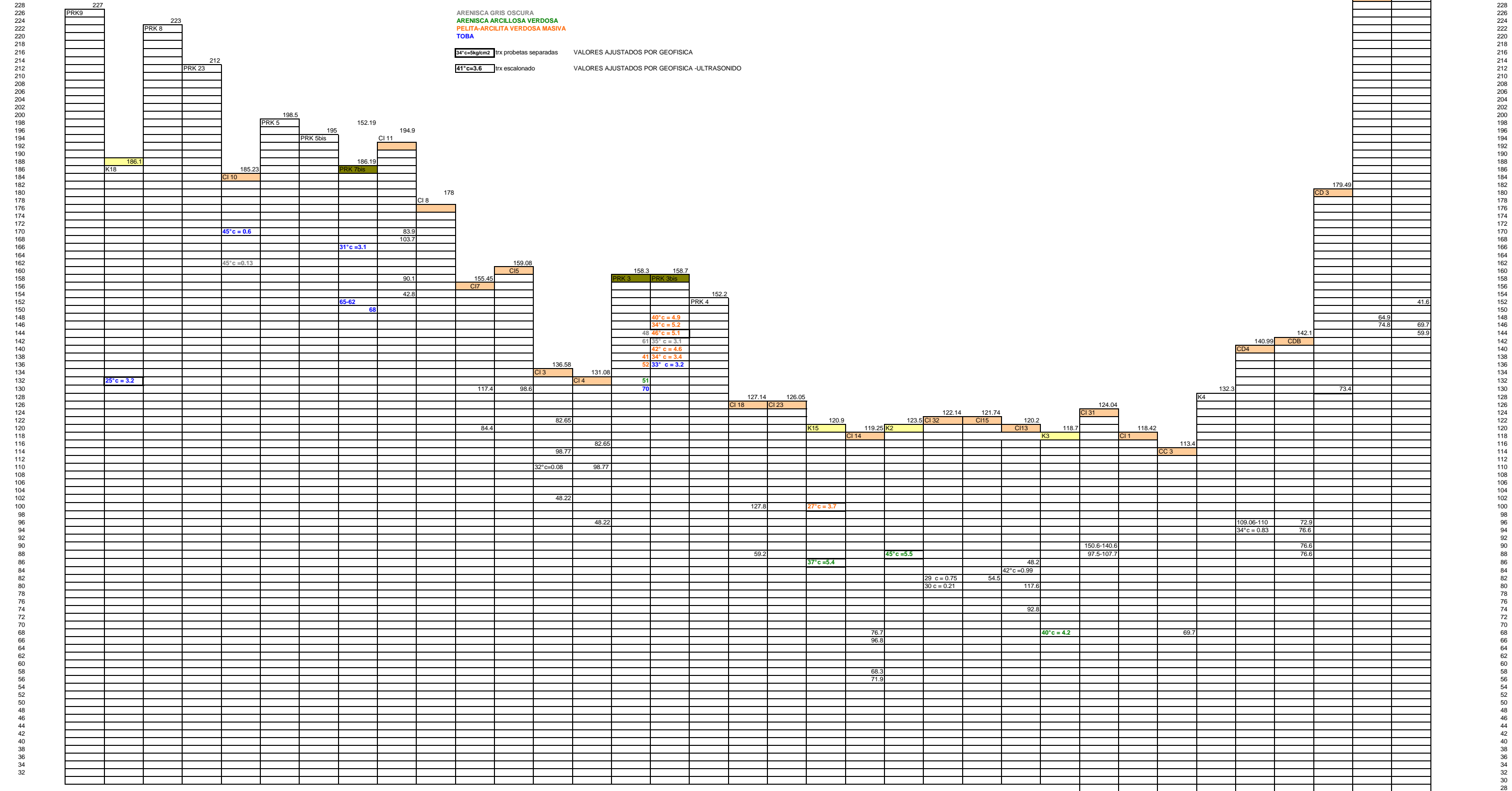
34°c=5kg/cm2 trx probetas separadas VALORES AJUSTADOS POR GEOFISICA

41°c=3.6 trx escalonado VALORES AJUSTADOS POR GEOFISICA -ULTRASONIDO

147.5 PRK1

cota

N - S



238  
236  
234  
232  
230  
228  
226  
224  
222  
220  
218  
216  
214  
212  
210  
208  
206  
204  
202  
200  
198  
196  
194  
192  
190  
188  
186  
184  
182  
180  
178  
176  
174  
172  
170  
168  
166  
164  
162  
160  
158  
156  
154  
152  
150  
148  
146  
144  
142  
140  
138  
136  
134  
132  
130  
128  
126  
124  
122  
120  
118  
116  
114  
112  
110  
108  
106  
104  
102  
100  
98  
96  
94  
92  
90  
88  
86  
84  
82  
80  
78  
76  
74  
72  
70  
68  
66  
64  
62  
60  
58  
56  
54  
52  
50  
48  
46  
44  
42  
40  
38  
36  
34  
32  
30  
28



cota

K19

228  
226  
224  
222  
220  
218  
216  
214  
212  
210  
208  
206  
204  
202  
200  
198  
196  
194  
192  
190  
188  
186  
184  
182  
180  
178  
176  
174  
172  
170  
168  
166  
164  
162  
160  
158  
156  
154  
152  
150  
148  
146  
144  
142  
140  
138  
136  
134  
132  
130  
128  
126  
124  
122  
120  
118  
116  
114  
112  
110  
108  
106  
104  
102  
100  
98  
96  
94  
92  
90  
88  
86  
84  
82  
80

PRK15

186.1

K18

137.58

CI22

25°c = 3.2

108

133

36 0.1

66

60

98

90

198  
196  
194  
192  
190  
188  
186  
184  
182  
180  
178  
176  
174  
172  
170  
168  
166  
164  
162  
160  
158  
156  
154  
152  
150  
148  
146  
144  
142  
140  
138  
136  
134  
132  
130  
128  
126  
124  
122  
120  
118  
116  
114  
112  
110  
108  
106  
104  
102  
100  
98  
96  
94  
92  
90  
88  
86  
84  
82  
80

## RÁPIDA DEL VERTEDERO

## Estrato Inferior

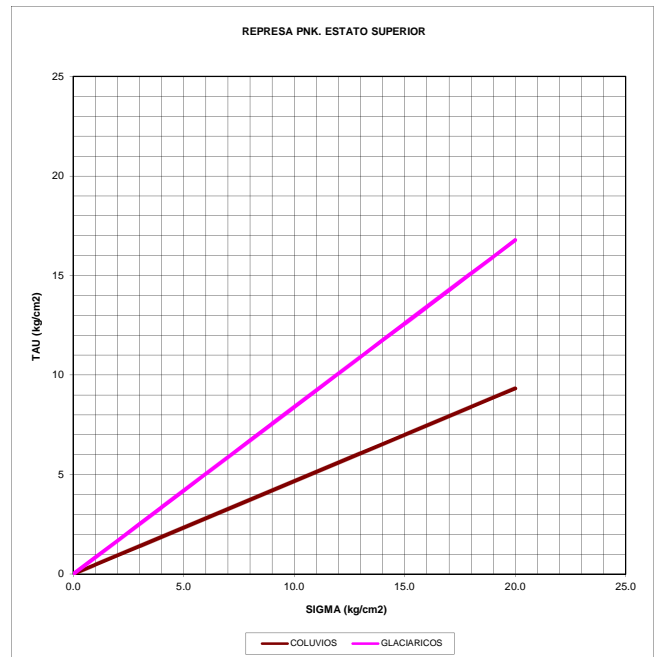
en funcion de ondas de corte

profundidad	Velocidad Vp	Velocidad Vs	Sigma v	Vs1	Densidad Rel
10	450	260.0	200	219	100
15	450	260.0	300	198	100
20	1400	808.0	400	571	100
25	1400	808.0	500	540	100
30	1400	808.0	600	516	100

### FORMULA PARAMETROS

PHI	25	40
C	0	0

TENSIONES	COLUVIOS	GLACIARICOS
0	0.00	0.00
1	0.47	0.84
2	0.93	1.68
3	1.40	2.52
4	1.87	3.36
5	2.33	4.20
6	2.80	5.03
7	3.26	5.87
8	3.73	6.71
9	4.20	7.55
10	4.66	8.39
11	5.13	9.23
12	5.60	10.07
13	6.06	10.91
14	6.53	11.75
15	6.99	12.59
16	7.46	13.43
17	7.93	14.26
18	8.39	15.10
19	8.86	15.94
20	9.33	16.78



# RÁPIDA DEL VERTEDERO

**Estrato Inferior**

$\sigma_3$  : de 0.5 a 0.7 MPa

Espesor: 30 m

**Muestras agrupadas según la litología: valores  $\varphi$  y  $c$**

ARENISCA GRIS OSCURA				
Sondeo	Muestra	$\sigma_3$ MPa	$\varphi$ (°)	$c$ MPa
A	PRK 03 bis NK 17	0.7	43	0.18

ARENISCA ARCILLOSA VERDOSA				
Sondeo	Muestra	$\sigma_3$ MPa	$\varphi$ (°)	$c$ MPa
B	K 02	0.7	49	0.43
C	K 03	0.5	46	0.29
D	K 15	0.7	41	0.47

PELITA VERDOSA				
Sondeo	Muestra	$\sigma_3$ MPa	$\varphi$ (°)	$c$ MPa
E	K 15	0.5	33	0.31
F	PRK 03 bis NK 13	0.5	46	0.37
G	PRK 03 bis NK 14	0.5	39	0.44
H	PRK 03 bis NK 15 E1	0.5	39	0.23
I	PRK 03 bis NK 15 E2	0.5	52	0.34
J	PRK 03 bis NK 15 E2 r	0.5	43	0.32
K	PRK 03 bis NK 18 E1	0.5	36	0.21
L	PRK 03 bis NK 18 2	0.5	48	0.32
M	PRK 03 bis NK 20 E1	0.5	46	0.32
N	PRK 03 bis NK 20 E2	0.5	41	0.23
O	PRK 03 bis NK 21	0.5	44	0.29

TOBA				
Sondeo	Muestra	$\sigma_3$ MPa	$\varphi$ (°)	$c$ MPa
P	K 18	0.5	31	0.27
Q	PRK 03 bis NK 22	0.5	40	0.22
R	PRK 07 bis NK 26	0.5	37	0.22
	Cl 10	0.8	25	0.13

GLOBAL		
$\varphi$ (°)	$c$ MPa	
30	0.3	

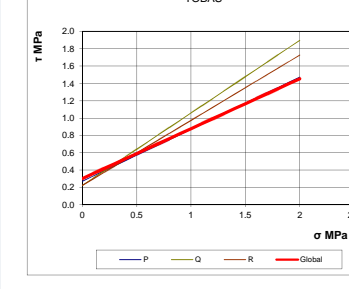
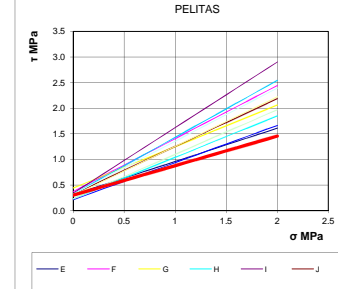
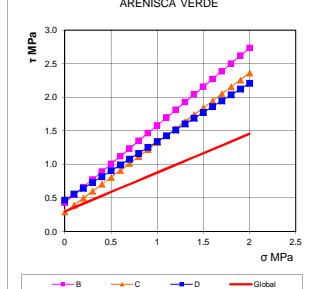
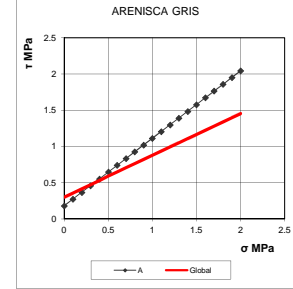
**Envolturas de rotura en función de los esfuerzos normal,  $\sigma$  y tangencial,  $\tau$  para cada tipo litológico**

ARENISCA GRIS OSCURA		
$\sigma$	$\tau_E$	$\tau_G$
0	0.18	0.30
0.1	0.27	0.36
0.2	0.37	0.42
0.3	0.46	0.47
0.4	0.55	0.53
0.5	0.65	0.59
0.6	0.74	0.65
0.7	0.83	0.70
0.8	0.93	0.76
0.9	1.02	0.82
1	1.11	0.88
1.1	1.21	0.94
1.2	1.30	0.99
1.3	1.39	1.05
1.4	1.49	1.11
1.5	1.58	1.17
1.6	1.67	1.22
1.7	1.77	1.28
1.8	1.86	1.34
1.9	1.95	1.40
2	2.05	1.45

ARENISCA ARCILLOSA VERDOSA					
$\sigma$	$\tau_E$	$\tau_F$	$\tau_G$	$\tau_H$	$\tau_G$
0	0.43	0.29	0.47	0.40	0.30
0.1	0.55	0.39	0.56	0.50	0.36
0.2	0.66	0.50	0.64	0.60	0.42
0.3	0.78	0.60	0.73	0.70	0.47
0.4	0.89	0.70	0.82	0.80	0.53
0.5	1.01	0.81	0.90	0.91	0.59
0.6	1.12	0.91	0.99	0.99	0.65
0.7	1.24	1.01	1.08	1.11	0.70
0.8	1.35	1.12	1.17	1.21	0.76
0.9	1.47	1.22	1.25	1.31	0.82
1	1.58	1.33	1.34	1.42	0.88
1.1	1.70	1.43	1.43	1.52	0.94
1.2	1.81	1.53	1.51	1.62	0.99
1.3	1.93	1.64	1.60	1.72	1.05
1.4	2.04	1.74	1.69	1.82	1.11
1.5	2.16	1.84	1.77	1.92	1.17
1.6	2.27	1.95	1.86	2.03	1.22
1.7	2.39	2.05	1.95	2.13	1.28
1.8	2.50	2.15	2.03	2.23	1.34
1.9	2.62	2.26	2.12	2.33	1.40
2	2.73	2.36	2.21	2.43	1.45

PELITA VERDOSA														
$\sigma$	$\tau_E$	$\tau_F$	$\tau_G$	$\tau_H$	$\tau_I$	$\tau_J$	$\tau_K$	$\tau_L$	$\tau_M$	$\tau_N$	$\tau_O$	$\tau_{Promedio}$	$\tau_G$	
0	0.31	0.37	0.44	0.23	0.34	0.32	0.21	0.32	0.32	0.23	0.29	0.31	0.30	
0.1	0.37	0.47	0.52	0.31	0.47	0.41	0.28	0.43	0.42	0.32	0.39	0.40	0.36	
0.2	0.44	0.58	0.60	0.39	0.60	0.51	0.36	0.54	0.53	0.40	0.48	0.49	0.42	
0.3	0.50	0.68	0.68	0.47	0.72	0.60	0.43	0.65	0.63	0.49	0.58	0.59	0.47	
0.4	0.57	0.78	0.76	0.55	0.85	0.69	0.50	0.76	0.73	0.58	0.68	0.68	0.53	
0.5	0.63	0.89	0.84	0.63	0.98	0.79	0.57	0.88	0.84	0.66	0.77	0.77	0.59	
0.6	0.70	0.99	0.93	0.72	1.11	0.89	0.65	0.99	0.94	0.75	0.87	0.86	0.65	
0.7	0.76	1.09	1.01	0.80	1.24	0.97	0.72	1.10	1.04	0.84	0.97	0.96	0.70	
0.8	0.83	1.20	1.09	0.88	1.36	1.07	0.79	1.21	1.15	0.93	1.06	1.05	0.76	
0.9	0.89	1.30	1.17	0.96	1.49	1.16	0.86	1.32	1.25	1.01	1.16	1.14	0.82	
1	0.96	1.41	1.25	1.04	1.62	1.25	0.94	1.43	1.36	1.10	1.26	1.24	0.88	
1.1	1.02	1.51	1.33	1.12	1.75	1.35	1.01	1.54	1.46	1.19	1.35	1.33	0.94	
1.2	1.09	1.61	1.41	1.20	1.88	1.44	1.08	1.65	1.56	1.27	1.45	1.42	0.99	
1.3	1.15	1.72	1.49	1.28	2.00	1.53	1.15	1.76	1.67	1.36	1.55	1.52	1.05	
1.4	1.22	1.82	1.57	1.36	2.13	1.63	1.23	1.87	1.77	1.45	1.64	1.61	1.11	
1.5	1.28	1.92	1.65	1.44	2.26	1.72	1.30	1.99	1.87	1.53	1.74	1.70	1.17	
1.6	1.35	2.03	1.74	1.53	2.39	1.81	1.37	2.10	1.98	1.62	1.84	1.79	1.22	
1.7	1.41	2.13	1.82	1.61	2.52	1.91	1.45	2.21	2.08	1.71	1.93	1.89	1.28	
1.8	1.49	2.23	1.90	1.69	2.64	2.00	1.52	2.32	2.18	1.79	2.03	1.98	1.34	
1.9	1.54	2.34	1.98	1.77	2.77	2.09	1.59	2.43	2.29	1.88	2.12	2.07	1.40	
2	1.61	2.44	2.06	1.85	2.90	2.19	1.66	2.54	2.39	1.97	2.22	2.17	1.45	

TOBA					
$\sigma$	$\tau_P$	$\tau_Q$	$\tau_R$	$\tau_{Promedio}$	$\tau_G$
0	0.27	0.22	0.22	0.24	0.30
0.1	0.33	0.30	0.30	0.31	0.36
0.2	0.39	0.39	0.37	0.38	0.42
0.3	0.45	0.47	0.45	0.46	0.47
0.4	0.51	0.56	0.52	0.53	0.53
0.5	0.57	0.64	0.60	0.60	0.59
0.6	0.63	0.72	0.67	0.68	0.65
0.7	0.69	0.81	0.75	0.75	0.70
0.8	0.75	0.89	0.82	0.82	0.76
0.9	0.81	0.98	0.90	0.89	0.82
1	0.87	1.06	0.97	0.97	0.88
1.1	0.93	1.14	1.05	1.04	0.94
1.2	0.99	1.23	1.12	1.11	0.99
1.3	1.05	1.31	1.20	1.19	1.05
1.4	1.11	1.39	1.27	1.26	1.11
1.5	1.17	1.48	1.35	1.33	1.17
1.6	1.23	1.56	1.43	1.41	1.22
1.7	1.29	1.65	1.50	1.48	1.28
1.8	1.35	1.73	1.58	1.55	1.34
1.9	1.41	1.81	1.65	1.63	1.40
2	1.47	1.90	1.73	1.70	1.45



**Obtención de  $\varphi$  y  $c$  promedios para cada tipo litológico**

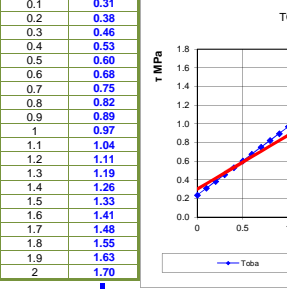
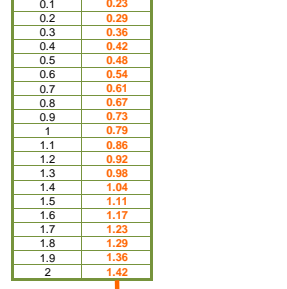
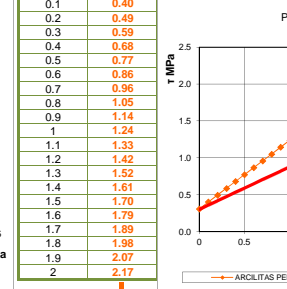
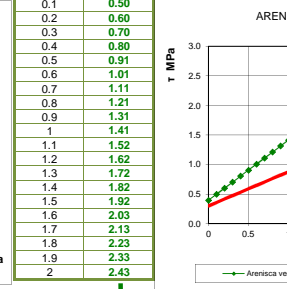
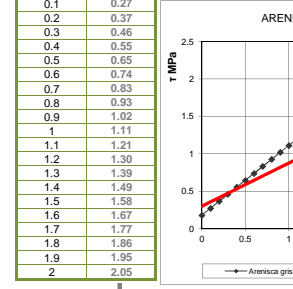
PARAMÉTRROS ARENISCA GRIS OSCURA			
$\sigma$	$\tau_{Promedio}$	$c$	$\varphi$
0	0.18	0.18	43

PARAMÉTRROS ARENISCA VERDOSA			
$\sigma$	$\tau_{Promedio}$	$c$	$\varphi$
0	0.40	0.397	45.51

PARAMÉTRROS PELITA VERDOSA			
$\sigma$	$\tau_{Promedio}$	$c$	$\varphi$
0	0.31	0.307	42.9

PARAMÉTRROS PELITA VERDOSA ALTERADA			
$\sigma$	$\tau_{Promedio}$	$c$	$\varphi$
0	0.17	0.17	32

PARAMÉTRROS TOBA			
$\sigma$	$\tau_{Promedio}$	$c$	$\varphi$
0	0.24	0.237	36.17



**Estrato superior: ponderación**

Litologías del estrato superior	Espesor	
	%	m
Pelitas	43	13
Pelitas alterada	33	10
Arenisca verdosa	7	2
Arenisca gris	7	2
Toba	10	3
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>30</b>

$\tau$ representativo de cada litología				
Arenisca gris	Arenisca verdosa	Pelita	Pelita alterada	Toba
$\tau_{Promedio}$	$\tau_{Promedio}$	$\tau_{Promedio}$	$\tau_{Promedio}$	$\tau_{Promedio}$
0.18	0.40	0.31	0.17	0.24
0.27	0.50	0.40	0.23	0.31
0.37	0.60	0.49	0.29	0.38
0.46	0.70	0.59	0.36	0.46
0.55	0.80	0.68	0.42	0.53
0.65	0.91	0.77	0.48	0.60
0.74	1.01	0.86	0.54	0.68
0.83	1.11	0.96	0.61	0.75
0.93	1.21	1.05	0.67	0.82
1.02	1.31	1.14	0.73	0.89
1.11	1.41	1.24	0.79	0.97
1.21	1.52	1.33	0.86	1.04
1.30	1.62	1.42	0.92	1.11
1.39	1.72	1.52	0.98	1.19
1.49	1.82	1.61	1.04	1.26
1.58	1.92	1.70	1.11	1.33
1.67	2.03	1.79	1.17	1.41
1.77	2.13	1.89	1.23	1.48
1.86	2.23	1.98	1.29	1.55
1.95	2.33	2.07	1.36	1.63
2.05	2.43	2.17	1.42	1.70

Valor de $\tau$ según el espesor de cada litología ( $\tau_{Promedio} \times \text{espesor}$ )				
Arenisca gris	Arenisca verdosa	Pelita	Pelita alterada	Toba alterada
$\tau_{Promedio} \times e$	$\tau_{Promedio} \times e$	$\tau_{Promedio} \times e$	$\tau_{Promedio} \times e$	$\tau_{Promedio} \times e$
0.36	0.79	3.99	1.70	0.71
0.55	1.00	5.20	2.32	0.93
0.73	1.20	6.41	2.95	1.15
0.92	1.40	7.62	3.57	1.37
1.11	1.61	8.82	4.20	1.59
1.29	1.81	10.03	4.82	1.81
1.48	2.02	11.24	5.45	2.03
1.67	2.22	12.45	6.07	2.25
1.85	2.42</			

**RÁPIDA DEL VERTEDERO**

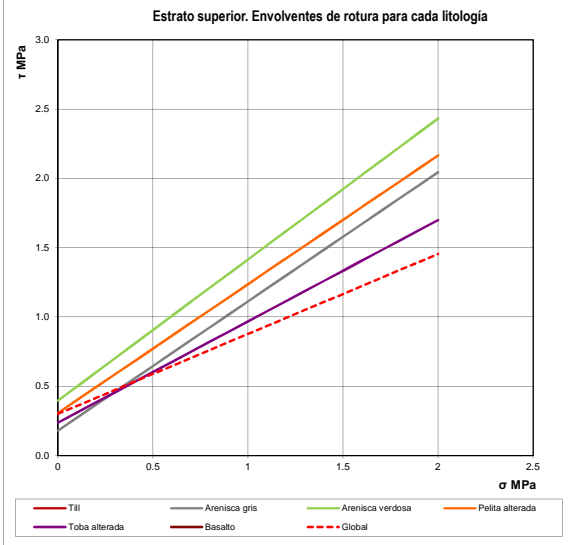
**Parámetros finales**

**Parámetros del estrato superior**

ESTRATO INFERIOR PROMEDIO DE ENSAYOS PARA CADA LITOLOGÍA			
	Coluvios	Glaciáricos	Global
$\sigma$	$\tau_{promedio}$	$\tau_{promedio}$	$\tau_G$
MPa	MPa	MPa	MPa
0	0.00	0.00	0.30
0.1	0.05	0.08	0.36
0.2	0.09	0.17	0.42
0.3	0.14	0.25	0.47
0.4	0.19	0.34	0.53
0.5	0.23	0.42	0.59
0.6	0.28	0.50	0.65
0.7	0.33	0.59	0.70
0.8	0.37	0.67	0.76
0.9	0.42	0.76	0.82
1	0.47	0.84	0.88
1.1	0.51	0.92	0.94
1.2	0.56	1.01	0.99
1.3	0.61	1.09	1.05
1.4	0.65	1.17	1.11
1.5	0.70	1.26	1.17
1.6	0.75	1.34	1.22
1.7	0.79	1.43	1.28
1.8	0.84	1.51	1.34
1.9	0.89	1.59	1.40
2	0.93	1.68	1.45
$\phi$	25.0	40.0	30.0
$c$	0.00	0.00	0.30

**Parámetros del estrato inferior:  $\sigma_3$  de 0.5 a 0.7 MPa**

ESTRATO INFERIOR PROMEDIO DE ENSAYOS PARA CADA LITOLOGÍA						
	Arenisca gris	Arenisca verdosa	Pelita	Pelita alterada	Toba	Global
$\sigma$	$\tau_{promedio}$	$\tau_{promedio}$	$\tau_{promedio}$	$\tau_{promedio}$	$\tau_{promedio}$	$\tau_G$
MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
0	0.18	0.40	0.31	0.31	0.24	0.30
0.1	0.27	0.50	0.40	0.40	0.31	0.36
0.2	0.37	0.60	0.49	0.49	0.38	0.42
0.3	0.46	0.70	0.59	0.59	0.46	0.47
0.4	0.55	0.80	0.68	0.68	0.53	0.53
0.5	0.65	0.91	0.77	0.77	0.60	0.59
0.6	0.74	1.01	0.86	0.86	0.68	0.65
0.7	0.83	1.11	0.96	0.96	0.75	0.70
0.8	0.93	1.21	1.05	1.05	0.82	0.76
0.9	1.02	1.31	1.14	1.14	0.89	0.82
1	1.11	1.41	1.24	1.24	0.97	0.88
1.1	1.21	1.52	1.33	1.33	1.04	0.94
1.2	1.30	1.62	1.42	1.42	1.11	0.99
1.3	1.39	1.72	1.52	1.52	1.19	1.05
1.4	1.49	1.82	1.61	1.61	1.26	1.11
1.5	1.58	1.92	1.70	1.70	1.33	1.17
1.6	1.67	2.03	1.79	1.79	1.41	1.22
1.7	1.77	2.13	1.89	1.89	1.48	1.28
1.8	1.86	2.23	1.98	1.98	1.55	1.34
1.9	1.95	2.33	2.07	2.07	1.63	1.40
2	2.05	2.43	2.17	2.17	1.70	1.45
$\phi$	43.0	45.5	42.9	32.0	36.2	30.0
$c$	0.18	0.40	0.31	0.17	0.24	0.30



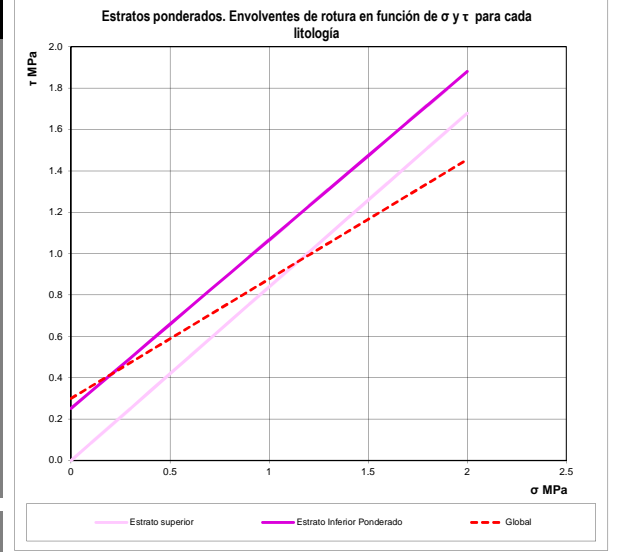
Litologías del estrato superior	Espesor	
	%	m
Pelitas	43	13
Pelitas alteradas	33	10
Arenisca verdosa	7	2
Arenisca gris	7	2
Toba	10	3
Total	100	30


Ponderación

Estrato inferior ponderado	
$\sigma$	$\tau_{ponderado}$
MPa	MPa
0	0.25
0.1	0.33
0.2	0.41
0.3	0.50
0.4	0.58
0.5	0.66
0.6	0.74
0.7	0.82
0.8	0.90
0.9	0.98
1	1.07
1.1	1.15
1.2	1.23
1.3	1.31
1.4	1.39
1.5	1.47
1.6	1.55
1.7	1.64
1.8	1.72
1.9	1.80
2	1.88

**Parámetros de los estratos ponderados**

RÁPIDA DEL VERTEDERO: ESTRATOS PONDERADOS			
	Estrato Superior	Estrato Inferior Ponderado	Global
$\sigma$	$\tau_{ponderado}$	$\tau_{ponderado}$	$\tau_G$
MPa	MPa	MPa	MPa
0	0.00	0.25	0.30
0.1	0.08	0.33	0.36
0.2	0.17	0.41	0.42
0.3	0.25	0.50	0.47
0.4	0.34	0.58	0.53
0.5	0.42	0.66	0.59
0.6	0.50	0.74	0.65
0.7	0.59	0.82	0.70
0.8	0.67	0.90	0.76
0.9	0.76	0.98	0.82
1	0.84	1.07	0.88
1.1	0.92	1.15	0.94
1.2	1.01	1.23	0.99
1.3	1.09	1.31	1.05
1.4	1.17	1.39	1.11
1.5	1.26	1.47	1.17
1.6	1.34	1.55	1.22
1.7	1.43	1.64	1.28
1.8	1.51	1.72	1.34
1.9	1.59	1.80	1.40
2	1.68	1.88	1.45
$\phi$	40.0	39.1	35.0
$c$	0.00	0.25	0.00



	<p>MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA</p> <p>SECRETARIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA</p> <p>SUBSECRETARIA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 10-07-16</p> <p>Página: 25 de 40</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>NK-A.CV-MT.GT-(VE-00-00)-P903</p>

## ANEXO 2 – NK ANÁLISIS GEOTÉCNICO PERFIL CUENCO AMORTIGUADOR

ENSAYOS DE LABORATORIO DE CAMPAÑA 2006-2015

CI1 PERFORACION POR EL EJE 2007 33 kg/cm2 Resistencia a compresion simple  
 PRK 02 PERFORACION CAMPAÑA 2015 33.5°c=28.5 Resistencia a compresion triaxial  
 CDC PROY PERFORACION PROYECTADA 2007

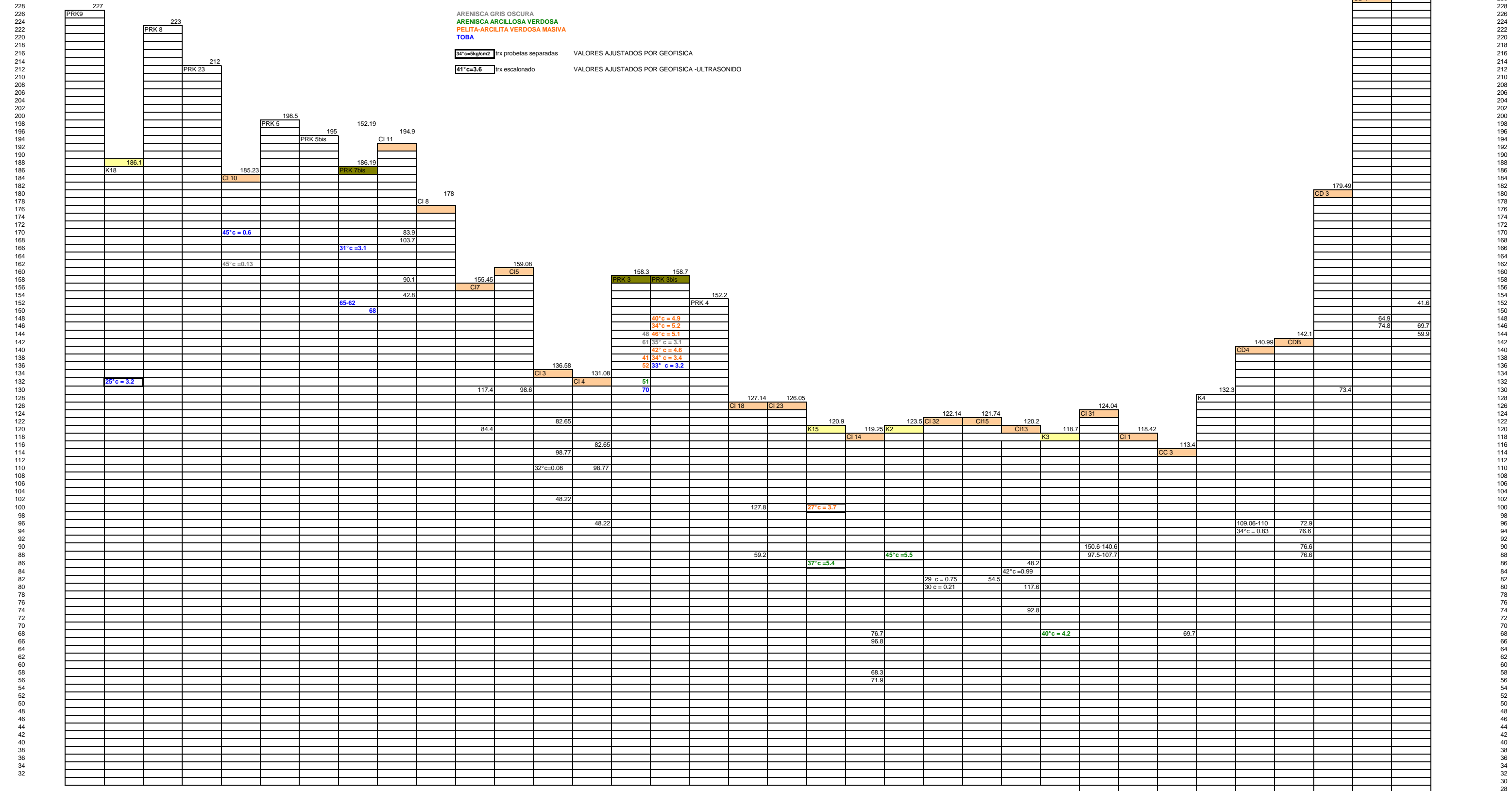
ARENISCA GRIS OSCURA  
 ARENISCA ARCILLOSA VERDOSA  
 PELITA-ARCILITA VERDOSA MASIVA  
 TOBA

34°c=5kg/cm2 trx probetas separadas VALORES AJUSTADOS POR GEOFISICA  
 41°c=3.6 trx escalonado VALORES AJUSTADOS POR GEOFISICA -ULTRASONIDO

147.5 PRK1

cota

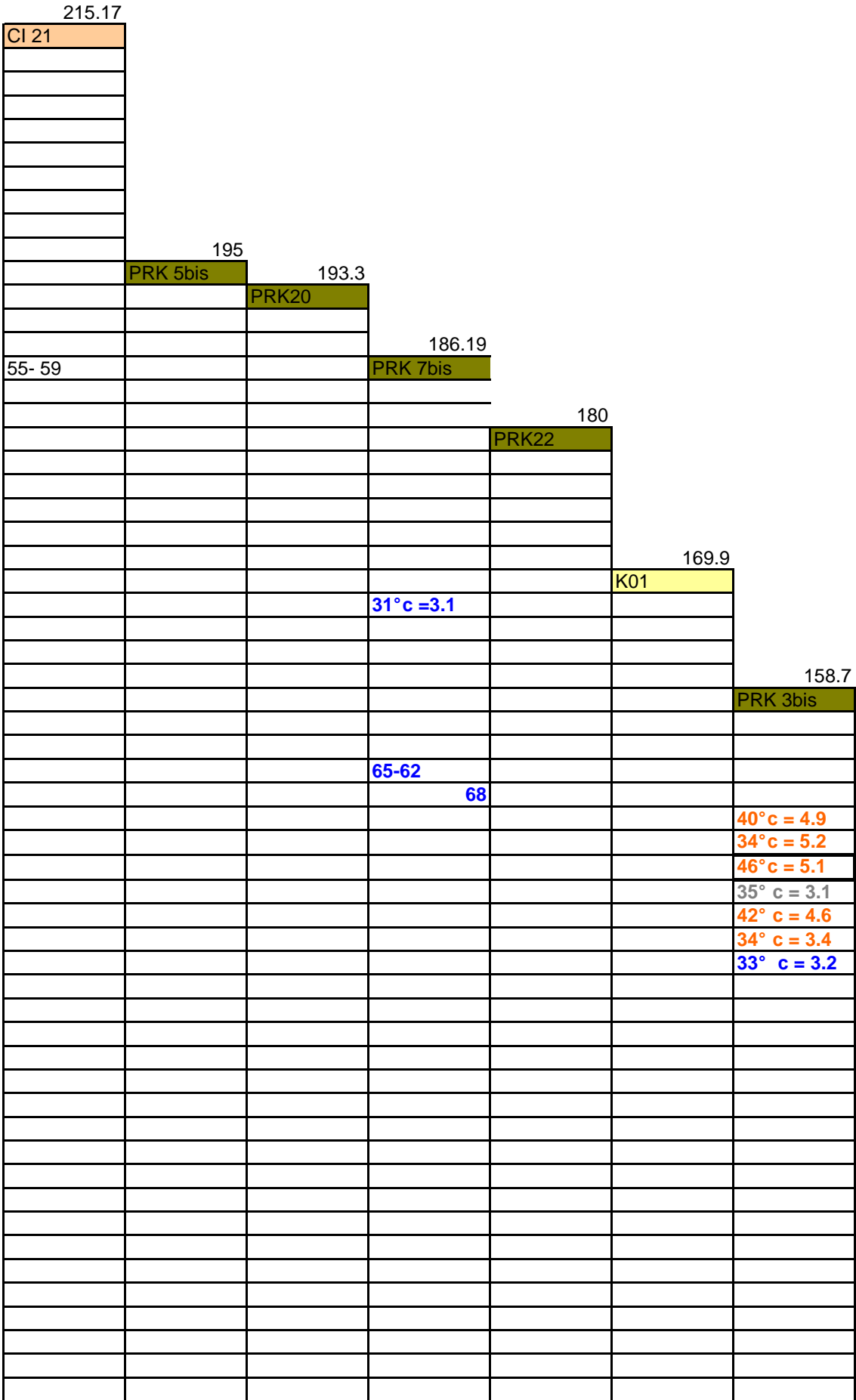
N - S



228  
226  
224  
222  
220  
218  
216  
214  
212  
210  
208  
206  
204  
202  
198  
196  
194  
192  
190  
188  
186  
184  
182  
180  
178  
176  
174  
172  
170  
168  
166  
164  
162  
160  
158  
156  
154  
152  
150  
148  
146  
144  
142  
140  
138  
136  
134  
132  
130  
128  
126  
124  
122  
120  
118  
116  
114  
112  
110  
108  
106  
104  
102  
100  
98  
96  
94  
92  
90  
88  
86  
84  
82  
80  
78  
76  
74  
72  
70  
68  
66  
64  
62  
60  
58  
56  
54  
52  
50  
48  
46  
44  
42  
40  
38  
36  
34  
32

238  
236  
234  
232  
230  
228  
226  
224  
222  
220  
218  
216  
214  
212  
210  
208  
206  
204  
202  
198  
196  
194  
192  
190  
188  
186  
184  
182  
180  
178  
176  
174  
172  
170  
168  
166  
164  
162  
160  
158  
156  
154  
152  
150  
148  
146  
144  
142  
140  
138  
136  
134  
132  
130  
128  
126  
124  
122  
120  
118  
116  
114  
112  
110  
108  
106  
104  
102  
100  
98  
96  
94  
92  
90  
88  
86  
84  
82  
80  
78  
76  
74  
72  
70  
68  
66  
64  
62  
60  
58  
56  
54  
52  
50  
48  
46  
44  
42  
40  
38  
36  
34  
32  
30  
28

228  
226  
224  
222  
220  
218  
216  
214  
212  
210  
208  
206  
204  
202  
200  
198  
196  
194  
192  
190  
188  
186  
184  
182  
180  
178  
176  
174  
172  
170  
168  
166  
164  
162  
160  
158  
156  
154  
152  
150  
148  
146  
144  
142  
140  
138  
136  
134  
132  
130  
128  
126  
124  
122  
120  
118  
116  
114  
112  
110  
108  
106  
104  
102  
100



198  
196  
194  
192  
190  
188  
186  
184  
182  
180  
178  
176  
174  
172  
170  
168  
166  
164  
162  
160  
158  
156  
154  
152  
150  
148  
146  
144  
142  
140  
138  
136  
134  
132  
130  
128  
126  
124  
122  
120  
118  
116  
114  
112  
110  
108  
106  
104  
102  
100

## CUENCO DISIPADOR

## Estrato Inferior

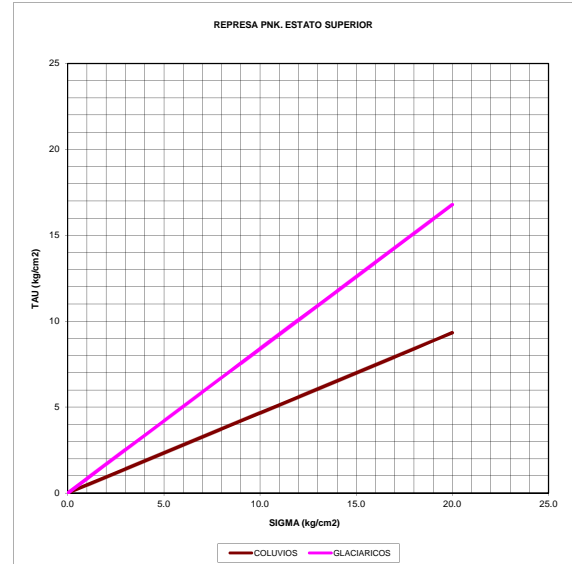
en funcion de ondas de corte

profundidad	Velocidad Vp	Velocidad Vs	Sigma v	Vs1	Densidad Rel
10	450	260.0	200	219	100
15	450	260.0	300	198	100
20	1400	808.0	400	571	100
25	1400	808.0	500	540	100
30	1400	808.0	600	516	100

### FORMULA PARAMETROS

PHI	25	40
C	0	0

TENSIONES	COLUVIOS	GLACIARICOS
0	0.00	0.00
1	0.47	0.84
2	0.93	1.68
3	1.40	2.52
4	1.87	3.36
5	2.33	4.20
6	2.80	5.03
7	3.26	5.87
8	3.73	6.71
9	4.20	7.55
10	4.66	8.39
11	5.13	9.23
12	5.60	10.07
13	6.06	10.91
14	6.53	11.75
15	6.99	12.59
16	7.46	13.43
17	7.93	14.26
18	8.39	15.10
19	8.86	15.94
20	9.33	16.78





**CUENCO DISIPADOR**

**Estrato Inferior**

$\sigma_3$ : de 0.5 a 0.7 MPa  
Espesor: 30 m

Muestras agrupadas según la litología: valores  $\phi$  y  $c$

ARENISCA GRIS OSCURA					
Sondeo	Muestra	$\sigma_3$ MPa	$\phi$ (°)	$c$ MPa	
A	PRK 03 bis	NK 17	0.7	43	0.18

ARENISCA ARCILLOSA VERDOSA				
Sondeo	$\sigma_3$ MPa	$\phi$ (°)	$c$ MPa	
B	K 02	0.7	49	0.43
C	K 03	0.5	46	0.29
D	K 15	0.7	41	0.47

PELITA VERDOSA					
Sondeo	Muestra	$\sigma_3$ MPa	$\phi$ (°)	$c$ MPa	
E	K 15	0.5	33	0.31	
F	PRK 03 bis	NK 13	0.5	46	0.37
G	PRK 03 bis	NK 14	0.5	39	0.44
H	PRK 03 bis	NK 15 E1	0.5	39	0.23
I	PRK 03 bis	NK 15 E2	0.5	52	0.34
J	PRK 03 bis	NK 15 E2 r	0.5	43	0.32
K	PRK 03 bis	NK 18 E1	0.5	36	0.21
L	PRK 03 bis	NK 18 E 2	0.5	48	0.32
M	PRK 03 bis	NK 20 E1	0.5	46	0.32
N	PRK 03 bis	NK 20 E2	0.5	41	0.23
O	PRK 03 bis	NK 21	0.5	44	0.29

TOBA					
Sondeo	Muestra	$\sigma_3$ MPa	$\phi$ (°)	$c$ MPa	
P	K 18	0.5	31	0.27	
Q	PRK 03 bis	NK 22	0.5	40	0.22
R	PRK 07 bis	NK 26	0.5	37	0.22
	Cl 10	0.8	25	0.13	

GLOBAL	
$\phi$ (°)	$c$ MPa
30	0.3

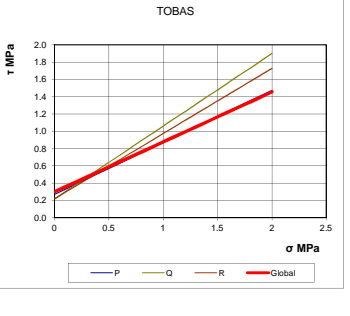
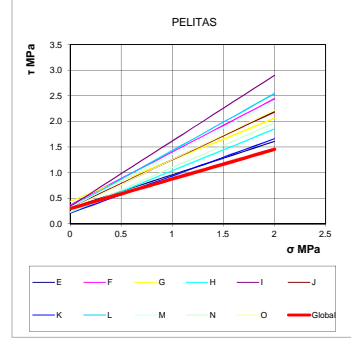
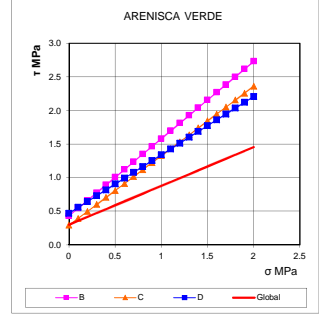
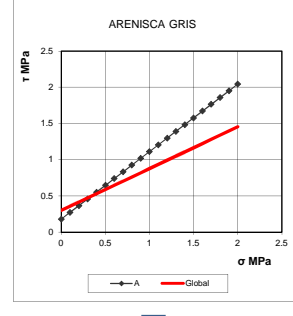
Envoltorios de rotura en función de los esfuerzos normal,  $\sigma$  y tangencial,  $\tau$  para cada tipo litológico

ARENISCA GRIS OSCURA			
$\sigma$	$\tau_H$	$\tau_V$	$\tau_G$
0	0.18	0.30	
0.1	0.27	0.36	
0.2	0.37	0.42	
0.3	0.46	0.47	
0.4	0.55	0.53	
0.5	0.65	0.59	
0.6	0.74	0.65	
0.7	0.83	0.70	
0.8	0.93	0.76	
0.9	1.02	0.82	
1	1.11	0.88	
1.1	1.21	0.94	
1.2	1.30	0.99	
1.3	1.39	1.05	
1.4	1.49	1.11	
1.5	1.58	1.17	
1.6	1.67	1.22	
1.7	1.77	1.28	
1.8	1.86	1.34	
1.9	1.95	1.40	
2	2.05	1.45	

ARENISCA ARCILLOSA VERDOSA					
$\sigma$	$\tau_H$	$\tau_V$	$\tau_G$	$\tau_{Promedio}$	$\tau_G$
0	0.43	0.29	0.47	0.40	0.30
0.1	0.55	0.39	0.56	0.50	0.36
0.2	0.66	0.50	0.64	0.60	0.42
0.3	0.78	0.60	0.73	0.70	0.47
0.4	0.89	0.70	0.82	0.80	0.53
0.5	1.01	0.81	0.90	0.91	0.59
0.6	1.12	0.91	0.99	1.01	0.65
0.7	1.24	1.01	1.08	1.11	0.70
0.8	1.35	1.12	1.17	1.21	0.76
0.9	1.47	1.22	1.25	1.31	0.82
1	1.58	1.33	1.34	1.42	0.88
1.1	1.70	1.43	1.43	1.52	0.94
1.2	1.81	1.53	1.51	1.62	0.99
1.3	1.93	1.64	1.60	1.72	1.05
1.4	2.04	1.74	1.69	1.82	1.11
1.5	2.16	1.84	1.77	1.92	1.17
1.6	2.27	1.95	1.86	2.03	1.22
1.7	2.39	2.05	1.95	2.13	1.28
1.8	2.50	2.15	2.03	2.23	1.34
1.9	2.62	2.26	2.12	2.33	1.40
2	2.73	2.36	2.21	2.43	1.45

PELITA VERDOSA													
$\sigma$	$\tau_H$	$\tau_V$	$\tau_G$	$\tau_H$	$\tau_V$	$\tau_G$	$\tau_H$	$\tau_V$	$\tau_G$	$\tau_{Promedio}$	$\tau_G$		
0	0.31	0.37	0.44	0.23	0.34	0.32	0.21	0.32	0.32	0.23	0.29	0.31	0.30
0.1	0.37	0.47	0.52	0.31	0.47	0.41	0.28	0.43	0.42	0.32	0.39	0.40	0.36
0.2	0.44	0.58	0.60	0.39	0.60	0.51	0.36	0.54	0.53	0.40	0.48	0.49	0.42
0.3	0.50	0.68	0.68	0.47	0.72	0.60	0.43	0.65	0.63	0.49	0.58	0.59	0.47
0.4	0.57	0.78	0.76	0.55	0.85	0.69	0.50	0.76	0.73	0.58	0.68	0.68	0.53
0.5	0.63	0.89	0.84	0.63	0.98	0.86	0.57	0.88	0.84	0.66	0.77	0.77	0.59
0.6	0.70	0.99	0.93	0.72	1.11	0.98	0.65	0.99	0.94	0.75	0.87	0.86	0.65
0.7	0.76	1.09	1.01	0.80	1.24	0.97	0.72	1.10	1.04	0.84	0.97	0.96	0.70
0.8	0.83	1.20	1.09	0.88	1.36	1.07	0.79	1.21	1.15	0.93	1.06	1.05	0.76
0.9	0.89	1.30	1.17	0.96	1.49	1.16	0.86	1.32	1.25	1.01	1.16	1.14	0.82
1	0.96	1.41	1.25	1.04	1.62	1.25	0.94	1.43	1.36	1.10	1.26	1.24	0.88
1.1	1.02	1.51	1.33	1.12	1.75	1.35	1.01	1.54	1.46	1.19	1.36	1.33	0.94
1.2	1.09	1.61	1.41	1.20	1.88	1.44	1.08	1.65	1.56	1.27	1.45	1.42	0.99
1.3	1.15	1.72	1.49	1.28	2.00	1.53	1.15	1.76	1.67	1.36	1.55	1.52	1.05
1.4	1.22	1.82	1.57	1.36	2.13	1.63	1.23	1.87	1.77	1.45	1.64	1.61	1.11
1.5	1.28	1.92	1.65	1.44	2.26	1.72	1.30	1.99	1.87	1.53	1.74	1.70	1.17
1.6	1.35	2.03	1.74	1.53	2.39	1.81	1.37	2.10	1.98	1.62	1.84	1.79	1.22
1.7	1.41	2.13	1.82	1.61	2.52	1.91	1.45	2.21	2.08	1.71	1.93	1.89	1.28
1.8	1.48	2.23	1.90	1.69	2.64	2.00	1.52	2.32	2.18	1.79	2.03	1.98	1.34
1.9	1.54	2.34	1.98	1.77	2.77	2.09	1.59	2.43	2.29	1.88	2.12	2.07	1.40
2	1.61	2.44	2.06	1.85	2.90	2.19	1.66	2.54	2.39	1.97	2.22	2.17	1.45

TOBA				
$\sigma$	$\tau_H$	$\tau_V$	$\tau_{Promedio}$	$\tau_G$
0	0.27	0.22	0.24	0.30
0.1	0.33	0.30	0.30	0.31
0.2	0.39	0.39	0.37	0.38
0.3	0.45	0.47	0.45	0.46
0.4	0.51	0.56	0.52	0.53
0.5	0.57	0.64	0.60	0.59
0.6	0.63	0.72	0.67	0.68
0.7	0.69	0.81	0.75	0.75
0.8	0.75	0.89	0.82	0.82
0.9	0.81	0.98	0.90	0.89
1	0.87	1.06	0.97	0.97
1.1	0.93	1.14	1.05	1.04
1.2	0.99	1.23	1.12	1.11
1.3	1.05	1.31	1.20	1.19
1.4	1.11	1.39	1.27	1.26
1.5	1.17	1.48	1.35	1.33
1.6	1.23	1.56	1.43	1.41
1.7	1.29	1.65	1.50	1.48
1.8	1.35	1.73	1.58	1.55
1.9	1.41	1.81	1.65	1.63
2	1.47	1.90	1.73	1.70



Obtención de  $\phi$  y  $c$  promedios para cada tipo litológico

PARAMETROS ARENISCA GRIS OSCURA			
$\sigma$	$\tau_{Promedio}$	$c$	$\phi$
0	0.18	0.18	43
0.1	0.27		
0.2	0.37		
0.3	0.46		
0.4	0.55		
0.5	0.65		
0.6	0.74		
0.7	0.83		
0.8	0.93		
0.9	1.02		
1	1.11		
1.1	1.21		
1.2	1.30		
1.3	1.39		
1.4	1.49		
1.5	1.58		
1.6	1.67		
1.7	1.77		
1.8	1.86		
1.9	1.95		
2	2.05		

PARAMETROS ARENISCA VERDOSA			
$\sigma$	$\tau_{Promedio}$	$c$	$\phi$
0	0.40	0.397	45.51
0.1	0.50		
0.2	0.60		
0.3	0.70		
0.4	0.80		
0.5	0.91		
0.6	1.01		
0.7	1.11		
0.8	1.21		
0.9	1.31		
1	1.41		
1.1	1.52		
1.2	1.62		
1.3	1.72		
1.4	1.82		
1.5	1.92		
1.6	2.03		
1.7	2.13		
1.8	2.23		
1.9	2.33		
2	2.43		

PARAMETROS PELITA VERDOSA			
$\sigma$	$\tau_{Promedio}$	$c$	$\phi$
0	0.31	0.307	42.9
0.1	0.40		
0.2	0.49		
0.3	0.59		
0.4	0.68		
0.5	0.77		
0.6	0.86		
0.7	0.95		
0.8	1.05		
0.9	1.14		
1	1.24		
1.1	1.33		
1.2	1.42		
1.3	1.52		
1.4	1.61		
1.5	1.70		
1.6	1.79		
1.7	1.89		
1.8	1.98		
1.9	2.07		
2	2.17		

PARAMETROS PELITA VERDOSA ALTERADA			
$\sigma$	$\tau_{Promedio}$	$c$	$\phi$

**CUENCO DISIPADOR**

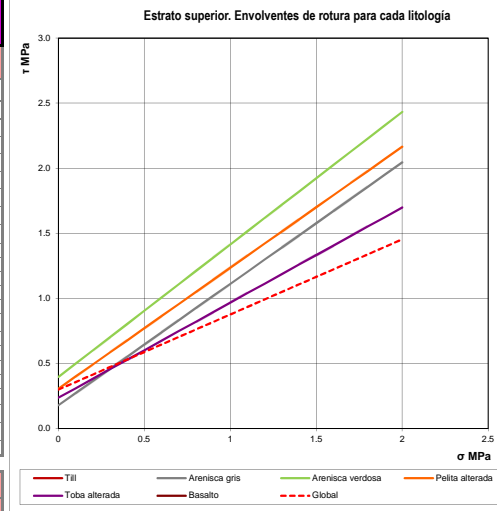
**Parámetros finales**

**Parámetros del estrato superior**

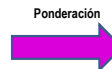
ESTRATO INFERIOR PROMEDIO DE ENSAYOS PARA CADA LITOLÓGIA			
	Coluvios	Glaciáricos	Global
$\sigma$	$\tau_{promedio}$	$\tau_{promedio}$	$\tau_G$
MPa	MPa	MPa	MPa
0	0.00	0.00	0.30
0.1	0.05	0.08	0.36
0.2	0.09	0.17	0.42
0.3	0.14	0.25	0.47
0.4	0.19	0.34	0.53
0.5	0.23	0.42	0.59
0.6	0.28	0.50	0.65
0.7	0.33	0.59	0.70
0.8	0.37	0.67	0.76
0.9	0.42	0.76	0.82
1	0.47	0.84	0.88
1.1	0.51	0.92	0.94
1.2	0.56	1.01	0.99
1.3	0.61	1.09	1.05
1.4	0.65	1.17	1.11
1.5	0.70	1.26	1.17
1.6	0.75	1.34	1.22
1.7	0.79	1.43	1.28
1.8	0.84	1.51	1.34
1.9	0.89	1.59	1.40
2	0.93	1.68	1.45
$\phi$	25.0	40.0	30.0
c	0.00	0.00	0.30

**Parámetros del estrato inferior:  $\sigma_3$  de 0.5 a 0.7 MPa**

ESTRATO INFERIOR PROMEDIO DE ENSAYOS PARA CADA LITOLÓGIA						
	Arenisca gris	Arenisca verdosa	Pelita	Pelita alterada	Toba	Global
$\sigma$	$\tau_{promedio}$	$\tau_{promedio}$	$\tau_{promedio}$	$\tau_{promedio}$	$\tau_{promedio}$	$\tau_G$
MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
0	0.18	0.40	0.31	0.31	0.24	0.30
0.1	0.27	0.50	0.40	0.40	0.31	0.36
0.2	0.37	0.60	0.49	0.49	0.38	0.42
0.3	0.46	0.70	0.59	0.59	0.46	0.47
0.4	0.55	0.80	0.68	0.68	0.53	0.53
0.5	0.65	0.91	0.77	0.77	0.60	0.59
0.6	0.74	1.01	0.86	0.86	0.68	0.65
0.7	0.83	1.11	0.96	0.96	0.75	0.70
0.8	0.93	1.21	1.05	1.05	0.82	0.76
0.9	1.02	1.31	1.14	1.14	0.89	0.82
1	1.11	1.41	1.24	1.24	0.97	0.88
1.1	1.21	1.52	1.33	1.33	1.04	0.94
1.2	1.30	1.62	1.42	1.42	1.11	0.99
1.3	1.39	1.72	1.52	1.52	1.19	1.05
1.4	1.49	1.82	1.61	1.61	1.26	1.11
1.5	1.58	1.92	1.70	1.70	1.33	1.17
1.6	1.67	2.03	1.79	1.79	1.41	1.22
1.7	1.77	2.13	1.89	1.89	1.48	1.28
1.8	1.86	2.23	1.98	1.98	1.55	1.34
1.9	1.95	2.33	2.07	2.07	1.63	1.40
2	2.05	2.43	2.17	2.17	1.70	1.45
$\phi$	43.0	45.5	42.9	32.0	36.2	30.0
c	0.18	0.40	0.31	0.17	0.24	0.30



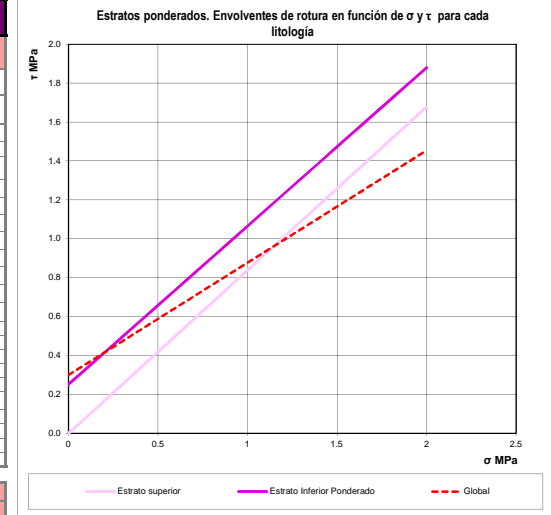
Litologías del estrato inferior	Espesor	
	%	m
Pelitas	43	13
Pelitas alteradas	33	10
Arenisca verdosa	7	2
Arenisca gris	7	2
Toba	10	3
Total	100	30



Estrato inferior ponderado	
$\sigma$	$\tau_{ponderado}$
MPa	MPa
0	0.25
0.1	0.33
0.2	0.41
0.3	0.50
0.4	0.58
0.5	0.66
0.6	0.74
0.7	0.82
0.8	0.90
0.9	0.98
1	1.07
1.1	1.15
1.2	1.23
1.3	1.31
1.4	1.39
1.5	1.47
1.6	1.55
1.7	1.64
1.8	1.72
1.9	1.80
2	1.88

**Parámetros de los estratos ponderados**

CUENCO DISIPADOR: ESTRATOS PONDERADOS			
	Estrato Superior	Estrato inferior Ponderado	Global
$\sigma$	$\tau_{ponderado}$	$\tau_{ponderado}$	$\tau_G$
MPa	MPa	MPa	MPa
0	0.00	0.25	0.30
0.1	0.08	0.33	0.36
0.2	0.17	0.41	0.42
0.3	0.25	0.50	0.47
0.4	0.34	0.58	0.53
0.5	0.42	0.66	0.59
0.6	0.50	0.74	0.65
0.7	0.59	0.82	0.70
0.8	0.67	0.90	0.76
0.9	0.76	0.98	0.82
1	0.84	1.07	0.88
1.1	0.92	1.15	0.94
1.2	1.01	1.23	0.99
1.3	1.09	1.31	1.05
1.4	1.17	1.39	1.11
1.5	1.26	1.47	1.17
1.6	1.34	1.55	1.22
1.7	1.43	1.64	1.28
1.8	1.51	1.72	1.34
1.9	1.59	1.80	1.40
2	1.68	1.88	1.45
$\phi$	40.0	39.1	30.0
c	0.00	0.25	0.30



NOTAS

--

REFERENCIA

--

NOTAS INSPECCION

.....
.....

QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL SIN PREVIA AUTORIZACION DE REPRESAS PATAGONIA UTE

0B	Agregado de mapeos de 32 a 50 metros	21-9-16	MG	NCH	MG	GV
0A	EMISION ORIGINAL	25-1-16	MG	NCH	MG	GV
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	PROYECTÓ	EJECUTÓ	REVISÓ	VERIFICÓ


MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS  
SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS



**REPRESAS PATAGONIA**  
ELING·CGGC·HCSA·UTE

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

	NOMBRE	FECHA	<p><b>REPRESA PDTE NESTOR KIRCHNER</b> <b>OBRAS CIVILES – GEOTECNIA</b> <b>MAPEO GEOLOGICO DEL POZO EXPLORATORIO</b> <b>MEMORIA TECNICA</b></p>			
	EJECUTÓ	29-1-16				
	REPRES. TEC.					
	Etapa Proyecto:					
	PB					
	Nivel desarrollo:					
	100					
	Pag.	Form.	Esc.	Doc. N°		Rev.
	1/57	A4	s/e	NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003		0B

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0B Fecha: 0-0-16 Página: 2 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>2. METODOLOGÍA .....</b>	<b>8</b>
<b>3. MAPEO DEL POZO EXPLORATORIO.....</b>	<b>9</b>
3.1. Tramo 3-4,10 m (cotas 186,2 a 182,1m) .....	14
3.2. Tramo 4,10-6,07 m. (cotas 182,1 a 180,13 m) .....	16
3.3. Tramo 6.07-8.02 m. (cotas 180,13m a 178,18m) .....	18
3.4. Tramo 8.02-9.8 m. (Cota 178,18m a 176,4m) .....	18
3.5. Tramo 9.8-12 m. (cotas 176,4 a 174,2m) .....	21
3.6. Tramo 12-14 m. (cotas 174,2 a 172,2m) .....	21
3.7. Tramo 14-16 m. (Cota 172,2 a 170,2m) .....	24
3.8. Tramo 16-18 m. (Cota 170,2 a 168,2m) .....	24
3.9. Tramo 18-20 m (Cota 168,2m a 166,2m) .....	24
3.10. Tramo 20-22 m. (Cota 166,2 a 164,2m) .....	28
3.11. Tramo 22-24 m. (Cota 164,2 a 162,2m) .....	28
3.12. Tramos 24-32 m. (Cota 162,2 a 154,2m) .....	28
3.13. Tramos 32-34 m. (Cota 154.2 a 152,2m) .....	35
3.14. Tramos 34-36 m. (Cota 152.2 a 150,2m) .....	37
3.15. Tramos 36-38 m. (Cota 150.2 a 148,2m) .....	37
3.16. Tramos 38-40 m. (Cota 148.2 a 146,2m) .....	38
3.17. Tramos 40-42 m. (Cota 146.2 a 144,2m) .....	42
3.18. Tramos 42-44 m. (Cota 144.2 a 142,2m) .....	42
3.19. Tramos 44-46 m. (Cota 142.2 a 140,2m) .....	42
3.20. Tramos 46-48 m. (Cota 140.2 a 138,2m) .....	47
3.21. Tramos 48-50 m. (Cota 140.2 a 138,2m) .....	47
3.22. Tramos 48-50 m. (Cota 138.2 a 136,2m) .....	52
<b>4. ANALISIS DE LAS DISCONTINUIDADES.....</b>	<b>55</b>
4.1. Análisis estructural de las fracturas.....	55
4.2. Análisis estructural de la estratificación.....	57
4.3. Análisis estructural de las fallas.....	57
<b>5. COMENTARIOS PRELIMINARES.....</b>	<b>59</b>

## FIGURAS

FIGURA 1.1. UBICACIÓN DEL CIERRE DE LA PRESA PRESIDENTE NÉSTOR KIRCHNER.....	5
FIGURA 1.2. FOTO AÉREA TOMADA POR UN DRON DE LA TRINCHERA. SE ENCUETRA MARCADA LA UBICACIÓN APROXIMADA DEL POZO EXPLORATORIO.....	6
FIGURA 1.3: FOTOGRAFÍA LATERAL SACADA CON UN DRON DE MARGEN IZQUIERDA. ESTÁ MARCADA LA UBICACIÓN APROXIMADA DEL POZO EXPLORATORIO.....	6
FIGURA 1.4: FOTOGRAFÍA DE LAS ESTRUCTURAS DE SOSTENIMIENTO. A LA DERECHA LAS CHAPAS LINER Y A LA IZQUIERDA LAS COSTILLAS CON LA MALLA ELECTROSOLDADA.....	7
FIGURA 2.1: FOTOGRAFÍA DEL NORTE MARCADO EN LA CHAPA LINER PARA PODER REALIZAR LOS MAPEOS.....	8
FIGURA 3.3: FOTOGRAFÍA DEL FRENTE NORTE DEL PORTAL DE LA GALERÍA. SE OBSERVA EL GOTEO EN EL CONTACTO ENTRE LAS ARENISCAS NEGRAS Y LAS PELITAS ARCILLOSAS.....	10
FIGURA 3.4: FOTOGRAFÍA DEL LADO ESTE DEL PORTAL DE LA GALERÍA. SE OBSERVA EL GOTEO EN EL CONTACTO LAS PELITAS ARCILLOSAS Y EL DESLIZAMIENTO.....	10
FIGURA 3.5: FOTOGRAFÍA DEL LADO ESTE DEL PORTAL DE LA GALERÍA. SE OBSERVA EL GOTEO EN EL CONTACTO LAS PELITAS ARCILLOSAS Y LAS ARENISCAS Y EN EL DESLIZAMIENTO.....	11
FIGURA 3.1: MAPEO DEL POZO EXPLORATORIO DESDE LOS 3M HASTA LOS 36M.....	12
FIGURA 3.2: MAPEO DEL POZO EXPLORATORIO DESDE LOS 36M HASTA LOS 50M.....	13
FIGURA 3.5: FOTOGRAFÍA DE LA CIRCUNFERENCIA DEL POZO, TRAMO 3 A 4.10 M. EN ROJO LOS CONTACTOS LITOLÓGICOS Y EN AMARILLO LAS FRACTURAS. A LA DERECHA SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES.....	15
FIGURA 3.6: FOTOGRAFÍA DE LA CIRCUNFERENCIA DEL POZO, TRAMO 4.10 A 6.07 M. EN ROJO CONTACTOS LITOLÓGICOS Y EN AMARILLO LAS FRACTURAS. A LA DERECHA SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES.....	17


	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0B Fecha: 0-0-16 Página: 3 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

FIGURA 3.7: FOTOGRAFÍA DE LA CIRCUNFERENCIA DEL POZO, TRAMO 6.07-8.02 M. EN ROJO CONTACTOS LITOLÓGICOS, EN CÍRCULOS AMARILLOS LAS CONCRECIONES. AL DERECHO SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES. ....	19
FIGURA 3.8: FOTOGRAFÍA DE LA CIRCUNFERENCIA DEL POZO, TRAMO 8.02 A 9.8 M. EN ROJO CONTACTOS LITOLÓGICOS, EN CÍRCULOS AMARILLOS LAS CONCRECIONES. AL DERECHO SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES. ....	20
FIGURA 3.9: FOTOGRAFÍA DE LA CIRCUNFERENCIA DEL POZO, TRAMO 9.8 A 12 M. EN ROJO CONTACTOS LITOLÓGICOS, EN CÍRCULOS AMARILLOS LAS CONCRECIONES. AL DERECHO SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES. ....	22
FIGURA 3.10: FOTOGRAFÍA DE LA CIRCUNFERENCIA DEL POZO, TRAMO 12 A 14 M. EN ROJO CONTACTOS LITOLÓGICOS, EN CÍRCULOS AMARILLOS LAS CONCRECIONES, EN LÍNEAS AMARILLAS FRACTURAS Y EN LÍNEAS AZULES LAS FALLAS. AL DERECHO SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES. ....	23
FIGURA 3.11: FOTOGRAFÍA DE LA CIRCUNFERENCIA DEL POZO, TRAMO 14 A 16 M. EN ROJO CONTACTOS LITOLÓGICOS, EN CÍRCULOS AMARILLOS LAS CONCRECIONES Y EN AZUL LAS FALLAS. AL DERECHO SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES. ....	25
FIGURA 3.12: FOTOGRAFÍA DE LA CIRCUNFERENCIA DEL POZO, TRAMO 16 A 18 M. EN ROJO CONTACTOS LITOLÓGICOS, Y SE ENCUENTRAS MARCADAS LOS LUGARES DE SURGENCIA DE AGUA. AL DERECHO SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES. ....	26
FIGURA 3.13: FOTOGRAFÍA DE LA CIRCUNFERENCIA DEL POZO TRAMO 18 A 20 M. EN ROJO CONTACTOS LITOLÓGICOS, Y EN AMARILLO LAS FRACTURAS. AL DERECHO SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES. ....	27
FIGURA 3.14: FOTOGRAFÍA DE LA CIRCUNFERENCIA DEL POZO, TRAMO 18 A 20 M. EN ROJO CONTACTOS LITOLÓGICOS. AL DERECHO SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES. ....	29
FIGURA 3.15: FOTOGRAFÍA DE LA CIRCUNFERENCIA DEL POZO, TRAMO 22 A 24 M. EN ROJO CONTACTOS LITOLÓGICOS Y EN AMARILLO LAS FRACTURAS. AL DERECHO SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES. ....	30
FIGURA 3.16: FOTOGRAFÍA DE LA CIRCUNFERENCIA DEL POZO, TRAMO 24 A 26 M. EN AMARILLO ESTÁN MARCADAS LAS CONCESIONES Y LOS NIVELES CEMENTADOS. AL DERECHO SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES. ....	31
FIGURA 3.17: FOTOGRAFÍA DE LA CIRCUNFERENCIA DEL POZO, TRAMO 26 A 28 M. EN AMARILLO ESTÁN MARCADAS LAS CONCESIONES Y LOS NIVELES CEMENTADOS. AL DERECHO SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES. ....	32
FIGURA 3.18: FOTOGRAFÍA DE LA CIRCUNFERENCIA DEL POZO, TRAMO 28 A 30 M. EN AMARILLO ESTÁN MARCADAS LAS CONCESIONES Y LOS NIVELES CEMENTADOS. AL DERECHO SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES. ....	33
FIGURA 3.19: FOTOGRAFÍA DE LA CIRCUNFERENCIA DEL POZO, TRAMO 30 A 32 M. EN AMARILLO ESTÁN MARCADAS LAS CONCESIONES Y LOS NIVELES CEMENTADOS. EN ROJO ESTÁN MARCADOS LOS CONTACTOS LITOLÓGICOS. AL DERECHO SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES. ....	34
FIGURA 3.20: FOTOGRAFÍA DEL CONTACTO ENTRE LAS ARENISCAS PARDAS (S) Y LAS PELITAS VERDE PARDA CLARAS (T). SE OBSERVA LAS PATINAS DE ÓXIDO EN EL CONTACTO. ....	35
FIGURA 3.21: FOTOGRAFÍA DE LA CIRCUNFERENCIA DEL POZO, TRAMO 32 A 34 M. EN AMARILLO ESTÁN MARCADAS LAS CONCESIONES Y LOS NIVELES CEMENTADOS. EN ROJO ESTÁN MARCADOS LOS CONTACTOS LITOLÓGICOS Y EN AMARILLO LAS FRACTURAS. AL DERECHO SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES. ....	36
FIGURA 3.23: FOTOGRAFÍA DE LA PELITA VERDE GRISÁCEA (X) DONDE SE OBSERVA LA ESTRATIFICACIÓN LAMINAR Y LAS INTERCALACIONES DE PELITAS VERDE GRISÁCEAS OSCURAS Y PELITAS CON DEPÓSITOS PIRO CLÁSTICOS DE TIPO LAPILLI CON TAMAÑO DE GRANO MÁS GRUESO QUE LA FIGURA ANTERIOR. ....	37
FIGURA 3.22: FOTOGRAFÍA DE LA PELITA VERDE GRISÁCEA (X) DONDE SE OBSERVA LA ESTRATIFICACIÓN LAMINAR Y LAS INTERCALACIONES DE PELITAS VERDE GRISÁCEAS OSCURAS Y PELITAS CON DEPÓSITOS PIRO CLÁSTICOS DE TIPO LAPILLI. ....	37
FIGURA 3.22: FOTOGRAFÍA DE LA CIRCUNFERENCIA DEL POZO, TRAMO 34 A 36 M. EN ROJO ESTÁN MARCADOS LOS CONTACTOS LITOLÓGICOS. AL DERECHO SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES. ....	39
FIGURA 3.25: FOTOGRAFÍA DE LA CIRCUNFERENCIA DEL POZO, TRAMO 36 A 38 M. EN ROJO ESTÁN MARCADOS LOS CONTACTOS LITOLÓGICOS, CON AMARILLO LAS FRACTURAS. AL DERECHO SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES. ....	40
FIGURA 3.26: FOTOGRAFÍA DE LA CIRCUNFERENCIA DEL POZO, TRAMO 38 A 40 M. AL DERECHO SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES. ....	41
FIGURA 3.27: FOTOGRAFÍA DE LA CIRCUNFERENCIA DEL POZO, TRAMO 42 A 44 M. EN ROJO ESTÁN MARCADOS LOS CONTACTOS LITOLÓGICOS, CON AMARILLOS LAS FRACTURAS. CON UN TRIÁNGULO AZUL SE MARCA EL LUGAR DONDE SE GOLPEÓ CON EL ESCLERÓMETRO JUNTO CON EL VALOR PROMEDIO QUE DIO. AL DERECHO SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES. ....	44



	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0B Fecha: 0-0-16 Página: 4 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

FIGURA 3.28: FOTOGRAFÍA DE LA CIRCUNFERENCIA DEL POZO, TRAMO 44 A 46 M. EN ROJO ESTÁN MARCADOS LOS CONTACTOS LITOLÓGICOS. CON UN TRIÁNGULO AZUL SE MARCA EL LUGAR DONDE SE GOLPEÓ CON EL ESCLERÓMETRO JUNTO CON EL VALOR PROMEDIO QUE DIO. AL DERECHO SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES. ....	46
FIGURA 3.29: FOTOGRAFÍA DE LA CIRCUNFERENCIA DEL POZO, TRAMO 46 A 48 M. EN ROJO ESTÁN MARCADOS LOS CONTACTOS LITOLÓGICOS. CON UN TRIÁNGULO AZUL SE MARCA EL LUGAR DONDE SE GOLPEÓ CON EL ESCLERÓMETRO JUNTO CON EL VALOR PROMEDIO QUE DIO. AL DERECHO SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES. ....	49
FIGURA 3.30: FOTOGRAFÍA DE LA CIRCUNFERENCIA DEL POZO, TRAMO 48 A 50 M. EN ROJO ESTÁN MARCADOS LOS CONTACTOS LITOLÓGICOS, CON AMARILLOS LAS FRACTURAS. CON UN TRIÁNGULO AZUL SE MARCA EL LUGAR DONDE SE GOLPEÓ CON EL ESCLERÓMETRO JUNTO CON EL VALOR PROMEDIO QUE DIO. AL DERECHO SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES. ....	51
FIGURA 3.31: FOTOGRAFÍA DE LA PELITA (AL) DONDE SE OBSERVAN LAS CONCRECIONES DE CARBONATO Y LA TEXTURA MOTEADA. ....	52
FIGURA 3.32: FOTOGRAFÍA DE LA PELITA LIMOSA (AM) DONDE SE OBSERVAN LAS FRACTURAS VERTICALES POR LA ALTERACIÓN MECÁNICA DE LOS MARTILLOS NEUMÁTICOS. ....	52
FIGURA 3.33: FOTOGRAFÍA DE LA CIRCUNFERENCIA DEL POZO, TRAMO 50 A 52 M. EN ROJO ESTÁN MARCADOS LOS CONTACTOS LITOLÓGICOS. CON UN TRIÁNGULO AZUL SE MARCA EL LUGAR DONDE SE GOLPEÓ CON EL ESCLERÓMETRO JUNTO CON EL VALOR PROMEDIO QUE DIO. AL DERECHO SE INDICAN LAS COTAS Y A LA IZQUIERDA LAS PROFUNDIDADES. ....	54
FIGURA 4.1: PROYECCIÓN DE LOS POLOS DE LOS PLANOS DE LAS FRACTURAS DEL POZO. ....	55
FIGURA 4.2: DIAGRAMA DE ISODENSIDAD DE LAS FRACTURAS. ....	56
FIGURA 4.3: PROYECCIÓN DE LOS POLOS DE LOS ESTRATOS INCLINADOS. ....	57
FIGURA 4.4: PROYECCIÓN DE LOS POLOS DE LAS FALLAS ENCONTRADAS. ....	58

## TABLAS

TABLA 3.1: DISCONTINUIDADES Y ESTRATIFICACIÓN TRAMO 3-4,10M .....	14
TABLA 3.2: DISCONTINUIDADES TRAMO 4,10-6,07M. ....	16
TABLA 3.3: DISCONTINUIDADES Y ESTRATIFICACIÓN TRAMO 6,07-8,02M .....	18
TABLA 3.4: ESTRATIFICACIÓN TRAMO 8,02-9,8M .....	18
TABLA 3.5: DISCONTINUIDADES TRAMO 12-14M. ....	21
TABLA 3.6: DISCONTINUIDADES TRAMO 14-16M. ....	24
TABLA 3.7: DISCONTINUIDADES TRAMO 18-20M. ....	24
TABLA 3.8: DISCONTINUIDADES Y ESTRATIFICACIÓN TRAMO 20-22M .....	28
TABLA 3.9: DISCONTINUIDADES TRAMO 22-24M. ....	28
TABLA 3.10: DISCONTINUIDADES TRAMO 32-34M. ....	35
TABLA 3.11: DISCONTINUIDADES TRAMO 36-38M. ....	38
TABLA 3.12: DISCONTINUIDADES TRAMO 38-40M. ....	38
TABLA 3.13: DISCONTINUIDADES TRAMO 42-44M. ....	42
TABLA 3.14: TABLA CON LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS ECLEROMÉTRICOS EN EL TRAMO 42-44. ....	43
TABLA 3.15: TABLA CON LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS ECLEROMÉTRICOS EN EL TRAMO 44-46. ....	45
TABLA 3.17: DISCONTINUIDADES TRAMO 48-50M. ....	47
TABLA 3.16: TABLA CON LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS ECLEROMÉTRICOS EN EL TRAMO 46-48. ....	48
TABLA 3.18: TABLA CON LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS ECLEROMÉTRICOS EN EL TRAMO 48-50. ....	50
TABLA 3.18: TABLA CON LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS ECLEROMÉTRICOS EN EL TRAMO 50-52. ....	53

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: <b>0B</b> Fecha: 0-0-16 Página: 5 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

## 1. INTRODUCCIÓN.

El presente informe presenta los resultados preliminares del mapeo geológico del pozo exploratorio realizado durante la campaña geotécnica de la Presa Presidente Néstor Kirchner, en los años 2015 y 2016, con el objetivo de contribuir a determinar la ubicación y la profundidad de los deslizamientos de margen izquierda.

La Presa Néstor Kirchner se ubicará sobre el Río Santa Cruz en la transición entre el valle medio y el superior, en el km 250 y a una distancia de 170 km al este de la localidad de El Calafate (Fig. 1.1). Se accede al área por dos caminos alternativos desde El Calafate. Para llegar a la margen izquierda, del río Santa Cruz, se realizan 32 km por la RP11, 20 km por la RN40 y 90 km por la RP17. Y para llegar a la margen derecha se hacen 32 km por la RP11, 15 km por la RN40, 60 km por la RP9 y 20 km por una ruta alternativa a la vera del río Santa Cruz.

El pozo exploratorio se encuentra en margen izquierdo de la presa, en la parte sur de la trinchera exploratoria (Fig. 1.2 y 1.3). Las coordenadas del centro son: x: 19897,9; y:50652 (x:2373176,8; y:4437086,8). Tiene un diámetro de 2,5 m y actualmente su profundidad es de 53,3 m y mapeado hasta los 52 m. **Esta previsto que llegue a los 60 m.** Su construcción es de forma manual, con martillos neumáticos, pico y pala. El material se retira del mismo por medio de un balde-guinche. El método de sostenimiento consiste en lo primeros 3 m de chapas liner y por debajo se colocan cotillas de acero con malla eletrosoldada (Fig. 1.4).

Anterior al pozo se ejecutó una perforación, el PRK-07 bis, de 86 m de profundidad, ubicado el centro del pozo.

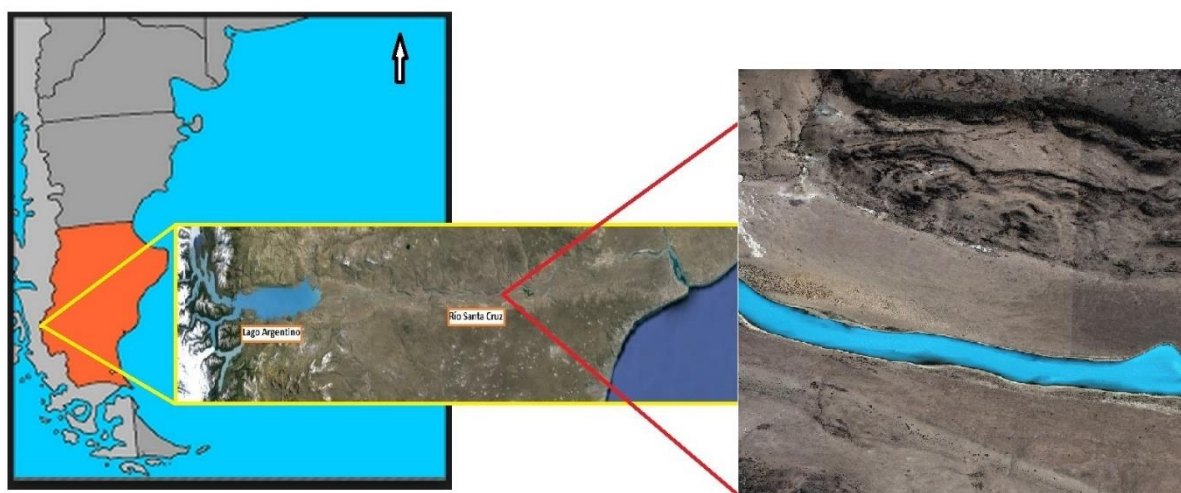


Figura 1.1. Ubicación del cierre de la Presa Presidente Néstor Kirchner.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0B

Fecha: 0-0-16

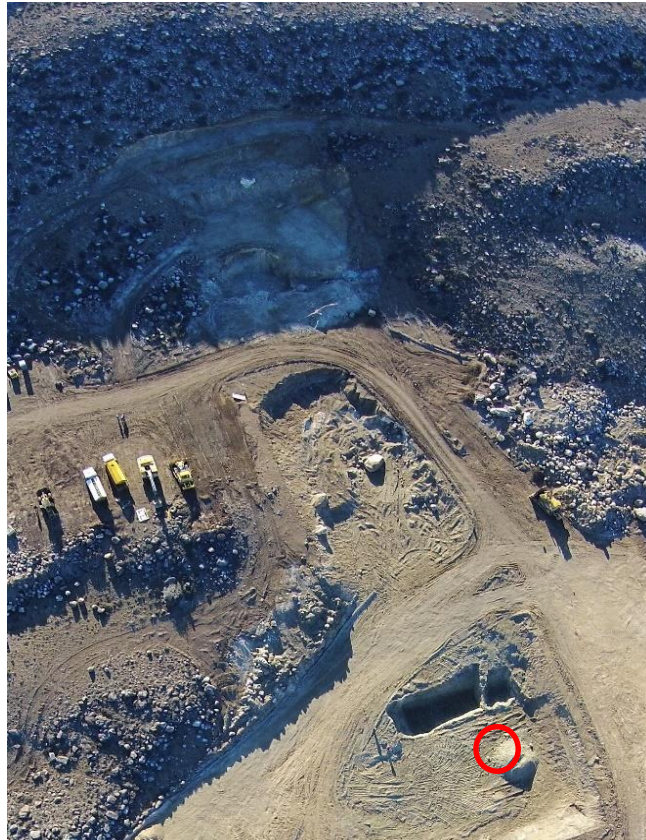
Página: 6 de 59

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

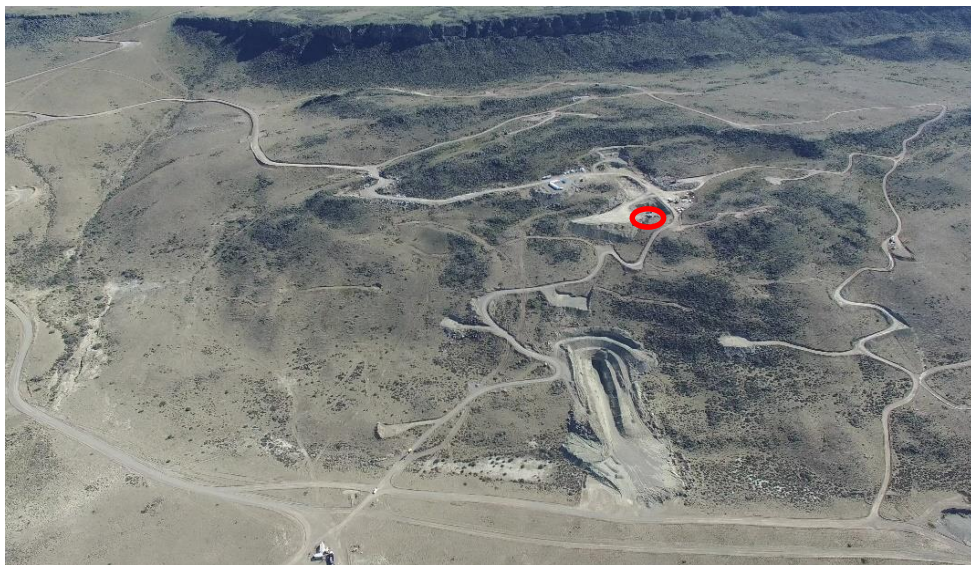
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003



**Figura 1.2. Foto aérea tomada por un dron de la trinchera. Se encuentra marcada la ubicación aproximada del pozo exploratorio.**



**Figura 1.3: Fotografía lateral sacada con un dron de Margen Izquierda. Está marcada la ubicación aproximada del pozo exploratorio**





REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0B

Fecha: 0-0-16

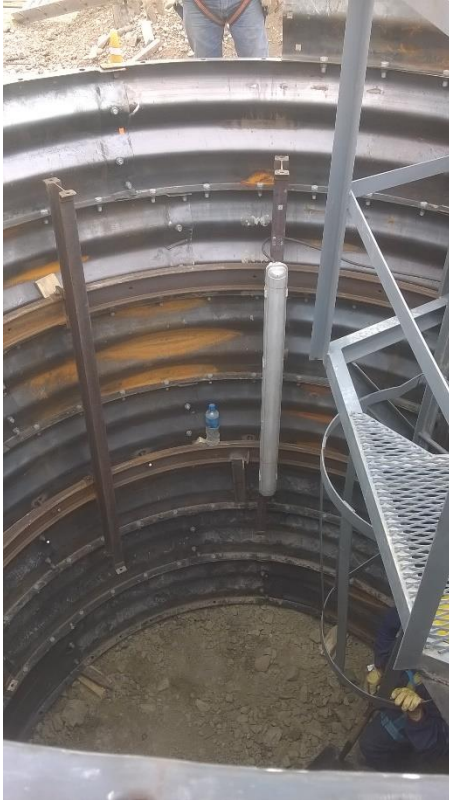
Página: 7 de 59

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ


Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003



**Figura 1.4: Fotografía de las estructuras de sostenimiento. A la derecha las chapas liner y a la izquierda las costillas con la malla electrosoldada.**

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: <b>0B</b> Fecha: 0-0-16 Página: 8 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

## 2. METODOLOGÍA

El mapeo geológico se ejecutó cada 2 m, aproximadamente, antes de la colocación del sostenimiento con el propósito de tener acceso pleno a la exposición de las rocas y sus estructuras.

El mapeo del pozo se inició con la marcación en la pared excavada de los 4 principales puntos cardinales (Norte, Este, Oeste y Sur). Los mismos se destacaron mediante un trazo con pintura aerosol. Previamente, el equipo de topografía informa la cota del fondo del pozo.

Luego de marcar los puntos cardinales se tomaron fotografías de norte a sur de toda la circunferencia del pozo para tener un registro y que sirva como ayuda para realizar el mapeo (Fig. 2.1)


En una hoja milimetrada se marcaron los puntos cardinales, la profundidad del pozo y la longitud total a mapear, junto con los contactos litológicos, fallas, planos de estratificación discontinuidades, etc. Se utiliza escala 1:100 y la notación Clark, para representar las discontinuidades (dirección de buzamiento/buzamiento). Las mediciones de distintas estructuras se realizaron con una brújula tipo Brunton y una cinta métrica para obtener la ubicación de las mismas en el perímetro.

Posterior al mapeo se realizaron golpes horizontales con un Esclerómetro ELE con una energía de 0.735Nm, para detectar posibles capas débiles y conocer la resistencia relativa de los distintos estratos. Se realizaron como mínimo 20 golpes por estrato. Los golpes con el martillo se comenzaron a realizar a partir de los 42 m.

Posteriormente en el gabinete se escanearon las hojas milimetradas con los mapeos a Pdf y por medio del programa AutoCAD, se realizó el dibujo definitivo del mapeo junto con la referencias y escalas.



Figura 2.1: fotografía del Norte marcado en la chapa liner para poder realizar los mapeos.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0B Fecha: 0-0-16 Página: 9 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

### 3. MAPEO DEL POZO EXPLORATORIO

Los mapeos se realizaron, la mayoría, en tramos de dos metros antes de que se colocaran las costillas con la malla electrosolda del sostenimiento (Fig. 3.1 y Fig. 3.2).

En el mapeo se pueden observar 3 ambientes claramente diferenciados: a) tramo entre 0 a 20m (cotas 186,2 a 166,2m) donde el macizo presenta fracturamiento y basculamiento de los estratos; b) tramo entre 20m y 33.5m (cotas 166,2 a 152,7m) donde el macizo presenta estratificación subhorizontal y fracturas aisladas y c) tramo entre 33.5 m a 52 m (cotas 152,7 m a 134,2 m) donde el macizo presenta la roca sana con estratificación horizontal a subhorizontal y con muy pocas fracturas aisladas.

En el primer tramo, que se asume pertenece a los bloques deslizados por los fenómenos de remoción en masa, hasta los primeros 6 m la roca se encuentra muy fracturada, disminuyendo el número de fracturas con la profundidad, y volviéndose más horizontales. Muchas fracturas se encuentran rellenas con carbonato de calcio indicando que en algún momento circulo agua por ellas. Los estratos se encuentran inclinados hacia el NE hasta aproximadamente los 16/17 m donde se comienzan a horizontalizar, hasta los 20 m donde se encuentran totalmente horizontales hasta el fondo del pozo.

Desde los 12 m hasta los 16m se observa una zona que se encuentra afectada por fallas del tipo normal. Quedan en evidencia por el desplazamiento de estratos guía de poco espesor, que se encuentran cortados y desplazados. Otra evidencia es la presencia de estrías en las superficies de los planos de fallas. A partir de los 16 m ya no se encuentran evidencias. A los 18m aparece agua surgente en forma de goteos persistentes en una arenisca fina limosa(N) de color pardo, que fue disminuyendo paulatinamente su caudal con el paso del tiempo. Esta surgencia coincide con la parte inferior del bloque deslizado lo cual puede indicar que las areniscas se encuentran conectadas con la superficie por medio de fallas o fracturas.

A partir de la profundidad 20m (cota 166,2m) hasta los 32m (cota 154,2m) afloran unas areniscas(S) pardas oxidadas con niveles cementados con carbonato de calcio y en el piso del estrato, aproximadamente a los 32m, aparecen patinas de óxidos de hierro en el contacto con bloques de una pelita (T) verde parda clara dentro de las areniscas, indicando que en algún momento circulo agua por estos estratos. Estas areniscas pardas corresponden a las areniscas grises oscuras friables con alteración limonítica.

Desde los 32m hasta los 33.5m (cotas 154.2m y 152.7m respectivamente) se encuentran bloques de pelitas dentro de las areniscas y una pelita verde parda clara con alteración limonítica, producto de la circulación de agua dentro de las areniscas.

Desde los 33.5m (cota 152.7m) se encuentra la roca sana sin alteraciones. Está formada por intercalaciones de pelitas verdes grisáceas y pelitas tobaceas grises. Estas rocas presentan fracturas en algunos sectores aislados.

A los 52.3 m aproximadamente, cota aproximada 133.9 m, aparece una capa de areniscas negras, la misma que aparece en el portal de la galería. En el portal de la galería se observa que estas areniscas tienen un goteo constante y se forman charcos en el piso del portal. El goteo se observa en el contacto de la arenisca negra y unas pelitas arcillosas verde con textura moteada a laminar y en contacto entre las pelitas y el deslizamiento.

Este goteo alcanzo a llenar el pozo con 16m de agua, aproximadamente, llegando a la cota aproximada de 149.2m. (Fig. 3.3; Fig. 3.4; Fig. 3.5).


El pozo se llenó con esta cantidad de agua en 16 m aproximadamente. El día 23/06/16 el agua que aparecía se podía retirar con el material por el balde. En esta fecha se detuvieron las actividades.

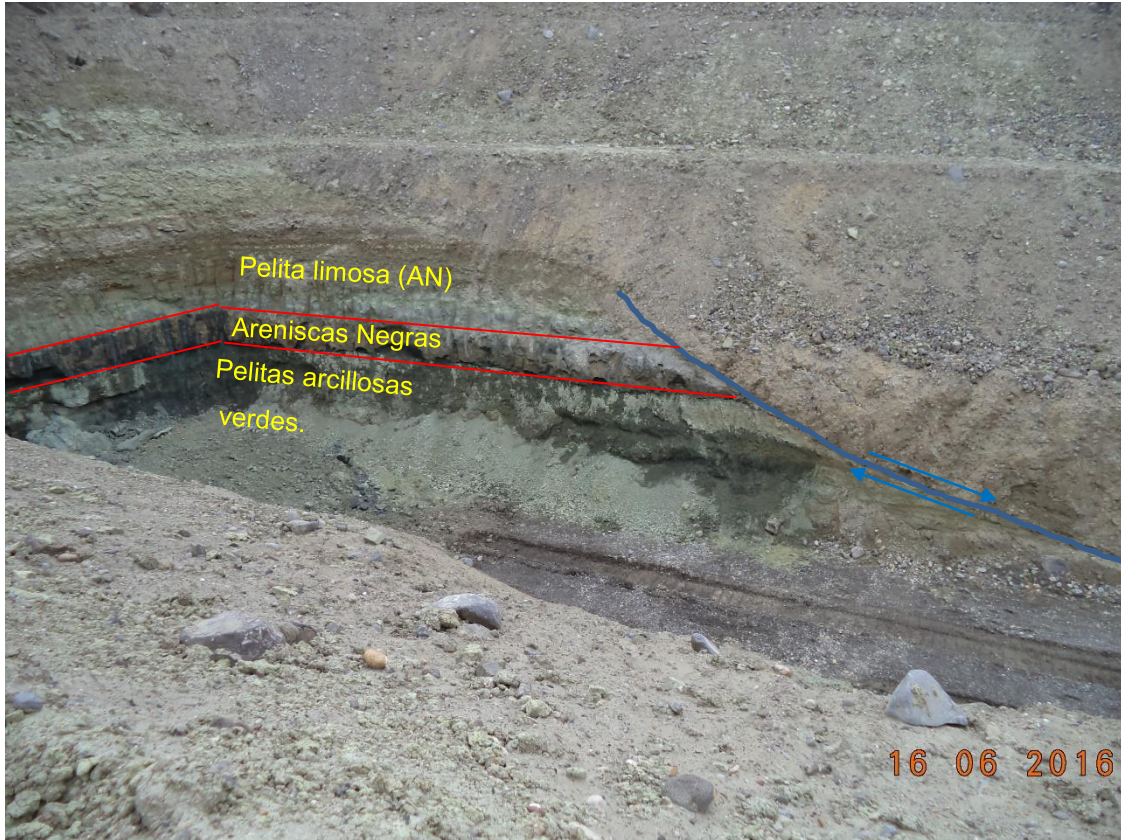


**Figura 3.3:** Fotografía del frente Norte del portal de la galería. Se observa el goteo en el contacto entre las areniscas negras y las pelitas arcillosas.

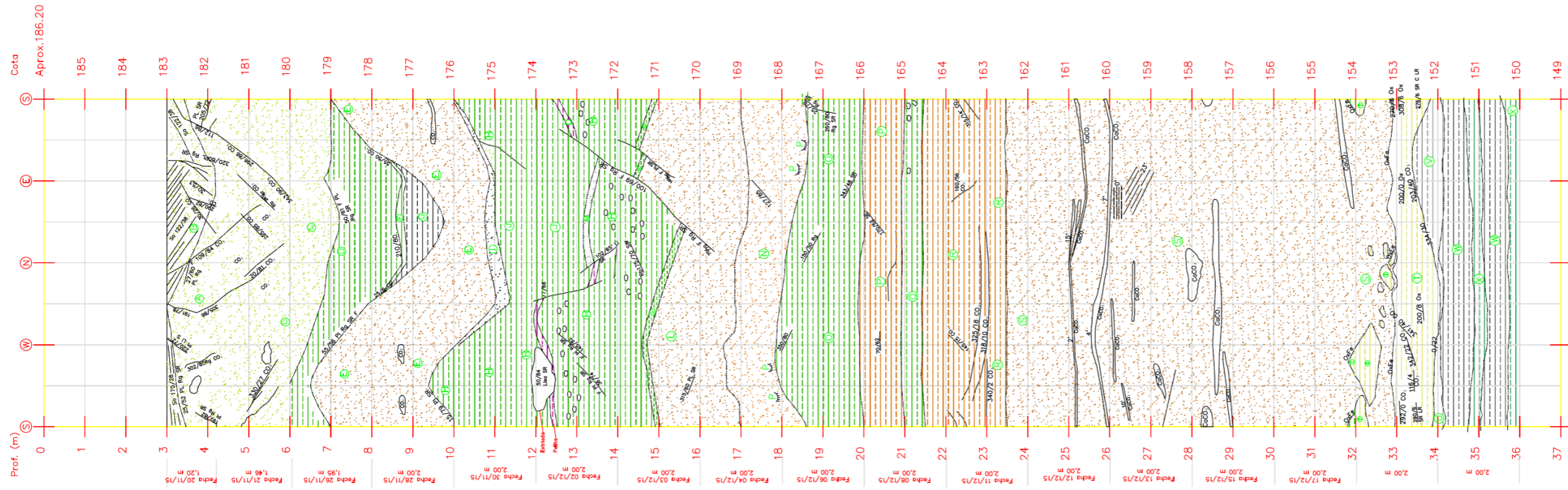


**Figura 3.4:** Fotografía del Lado Este del portal de la galería. Se observa el goteo en el contacto las pelitas arcillosas y el deslizamiento.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: <b>0B</b> Fecha: 0-0-16 Página: 11 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003



**Figura 3.5: Fotografía del Lado Este del portal de la galería. Se observa el goteo en el contacto las pelitas arcillosas y las areniscas y en el deslizamiento.**



### MAPEO POZO EXPLORATORIO

#### SIMBOLOGÍA

- So = Planos de estratificación
- S = Superficie de fractura
- 154/38 = Rb/Bz
- F = Zona de falla o falla discreta
- PL = Sup.Plana
- LI = Sup.Lisa
- Rg = Sup.Rugosa
- SR = Sin relleno
- CO\* = Relleno CaCO<sub>3</sub>
- On = Sup. Ondulada
- = Contacto litológico
- ▲ = Golpe con esclerometro

#### DESCRIPCIONES

##### ARENISCA

##### ARENISCA FINA

- a- Arenisca arcillosa, Parda clara, blanda.
- b- Areniscas laminadas, varvitas.
- c- Arenisca limoarcillosa, pardo verdosa.
- e- Arenisca limosa parda clara, friable (blando).
- L- Arenisca fina limosa arcillosa parda grisacea
- N- Arenisca fina limosa pardo oscura

##### ARENISCA MEDIA

- f- Arenisca media gris polimictica tobacea
- M- Arenisca media gris (tobacea)

##### ARENISCA GRUESA

- S- Arenisca gruesa media polimictica parda oscura con estratificación entrecruzada, concreciones, y niveles cementados con CaCO<sub>3</sub>.

##### PELITA

- d- Pelita limosa verde.
- f- Pelita verde (limo arcillosa), blanda (porosa).
- g- Pelita arenosa parda clara.
- h- Pelita limosa verde clara, dura.
- i- Pelita arenosa brechosa verde gris clara
- O- Pelita arcillosa pardo verdosa plástica
- P- Pelita limosa (bajo contenido de limo) levemente plástica
- Q- Pelita arcillosa gris oscura (en contacto con agua se pone plástica, medianamente alterada)
- R- Pelita arenosa parda clara
- T- Pelita limosa verde clara poco alterada (posible textura brechosa) (contacto con S se encuentran prismas de Óxido de Hierro)
- U- Pelita limosa plástica violeta
- V- Pelita verde grisacea oscura
- W- Pelita arenosa gris oscura
- X- Pelita Arcillosa verde oscura
- Y- Pelita verde grisacea
- AF- Pelita Tobacea arenosa gris clara
- AG- Pelita tobacea arenosa gris clara
- AH- Pelita limosa verde grisacea
- AI- Pelita limosa verde claro
- AJ- Pelita arenosa gris parda
- AK- Pelita arenosa tobacea gris clara
- AL- Pelita arenosa tobacea gris oscura
- AM- Pelita arenosa gris verdosa moteada
- AN- Pelita limosa verde grisacea oscura

##### LIMO

- k- Limo arcillita parda clara masivo robacea
- Z- limolita arcillosa gris verdosa
- AA- limolita arcillosa con arena fina gris claro
- AB- limolita arcillosa arena fina gris claro
- AC- limolita arcillosa gris verdosa oscura
- AD- Toba areno limosa gris claro
- AE- limolita arcillosa arenosa gris claro

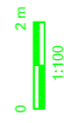


Figura 3.1: Mapeo del pozo exploratorio desde los 3m hasta los 36m.

## MAPEO POZO EXPLORATORIO

### SIMBOLOGÍA

- So = Planos de estratificación
- S = Superficie de fractura
- 154/38 = Rv/Bz
- F = Zona de falla o falla discreta
- PL = Sup. Plana
- LI = Sup. Lisa
- Rg = Sup. Rugosa
- SR = Shellera
- CO = Relieve CaCO<sub>3</sub>
- OR = Sup. Ondulada
- ▲ = Contacto litológico
- ▲ = Golpe con esclerometro

### DESCRIPCIONES

#### ARENISCA

#### ARENISCA FINA

- a- Arenisca arcillosa, Parda clara, blanda.
- b- Areniscas laminadas, varitas.
- c- Arenisca limoarcillosa, pardo verdosa.
- e- Arenisca limosa parda clara, friable (blando).
- L- Arenisca fina limosa arcillosa parda grisacea
- N- Arenisca fina limosa pardo oscura

#### ARENISCA MEDIA

- I- Arenisca media gris polimictica tabacea
- M- Arenisca media gris (tabacea)

#### ARENISCA GRUESA

- S- Arenisca gruesa media polimictica parda oscura con estratificación entrecruzada, concreciones, y niveles cementados con CaCO<sub>3</sub>.

#### PELITA

- d- Pelita limosa verde.
- f- Pelita verde (limo arcillosa), blanda (porosa).
- g- Pelita arenosa parda clara.
- h- Pelita limosa verde clara, dura.
- J- Pelita arenosa brechosa verde gris clara
- O- Pelita arcillosa pardo verdosa plástica
- P- Pelita limosa (bajo contenido de limo) levemente plástica
- Q- Pelita arcillosa gris oscura (en contacto con agua se pone plástica, medianamente alterada)
- R- Pelita arenosa parda clara
- T- Pelita limosa verde clara poco alterada (posible textura brechosa) (contacto con S se encuentran prismas de óxido de hierro)
- U- Pelita limosa plástica violeta

#### LIMO

- V- Pelita verde grisacea oscura
- W- Pelita arenosa gris oscura
- X- Pelita Arcillosa verde oscura
- Y- Pelita verde grisacea
- AF- Pelita Tabacea arenosa gris clara
- AG- Pelita tabacea arenosa gris clara
- AH- Pelita limosa verde grisacea
- AI- Pelita limosa verde claro
- AJ- Pelita arenosa gris parda
- AK- Pelita arenosa tabacea gris clara
- AL- Pelita arenosa tabacea gris oscura
- AM- Pelita arenosa gris verdosa moteada
- AN- Pelita limosa verde grisacea oscura

#### LIMO

- k- Limo arcillita parda clara masivo tabacea
- Z- limolita arcillosa gris verdosa
- AA- limolita arcillosa con arena fina gris claro
- AB- limolita arcillosa arena fina gris claro
- AC- limolita arcillosa gris verdosa oscura
- AD- Toba areno limosa gris claro
- AE- limolita arcillosa arenosa gris claro

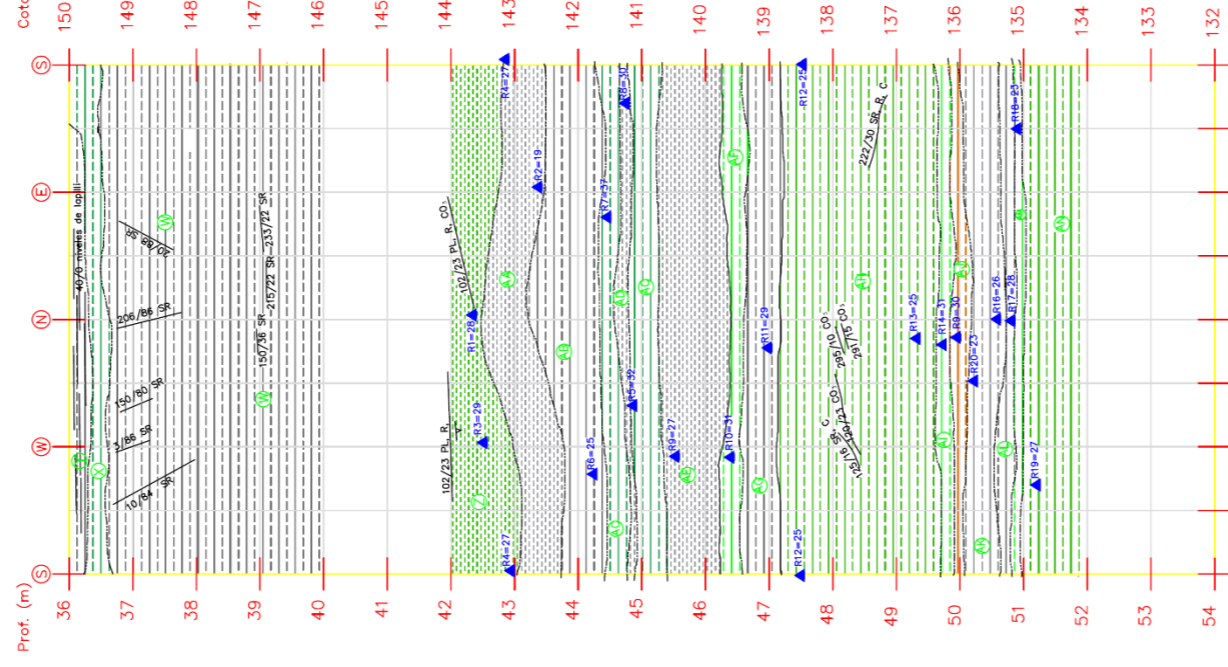



Figura 3.2: Mapeo del pozo exploratorio desde los 36m hasta los 50m.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0B Fecha: 0-0-16 Página: 14 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

A continuación, se describirá la geología en detalle a partir de los tramos mapeados.

### 3.1. Tramo 3-4,10 m (cotas 186,2 a 182,1m).

Desde aproximadamente los 3,5 m se encuentra una arenisca arcillosa (A) con muchas fracturas algunas rellenas con carbonato de calcio.

Por encima de estas areniscas (A) se encuentran unas areniscas laminadas(B) de color pardo claro, donde se observa pequeñas varvitas y presenta muchas fracturas, algunas rellenas con carbonatos de calcio. Las direcciones de las laminaciones en B son: 175°/28°, 122°/18° y 122°/15°. Esto indica que la estratificación tiene dirección E-W a NE-SW buzando hacia el SE. (Fig. 3.5)

En la Tabla 3.1 se muestran los datos de las discontinuidades y de la estratificación.

**Tabla 3.1: Discontinuidades y estratificación Tramo 3-4,10m**

Tipo	Dirección de buzamiento	Buzamiento
Fractura sin relleno	25°	52°
Fractura sin relleno	192°	2°
Fractura rellena con carbonato	302°	85°
Fractura sin relleno	220°	72°
Fractura sin relleno	191°	78°
Fractura sin relleno	305°	86°
Fractura sin relleno	27°	60°
Fractura rellena con carbonato	30°	26°
Fractura rellena con carbonato	290°	82°
Fractura sin relleno	30°	53°
Fractura sin relleno	320°	80°
Fractura sin relleno	122°	38°
Fractura sin relleno	112°	86°
Fractura sin relleno	205°	72°
Falla rellena con carbonato	109°	84°
Plano de estratificación	175°	28°
Plano de estratificación	122°	38°





REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS  
SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0B  
Fecha: 0-0-16  
Página: 15 de 59

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

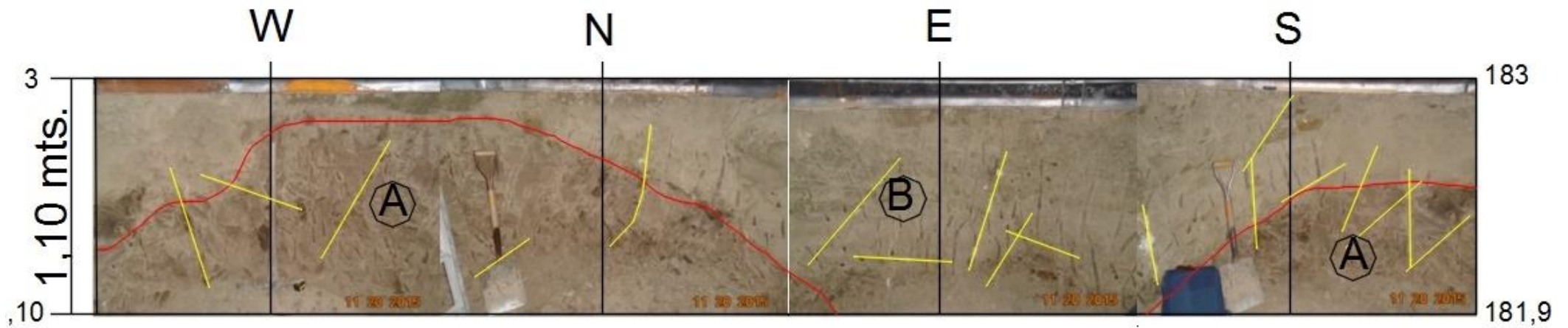



Figura 3.5: fotografía de la circunferencia del pozo, tramo 3 a 4.10 m. En rojo los contactos litológicos y en amarillo las fracturas. A la derecha se indican las cotas y a la izquierda las profundidades.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: <b>0B</b> Fecha: 0-0-16 Página: 16 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

### 3.2. Tramo 4,10-6,07 m. (cotas 182,1 a 180,13 m)

En esta sección continúan las areniscas arcillosas (A) hasta aproximadamente los 5m en la parte más profunda, Por debajo, con un contacto difuso, se encuentran unas areniscas limo arcillosas (C) de color pardo verdoso, masivas. Se siguen observando muchas fracturas, algunas cementadas con carbonatos y concreciones de carbonatos. (Fig. 3.6)

En la Tabla 3.2. se muestran los datos de las discontinuidades.

**Tabla 3.2: Discontinuidades Tramo 4,10-6,07m**

<b>Tipo</b>	<b>Dirección de buzamiento</b>	<b>Buzamiento</b>
Fractura rellena con carbonato	330°	27°
Fractura rellena con carbonato	20°	81°
Fractura rellena con carbonato	295°	85°
Fractura rellena con carbonato	297°	87°
Fractura rellena con carbonato	296°	86°



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS  
SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0B  
Fecha: 0-0-16  
Página: 17 de 59

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

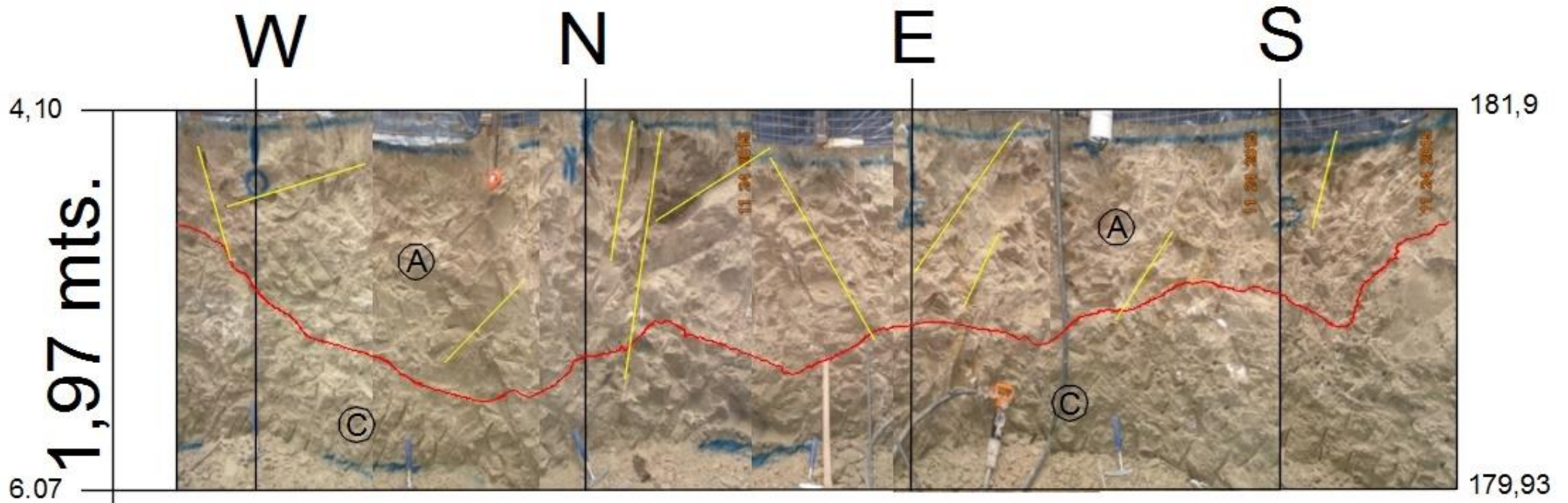



Figura 3.6: fotografía de la circunferencia del pozo, tramo 4.10 a 6.07 m. En rojo contactos litológicos y en amarillo las fracturas. A la derecha se indican las cotas y a la izquierda las profundidades.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0B Fecha: 0-0-16 Página: 18 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

### 3.3. Tramo 6.07-8.02 m. (cotas 180,13m a 178,18m)

Continúan las areniscas (C) hasta los 7 m. continuado aparece una pelita limosa de color verde claro (D) sin fracturas. A continuación de la pelita (D) sigue una arenisca limosa (E) parda clara, friable donde se alcanza a observar algo de estratificación entrecruzada. En esta sección los estratos se encuentran inclinados unos 36° aproximadamente hacia el NE (Fig. 3.7)

En la Tabla 3.3 se muestran los datos de las discontinuidades y de los contactos litológicos.

**Tabla 3.3: Discontinuidades y estratificación Tramo 6,07-8,02m**

Tipo	Dirección de buzamiento	Buzamiento
Fractura sin relleno	343°	90°
Falla sin relleno	50°	61°
Contacto C/D	55°	56°
Contacto D/E	50°	61°

### 3.4. Tramo 8.02-9.8 m. (Cota 178,18m a 176,4m)

Continúan las pelitas limosas (D) y las areniscas limosas (E).


En la arenisca (E) aparecen concreciones de carbonatos. Por debajo de las Pelitas limosas (D) aparecen en el sector NW, unas pelitas limo arcillosas(F) de color verde, blandas, luego le siguen una pelita arenosa tobacea (G) de color parda grisácea.

Al NW aparecen unas pelitas limosas (H) de color verde claro, masivas. Los estratos todavía se mantienen inclinados siendo la inclinación de las pelitas (H) de aproximadamente 72° hacia en NE. (Fig. 3.8)

En la Tabla 3.4. se muestran los datos de los contactos litológicos.

**Tabla 3.4: Estratificación Tramo 8,02-9,8m**

Tipo	Dirección de buzamiento	Buzamiento
Contacto D/E	25°	6°
Contacto D/F	210°	80°
Contacto E/H	15°	79°

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0B Fecha: 0-0-16 Página: 19 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

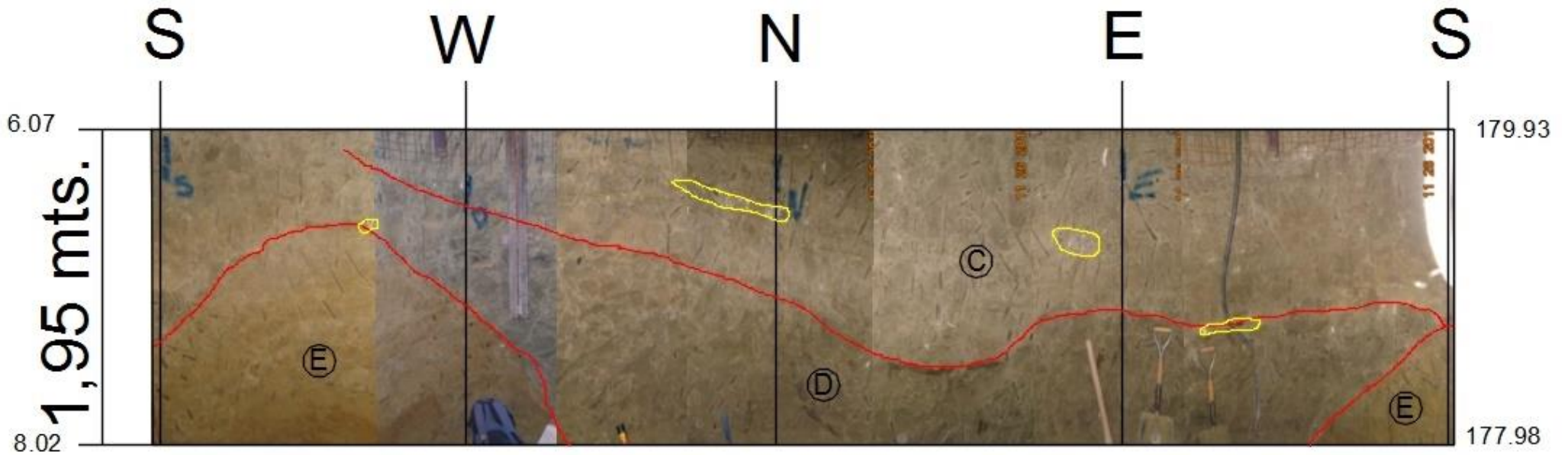


Figura 3.7: fotografía de la circunferencia del pozo, tramo 6.07-8.02 m. En rojo contactos litológicos, en círculos amarillos las concreciones. Al derecho se indican las cotas y a la izquierda las profundidades.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0B

Fecha: 0-0-16

Página: 20 de 59

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

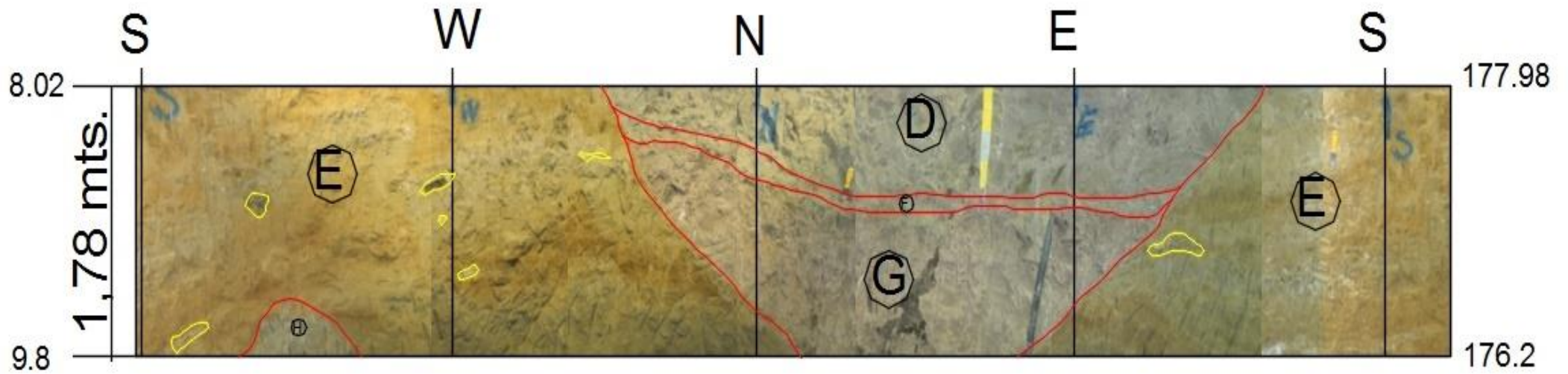



Figura 3.8: fotografía de la circunferencia del pozo, tramo 8.02 a 9.8 m. En rojo contactos litológicos, en círculos amarillos las concreciones. Al derecho se indican las cotas y a la izquierda las profundidades.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0B Fecha: 0-0-16 Página: 21 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

### 3.5. Tramo 9.8-12 m. (cotas 176,4 a 174,2m)

Continúan las pelitas (H) y las areniscas (E) hasta los 11 m de profundidad.

Por debajo de las areniscas (E) al N aparecen unas areniscas tobaceas (I) de color gris, masivas de aproximadamente unos 10 a 60 cm de espesor, acuñándose hacia los bordes. A continuación de las areniscas tobaceas (I) y en contacto con las pelitas (H) se encuentran unas pelitas arenosas (J), de color verde grisáceo claro, con textura brechosa. (Fig. 3.9)

### 3.6. Tramo 12-14 m. (cotas 174,2 a 172,2m)


Continúan las pelitas (H) en casi todo el perfil, excepto al NE donde se encuentra las pelitas arenosas (J) hasta los 13,20 m (Fig. 3.10). Aparece una capa de una pelita violeta (U), masiva, la cual se encuentra cortada y desplazada, en algunos sectores, por fallas de tipo normal con direcciones de buzamiento y buzamientos de: 102°/65°, 100°/69° Estas fallas no tienen rellenos y el borde es de tipo liso rugosa.

A los 13 m se observa una franja de concreciones de carbonatos que se cortan al NE y vuelven a aparecer en el SE. En el NE por debajo de las pelitas arenosas (J) aparecen unas areniscas de grano medio (M) grises de aproximadamente 20 cm de espesor. También se encuentran muchas fracturas sin relleno.

En la Tabla 3.5 se muestran los datos de las discontinuidades.

**Tabla 3.5: Discontinuidades Tramo 12-14m**

Tipo	Dirección de buzamiento	Buzamiento
Fractura sin relleno	36°	74°
Fractura sin relleno	145°	82°
Falla sin relleno	77°	66°
Falla sin relleno	102°	65°
Falla sin relleno	100°	69°
Falla sin relleno	50°	84°

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: <b>0B</b> Fecha: 0-0-16 Página: 22 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

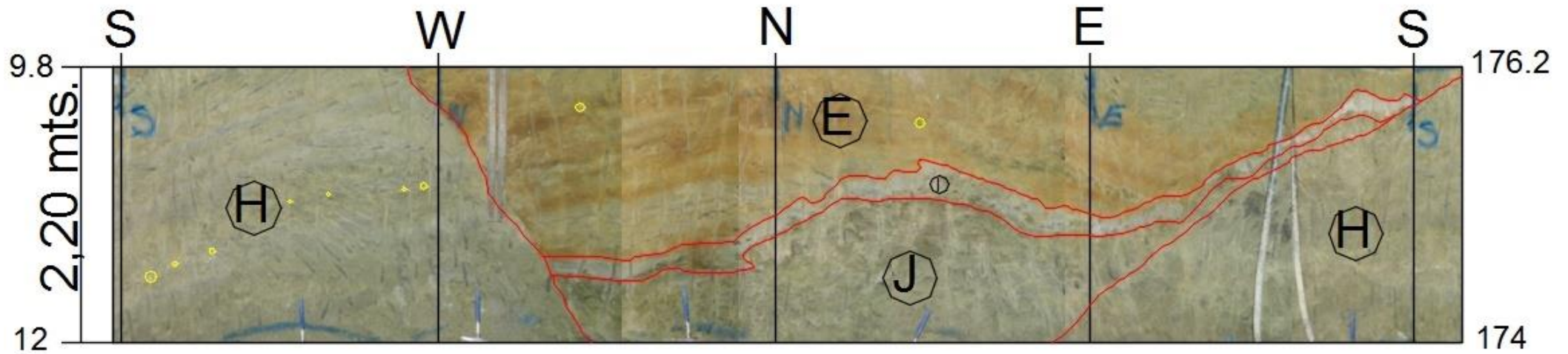



Figura 3.9: fotografía de la circunferencia del pozo, tramo 9.8 a 12 m. En rojo contactos litológicos, en círculos amarillos las concreciones. Al derecho se indican las cotas y a la izquierda las profundidades.



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0B Fecha: 0-0-16 Página: 23 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

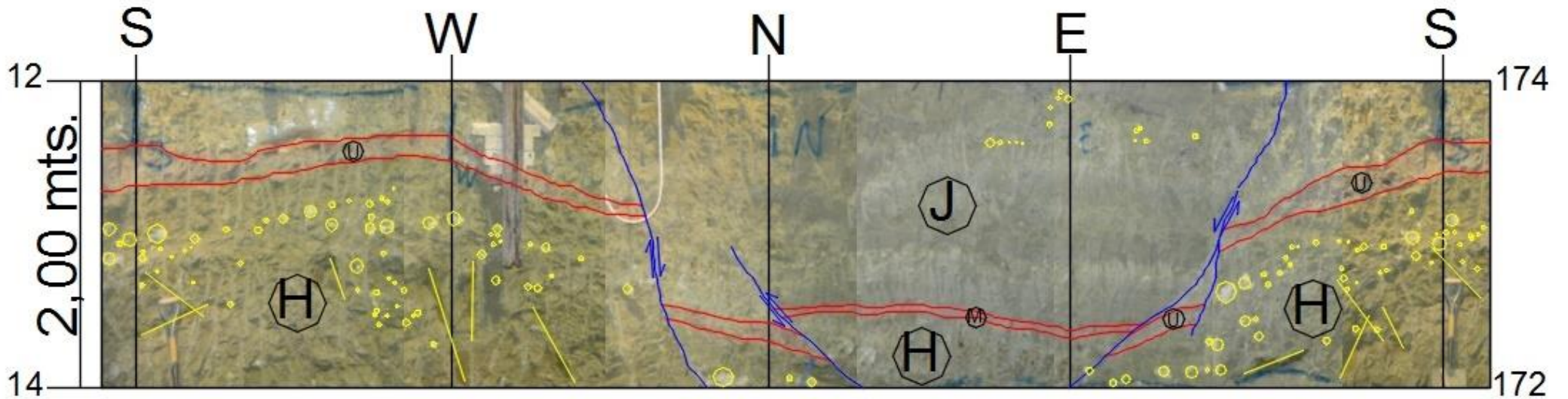



Figura 3.10: fotografía de la circunferencia del pozo, tramo 12 a 14 m. En rojo contactos litológicos, en círculos amarillos las concreciones, en líneas amarillas fracturas y en líneas azules las fallas. Al derecho se indican las cotas y a la izquierda las profundidades.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0B Fecha: 0-0-16 Página: 24 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

### 3.7. Tramo 14-16 m. (Cota 172,2 a 170,2m).

Continúan las pelitas (H) hasta los 15m aproximadamente. Se observa una zona de concreciones que va desde aproximadamente el NW hasta el SE.

Por debajo de las pelitas (H) se observa una capa de aproximadamente unos 20 cm de una limo-arcillita (K) parda clara la cual se encuentra cortada y desplazada por fallas. A continuación de la limo-arcillita(K) a los 14,5 m aparece una arenisca fina limosa, (L) arcillosa de color parda grisácea. (Fig. 3.11).

En la Tabla 3.6 se muestran los datos de las discontinuidades

Tabla 3.6: Discontinuidades Tramo 14-16m

Tipo	Dirección de buzamiento	Buzamiento
Fractura sin relleno	315°	60°
Fractura sin relleno	256°	70°
Falla sin relleno	70°	70°
Falla sin relleno	100°	50°

### 3.8. Tramo 16-18 m. (Cota 170,2 a 168,2m)

La arenisca fina limosa (L) continua hasta aproximadamente los 17,5 m. Por debajo se encuentran unas areniscas finas limosas (N) de color parda oscura que en algunos puntos presenta agua surgente en forma de goteos persistentes Los contactos entre las litologías tienden a hacerse más horizontales (Fig. 3.12).

### 3.9. Tramo 18-20 m (Cota 168,2m a 166,2m)

La arenisca fina limosas (N) continúan hasta aproximadamente los 18,5 m. Le siguen una pelita arcillosa (O) parda verdosa, plástica con algunas fracturas sin relleno. Esta pelita arcillosa (O) llega hasta aproximadamente los 20 m (Fig. 3.13).

En la Tabla 3.7 se muestran los datos de las discontinuidades

Tabla 3.7: Discontinuidades Tramo 18-20m

Tipo	Dirección de buzamiento	Buzamiento
Fractura sin relleno	350°	80°
Fractura sin relleno	343°	48°
Fractura sin relleno	25°	70°
Fractura sin relleno	260°	80°
Fractura sin relleno	150°	50°



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS  
SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0B  
Fecha: 0-0-16  
Página: 25 de 59

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

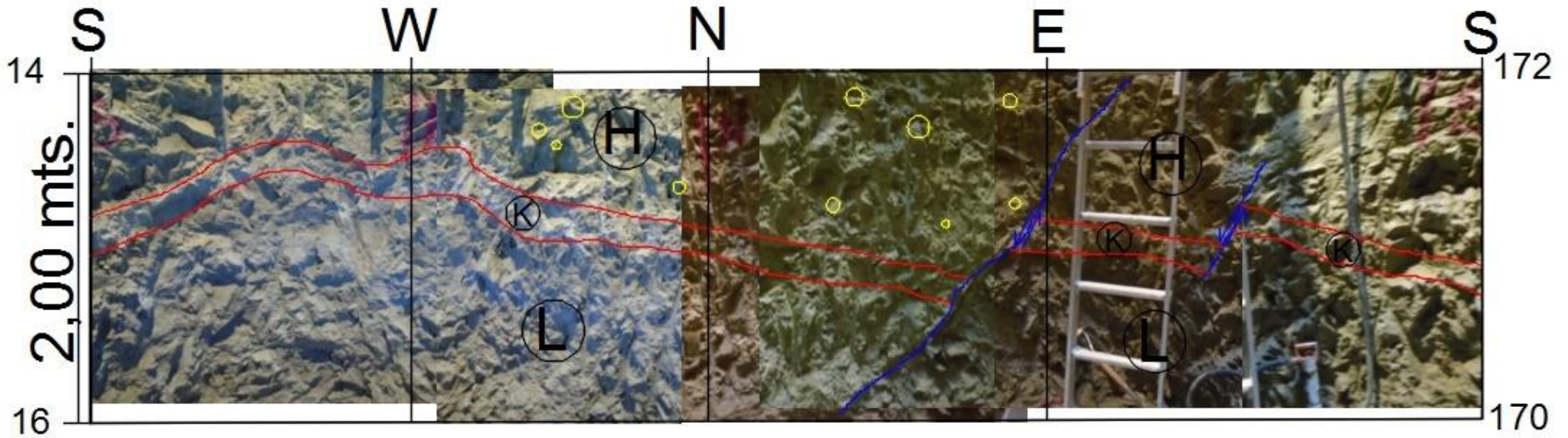


Figura 3.11: fotografía de la circunferencia del pozo, tramo 14 a 16 m. En rojo contactos litológicos, en círculos amarillos las concreciones y en azul las fallas. Al derecho se indican las cotas y a la izquierda las profundidades.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS  
SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0B  
Fecha: 0-0-16  
Página: 26 de 59

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

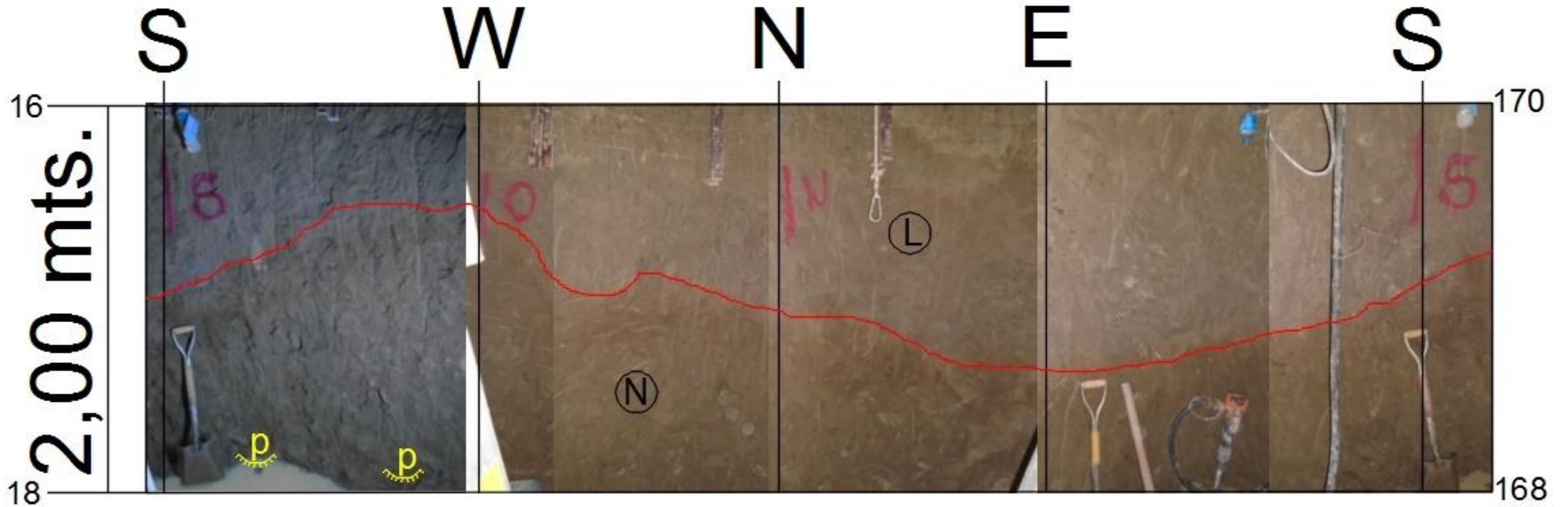



Figura 3.12: fotografía de la circunferencia del pozo, tramo 16 a 18 m. En rojo contactos litológicos, y se encuentran marcadas los lugares de surgencia de agua. Al derecho se indican las cotas y a la izquierda las profundidades.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0B Fecha: 0-0-16 Página: 27 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

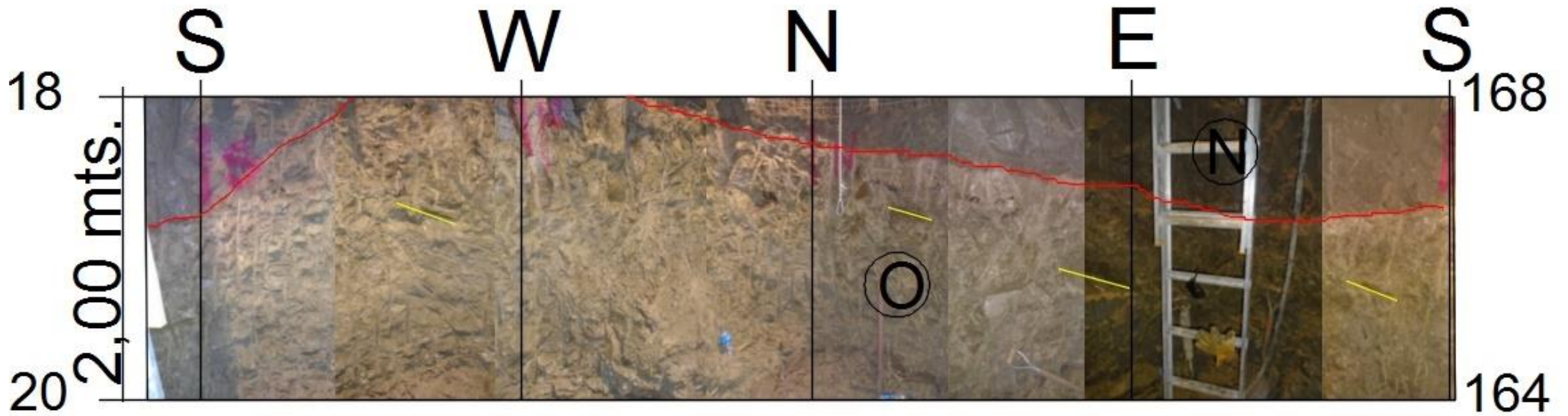



Figura 3.13: fotografía de la circunferencia del pozo tramo 18 a 20 m. En rojo contactos litológicos, y en amarillo las fracturas. Al derecho se indican las cotas y a la izquierda las profundidades.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0B Fecha: 0-0-16 Página: 28 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

### 3.10. Tramo 20-22 m. (Cota 166,2 a 164,2m)

A los 20 m aparece una pelita limosa (P) con bajo contenido de limo, levemente plástica con ondulitas superpuestas. Esta pelita limosa (P) llega hasta aproximadamente los 21 m. Por debajo aparece una pelita arcillosa (Q) gris oscuro, en contacto con agua se pone plástica y se encuentra medianamente alterada. Esta pelita arcillosa (Q) llega hasta los 21,50 m de profundidad. Por debajo le sigue una pelita arenosa (R) color pardo claro. En esta sección los contactos se encuentran en posición subhorizontal (Fig. 3.14).

En la Tabla 3.8 se muestran los datos de las discontinuidades.

Tabla 3.8: Discontinuidades y estratificación Tramo 20-22m

Tipo	Dirección de buzamiento	Buzamiento
Fractura sin relleno	70°	62°
Fractura sin relleno	170°	62°

### 3.11. Tramo 22-24 m. (Cota 164,2 a 162,2m)

La pelita arenosa (R) continua hasta los 23,5 m, presenta fracturas oblicuas y subhorizontales, rellenas con carbonatos de calcio. Por debajo se encuentran unas areniscas de grano grueso (S) de color pardo oscuro, polimictica (Fig. 3.15).

En la Tabla 3.9 se muestran los datos de las discontinuidades.

Tabla 3.9: Discontinuidades Tramo 22-24m


Tipo	Dirección de buzamiento	Buzamiento
Fractura sin relleno	145°	15°
Fractura sin relleno	325°	18°
Fractura sin relleno	318°	10°
Fractura sin relleno	340°	2°
Fractura sin relleno	160°	56°
Fractura sin relleno	315°	14°

### 3.12. Tramos 24-32 m. (Cota 162,2 a 154,2m)

Los mapeos se continuaron cada 2 m. hasta los 32 m. de profundidad.

La litología comprende la arenisca (S) parda oscura, con estratificación entrecruzada, concreciones que van de unos pocos centímetros a más de 20 cm y niveles cementados con carbonatos a distintas profundidades. Estos niveles concuerdan con la estratificación (Fig. 3.16 a 3.19). No presenta discontinuidades

A los 32 m aparece una pelita limosa (T) de color verde claro, poco alterada. En el contacto con las areniscas (S) se encuentran patinas rojas de óxido de hierro.

 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0B</p> <p>Fecha: 0-0-16</p> <p>Página: 29 de 59</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003</p>

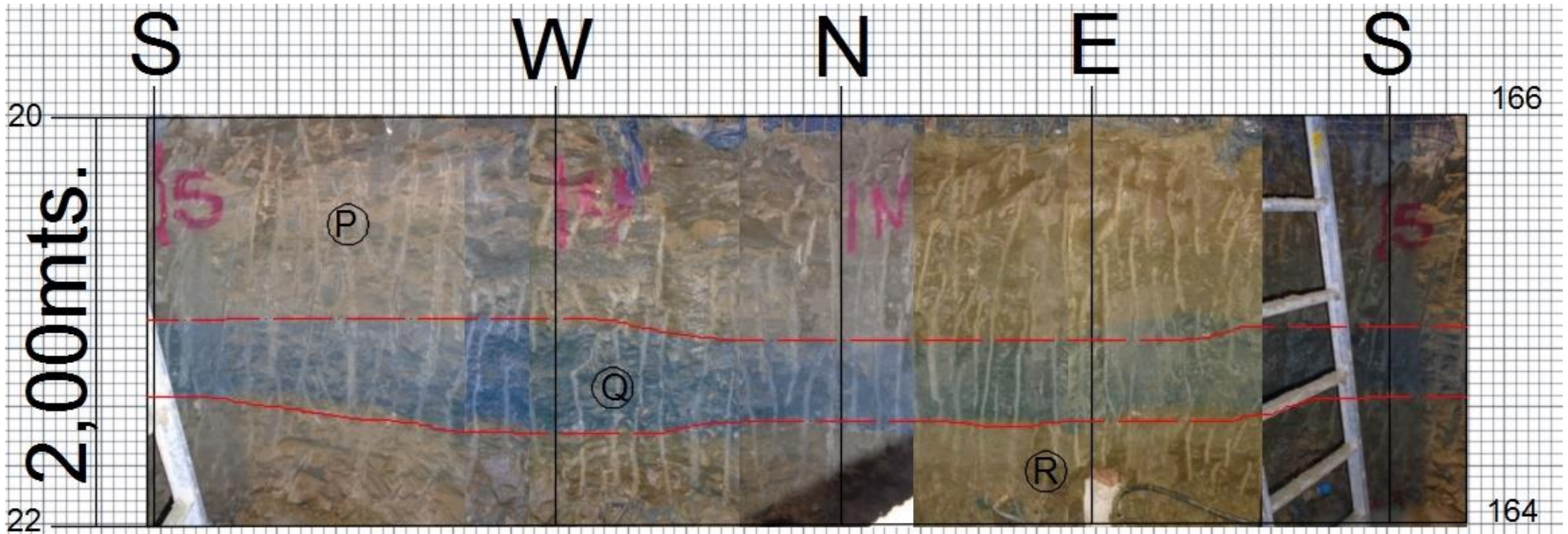


Figura 3.14: fotografía de la circunferencia del pozo, tramo 18 a 20 m. En rojo contactos litológicos. Al derecho se indican las cotas y a la izquierda las profundidades.

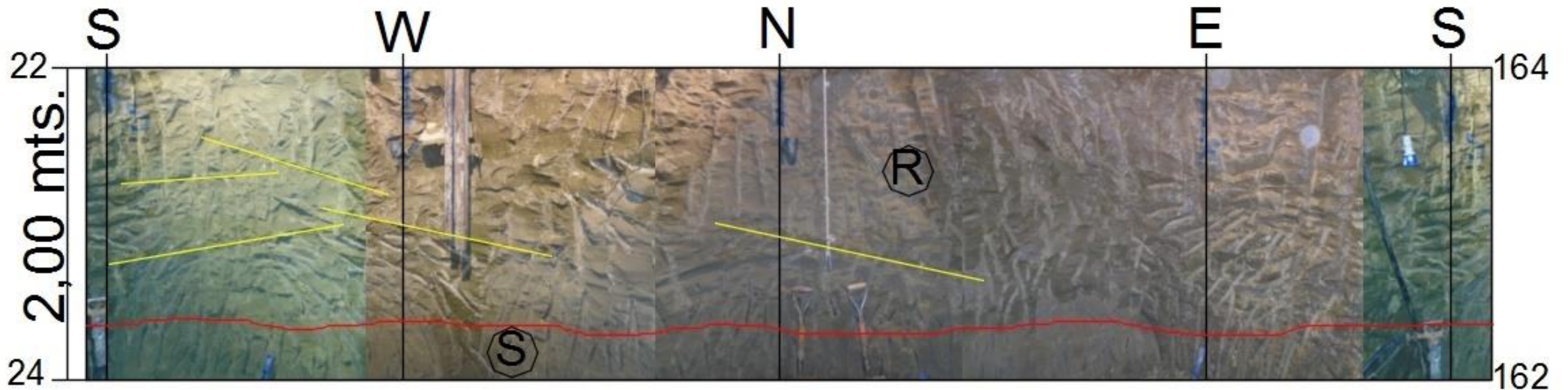


Figura 3:15: fotografía de la circunferencia del pozo, tramo 22 a 24 m. En rojo contactos litológicos y en amarillo las fracturas. Al derecho se indican las cotas y a la izquierda las profundidades.





REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS  
SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0B  
Fecha: 0-0-16  
Página: 31 de 59

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

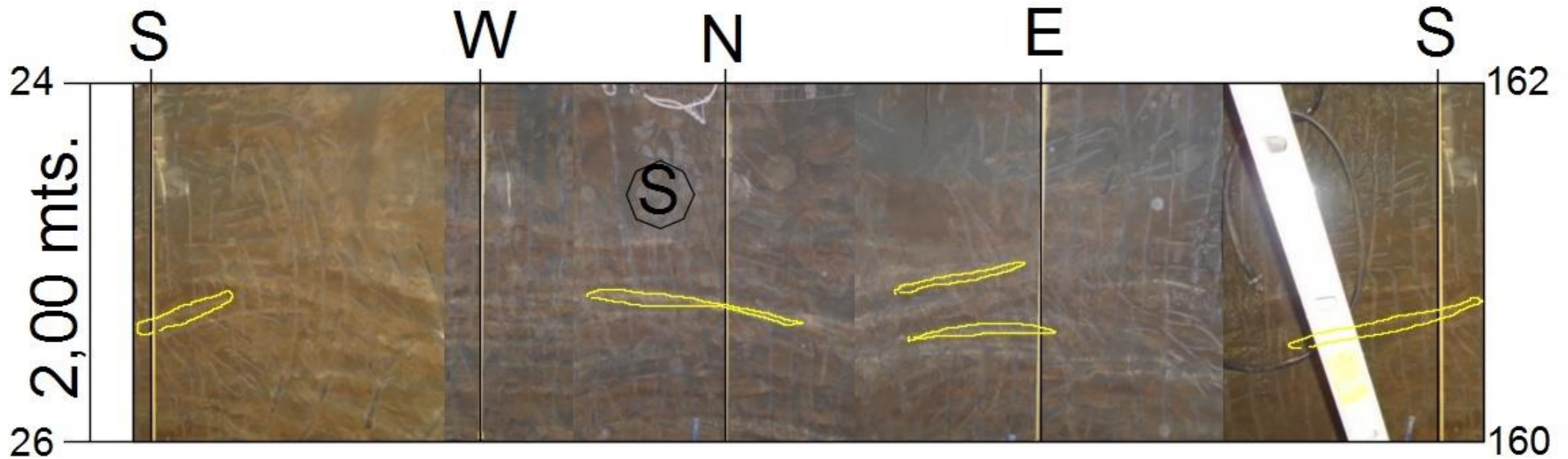


Figura 3.16: Fotografía de la circunferencia del pozo, tramo 24 a 26 m. En amarillo están marcadas las concesiones y los niveles cementados. Al derecho se indican las cotas y a la izquierda las profundidades.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS  
SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0B  
Fecha: 0-0-16  
Página: 32 de 59

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

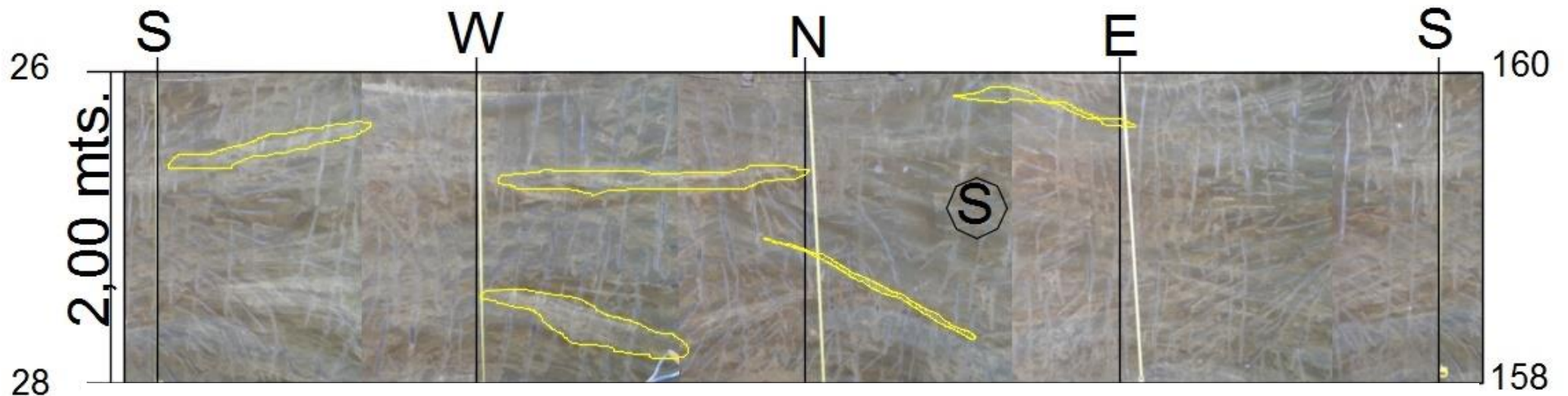


Figura 3.17: fotografía de la circunferencia del pozo, tramo 26 a 28 m. En amarillo están marcadas las concesiones y los niveles cementados. Al derecho se indican las cotas y a la izquierda las profundidades.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS  
SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0B  
Fecha: 0-0-16  
Página: 33 de 59

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

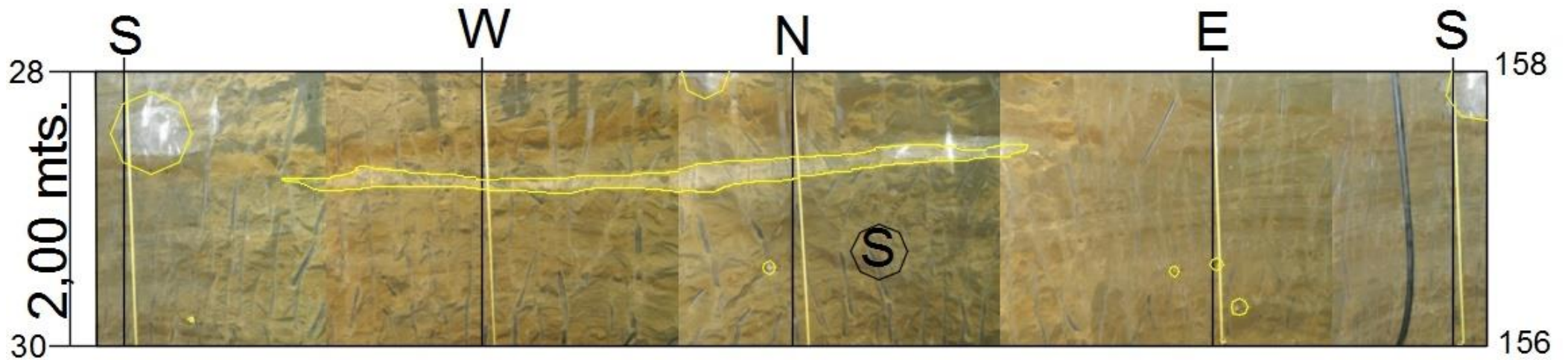


Figura 3.18: fotografía de la circunferencia del pozo, tramo 28 a 30 m. En amarillo están marcadas las concesiones y los niveles cementados. Al derecho se indican las cotas y a la izquierda las profundidades.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS  
SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0B  
Fecha: 0-0-16  
Página: 34 de 59

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

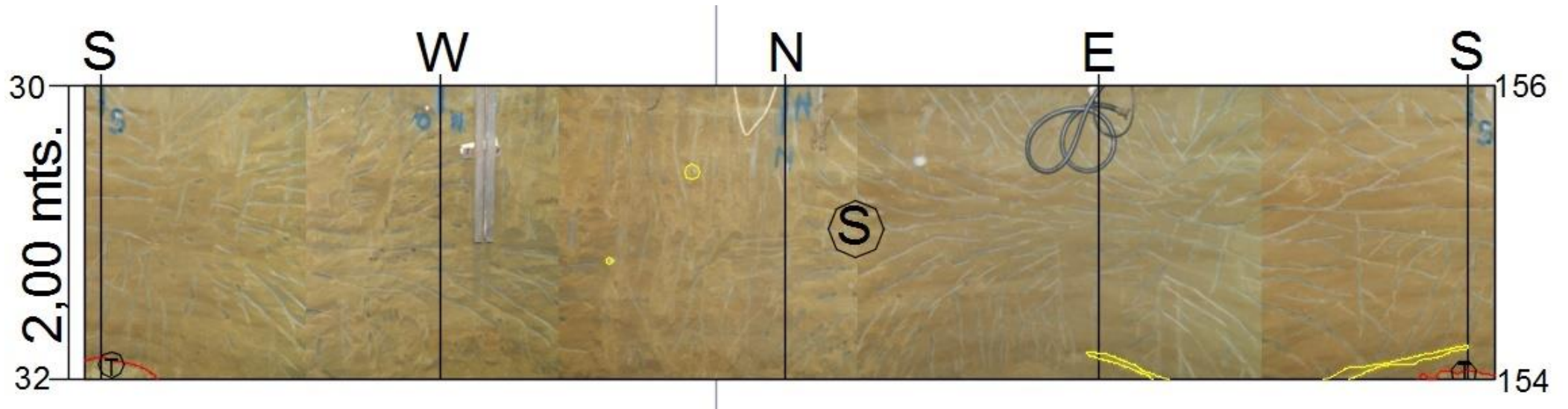


Figura 3.19: fotografía de la circunferencia del pozo, tramo 30 a 32 m. En amarillo están marcadas las concesiones y los niveles cementados. En rojo están marcados los contactos litológicos. Al derecho se indican las cotas y a la izquierda las profundidades.

### 3.13. Tramos 32-34 m. (Cota 154.2 a 152,2m)

Las areniscas pardas (S) continúan hasta los 32.5m, cota 153.7 m, con clastos de la pelita (T) dentro de la misma. En los contactos de la arenisca y los clastos de las pelitas se observan patinas de óxido de hierro. (Figura 3.20).

Continúa la pelita (T) hasta los 33.5m, cota 152.7m donde comienza una pelita verde grisácea oscura (V). El contacto entre ambas pelitas se encuentra bien definido y varía de 33.5m (cota 153.7m) al Sureste hasta unos 34 m (cota 152.2 m) al Noroeste. Esto posiblemente se debe a que en el norte la alteración alcanzó mayor profundidad. En la pelita (T) se observan algunas fracturas rellenas con óxidos y carbonatos, ver tabla 3.10. (Figura 3.21).

**Tabla 3.10: Discontinuidades Tramo 32-34m**

Tipo	Dirección de buzamiento	Buzamiento
Fractura rellena con carbonato	290	0
Fracturas rellenas con óxidos	276	4
Fracturas rellenas con óxidos	290	6
Fractura rellena con carbonato	116	4
Fractura rellena con carbonato	342	22
Fractura rellena con carbonato	341	40
Fracturas rellenas con óxidos	200	8
Fracturas rellenas con óxidos	200	0
Fractura rellena con carbonato	203	40
Fracturas rellenas con óxidos	270	6
Fracturas rellenas con óxidos	300	6



**Figura 3.20: Fotografía del contacto entre las areniscas pardas (S) y las pelitas verde parda claras (T). Se observa las patinas de óxido en el contacto.**

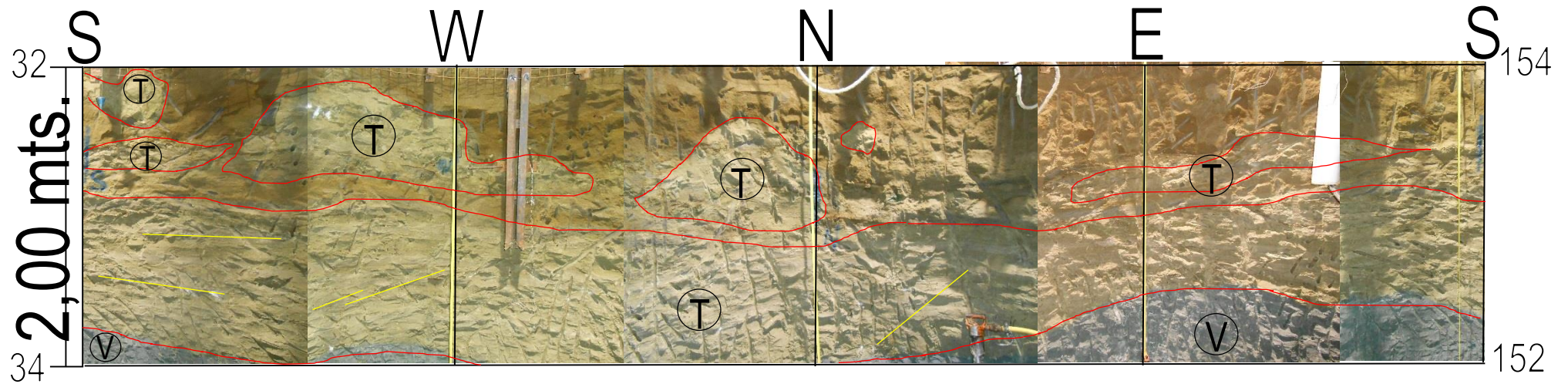



Figura 3.21: fotografía de la circunferencia del pozo, tramo 32 a 34 m. En amarillo están marcadas las concreciones y los niveles cementados. En rojo están marcados los contactos litológicos y en amarillo las fracturas. Al derecho se indican las cotas y a la izquierda las profundidades.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: <b>0B</b> Fecha: 0-0-16 Página: 37 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

### 3.14. Tramos 34-36 m. (Cota 152.2 a 150,2m)

La pelita verde grisácea oscura (V) continúan hasta los 34,30 m, cota 151.90 m. Por debajo se encuentra una pelita arenosa gris oscura (tobacea) (W), con textura moteada. El contacto entre ambas es de tipo neto. La pelita arenosa (W) es más masiva y presenta en algunas zonas fractura concoidea comparada con las pelitas verde grisáceas (V). A los 35m y 35.6m, cotas 151.2m y 150.6m respectivamente, aparecen unos estratos de pelitas arcillosas verde oscuro (X), de un espesor que varia, aproximadamente, de 10 a 20 cm. El contacto de estos estratos es de tipo difuso. (Figura 3.22).

Este tramo no presenta fracturas.

### 3.15. Tramos 36-38 m. (Cota 150.2 a 148,2m)

Continua la pelita arcillosa verde oscuro (X) hasta los 36.7m, cota 149.5m. Entre los 36.2m y 36.5m, cotas 150 y 149.70 m respectivamente, se encuentra una pelita verde grisácea con estratificación laminar (Y). Los estratos son de poco espesor y varían de 5 a 3 cm. Estos estratos son intercalaciones de pelitas verde grisáceas oscuras y pelitas con depósitos piro clásticos de tipo lapilli. (Figuras 3.23 y 3.24). Por debajo continúan las pelitas arenosas gris oscura (tobacea) (W) con textura moteada.

Entre los 36.80 y 38 m se observan algunas fracturas subverticales, cerradas sin rellenos (ver tabla 3.11)


Mapeo de este tramo en la Figura 3.25.



**Figura 3.22: Fotografía de la pelita verde Grisácea (X) donde se observa la estratificación laminar y las intercalaciones de pelitas verde grisáceas oscuras y pelitas con depósitos piro clásticos de tipo lapilli.**



**Figura 3.23: Fotografía de la pelita verde Grisácea (X) donde se observa la estratificación laminar y las intercalaciones de pelitas verde grisáceas oscuras y pelitas con depósitos piro clásticos de tipo lapilli con tamaño de grano más grueso que la figura anterior.**

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0B Fecha: 0-0-16 Página: 38 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

**Tabla 3.11: Discontinuidades Tramo 36-38m**

Tipo	Dirección de buzamiento	Buzamiento
Fractura sin relleno	10	84
Fractura sin relleno	3	86
Fractura sin relleno	206	86
Fractura sin relleno	20	88
Fractura sin relleno	150	80

### **3.16. Tramos 38-40 m. (Cota 148.2 a 146,2m).**

Continúan las pelitas arenosas gris oscuro (tobaceas) (W), con textura moteada. La textura moteada se hace más notoria y las motas negras son de mayor tamaño, sobretodo en la parte sur.

Se observan algunas fracturas oblicuas, ver tabla 3.12.

Mapeo en la figura 3.26.

**Tabla 3.12: Discontinuidades Tramo 38-40m**

Tipo	Dirección de buzamiento	Buzamiento
Fractura sin relleno	215	22
Fractura sin relleno	233	22
Fractura sin relleno	150	36





REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0B

Fecha: 0-0-16

Página: 39 de 59

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

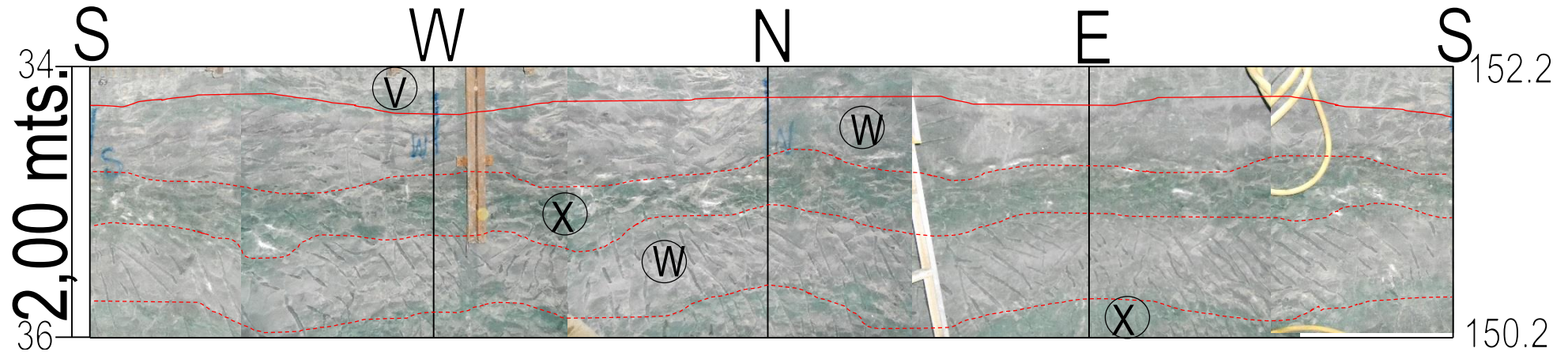


Figura 3.22: fotografía de la circunferencia del pozo, tramo 34 a 36 m. En rojo están marcados los contactos litológicos. Al derecho se indican las cotas y a la izquierda las profundidades.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS  
SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0B  
Fecha: 0-0-16  
Página: 40 de 59

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

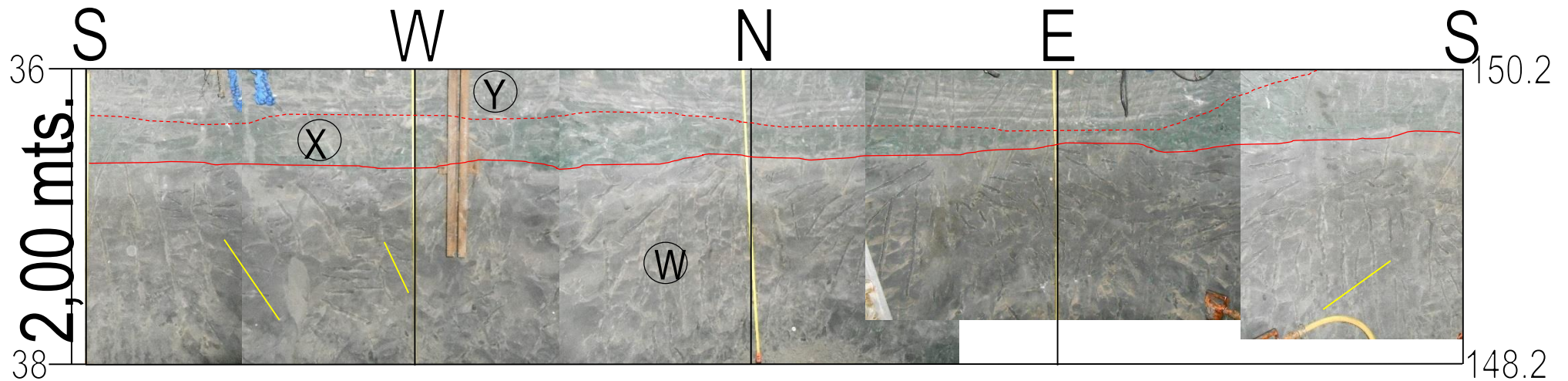


Figura 3.25: fotografía de la circunferencia del pozo, tramo 36 a 38 m. En rojo están marcados los contactos litológicos, con amarillo las fracturas. Al derecho se indican las cotas y a la izquierda las profundidades.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGOC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS  
SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0B  
Fecha: 0-0-16  
Página: 41 de 59

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

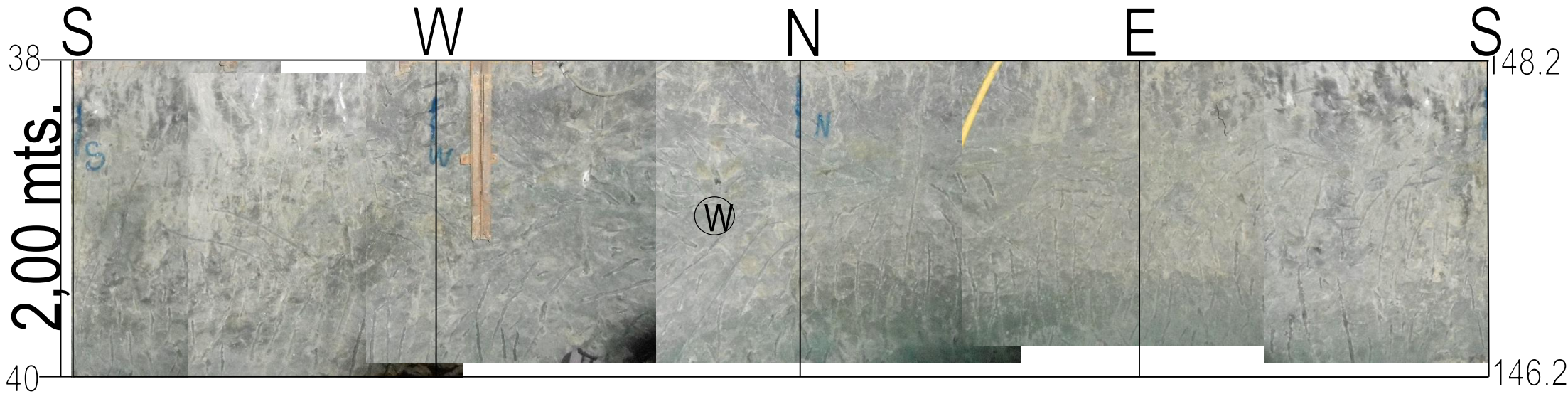



Figura 3.26: fotografía de la circunferencia del pozo, tramo 38 a 40 m. Al derecho se indican las cotas y a la izquierda las profundidades.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0B Fecha: 0-0-16 Página: 42 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

### 3.17. Tramos 40-42 m. (Cota 146.2 a 144,2m)

Este tramo no pudo ser mapeado.

### 3.18. Tramos 42-44 m. (Cota 144.2 a 142,2m)

Desde los 42m, cota 144.2m, hasta los 43m aproximadamente, cota 143.2m, aparece una limolita arcillosa gris verdosa (Z), con textura masiva y húmeda, con fractura concoidea. Por debajo hay una limolita arcillosa con algo de arena fina de color gris claro (AA), con textura masiva y húmeda, con fractura concoidea. El contacto entre ambas es difuso y ondulado. Desde los 43.60m, cota 142.6m, aparece una limolita arcillosa con algo de arena fina de color gris claro (AB), con fractura concoidea. En este tramo se observaron algunas fracturas oblicuas, algunas rellenas con carbonatos. Ver tabla 3.13.

En este tramo se realizaron golpes con un Esclerómetro ELE, los resultados en la tabla: 3.14.

Mapeo de este tramo en la figura: 3.27.

**Tabla 3.13: Discontinuidades Tramo 42-44m**

Tipo	Dirección de buzamiento	Buzamiento
Fractura sin relleno	102	23
Fractura rellena con carbonato	17	32

### 3.19. Tramos 44-46 m. (Cota 142.2 a 140,2m).

Desde los 44m hasta los 44.5, cota 142.2m y 141.7m respectivamente, se observa una limolita arcillosa con algo de arena fina de color gris claro (AB), con textura moteada y se encuentra húmeda.

Por debajo de la limolita (AB) hasta los 45,5 m, cota 140.7 m, aparece una limolita arcillosa gris verdosa oscura (AC), textura masiva y se encuentra húmeda. Esta limolita (AC) se encuentra cortada desde los 44.6m a 44.8m, cotas 141.6m y 141.4m respectivamente, por una toba areno limosa gris claro (AD) con textura moteada.

Desde los 45.5m, cota 140.7m, se encuentra una limolita arcillosa algo arenosa (AE) de color gris claro, de textura masiva. En general los contactos son netos menos en el lado norte donde los contactos se vuelven difusos.

En este tramo se realizaron golpes con un Esclerómetro ELE, los resultados en la tabla: 3.15.

Mapeo de este tramo en la figura: 3.28.


 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGOC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS		Revisión: <b>0B</b> Fecha: 0-0-16 Página: 43 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC		Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

Tabla 3.14: Tabla con los resultados de los ensayos esclerométricos en el tramo 42-44.

<b>Ensayos esclerometrico Tramo 42-44</b>										
<b>Ensayo N°</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Cota (msnm)</b>	<b>Lado</b>	<b>Posición Esclerómetro</b>	<b>Roca</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desvió estándar</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>
R1	42,8	143,4	Norte	Horizontal	limolita arcillosa GV masiva(Z)	20	28	5	18	34
R2	43,4	142,8	Este	Horizontal	limolita arcillosa GV Clara masiva(AA)	19	19	4	12	28
R3	42,5	143,7	Oeste	Horizontal	limolita arcillosa GV masiva(Z)	20	29	5	18	35
R4	42,8	143,4	Sur	Horizontal	limolita arcillosa GV masiva(Z)	19	27	5	18	36



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS  
SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0B  
Fecha: 0-0-16  
Página: 44 de 59

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

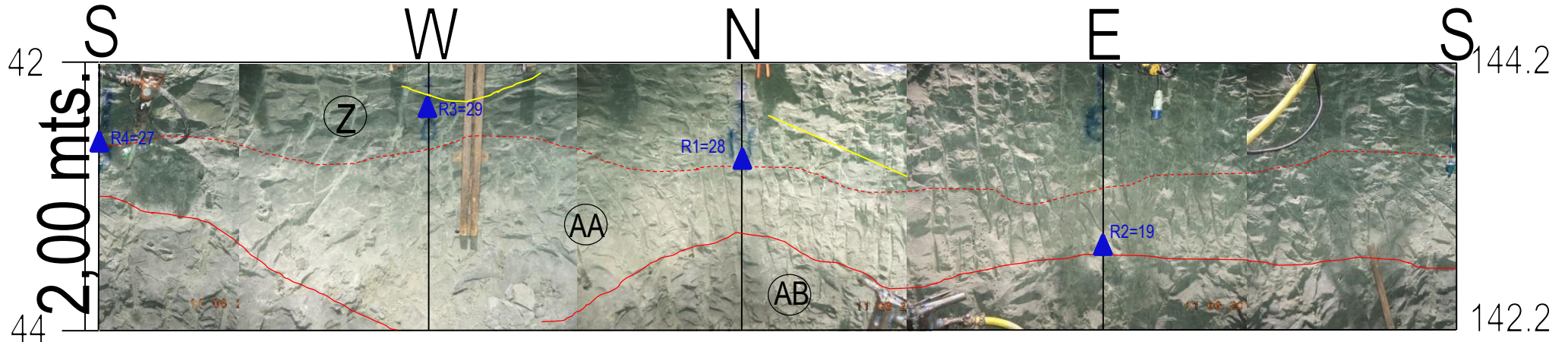


Figura 3.27: fotografía de la circunferencia del pozo, tramo 42 a 44 m. En rojo están marcados los contactos litológicos, con amarillos las fracturas. Con un triángulo azul se marca el lugar donde se golpeó con el esclerómetro junto con el valor promedio que dio. Al derecho se indican las cotas y a la izquierda las profundidades.


 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS		Revisión: <b>0B</b> Fecha: 0-0-16 Página: 45 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC		Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

Tabla 3.15: Tabla con los resultados de los ensayos eclerométricos en el tramo 44-46.

Ensayos esclerometrico Tramo 44-46										
Ensayo N°	Profundidad (m)	Cota (msnm)	Lado	Posición Esclerómetro	Roca	N° de golpes	Promedio	Desvió estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo
R5	44,75	141,45	Norte-Oeste	Horizontal	limolita arcillosa GV masiva (AC)	20	32	3	26	38
R6	44,2	142	Oeste Sur	Horizontal	Limolita arcillosa (arena fina) gris clara, masiva, húmeda (AB)	20	25	4	17	32
R7	44,4	141,8	Este	Horizontal	Limolita arcillosa gris verdosa oscura, masiva, húmeda(AC)	20	37	4	29	44
R8	44,7	141,5		Horizontal	Toba areno limosa gris clara, textura moteada (AD)	25	30	4	20	38
R9	45,4	140,8	Este	Horizontal	Limolita arcillosa (con algo de arena) gris clara (AE)	20	27	6	24	34

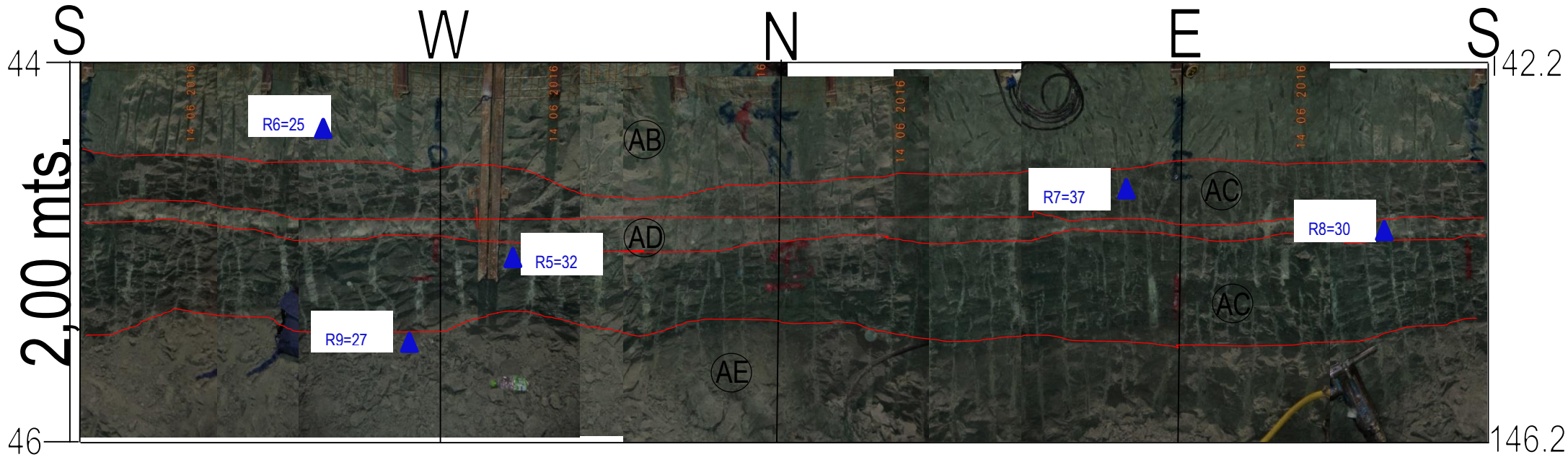



Figura 3.28: fotografía de la circunferencia del pozo, tramo 44 a 46 m. En rojo están marcados los contactos litológicos. Con un triángulo azul se marca el lugar donde se golpeó con el esclerómetro junto con el valor promedio que dio. Al derecho se indican las cotas y a la izquierda las profundidades.



	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0B Fecha: 0-0-16 Página: 47 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

### 3.20. Tramos 46-48 m. (Cota 140.2 a 138,2m)

Continúa la Limolita arcillosa con algo de arena gris clara (AE) hasta los 46,3m, cota 139.9m, en el lado sur este; En el lado Noreste llega hasta los 46m, cota 140.2m.

Por debajo se encuentra una pelita limosa verde grisácea (AF) con contactos difusos hacia el oeste, llegando hasta los 46.70 m, cota 139.5m. Continúa una pelita tobacea arenosa gris clara (AG) con textura moteada. Desde los 47.10m, cota 139.1m, a 47,40m, cota 138.8m, en el noreste.

Continúa una pelita limosa verde grisácea (AH) con contactos difusos.

No se observaron fracturas en este tramo.

En este tramo se hicieron ensayos esclerometricos, los resultados se presentan en la tabla 3.16.

Mapeo en la figura 3.29.

### 3.21. Tramos 48-50 m. (Cota 140.2 a 138,2m)

Continúa la pelita limosa verde grisácea (AH) hasta los 49.60m, cota 136.6m, donde se observa una pelita limosa verde claro (AI). Los contactos entre ambos estratos son difusos. Desde los 49.90 m, cota 136.3m, aparece una pelita arenosa gris parda tobacea (AJ). Se observan fracturas oblicuas, algunas rellenas con carbonatos, ver tabla 3.17.

En este tramo se hicieron ensayos esclerometricos, los resultados se presentan en la tabla 3.18.

Mapeo de este tramo en la figura 3.30.

**Tabla 3.17: Discontinuidades Tramo 48-50m**

Tipo	Dirección de buzamiento	Buzamiento
Fractura sin relleno	125	26
Fractura rellena con carbonato	120	23
Fractura sin relleno	222	30
Fractura sin relleno	295	10
Fractura rellena con carbonato	291	15


 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS		Revisión: <b>0B</b> Fecha: 0-0-16 Página: 48 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC		Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

Tabla 3.16: Tabla con los resultados de los ensayos esclerométricos en el tramo 46-48.

Ensayos esclerometrico Tramo 46-48										
Ensayo N°	Profundidad (m)	Cota (msnm)	Lado	Posición Esclerómetro	Roca	N° de golpes	Promedio	Desvió estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo
R10	46,5	139,7	Oeste	Horizontal	Pelita limosa verde gris (AF).	21	31	6	19	39
R11	47	139,2	Norte-Oeste	Horizontal	Pelita tobacea arenosa gris clara (AG).	22	29	3	24	35
R12	47,5	138,7	Este	Horizontal	Pelita Limosa verde grisácea (AH).	21	25	5	16	32



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS  
SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0B  
Fecha: 0-0-16  
Página: 49 de 59

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

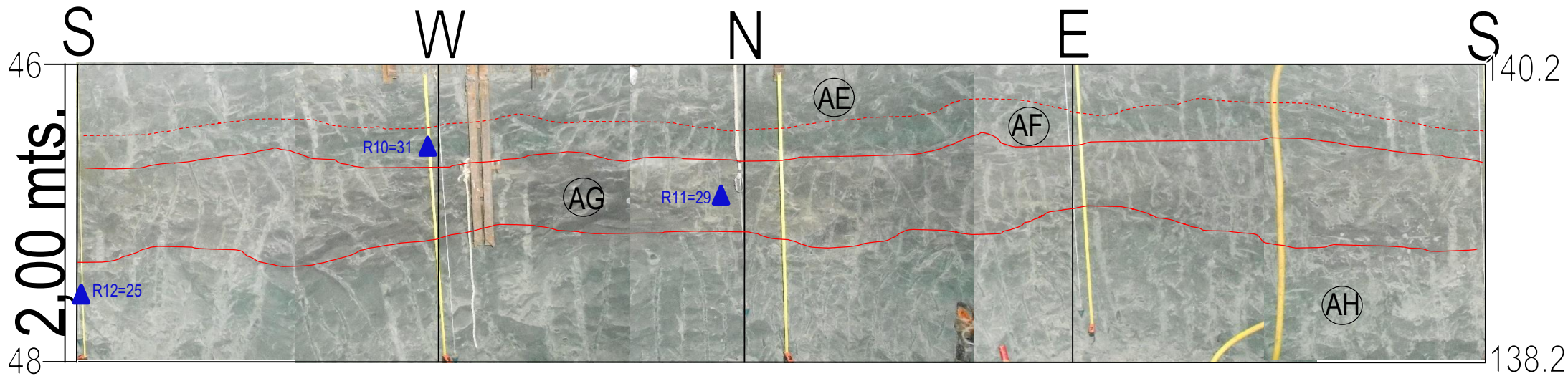


Figura 3.29: fotografía de la circunferencia del pozo, tramo 46 a 48 m. En rojo están marcados los contactos litológicos. Con un triángulo azul se marca el lugar donde se golpeó con el esclerómetro junto con el valor promedio que dio. Al derecho se indican las cotas y a la izquierda las profundidades.


 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS		Revisión: <b>0B</b> Fecha: 0-0-16 Página: 50 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC		Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

Tabla 3.18: Tabla con los resultados de los ensayos esclerométricos en el tramo 48-50.

<b>Ensayos esclerometrico Tramo 48-50</b>										
<b>Ensayo N°</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Cota (msnm)</b>	<b>Lado</b>	<b>Posición Esclerómetro</b>	<b>Roca</b>	<b>N° de golpes</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desvió estándar</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>
R13	48,55	137,65	Norte	Horizontal	Pelita limosa verde grisacea. (AH)	20	25	3	19	30
R14	49,55	136,65	Norte	Horizontal	Pelita limosa verde.(AI)	18	31	3	24	38
R15	49,75	136,45	Este	Horizontal	Pelita arenosa tobacea Gris parda.(AJ)	20	30	3	25	34



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS  
SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0B  
Fecha: 0-0-16  
Página: 51 de 59

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

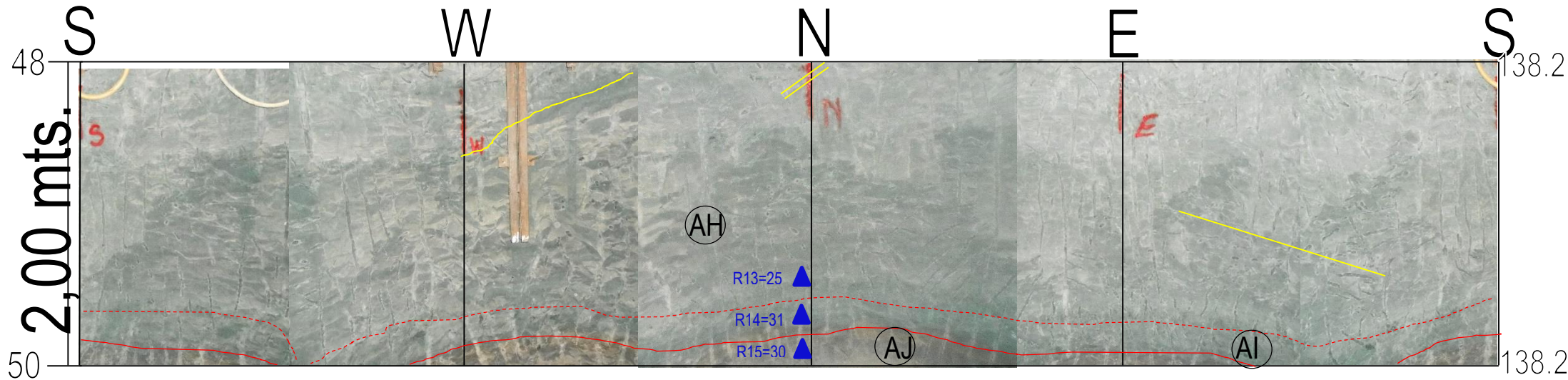



Figura 3.30: fotografía de la circunferencia del pozo, tramo 48 a 50 m. En rojo están marcados los contactos litológicos, con amarillos las fracturas. Con un triángulo azul se marca el lugar donde se golpeó con el esclerómetro junto con el valor promedio que dio. Al derecho se indican las cotas y a la izquierda las profundidades.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0B Fecha: 0-0-16 Página: 52 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

### 3.22. Tramos 48-50 m. (Cota 138.2 a 136,2m)

Continúa la pelita arenosa gris parda (AJ) hasta los 50.30m, cota 135.9m. Por debajo sigue una pelita arenosa tobacea gris clara (AK), que llega hasta los 50.60m, cota 135.6m. Le sigue un estrato de poco espesor de una pelita arenosa tobacea gris oscura (AL), con textura moteada, que llega hasta los 50.70m, cota 135.5m. Por debajo se observa un estrato de una pelita arenosa gris verdosa oscura (AM) con abundantes concreciones blancas de carbonatos (Figura 3.31). Este estrato se encuentra hasta los 51m, cota 135.2m, donde continua una pelita limosa verde grisácea oscura (AN) con estructura moteada, con fracturas concoideas. En este tramo no se observaron fracturas.

En la pelita limosa verde grisácea (AN) era común la formación de fracturas verticales algo concoideas debido a la alteración mecánica por los golpes de los martillos neumáticos (Figura 3.32).

En este tramo se hicieron ensayos esclerometricos, los resultados se presentan en la tabla 3.19.

Mapeo de este tramo en la figura 3.33.



**Figura 3.31: Fotografía de la pelita (AL) donde se observan las concreciones de carbonato y la textura moteada.**



**Figura 3.32: Fotografía de la pelita limosa (AM) donde se observan las fracturas verticales por la alteración mecánica de los martillos neumáticos.**


 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS		Revisión: <b>0B</b> Fecha: 0-0-16 Página: 53 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC		Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

Tabla 3.18: Tabla con los resultados de los ensayos esclerométricos en el tramo 50-52.

<b>Ensayos esclerometrico Tramo 50-52</b>										
Ensayo N°	Profundidad (m)	Cota (msnm)	Lado	Posición Esclerómetro	Roca	N° de golpes	Promedio	Desvió estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo
R16	50,6	135,6	Norte	Horizontal	Pelita tobacea arenosa gris clara moteada (AK)	26	26	3	20	34
R17	50,8	135,4	Norte	Horizontal	Pelita tobacea gris oscura moteada (AL)	37	28	4	19	34
R18	50,9	135,3	sureste	Horizontal	Pelita arenosa gris con concreciones (AM)	24	23	9	12	38
R19	51,1	135,1	Suroeste	Horizontal	Pelita limosa verde grisácea (AN)	33	27	4	20	34
R20	50,52	135,68	Noroeste	Horizontal	Pelita tobacea arenosa gris clara moteada (beding) (AK)	20	23	4	18	33



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS  
SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0B  
Fecha: 0-0-16  
Página: 54 de 59

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

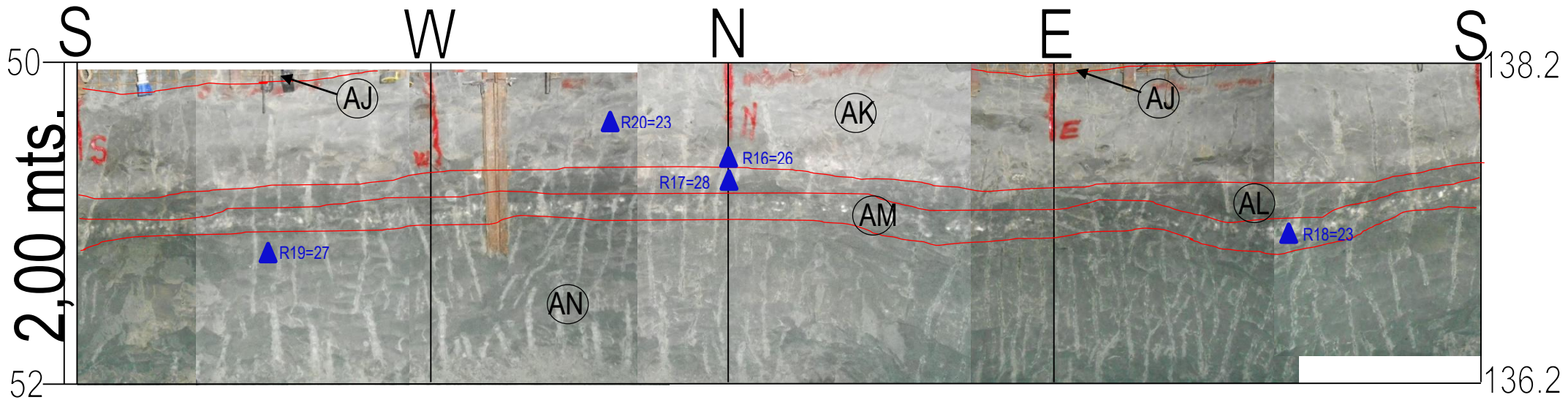


Figura 3.33: fotografía de la circunferencia del pozo, tramo 50 a 52 m. En rojo están marcados los contactos litológicos. Con un triángulo azul se marca el lugar donde se golpeó con el esclerómetro junto con el valor promedio que dio. Al derecho se indican las cotas y a la izquierda las profundidades.



## 4. ANALISIS DE LAS DISCONTINUIDADES.

### 4.1. Análisis estructural de las fracturas.

Las fracturas relevadas en el mapeo geológico fueron analizadas mediante proyección estereográfica usando el programa Stereo32 v1.0.3. Se utilizó la red de Schmidt en su hemisferio inferior y la notación Clark (Dirección de buzamiento y buzamiento).

En la Fig. 4.1 se muestra la proyección estereográfica de todas las fracturas levantadas en durante el mapeo y en la Fig. 4.2 el diagrama de isodensidad para identificar las principales familias de discontinuidades.

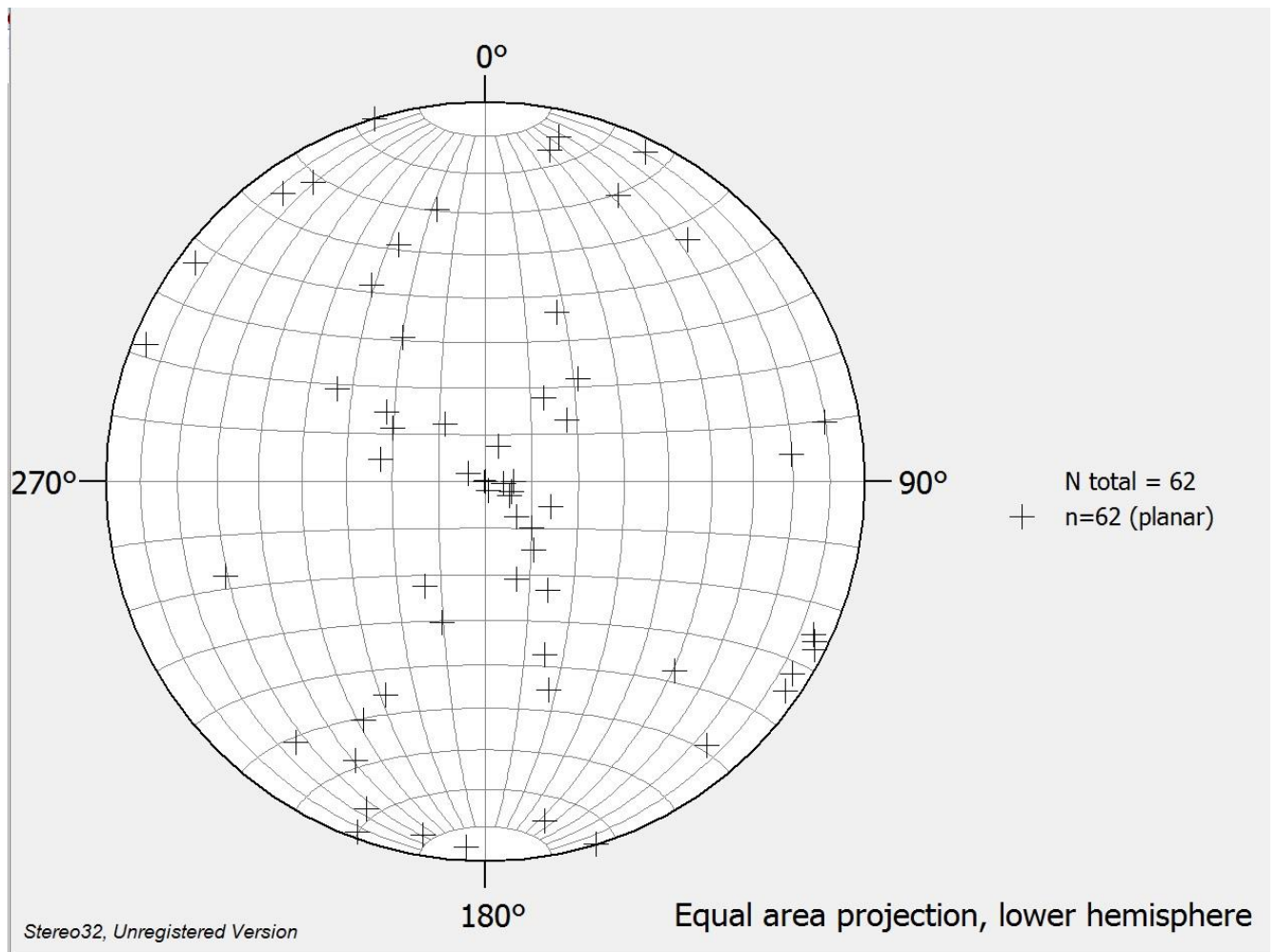
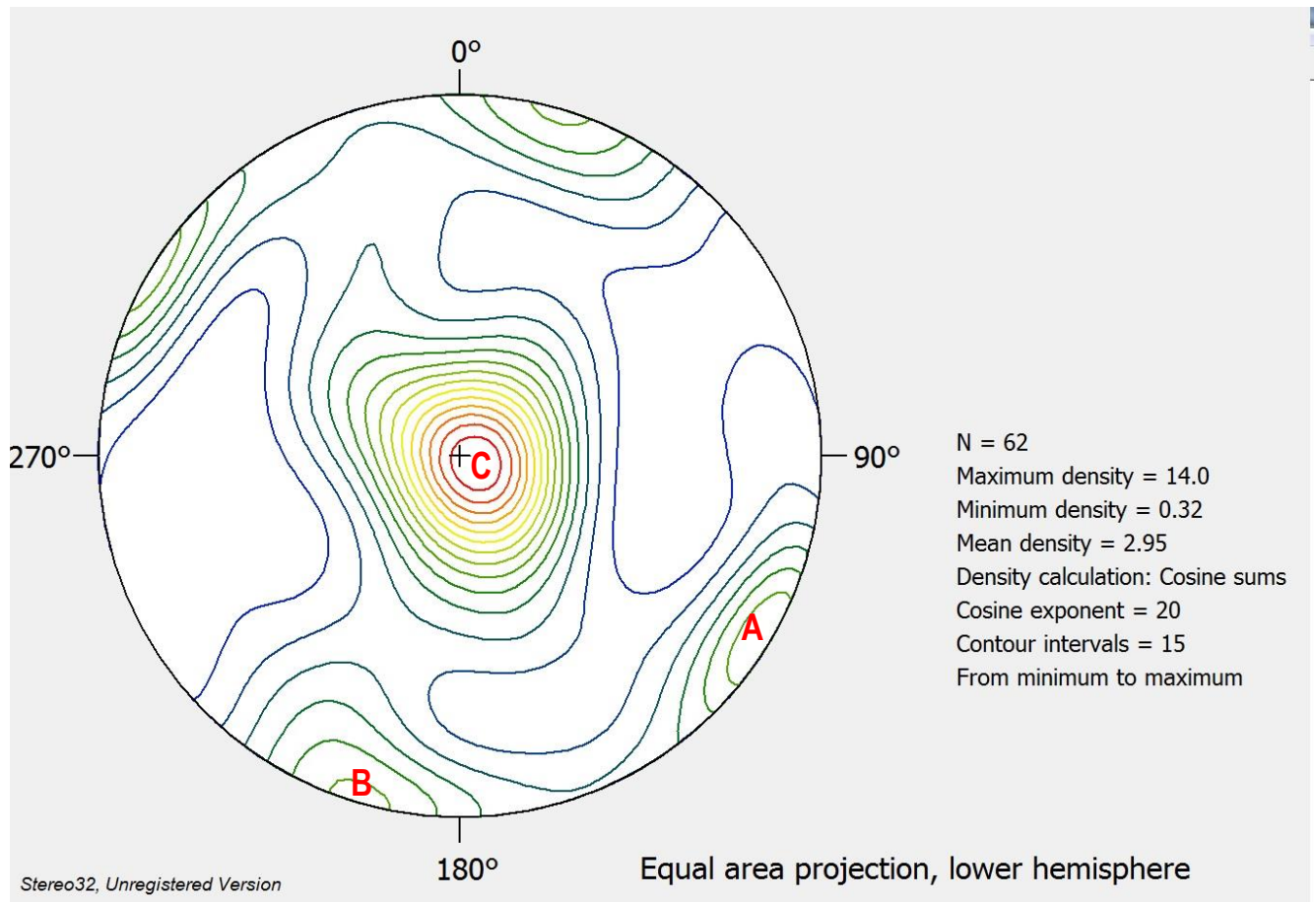


Figura 4.1: Proyección de los polos de los planos de las fracturas del pozo.




**Figura 4.2: Diagrama de isodensidad de las fracturas.**

Según las proyecciones y el diagrama de isodensidad (Fig. 4.1 y 4.2) se puede reconocer tres familias principales de fracturas, dos familias subverticales y conjugadas entre sí y una subhorizontal:

- A. 301°/88°
- B. 17°/88°
- C. 290°/5°

Según lo observado en las fotografías y en el mapeo las familias subverticales se encuentran desde aproximadamente los 3m hasta los 20m, encontrándose en menor cantidad a profundidades mayores, cual coincide con las profundidades de los estratos inclinados y de las fallas observadas.

Por debajo de los 20m los estratos se encuentran horizontales y la familia de fracturas predominante son las subhorizontales con buzamientos que varían de los 2° hasta los 40°. Con excepción de un tramo de 36m a 38m, donde las fracturas se vuelven subverticales.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0B Fecha: 0-0-16 Página: 57 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

## 4.2. Análisis estructural de la estratificación

La Fig. 4.3. muestra la proyección estereográfica de los planos de estratificación medidos durante el mapeo.

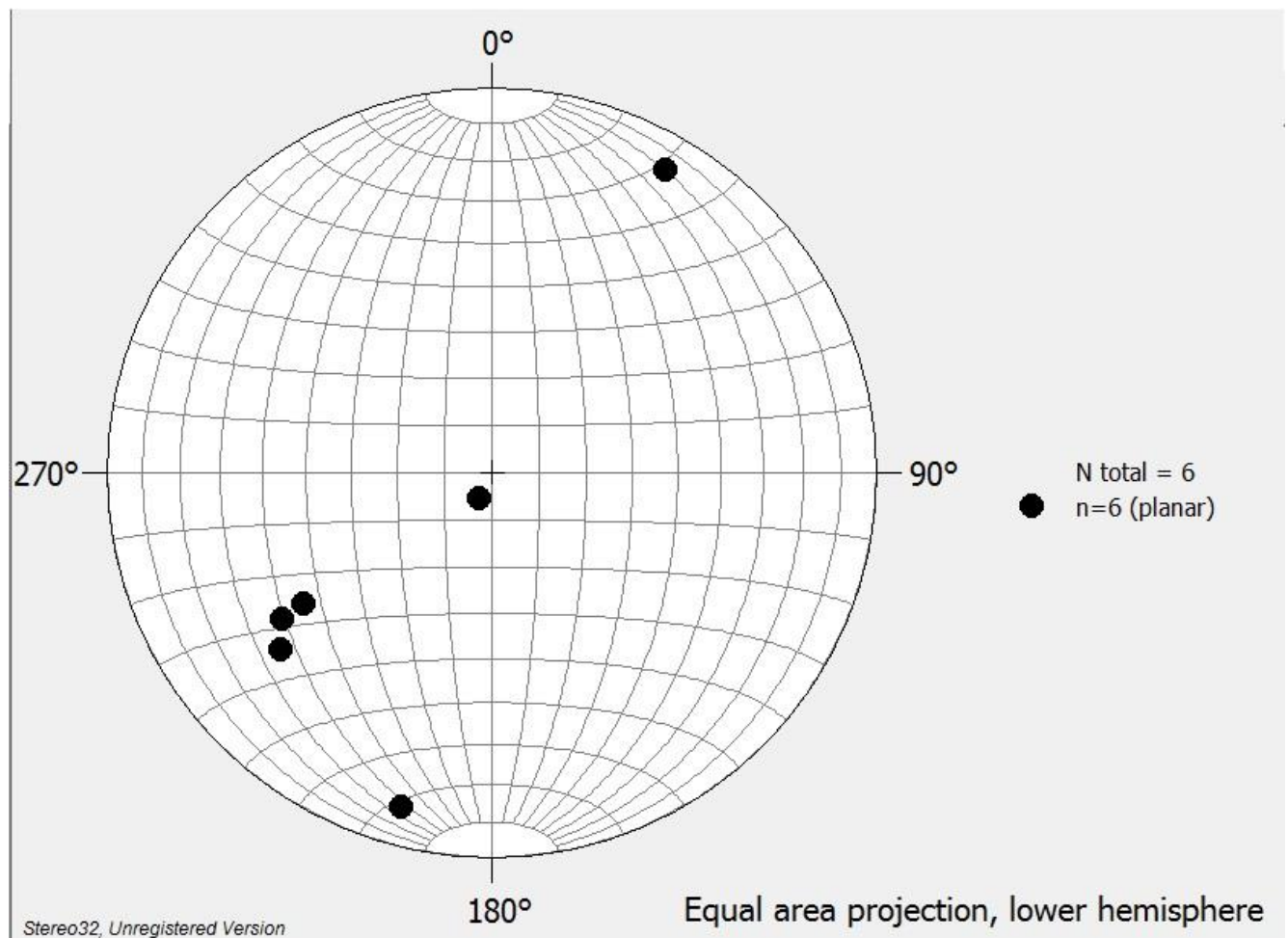


Figura 4.3: Proyección de los polos de los estratos inclinados.

Según la Fig. 4.3 la mayoría de los estratos inclinados, antes de los 20 m, buzanan principalmente hacia el NE con ángulos intermedios a altos.

Esta actitud de los estratos es coherente con la dirección de los movimientos presumidos de los deslizamientos rotacionales que afectan el sector hacia el SW.

## 4.3. Análisis estructural de las fallas.

Según se puede observar en la proyección estereográfica de las fallas (Fig. 4.4) la mayoría son de alto ángulo y se encuentran buzando hacia el NE y SE, siendo todas de carácter normal. Las fallas proyectadas se encontraron entre los 3m hasta los 16 m. A mayor profundidad no se encontraron evidencia de fallas.

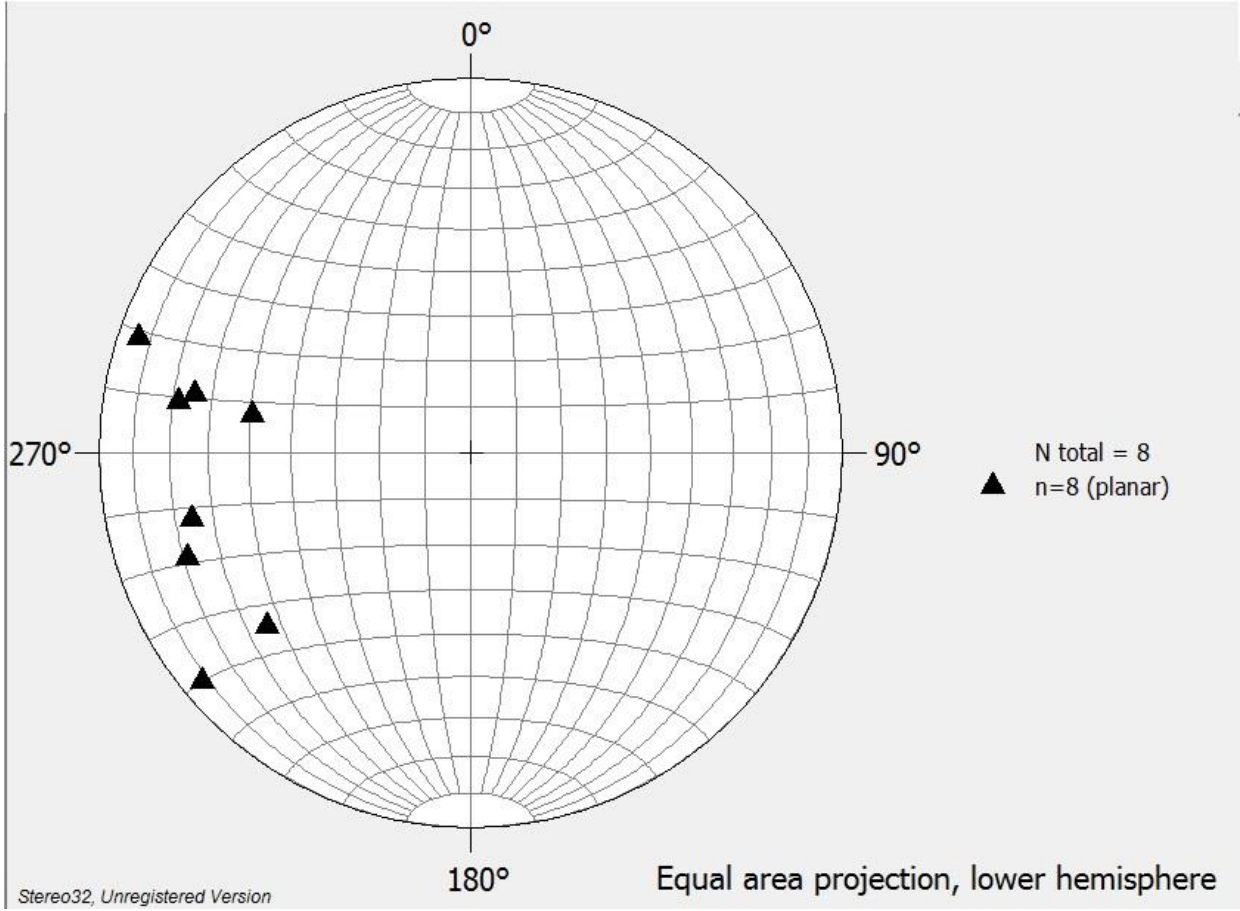



Figura 4.4: Proyección de los polos de las fallas encontradas.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: <b>0B</b> Fecha: 0-0-16 Página: 59 de 59
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° NK-A.CV-MT.GT-(OG-00-00). P003

## 5. COMENTARIOS PRELIMINARES.

El pozo exploratorio se encuentra en un sector donde se encuentra la confluencia de al menos 2 deslizamientos, sea en la cicatriz o en el cuerpo principal del bloque deslizado.

Esta particularidad impone un grado de complejidad alto para el entendimiento de la cinemática de evolución del macizo rocoso.

Sin embargo, es posible afirmar, al menos preliminarmente, lo siguiente:

- a) El bloque deslizado, caracterizado por elevado fracturamiento, fallas normales y estratos inclinados, se extendería hasta los 20m (cota 166,2m) de profundidad. No se ha observado un plano franco de deslizamiento, solo un contraste notable en la actitud de los estratos y el fracturamiento
- b) La base del deslizamiento sería una zona que se encuentra entre los 17m y 20m aproximadamente. Aquí se desarrolla una zona donde los contactos entre las rocas no son completamente horizontales, sino que se encuentran algo perturbados, posiblemente por efecto del deslizamiento. En esta zona también se encuentran las familias de fracturas oblicuas, pero en menor cantidad que en la zona superior. A los 18m aparece una arenisca limosa(N) parda con agua surgente, pudiendo indicar que por medio de fracturas o fallas se encuentra conectada con la superficie permitiendo la infiltración del agua.
- c) Hacia abajo, hasta al menos la cota 153,7m (32,5m), se observa la secuencia normal subhorizontal de las rocas de la Fm Santa Cruz, sin evidencias de perturbaciones geodinámicas, pero presentan alteración limonítica.
- d) La inclinación de los estratos y la posición de las fracturas es compatible con movimientos de remoción en masa con dirección predominante hacia el S y SW.
- e) Desde la cota 153.7m (32.5m) se encuentra la Fm Santa Cruz sin alterar.

NOTAS

--

REFERENCIA

--

NOTAS INSPECCION

<p>.....</p> <p>.....</p>
---------------------------

QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL SIN  
PREVIA AUTORIZACION DE REPRESAS PATAGONIA UTE

0B	Respuesta a la NC n°: 032-JC.OG.GT	31-08-16	JF/DB	JF/DB	MG	GV
0A	EMISION ORIGINAL	25-08-16	JF/DB	JF/DB	MG	GV
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	PROYECTÓ	EJECUTÓ	REVISÓ	VERIFICÓ

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA  
SECRETARIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
SUBSECRETARIA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA



**REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE**

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ


Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

NOMBRE		FECHA
EJECUTÓ	JF/DB	10-08-16
REPRES. TEC.		

	Etapa Proyecto:
	PE
	Nivel desarrollo:
	200


**PRESA JORGE CEPERNIC**  
OBRAS CIVILES. OBRAS GENERALES  
  
INFORME GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO  
  
MEMORIA TÉCNICA. GEOTECNIA

Pag.	Form.	Esc.	Doc. N°	Rev.
1/268	A4	s/e	JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900	0B

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 2 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900


## TABLA DE CONTENIDO

<b>PARTE I: INFORMACIÓN DE BASE</b>	<b>21</b>
<b>1. OBJETO DEL DOCUMENTO</b>	<b>22</b>
<b>2. ANTECEDENTES</b>	<b>23</b>
<b>2.1. Documentación de Licitación</b>	<b>23</b>
<b>2.2. Documentos Previos del Consorcio</b>	<b>26</b>
<b>2.3. Documentos del Consorcio posteriores a Noviembre de 2015</b>	<b>27</b>
<b>3. GEOLOGÍA REGIONAL</b>	<b>29</b>
<b>3.1. Evolución tectónica</b>	<b>29</b>
<b>3.2. Estratigrafía</b>	<b>34</b>
3.2.1. Formación Estancia 25 de Mayo	37
3.2.2. Formación Santa Cruz	37
3.2.3. Estratigrafía volcánica (de basaltos)	38
<b>3.3. Unidades morfoestratigráficas y depósitos</b>	<b>39</b>
3.3.1. Terraza Cerro Cuadrado (TCC) y sus depósitos glacifluviales	42
3.3.2. Terraza La Australasia (TLA) y sus depósitos glacifluviales	42
3.3.3. Terraza San Fernando (TSF) y sus depósitos glacifluviales	43
3.3.4. Coladas de basaltos pliocenas y pleistocenas	43
3.3.5. Morenas Estancia La Fructuosa (ELF) y sus depósitos glacifluviales	43
3.3.6. Morenas Chuñi Aike (ChA) y sus depósitos de gravas y arenas glacifluviales	44
3.3.7. Morenas Cerro Fortaleza (CF) y sus depósitos de glacifluviales y glacialacustres	45
3.3.8. Morenas Arroyo Verde (AV) y depósitos glacifluviales y glacialacustres	45
3.3.9. Morenas El Tranquilo (ET) y sus depósitos glacifluviales y glacialacustres	48
<b>4. GEOLOGÍA LOCAL</b>	<b>50</b>
<b>4.1. Estratigrafía</b>	<b>50</b>
4.1.1. Formación Santa Cruz	50
4.1.2. Niveles de gravas y arenas	54
4.1.3. Vulcanitas basálticas	54
<b>4.2. Geomorfología</b>	<b>55</b>
4.2.1. Formas Fluviales	55
4.2.2. Geofomas glacifluviales	56
4.2.3. Geofomas de Remoción en Masa	56
4.2.4. Geofomas Volcánicas	57
4.2.5. Geofomas Eólicas	57
4.2.6. Geofomas Lacustres	57
<b>4.3. Secciones estratigráficas de la roca de fundación</b>	<b>57</b>
4.3.1. Correlación bajo la presa	58
4.3.1.1. Correlación N-S	58
4.3.1.2. Correlaciones O-E	59
<b>4.4. Conclusiones Generales</b>	<b>59</b>
4.4.1. Geomorfología y morfoestratigrafía cuaternaria	60
4.4.2. Estratigrafía y sedimentología de las unidades más antiguas	61
<b>5. ESTUDIOS DE LA PELIGROSIDAD SÍSMICA, VULCANISMO Y OLA SÍSMICA</b>	<b>63</b>
<b>5.1. Peligrosidad sísmica</b>	<b>63</b>


 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 3 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

5.1.1.	Definición de las fuentes sismogénicas	63
5.1.2.	Actividad de las fuentes. Recurrencia	64
5.1.3.	Efecto de los sismos en el emplazamiento. Leyes de atenuación	65
5.1.4.	Estimación de la peligrosidad	65
5.1.5.	Formulación de espectros de riesgo uniforme (UHS)	67
5.1.6.	Obtención del acelerograma de diseño	67
5.1.7.	Componentes horizontales del acelerograma	68
5.1.8.	Componentes verticales	70
<b>5.2.</b>	<b>Vulcanismo (síntesis del Anexo 2)</b>	<b>71</b>
5.2.1.	Localización de volcanes	71
5.2.2.	Definición del tipo y fenómenos volcánicos	72
5.2.2.1.	Índice de Explosividad Volcánica (VEI)	72
5.2.3.	Riesgos asociados a las características de erupciones	73
5.2.3.1.	Depósito de cenizas	74
5.2.3.2.	Crecidas por la interacción lava-hielo	77
<b>5.3.</b>	<b>Ola sísmica</b>	<b>77</b>
5.3.1.	Conceptos generales	77
5.3.2.	Efectos según la distancia epicentral	77
5.3.2.1.	Sismos cercanos	78
5.3.2.2.	Sismos lejanos	78
5.3.2.3.	Modelación numérica de oleajes	78
5.3.2.4.	Definición de las acciones sísmicas	78
5.3.3.	Oleajes producidos por acciones sísmicas	80
5.3.3.1.	Estudio de sensibilidad del oleaje a componentes de baja frecuencia del sismo	81
5.3.3.2.	Conclusiones sobre el estudio de las acciones sísmicas	82
5.3.4.	Oleajes producidos por desplazamientos permanentes del fondo o de las laderas (desmoronamientos)	82
5.3.4.1.	General	82
5.3.4.2.	Conclusiones	83
<b>6.</b>	<b>INVESTIGACIONES REALIZADAS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>84</b>
<b>6.1.</b>	<b>Ensayos Lugeon</b>	<b>84</b>
6.1.1.	Introducción	84
6.1.2.	Procedimiento del ensayo en los sondeos geotécnicos	84
6.1.3.	Interpretación	85
<b>6.2.</b>	<b>Ensayos Lefranc</b>	<b>87</b>
6.2.1.	Introducción	87
6.2.2.	Procedimiento de realización del ensayo en los sondeos geotécnicos	88
6.2.3.	Interpretación	88
<b>6.3.</b>	<b>Medición de la velocidad de onda de corte por los métodos SAWS-MASW</b>	<b>88</b>
6.3.1.	Introducción	88
6.3.2.	Procedimiento de Ensayo en la zona de fundación de la presa	89
6.3.3.	Interpretación de los resultados	92
6.3.3.1.	Normalización de la velocidad de onda de corte	92
6.3.3.2.	Obtención de las principales propiedades del material aluvional	92
6.3.3.3.	Conclusiones generales sobre el perfil de velocidades $V_s$	94
<b>6.4.</b>	<b>Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)</b>	<b>97</b>
6.4.1.	Introducción	97
6.4.2.	Trabajos realizados en la zona de fundación de la presa	97
6.4.3.	Interpretación	97
6.4.3.1.	Conclusiones sobre estudios geoeléctricos	98
<b>6.5.</b>	<b>Sísmica de Refracción</b>	<b>101</b>
6.5.1.	Introducción	101




 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 4 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

6.5.2.	Trabajos realizados en la zona de fundación de la presa	101
6.5.3.	Interpretación	101
6.5.4.	Conclusiones sobre estudios de sismica de refracción	102
<b>6.6.</b>	<b>Ensayos Cross-Hole</b>	<b>102</b>
6.6.1.	Introducción	102
6.6.2.	Trabajos realizados en la zona de fundación de la presa	103
6.6.2.1.	Campaña 2006 y Campaña 2016	103
6.6.3.	Interpretación	104
6.6.4.	Conclusiones de los estudios de <i>Cross-Hole</i>	104
<b>6.7.</b>	<b>Ensayos SPT</b>	<b>107</b>
6.7.1.	Procedimiento del ensayo en los sondeos geotécnicos	107
6.7.2.	Interpretación	107
6.7.3.	Conclusiones de los estudios de SPT	108
<b>7.</b>	<b>ESTUDIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>109</b>
<b>7.1.</b>	<b>Recopilación y análisis de antecedentes</b>	<b>110</b>
7.1.1.	Yacimiento B II	112
7.1.2.	Yacimiento BIII	113
7.1.3.	Yacimiento BIV	114
7.1.4.	Yacimiento Ba	115
<b>7.2.</b>	<b>Análisis de los aluviones de los yacimientos BI y Bb</b>	<b>117</b>
7.2.1.	Yacimiento BI	117
7.2.2.	Yacimiento Bb	124
<b>7.3.</b>	<b>Campaña de investigaciones 2015</b>	<b>129</b>
<b>7.4.</b>	<b>Calicatas Campaña 2014</b>	<b>137</b>
<b>7.5.</b>	<b>Conclusiones Preliminares</b>	<b>140</b>
<b>7.6.</b>	<b>Investigación futura</b>	<b>140</b>
<b>8.</b>	<b>ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS</b>	<b>145</b>
<b>8.1.</b>	<b>General</b>	<b>145</b>
<b>8.2.</b>	<b>Programa de Ensayos Campaña A y EE y Consorcio ESIN - IATASA</b>	<b>146</b>
8.2.1.	Arcilitas	147
8.2.2.	Limolitas	147
8.2.3.	Pelitas	148
8.2.4.	Areniscas	149
<b>8.3.</b>	<b>Actual programa de ensayos</b>	<b>151</b>
8.3.1.	Integración de resultados y correlaciones	158
8.3.2.	Parámetros de roca intacta y macizos rocosos	161
<b>8.4.</b>	<b>Ensayos de velocidad de ondas de compresión en testigos de roca</b>	<b>162</b>
<b>PARTE II: MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DEL ALUVIÓN Y MACIZO ROCOSO PARA LA FUNDACIÓN DE LA PRESA</b>		<b>164</b>
<b>9.</b>	<b>MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE LA ZONA DE EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA JORGE CEPERNIC</b>	<b>165</b>
9.1.	Aspectos generales	165
9.2.	Descripción de contactos	166

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 5 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

<b>10. MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE LA FUNDACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN EN MARGEN DERECHA</b>	<b>172</b>
<b>10.1. Condiciones generales de resistencia y deformabilidad. Vertedero, Central y Muro de cierre de margen derecha</b>	<b>172</b>
10.1.1. Aspectos generales y antecedentes	172
10.1.2. Evaluación actualizada de la resistencia del macizo rocoso	172
10.1.2.1. Criterios aplicados	177
10.1.2.2. Resumen de resultados	180
10.1.2.3. Conclusiones	180
10.1.3. Evaluación de la Capacidad de Carga del macizo rocoso de fundación de las estructuras	180
10.1.3.1. Conclusiones	182
10.1.4. Evaluación de la deformabilidad en macizos rocosos	182
10.1.4.1. Correlaciones empíricas basadas en ensayos in-situ	183
10.1.4.2. Ensayos en el sitio de la presa Jorge Cepernic	184
10.1.4.3. Interpretación de ensayos	184
10.1.4.4. Empleo de correlaciones empíricas	186
10.1.4.5. Conclusiones	187
<b>10.2. Condiciones generales de permeabilidad</b>	<b>188</b>
<b>11. MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DEL CUERPO DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN</b>	<b>193</b>
<b>11.1. Condiciones generales de permeabilidad del macizo rocoso. Muro colado</b>	<b>194</b>
11.1.1. Ensayos Lugeon	194
11.1.1.1. Perfil a lo largo del eje de la presa.	194
11.1.1.2. Perfil a lo largo del muro colado	194
11.1.2. Permeabilidad del macizo rocoso y zonas singulares detectadas	197
<b>11.2. Análisis de las condiciones del material aluvional. Criterio de fundación de la presa</b>	<b>200</b>
11.2.1. Ensayos <i>MASW</i>	200
11.2.2. Ensayos de Densidad <i>in situ</i>	202
11.2.3. Principales conclusiones de los trabajos realizados y preparación. Especificación	204
11.2.4. Materiales Naturales para Fundación	205
<b>11.3. Análisis de las condiciones de los mantos arenosos. Potencial de licuefacción</b>	<b>205</b>
11.3.1. Estudios con <i>SPT</i>	206
11.3.2. Prospección geofísica con ondas de corte ( <i>CH</i> y <i>MASW</i> )	207
11.3.3. Análisis de los resultados con Ensayos de Penetración Standard	209
11.3.3.1. Conclusiones del estudio de <i>SPT</i>	213
11.3.4. Análisis de los resultados con Ensayos de <i>MASW</i> y <i>Cross-Hole</i>	214
11.3.4.1. Margen izquierda	215
11.3.4.2. Margen derecha	216
11.3.5. Conclusiones de estudios <i>MASW</i> y <i>CROSS-HOLE</i>	220
11.3.6. Conclusiones generales de ambos métodos	221
<b>11.4. Parámetros geotécnicos del aluvión de fundación</b>	<b>222</b>
11.4.1. Deformabilidad del aluvión de fundación	222
11.4.2. Permeabilidad de los aluviones de fundación. Ensayos Lefranc	222
<b>12. PRINCIPALES RESULTADOS Y COMENTARIOS FINALES</b>	<b>224</b>
<b>ANEXOS</b>	
ANEXO 1: Informe final de CICTERRA.....	226
ANEXO 2: Plano de investigaciones geotécnicas. Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P004-0I.....	227
ANEXO 3: Sondeos geotécnicos Campaña 2015.....	228
ANEXO 4: Peligrosidad sísmica y vulcanismo.....	229
ANEXO 5: Análisis de los Ensayos Lugeon.....	230
ANEXO 6: Planilla de ensayos de permeabilidad.....	231

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 6 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

ANEXO 7: Permeabilidad Perfil A-A' Eje de la presa. Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P900-0A.....	232
ANEXO 8: Permeabilidad. Perfil B-B' Muro colado. Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P902-0A.....	233
ANEXO 9: Permeabilidad Perfil C-C' Estructuras MD. Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P903-0A.....	234
ANEXO 10: Permeabilidad Perfil D-D' Estructuras MD. Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P904-0A.....	235
ANEXO 11: Permeabilidad Perfil E-E' Estructuras MD. Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P905-0A.....	236
ANEXO 12: Permeabilidad Perfil F-F' Estructuras MD. Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P906-0A.....	237
ANEXO 13: Permeabilidad. Vista en planta. Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P907-0A.....	238
ANEXO 14: Informe Ensayos MASW-ENDEIC-2015.....	239
ANEXO 15: Informe Ensayos MASW-ENDEIC-2016.....	240
ANEXO 16: Informe Ensayos Crosshole-ENDEIC-2016.....	241
ANEXO 17: Coordenadas y Valores SEV.....	242
ANEXO 18: Plano SEV. Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P908-0A.....	243
ANEXO 19: Coordenadas y valores MASW.....	244
ANEXO 20: Plano MASW. Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P909-0A.....	245
ANEXO 21: Coordenadas y valores CH.....	246
ANEXO 22: Plano CH. Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P910-0A.....	247
ANEXO 23: Curvas granulométricas Calicatas de canal de desvío 2015.....	248
ANEXO 24: Especificaciones técnicas para yacimientos del cuerpo de presa. Documento: JC-A CV-ET GT-(PR-00-00)-P001-0B.....	249
ANEXO 25: Plano de yacimientos del cuerpo de presa. Documento: JC-A.CV-PL.GT-(PR-00-00)-P001-0B.....	250
ANEXO 26: Resultados Laboratorio Mecánica de Rocas (2015).....	251
ANEXO 27-Informe Densidad de sólidos JC CAJAS 1 y 3.....	252
ANEXO 28: Resultados Pulso ECO-ENDEIC.....	253
ANEXO 29: Informe Ensayos de Laboratorio de mecánica de rocas. Todas las campañas. Documento: JC-A.CV-IL.GT-(OG-00-00)-P001-0A.....	254
ANEXO 30: Superficie CAR.....	255
ANEXO 31: Superficie CRC.....	256
ANEXO 32: Investigaciones geológico-geotécnicas Perfil A-A' Eje de la presa. Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P911-0A.....	257
ANEXO 33: Investigaciones geológico-geotécnicas Perfil B-B' Eje del muro colado. Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P912-0A.....	258
ANEXO 34: Investigaciones geológico-geotécnicas. Perfil C-C' Estructuras MD. Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P913-0A.....	259
ANEXO 35-Investigaciones geológico-geotécnicas. Perfil D-D' Estructuras MD. Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P914-0A.....	260
ANEXO 36: Investigaciones geológico-geotécnicas Perfil E-E' Estructuras MD. Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P915-0A.....	261
ANEXO 37: Investigaciones geológico-geotécnicas. Perfil F-F' Estructuras MD. Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P916-0A.....	262
ANEXO 38: Parámetros de resistencia Geotecnia de fundación. Documento: JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001-0D.....	263
ANEXO 39: Estudios de licuefacción. Documento: JC-A.CV-MT.GT-(PR-00-00)-P002-0A.....	264
ANEXO 40: Módulo de deformabilidad. Documento: JC-A.CV-IV.GT-(OG-00-00)-P001-0A.....	265
ANEXO 41: Ola Sísmica. Documento: GE-A.CV-ET.RS-(OG-00-00)-P900-0A.....	266
ANEXO 42: Ensayos de laboratorio de calicatas.....	267
ANEXO 43: Perfiles transversales.....	268

## FIGURAS

FIGURA 3.1: DISTRIBUCIÓN MORFOESTRUCTURAL DE LA CUENCA AUSTRAL O MAGALLÁNICA Y DEMARCACIÓN DE LOS FRENTES DE DEFORMACIÓN EMERGENTES Y NO EMERGENTES A LA LATITUD DEL RÍO SANTA CRUZ (TOMADO DE GHIGLIONE ET AL 2009). RECUADRO PERTENECE A FIGURA 3-2..... 29


 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 7 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

FIGURA 3.2: MAPA GEOLÓGICO TOMADO DE LA REGIÓN CORDILLERANA (VÉASE RECUADRO EN FIGURA 1) A LA LATITUD DEL ÁREA DE ESTUDIO (GIGLIONE ET AL 2009).....	30
FIGURA 3.3: MARCO GEOLÓGICO Y PERFIL ESQUEMÁTICO DE LA PATAGONIA ARGENTINA CONTRASTANDO LA REGIÓN INTERNA (HINTERLAND) REPRESENTADA POR LA ACTUAL CORDILLERA PATAGÓNICA DE LA REGIÓN EXTERNA O TRANQUILA DEL ANTEPAÍS (FORELAND). ....	31
FIGURA 3.4: MARCO GEOLÓGICO Y PRINCIPALES RASGOS GEOTECTÓNICOS DE LA PATAGONIA ARGENTINA (TOMADO DE RAMOS Y GHIGLIONE, 2008).....	32
FIGURA 3.5: MAPA PALEOGEOGRÁFICO MOSTRANDO LA DISTRIBUCIÓN DE INGRESIONES MARINAS MIOCENAS EN LA PATAGONIA (TOMADO DE DEL RÍO ET AL., 2013). ....	33
FIGURA 3.6: MAPA REDIBUJADO DE CALDENIUS (1932) MOSTRANDO LA EXTENSIÓN MÁXIMA QUE ALCANZARON LAS GLACIACIONES PLEISTOCENAS EN PATAGONIA (TOMADO DE MÖRNER, 1991). ....	34
FIGURA 3.7: AFLORAMIENTO DE ARENISCAS DE LA FM. 25 DE MAYO EN LA QUEBRADA DEL MOSQUITO SOBRE RUTA PROVINCIAL 17.....	35
FIGURA 3.8: FÓSILES MARINOS DE LA FM. 25 DE MAYO EN LA QUEBRADA DEL MOSQUITO SOBRE RUTA PROVINCIAL 17. ....	36
FIGURA 3.9: FACIES SEDIMENTARIAS DE LA FM. SANTA CRUZ EN EL SITIO CORDÓN ALTO.....	38
FIGURA 3.10: DISTRIBUCIÓN DE LAS UNIDADES MORFOESTRATIGRÁFICAS EN EL ALTO VALLE DEL RÍO SANTA CRUZ (SEGÚN STRELIN Y MALAGNINO, 1996).....	41
FIGURA 3.11: BASALTOS PLIOCENOS ENCAUZADOS EN LA TERRAZA LA AUSTRALASIA, CUBRIENDO LA TERRAZA SAN FERNANDO.....	42
FIGURA 3.12: MORENAS ESTANCIA LA FRUCTUOSA (ELF), CHUÑI AIKE (CHA) Y CERRO FORTALEZA (CF). VER REFERENCIAS EN LA FIGURA 15 (ADAPTADO DE STRELIN Y MALAGNINO 1996).....	44
FIGURA 3.13: MORENAS ARROYO VERDE 1 (AVI), ARROYO VERDE 2 (AVII), PALEO LAGO ARGENTINO (PLA). VER REFERENCIAS EN LA FIGURA 15 (ADAPTADO DE STRELIN Y MALAGNINO 1996).....	47
FIGURA 3.14: MORENAS EL TRANQUILO, ESTADIAL 1 (ETEI), EL TRANQUILO ESTADIAL 2 (ETEII). (ADAPTADO DE STRELIN Y MALAGNINO 1996).....	49
FIGURA 4.1: ARENISCAS DE LA FM. SANTA CRUZ CON ESTRATIFICACIÓN ENTRECruzADA.....	50
FIGURA 4.2: MAPA GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO DE LA PRESA JORGE CEPERNIC.....	51
FIGURA 4.3: ARENISCAS TENACES DE LA FM. SANTA CRUZ, CON CONCRECIONES ELONGADAS Y ESTRATIFICACIÓN ENTRECruzADA EN CUBETA.....	52
FIGURA 4.4: SUMIDEROS POR EFECTO DE PIPING EN ROCAS TOBÁCEAS.....	53
FIGURA 4.5: EFUSIONES LÁVICAS EN LA REGIÓN NORTE DEL VALLE DEL RÍO SANTA CRUZ. LA TRAZA ROJA SEÑALA LA LOCALIZACIÓN DEL CIERRE PROYECTADO JORGE CEPERNIC.....	55
FIGURA 4.6: SECCIÓN DEL VALLE DEL RÍO SANTA CRUZ CON LA PROYECCIÓN DE LOS SONDEOS REALIZADOS.....	59
FIGURA 5.1: REGIONALIZACIÓN SÍSMICA DE FLINN-ENGDAHL.....	63
FIGURA 5.2: UBICACIÓN DE FUENTES SISMOGENÉTICAS. PAT: PATAGONIA EXTRAANDINA. FAJ: FAJA CORRIDA Y PLEGADA DE ARGENTINA Y CHILE. SUB: BORDE DE SUBDUCCIÓN CHILENO. FUE: TIERRA DEL FUEGO. FBF: FALLA BAJADA FORTALEZA. FERG: FALLA RINCÓN GRANDE. FM: FALLA MAGALLANES.....	64
FIGURA 5.3: RESULTADOS DEL CÁLCULO DE PROBABILIDADES. CONDOR: SITIO DE LA PRESA N. KIRCHNER. BARRANCA: SITIO DE LA PRESA J. CEPERNIC. CALAFATE: EL CALAFATE.....	66
FIGURA 5.4: ESPECTROS UNIFORMES HORIZONTALES PARA EL SITIO DE GJC PARA UN AMORTIGUAMIENTO DEL 5%.....	67
FIGURA 5.5: DESAGREGACIONES EN DISTANCIAS A LA FUENTE Y MAGNITUDES PARA TR 9950.....	68
FIGURA 5.6: ACELEROGRAMAS PARA LA PRESA J. CEPERNIC.....	70
FIGURA 5.7: UBICACIÓN DE VOLCANES ACTIVOS EN LA ZONA DE INFLUENCIA DE LAS PRESAS.....	72
FIGURA 5.8: DISTANCIA DE LAS PRESAS NK Y JC A LOS VOLCANES ACTIVOS MÁS IMPORTANTES.....	74
FIGURA 5.9: DISTRIBUCIÓN DE LOS VIENTOS EN EL SUR ARGENTINO.....	75
FIGURA 5.10: DISTRIBUCIÓN DE PLUMAS DE CENIZA DE GRANDES EXPLOSIONES.....	76
FIGURA 5.11: CURVAS DE ESPESORES DE CENIZA DE UNA EXPLOSIÓN DEL RÉCLUS.....	76
FIGURA 6.1: RELACIONES PRESIÓN-CAUDAL EN EL ENSAYO LUGEON (CLASIFICACIÓN SEGÚN ICOLD Y HOULSBY).....	86
FIGURA 6.2: CRITERIO PARA LA DEFINICIÓN DE LA CARGA HIDRÁULICA SEGÚN LA PROPUESTA DEL USBR.....	87
FIGURA 6.3: EJEMPLO DE UNA CURVA DE DISPERSIÓN ANALÍTICA.....	89
FIGURA 6.4: EJEMPLO DE VARIACIÓN DE $V_s$ EN FUNCIÓN DE LA PROFUNDIDAD.....	89
FIGURA 6.5: PERFILES EN EL VALLE DEL RÍO. CAMPAÑA 2015 Y 2016.....	91
FIGURA 6.6: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MASW-2015 EN UN TRAMO DEL PERFIL UBICADO EN EL EJE DE LA PRESA.....	96
FIGURA 6.7: GRÁFICO CON LAS CURVAS DE CAMPO EN COLOR NEGRO, CURVA TEÓRICA COMPUTADA EN COLOR ROJO Y EN AZUL EL MODELO ELÉCTRICO DE MEJOR AJUSTE. EN ESTE CASO ESTÁ INCOMPLETO PUES SALE FUERA DEL GRÁFICO DE LAS CURVAS.....	98
FIGURA 6.8: RESULTADOS DE LOS SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES (SEV) EN UN TRAMO DEL PERFIL UBICADO EN EL EJE DE LA PRESA SOBRE MARGEN DERECHA.....	100


 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 8 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

FIGURA 6.9: ESQUEMA DEL ENSAYO DE CROSS-HOLE.....	102
FIGURA 6.10: RESULTADOS DE LA SÍSMICA DE REFRACCIÓN Y ENSAYOS CROSS-HOLE EN EL PERFIL UBICADO EN EL EJE DE LA PRESA.....	106
FIGURA 7.1: PLANO DE UBICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS ESTUDIADOS POR AYEE EN EL SITIO DE LA PRESA J. CEPERNIC..	111
FIGURA 7.2: PLANTA DE UBICACIÓN DE LOS 25 POZOS EXPLORATORIOS DEL YACIMIENTO B II.....	113
FIGURA 7.3: CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE LOS POZOS SELECCIONADOS EN EL ESTUDIO DE AYEE PARA EL YACIMIENTO BII.....	113
FIGURA 7.4: PLANTA DE UBICACIÓN DE LOS 12 POZOS EXPLORATORIOS DEL YACIMIENTO BIII.....	114
FIGURA 7.5: CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE LOS POZOS SELECCIONADOS EN EL ESTUDIO DE AYEE PARA EL YACIMIENTO BIII.....	114
FIGURA 7.6: PLANTA DE UBICACIÓN DE LOS 3 POZOS EXPLORATORIOS DEL YACIMIENTO BIV.....	115
FIGURA 7.7: CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE LOS POZOS SELECCIONADOS EN EL ESTUDIO DE AYEE PARA EL YACIMIENTO B IV.....	115
FIGURA 7.8: PLANTA DE UBICACIÓN DE LOS 5 POZOS EXPLORATORIOS DEL YACIMIENTO BA.....	116
FIGURA 7.9: CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE LOS SUELOS DEL YACIMIENTO BA.....	116
FIGURA 7.10: PLANTA DE UBICACIÓN DE LOS 18 POZOS EXPLORATORIOS DEL YACIMIENTO BI.....	118
FIGURA 7.11: CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE TODOS LOS HORIZONTES ESTUDIADOS EN LA CAMPAÑA DE LA DÉCADA DE 80 POR AYEE – YACIMIENTO BI.....	120
FIGURA 7.12: CARTA DE PLASTICIDAD DE FINOS – YACIMIENTO BI.....	121
FIGURA 7.13: CURVAS GRANULOMÉTRICAS DEL YACIMIENTO BI MOSTRANDO EL PROMEDIO PONDERADO Y UN DESVÍO STANDARD (MÁXIMO Y MÍNIMO).....	122
FIGURA 7.14: CURVAS GRANULOMÉTRICAS DEL YACIMIENTO BI SUPERPUESTAS CON LAS FAJAS DE REFERENCIA DEL MATERIAL 2B (CELESTE Y VERDE) Y EL 3B PARA ESPALDONES (ROJO).....	123
FIGURA 7.15: PLANTA DE UBICACIÓN DE LOS 11 POZOS EXPLORATORIOS DEL YACIMIENTO BB.....	124
FIGURA 7.16: CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE LOS SUELOS DEL YACIMIENTO BB. EN CELESTE CURVA GRANULOMÉTRICA DEL MATERIAL 2A Y EN ROJO PARA EL MATERIAL 2B.....	126
FIGURA 7.17: CURVAS GRANULOMÉTRICA PROMEDIO DEL YACIMIENTO BB Y BANDA DE ACEPTACIÓN DEL MATERIAL 2B (CELESTE Y VERDE) Y DEL MATERIAL 3B (ROJO).....	128
FIGURA 7.18: PLANO DE UBICACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES EJECUTADAS EN LA CAMPAÑA 2015.....	129
FIGURA 7.19: CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE LAS 11 CALICATAS DE INVESTIGACIÓN EN EL CANAL DE ADUCCIÓN SUPERPUESTAS CON LAS FAJAS DE REFERENCIA DEL MATERIAL 3B.....	133
FIGURA 7.20: CURVAS GRANULOMÉTRICAS PROMEDIO DE AYEE DE LAS 11 CALICATAS DE INVESTIGACIÓN EN EL CANAL DE ADUCCIÓN SUPERPUESTAS CON LAS FAJAS DE REFERENCIA DEL MATERIAL 3B-2B.....	134
FIGURA 7.21: CURVAS GRANULOMÉTRICAS PROMEDIO DE LA INVESTIGACIÓN ACTUAL Y DE AYEE DE LAS 11 COMPARADAS CON OTRAS PRESAS DE GRAVAS COMPACTADAS.....	135
FIGURA 7.22: UBICACIÓN DE LAS CALICATAS CAL 4 Y CAL 5 DE LA CAMPAÑA DE MUESTREO 2014.....	138
FIGURA 7.23: CURVAS GRANULOMÉTRICAS PROMEDIO DEDOS CALICATAS UNIV. LA PLATA JUNTO CON LA INVESTIGACIÓN AÑO 2015 EN EL CANAL DE ADUCCIÓN.....	139
FIGURA 7.24: INVESTIGACIÓN FUTURA EN MARGEN DERECHA, AGUAS ABAJO, EN EXCAVACIÓN VERTEDERO Y CANAL DE SALIDA.....	141
FIGURA 7.25: INVESTIGACIÓN FUTURA EN MARGEN IZQUIERDA, AGUAS ABAJO.....	142
FIGURA 7.26: INVESTIGACIÓN FUTURA EN MARGEN IZQUIERDA, AGUAS ABAJO.....	142
FIGURA 7.27: INVESTIGACIÓN FUTURA EN MARGEN DERECHA, AGUAS ARRIBA FALTANTE.....	143
FIGURA 7.28: INVESTIGACIÓN FUTURA EN MARGEN DERECHA, SECTOR IMPLANTACIÓN PRESA Y MURO DE CIERRE.....	143
FIGURA 7.29: DISEÑO DE ENROCADOS DE PROTECCIÓN AGUAS ARRIBA Y ABAJO DEL VERTEDERO (PLANOJC-A.CV-PL-MS-(DD-00-00)-P001-0B).....	144
FIGURA 8.1: DIAGRAMA DE TENSIONES PRINCIPALES CON LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCA S EN MUESTRAS DE ARENISCAS EN LA CAMPAÑA 1977-1978 (AYEE).....	150
FIGURA 8.2: DIAGRAMA DE CAMINO DE TENSIONES P Y Q CON LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCAS EN MUESTRAS DE ARENISCAS EN LA CAMPAÑA 1977-1978 (AYEE).....	150
FIGURA 8.3: EQUIPO DE ENSAYO TRIAXIAL.....	152
FIGURA 8.4: PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	153
FIGURA 8.5: CURVAS TENSIÓN AXIAL VS DEFORMACIÓN AXIAL EN MUESTRAS DE PELITAS GV DE LA PRESA J. CEPERNIC (CAMPAÑA 2015).....	159
FIGURA 8.6: CURVAS TENSIÓN AXIAL VS DEFORMACIÓN AXIAL EN MUESTRAS DE ARENISCAS GRIS OSCURA DE LA PRESA J. CEPERNIC (CAMPAÑA 2015).....	160
FIGURA 8.7: CURVAS TENSIÓN AXIAL VS DEFORMACIÓN AXIAL EN MUESTRAS DE TOBAS Y ARENISCAS TOBACEAS DE LA PRESA J. CEPERNIC (CAMPAÑA 2015).....	160


 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 9 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

FIGURA 8.8: RELACIÓN ENTRE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAxIAL Y RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE LOS 3 TIPOS DE ROCAS ENSAYADAS DE LA PRESA J. CEPERNIC (CAMPAÑA 2015) .....	161
FIGURA 9.1: SONDEO BDC 05 CON UN TRAMO DE ARENISCA FRIABLE .....	167
FIGURA 9.2: SONDEO BDC 26 CON UN TRAMO DE ARENISCA FRIABLE .....	167
FIGURA 9.3: SONDEO BP 12 CON TRAMOS FRACTURADOS .....	168
FIGURA 9.4: SONDEO BP 09 CON ROCA ALTERADA ANTES DE LOS 12 M .....	168
FIGURA 9.5: SONDEO BP 01 CON ROCA PLÁSTICA Y BLANDA ANTES DE LOS 10,5 M .....	169
FIGURA 9.6: SONDEO BP 11 CON TRAMOS SIN RECUPERACIÓN EN TACOS DE MADERA ROJA .....	169
FIGURA 10.1: UBICACIÓN DE LAS PERFORACIONES REALIZADAS PARA LA CENTRAL Y VERTEDERO .....	173
FIGURA 10.2: REFERENCIAS DE LOS PERFILES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS .....	174
FIGURA 10.3: PERFIL EN LA CENTRAL .....	175
FIGURA 10.4: PERFIL EN EL VERTEDERO .....	176
FIGURA 10.5: CRITERIO DE APLICACIÓN DE TENSIONES NORMALES A 0,5 Y 1,2 MPA .....	178
FIGURA 10.6: ESTIMACIÓN TÍPICA SEGÚN MOHR COULOMB DE ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COHESIÓN SEGÚN PONDERACIÓN DE LITOLÓGÍAS PARA UNO DE LOS NIVELES. ....	179
FIGURA 10.7: TÍPICA DE PROMEDIOS DE ESTRATO SUPERIORES SEGÚN LITOLÓGÍA .....	179
FIGURA 10.8: RELACIÓN TENSIÓN-DEFORMACIÓN PARA UN MACIZO ROCOSO. $E_T$ : MÓDULO TANGENTE, $E_S$ : MÓDULO SECANTE. (AMBRASEYS & HENDRON, EN STAGG-ZIENKIEWICZ, 1970) .....	183
FIGURA 10.9: UBICACIÓN DE ENSAYOS MASW (CUADRADITOS ROJOS) REALIZADOS EN EL AÑO 2015 Y CROSS-HOLE (RECTÁNGULOS VERDES) REALIZADOS EN EL AÑO 2016 EN PRESA JORGE CEPERNIC. ....	184
FIGURA 10.10: CORRELACIÓN DE $E_{MASS}$ CON $V_P$ Y $V_S$ . (SEGÚN BARTON 2007) .....	187
FIGURA 10.11: PLANTA MOSTRANDO SONDEOS EN SECTOR DE ESTRUCTURAS DE CENTRAL Y VERTEDERO DE DISTINTAS CAMPAÑAS .....	190
FIGURA 10.12: SONDEOS EN SECTOR ESTRUCTURAS DE CENTRAL Y VERTEDERO .....	191
FIGURA 10.13: SONDEOS EN SECTOR DE MURO DE CIERRE EN MARGEN DERECHA (PERÍMETRO ESTRUCTURA EN LÍNEA ROJA) .....	192
FIGURA 11.1: INVESTIGACIONES EN MARGEN IZQUIERDA .....	193
FIGURA 11.2: ENSAYOS LUGEON Y LEFRANC A LO LARGO DEL EJE DEL MURO COLADO Y ZONA SINGULAR 1 .....	198
FIGURA 11.3: ENSAYOS LUGEON Y LEFRANC A LO LARGO DEL EJE DEL MURO COLADO Y ZONA SINGULAR 2 .....	199
FIGURA 11.4: UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN MASW 1° CAMPAÑA .....	200
FIGURA 11.5: UBICACIÓN DE MASW DE LA 2DA CAMPAÑA .....	202
FIGURA 11.6: GRANULOMETRÍAS OBTENIDAS EN LAS CALICATAS 1° ETAPA REALIZADAS PARA EVALUAR DENSIDADES NATURALES .....	204
FIGURA 11.7: CALICATA PARA DETERMINACIÓN DE DENSIDAD <i>IN SITU</i> .....	204
FIGURA 11.8: UBICACIÓN DE LOS ENSAYOS CROSS-HOLE EN LA MARGEN IZQUIERDA EN LOS SONDEOS BI 01-02 Y BC 1-2 DE LA CAMPAÑA 2006 .....	208
FIGURA 11.9: UBICACIÓN DEL ENSAYO CROSS-HOLE EN EL SONDEO BDC 03-04 DE LA CAMPAÑA 2006 EN LA ZONA DEL VALLE DEL RÍO .....	208
FIGURA 11.10: UBICACIÓN DEL ENSAYO CROSS-HOLE EN EL SONDEO BD 12-13 DE LA CAMPAÑA 2006 EN LA MARGEN DERECHA .....	208
FIGURA 11.11: UBICACIÓN DE PERFILES DE MASW EN MARGEN DERECHA CAMPAÑA 2015 (EN CUADRADITOS MARRONES) .....	209
FIGURA 11.12: EXPERIENCIA RECOLECTADA POR CASOS DONDE SE HA PRODUCIDO LICUACIÓN .....	212
FIGURA 11.13: LÍMITES DE COMPORTAMIENTO CONTRACTIVO .....	213
FIGURA 11.14: POTENCIAL DE LICUACIÓN BAJO LA PRESA .....	214
FIGURA 11.15: MÉTODO SIMPLIFICADO BASADO EN ONDAS DE CORTE CON LÍMITES EN FUNCIÓN DE MW (YUOD ET AL 2001) .....	215
FIGURA 11.16: VARIACIÓN DE $V_{S1}$ EN PROFUNDIDAD EN MARGEN IZQUIERDA .....	216
FIGURA 11.17: VARIACIÓN DE $V_{S1}$ EN PROFUNDIDAD EN SECTOR NORTE .....	217
FIGURA 11.18: VARIACIÓN DE $V_{S1}$ EN PROFUNDIDAD EN SECTOR CENTRAL .....	218
FIGURA 11.19: VARIACIÓN DE $V_{S1}$ EN PROFUNDIDAD EN SECTOR SUR .....	219
FIGURA 11.20: VALORES DE LA ONDA $V_S$ DE LA CAMPAÑA 2006 .....	220
FIGURA 11.21: VALORES DE LA ONDA $V_S$ DE LA CAMPAÑA 2006 .....	221

## TABLAS

TABLA 2.1: PERFORACIONES EJECUTADAS POR EL CONSORCIO IECI PARA AYEE (1977-1978) .....	23
TABLA 2.2: PERFORACIONES EJECUTADAS POR LA UTE ESIN-IATASA ENTRE 2006 Y 2007 .....	24
TABLA 2.3: SONDEOS EXPLORATORIOS SERIE BP- AÑO 2015 .....	28


 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 10 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

TABLA 3.1: CUADRO ESTRATIGRÁFICO* Y MORFOESTRATIGRÁFICO DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS PRESENTES EN EL MARCO REGIONAL Y LOCAL.....	40
TABLA 4.1: TIPOS LITOLÓGICOS DESCRIPTOS EN EL INFORME FINAL NK .....	58
TABLA 5.1: RELACIÓN DE RECURRENCIA PARA LAS DISTINTAS FUENTES.....	65
TABLA 5.2: RESULTADOS DEL ANÁLISIS PROBABILÍSTICO PARA LA PRESA J. CEPERNIC .....	66
TABLA 5.3: RELACIÓN ENTRE LOS COMPONENTES VERTICALES Y HORIZONTALES .....	71
TABLA 5.4: PARÁMETROS QUE DEFINEN EL ÍNDICE DE EXPLOSIVIDAD VOLCÁNICA .....	72
TABLA 5.5: REGISTRO DE LOS VOLCANES DEL AVZ.....	73
TABLA 5.6: REGISTRO CUANTIFICACIÓN POTENCIAL CRECIDAS DE LAGOS DE LA CUENCA DEL RÍO SANTA CRUZ .....	77
TABLA 5.7: PROPIEDADES ORIGINALES DEL PERFIL DE SUELO NOMINAL EN LA ZONA DE LA PRESA GJC .....	79
TABLA 5.8: PROPIEDADES DEGRADADAS DEL PERFIL DE SUELO NOMINAL EN LA ZONA DE LA PRESA GJC .....	79
TABLA 5.9: VALORES PGA DE LOS ACELEROGRAMAS UTILIZADOS PARA LA PRESA GJC [G].....	79
TABLA 5.10: AMPLITUD MÁXIMA DE OLAS LAS P/ ESCENARIO I DE EXCITACIÓN SÍSMICA – MODELO GJC PARALELO “A” [M].....	80
TABLA 5.11: AMPLITUD MÁXIMA DE OLAS P/ ESCENARIO II DE EXCITACIÓN SÍSMICA – MODELO GJC PARALELO “A” [M].....	80
TABLA 5.12: AMPLITUD MÁXIMA DE LAS OLAS P/ ESCENARIO I DE EXCITACIÓN SÍSMICA – MODELO GJC PARALELO “B” [M].....	80
TABLA 5.13: AMPLITUD MÁXIMA DE LAS OLAS P/ ESCENARIO II DE EXCITACIÓN SÍSMICA – MODELO GJC PARALELO “B” [M].....	81
TABLA 5.14: AMPLITUD MÁXIMA DE OLAS P/ ESCENARIO I DE EXCITACIÓN SÍSMICA – MODELO GJC PERPENDICULAR [M].....	81
TABLA 5.15: AMPLITUD MÁXIMA DE OLAS P/ ESCENARIO II DE EXCITACIÓN SÍSMICA – MODELO GJC PERPENDICULAR [M].....	81
TABLA 5.16: AMPLITUD MÁXIMA DE OLAS CON COMPONENTES DE BAJA FRECUENCIA DE AMPLITUD A = 0.025 M–MODELO GJC PARALELO “A” [M].....	82
TABLA 5.17: AMPLITUD MÁXIMA DE OLAS CON COMPONENTES DE BAJA FRECUENCIA DE AMPLITUD A = 0.010 M–MODELO GJC PERPENDICULAR [M].....	82
TABLA 5.18: AMPLITUD MÁXIMA DE OLAS POR DESMORONAMIENTOS – MODELO GJC PARALELO “A” [M].....	83
TABLA 5.19: AMPLITUD MÁXIMA DE OLAS POR DESMORONAMIENTOS – MODELO GJC PERPENDICULAR [M].....	83
TABLA 6.1: ESQUEMA DE ESCALONES DE PRESIÓN.....	84
TABLA 6.2: CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO EN FUNCIÓN DE LA PERMEABILIDAD .....	85
TABLA 6.3: CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN EL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD, TERZAGHI Y PECK, 1967 .....	88
TABLA 6.4: CORTE GEOELÉCTRICO CON LAS PROFUNDIDADES DEL TECHO Y ESPESORES DE LOS ESTRATOS EN M Y SU RESISTIVIDAD ELÉCTRICA VERDADERA EN OHM-M.....	98
TABLA 6.5: RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS Y ROCAS .....	99
TABLA 6.6: REGISTRO TIPO DE LA CAMPAÑA 2006 Y VALOR CORREGIDO DE SPT .....	107
TABLA 7.1: COORDENADAS DE UBICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS EN LA PRESA J. CEPERNIC .....	112
TABLA 7.2: RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS POZOS EXCAVADOS EN LA MARGEN DERECHA DE LA PRESA J. CEPERNIC, AGUAS ARRIBA DEL EJE .....	119
TABLA 7.3: PROMEDIO PONDERADO Y DESVÍO ESTÁNDAR DE LOS SEDIMENTOS FLUVIALES DEL YACIMIENTO BI.....	121
TABLA 7.4: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO CALICATAS DE AYEE (1980) PARA EL YACIMIENTO BB.....	127
TABLA 7.5: PROMEDIO PONDERADO Y DESVÍO ESTÁNDAR DE LOS SEDIMENTOS FLUVIALES DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO SANTA CRUZ – YACIMIENTO BB.....	127
TABLA 7.6: ANÁLISIS PROMEDIO PONDERADO DE LAS CALICATAS DE CAMPAÑA 2015 EN CANAL DE ADUCCIÓN.....	131
TABLA 7.7: DATOS ESTADÍSTICOS DE LAS MUESTRAS PONDERADAS DE LAS CALICATAS DE LA CAMPAÑA 2015 EN EL CANAL DE ADUCCIÓN .....	132
TABLA 7.8: PARÁMETROS DE LA CURVA PROMEDIO GENERAL INCLUYENDO LA CLASIFICACIÓN SUCS PARA LAS MUESTRAS DE AYEE Y DE LA CAMPAÑA 2015. ....	136
TABLA 7.9: COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD C <sub>u</sub> Y COEFICIENTE DE CURVATURA C <sub>c</sub> DE LAS CALICATAS ANALIZADAS DE LA CAMPAÑA 2015 EN CANAL DE ADUCCIÓN.....	136
TABLA 7.10: DATOS GRANULOMETRÍAS POR PROFUNDIDAD Y PROMEDIO PONDERADO POR ESPESOR. DIÁM CARACTERÍSTICOS Y COEFICIENTES C <sub>u</sub> Y C <sub>c</sub> .....	137
TABLA 8.1: CAMPAÑA DE AYEE-ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCAS SOBRE MUESTRAS DE ARCILITA .....	147
TABLA 8.2: CAMPAÑA ESIN-IATASA-ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCAS SOBRE MUESTRAS DE ARCILITA .....	147
TABLA 8.3: CAMPAÑA DE AYEE-1970-1980-ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCAS SOBRE MUESTRAS DE LIMOLITA .....	148
TABLA 8.4: CAMPAÑA ESIN-IATASA-2006-ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCAS SOBRE MUESTRAS DE LIMOLITA.....	148
TABLA 8.5: RESULTADOS DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCAS DE LA CAMPAÑA 1977-1978 SOBRE MUESTRAS DE PELITAS EN ESTADO NATURAL NO SATURADAS (CONSORCIO IECI PARA AYEE) .....	149
TABLA 8.6: RESULTADOS DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCAS DE LA CAMPAÑA 1977-1978 SOBRE MUESTRAS DE ARENISCAS ARCILLO LIMOSAS EN ESTADO NATURAL NO SATURADAS (CONSORCIO IECI PARA AYEE) .....	149
TABLA 8.7: CAMPAÑA DE AYEE: ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCAS SOBRE MUESTRAS DE ARENISCA.....	150
TABLA 8.8: CAMPAÑA ESIN-IATASA: ENSAYOS DE MECÁNICA DE ROCAS SOBRE MUESTRAS DE ARENISCA .....	151
TABLA 8.9: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN TOBAS .....	154



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 11 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

TABLA 8.10: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN ARENISCA ARCILLOSA.....	155
TABLA 8.11: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN ARENISCA GRIS OSCURA.....	156
TABLA 8.12: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN PELITAS .....	157
TABLA 8.13: RESULTADOS PRELIMINARES DE LOS ENSAYOS REALIZADOS SOBRE MUESTRAS DE ARENISCAS GRISES OSCURO DE LA PRESA J. CEPERNIC (CAMPAÑA 2015) .....	158
TABLA 8.14: RESULTADOS PRELIMINARES DE LOS ENSAYOS REALIZADOS SOBRE MUESTRAS DE PELITAS GRIS VERDOSAS DE LA PRESA J. CEPERNIC (CAMPAÑA 2015) .....	159
TABLA 8.15: RESULTADOS PRELIMINARES DE LOS ENSAYOS REALIZADOS SOBRE MUESTRAS DE TOBAS Y ARENISCAS TOBACEAS GRISES DE LA PRESA J. CEPERNIC (CAMPAÑA 2015).....	159
TABLA 8.16: RESULTADOS DE VELOCIDAD DE ONDAS DE COMPRESIÓN $V_p$ Y CÁLCULO DE $V_s$ CON DOS VALORES DEL COEFICIENTE DE POISSON.....	163
TABLA 9.1: PROFUNDIDADES Y COTAS DEL CONTACTO ALUVIÓN-ROCA Y CONTACTO ROCA COMPETENTE. CAMPAÑA 2015..	170
TABLA 9.2: PROFUNDIDADES Y COTAS DEL CONTACTO ALUVIÓN-ROCA Y CONTACTO ROCA COMPETENTE. CAMPAÑA 1970-80 .....	170
TABLA 9.3: PROFUNDIDADES Y COTAS DEL CONTACTO ALUVIÓN-ROCA Y CONTACTO ROCA COMPETENTE. CAMPAÑA 2006-07 .....	171
TABLA 10.1: PARÁMETROS PROPUESTOS PARA LA CENTRAL .....	180
TABLA 10.2: PARÁMETROS PROPUESTOS PARA EL VERTEDERO.....	180
TABLA 10.3: PARÁMETROS PROPUESTOS PARA EL MURO DE CIERRE .....	180
TABLA 10.4: FACTORES DE CORRECCIÓN POR FORMA.....	181
TABLA 10.5: RESUMEN DE RESULTADOS DE LA CENTRAL.....	182
TABLA 10.6: RESUMEN DE RESULTADOS DE DESVÍO Y DESCARGADOR.....	182
TABLA 10.7: RESUMEN DE RESULTADOS DE VERTEDERO .....	182
TABLA 10.8: DETERMINACIÓN DE MÓDULOS [MPA] A PARTIR DE ENSAYOS CROSS-HOLE (PROINGEO 2015) .....	184
TABLA 10.9: SECTOR NORTE. DETERMINACIÓN DE MÓDULOS [MPA] A PARTIR DE ENSAYOS MASW DE LA PRESA J. CEPERNIC.....	185
TABLA 10.10: SECTOR CENTRAL. DETERMINACIÓN DE MÓDULOS [MPA] A PARTIR DE ENSAYOS MASW DE LA PRESA J. CEPERNIC.....	185
TABLA 10.11: SECTOR SUR. DETERMINACIÓN DE MÓDULOS [MPA] A PARTIR DE ENSAYOS MASW DE LA PRESA J. CEPERNIC	186
TABLA 10.12: RESUMEN DE LUGEON DE SONDEOS INVOLUCRADOS.....	188
TABLA 11.1: TRAMOS ENSAYADOS A LO LARGO DEL EJE DEL MURO COLADO CON PERMEABILIDADES $> 8$ UL .....	196
TABLA 11.2: CRITERIO DE GRADIENTE DE FUNDACIÓN DE PLINTO EN ROCA- J. SIERRA Y B. P. MACHADO Y P. MARQUES. (BULLETIN ICOLD 141).....	197
TABLA 11.3: TABLA DE PROFUNDIDADES CON $V_{s1}$ MAYOR A 210 DE 1° CAMPAÑA.....	201
TABLA 11.4: TABLA DE PROFUNDIDADES MENORES A 5 M CON $V_{s1}$ MENOR A 210 DE 1° CAMPAÑA.....	202
TABLA 11.5: RESULTADOS OBTENIDOS EN ENSAYOS DENSIDAD IN SITU, DENSIDAD DE SÓLIDOS Y RELACIÓN DE VACÍOS-1RA ETAPA Y 2DA ETAPA .....	203
TABLA 11.6: RESUMEN DE ENSAYOS DE PENETRACIÓN STANDARD (SPT) DE 2006.....	207
TABLA 11.7: DETERMINACIÓN DEL $F_s$ A LA LICUACIÓN POR MEDIO DE SPT.....	209
TABLA 11.8: PARÁMETROS DE LOS MATERIALES DE LA PRESA.....	222
TABLA 11.9: MÓDULO DINÁMICO Y ESTÁTICO DE ALUVIONES DE FUNDACIÓN EN SECTOR DEL CAUCE.....	222
TABLA 11.10: MÓDULO DINÁMICO Y ESTÁTICO DE ALUVIONES DE FUNDACIÓN EN SECTOR MÁXIMO ALUVIÓN .....	222
TABLA 12.1: RESUMEN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS PARA ALUVIÓN Y MACIZO ROCOSO .....	225



	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 12 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

## RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo del informe es la presentación de toda la información geológica y geotécnica procedente de todas las investigaciones realizadas hasta el año 2016. Estas incluyen las realizadas por el Consorcio IECI para AyEE en la década de 70 y 80, las realizadas en 2006 por el Consorcio ESIN-IATASA para la Provincia de Santa Cruz y por la UTE Represas Patagonia entre 2015 y 2016. Al presente, quedan pendientes las investigaciones correspondientes a la margen izquierda, por falta de accesos, tres perfiles sísmicos de refracción y cinco sondeos geotécnicos denominados BP21, BP 23, BP 24, BP 25 y BP 10, los cuáles se llevarán a cabo en una nueva campaña que complete la anterior.

El informe consta de dos partes. Una primera referida a la información de base que permitió establecer cuáles son las principales características geológicas a partir de las cuáles se definieron las propiedades geotécnicas, tanto del material aluvial presente en la fundación de la presa como del macizo rocoso de la fundación de las estructuras de hormigón ubicadas en la margen derecha.

La modelización de estas propiedades se desarrolla en la segunda parte del informe. Los modelos, planteados según las estructuras principales que componen el diseño del proyecto, representan la caracterización de los materiales involucrados, de manera tal que permitan evaluar su comportamiento geológico-geotécnico bajo las condiciones del proyecto.

### PARTE I: INFORMACIÓN DE BASE

#### Ubicación geográfica y marco geológico regional y local de la zona de emplazamiento de la presa

El área investigada se localiza en la región de la Patagonia Extrandina situada en la sección austral de la Provincia de Santa Cruz. Más precisamente se extiende como una superficie de 10 km de lado sobre la sección media del río Santa Cruz, a 120 km al este del nacimiento de este curso fluvial en el lago Argentino (Figura 1).

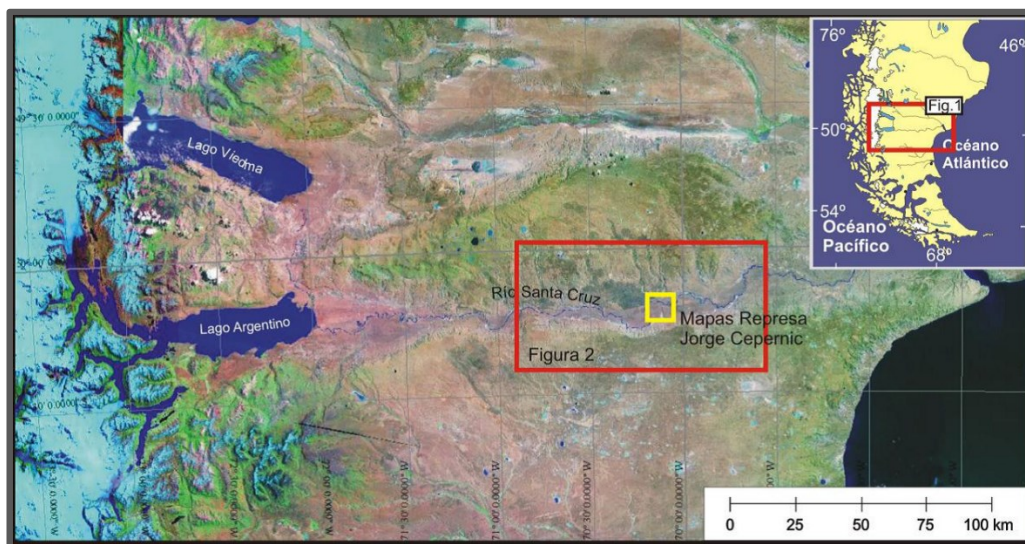


Figura 1: Ubicación de la zona de la represa Jorge Cepernic (en recuadro amarillo).

Afloran aquí sedimentitas de edad terciaria de la Fm. Santa Cruz, depósitos glacifluviales aterrazados, vulcanitas basálticas de edad Pliocena y acumulaciones de sedimentos inconsolidados de edad holocena de diversa granulometría vinculados con ambientes de sedimentación fluvial, lacustre locales, eólica y los derivados de movimientos de remoción en masa.

La Fm. Estancia 25 de Mayo ha sido detectada únicamente en el subsuelo, a partir de testigos de perforaciones realizadas durante las investigaciones geotécnicas.

La Fm. Santa Cruz constituye un paquete de rocas estratiforme, dispuesto subhorizontalmente e internamente bien estratificado y con composiciones, colores y litotipos variados, con extremos silicoclásticos representados por areniscas líticas grises gruesas a medianas y otros de origen volcániclastico, representados por tobas amarillento-blancuecinas (depósitos de caída).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 13 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

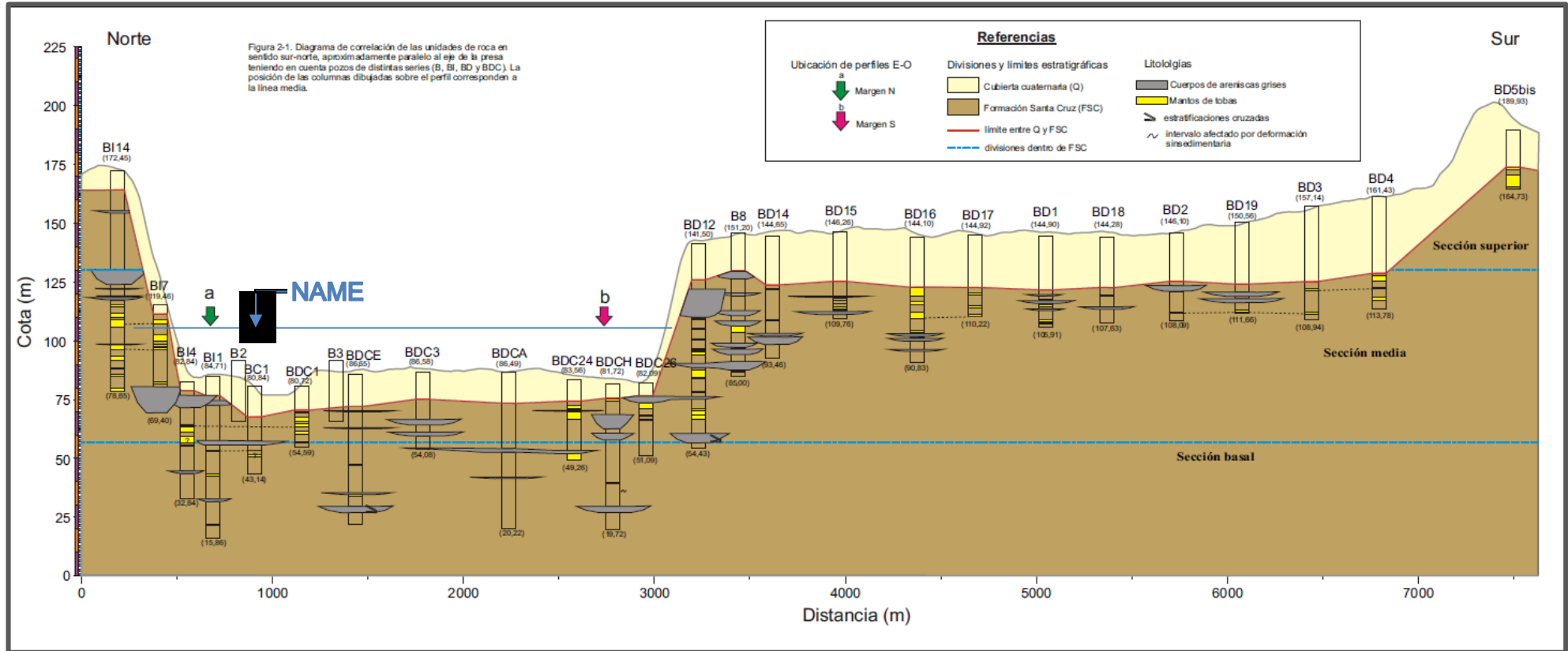


Figura 2: Perfil aproximadamente paralelo al eje de la presa que muestra las unidades de roca y material aluvial.

### Peligrosidad sísmica

El análisis de peligrosidad sísmica consiste en determinar el máximo terremoto que puede afectar a las presas durante su vida operativa o el máximo terremoto en los emplazamientos en un período de tiempo determinado.

Los valores de PGA (aceleración máxima del terreno) correspondientes a los períodos de recurrencia definidos para este proyecto se expresan en la Tabla 1.

**Tabla 1: Resultados del análisis probabilístico para la presa J. Cepernic**

Sismo	Presa J. Cepernic	
	En gals	En g
TR 144	26	0,027
TR 475	48	0,049
TR 1 950	101	0,103
TR 4 950	168	0,171
TR 9 950	239	0,244

El Sismo Máximo Creíble (SMC) definido como el terremoto Máximo Creíble debido a fallas conocidas o a zonas sismogénicas específicas, presenta un tiempo de retorno de 10 000 a 35 000 años, El Sismo Básico de Operación (SBO) definido como aquel que produce un nivel de excitación tal que posee una probabilidad de excedencia del 50% en 100 años (TR 144 años), representa un evento que tanto la presa como sus obras complementarias deben soportar sin mayores daños.

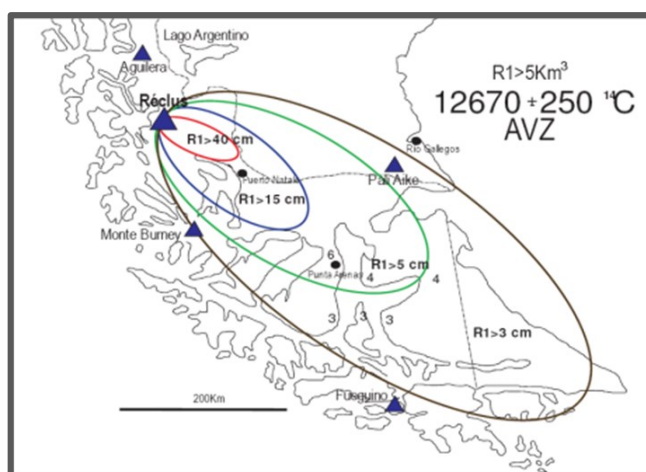
Según los tipos de sismos contemplados para este proyecto y los valores de la Tabla 1, cada 9 950 años puede ocurrir un sismo de 0,244 g o mayor para la presa J. Cepernic y existe una probabilidad del 50% de que en un período de 100 años ocurra un sismo de una magnitud de 0,027 g para la presa J. Cepernic.

### Peligrosidad Volcánica


En cuanto al vulcanismo, las amenazas vigentes en el área de emplazamiento se deben la fusión de hielo por un evento volcánico y a los depósitos de productos volcánicos.

La fusión de hielo por un evento volcánico puede provocar una crecida similar a la rotura del Glaciar Perito Moreno.

Los productos volcánicos explosivos poseen un amplio espectro de dispersión canalizado por los vientos que finalmente los terminan orientando, en este caso predominantemente desde el sector oeste hacia el este, y que se van depositando en una relación directamente proporcional a la magnitud del evento y al tamaño del producto volcánico, siendo las cenizas las que mayor distancia alcanzan. De todos los volcanes cuya actividad volcánica pueden afectar el área de emplazamiento de la presa, el más estudiado es el Réclus y sus valores se pueden extrapolar a todos los volcanes del área. En la Figura 3 pueden apreciarse las elipses de alcance de las tefras. En caso de que los vientos direccionen las mismas alcanzarían, no sólo al lago Argentino sino que también al área de las propias presas.



**Figura 3: Curvas de espesores de ceniza de una explosión antigua del Réclus**

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 15 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

## Ola sísmica

Según los resultados del estudio de las olas sísmicas, la amplitud máxima sobre la superficie media del embalse de las olas inducidas por la excitación sísmica adoptada para el diseño en ningún caso supera 0,42 m. Sin embargo, la incorporación en los acelerogramas de componentes de baja frecuencia que no afectan los espectros de respuesta usados para el diseño, y que son consistentes con las demandas sísmicas en bajas frecuencias, produce la excitación de los primeros modos del embalse, lo cual genera que la amplitud máxima de las olas alcance 1,22 m, y con hipótesis más pesimistas hasta 2,26 m. La amplitud máxima de la ola generada por un desplazamiento permanente del fondo o de una de las márgenes del embalse es aproximadamente igual a 0,80 m para un desplazamiento de 1 m.

## Investigaciones *in situ* y ensayos de laboratorio

Las investigaciones *in situ* realizadas pueden resumirse en la siguiente lista:

- ✓ Sondeos geotécnicos y calicatas
- ✓ Ensayos de permeabilidad: Ensayos Lugeon y Lefranc
- ✓ Prospección geofísica: ensayos *MASW*, sísmica de refracción, ensayos Cross-Hole y SEV
- ✓ Ensayos SPT

Los ensayos de laboratorio en testigos de roca y material aluvional han sido los siguientes:

- ✓ Curvas granulométricas de muestras de calicatas para el estudio de yacimientos
- ✓ Ensayos de resistencia en testigos de roca
- ✓ Determinación de la densidad de sólidos, peso específico natural, porosidad, entre otros
- ✓ Ensayos de velocidad de ondas de compresión en testigos de roca

En la primer parte del informe se explica en que consiste cada ensayo, su procedimiento e interpretación. El análisis de los mismos permitió la obtención de parámetros de resistencia, deformabilidad y permeabilidad del material aluvional, roca intacta y macizo rocoso que son tratados en los modelos en la segunda parte de este trabajo.

Las calicatas realizadas y los ensayos de laboratorio permitieron hacer una evaluación de los yacimientos estudiados por AyEE para determinar cuáles eran aptos para este proyecto (yacimientos B1 y Bb). Además se caracterizaron los yacimientos de la campaña 2015 y se determinó que los materiales aluvionales presentan buenas propiedades para ser usados en la construcción de la presa y áridos de hormigón.

Queda por llevar a cabo las calicatas previstas en la margen izquierda y derecha del proyecto y estudios granulométricos de material de excavación de la traza del cuerpo de la presa y las estructuras de margen derecha.

## PARTE II: MODELOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS Y PRINCIPALES CONCLUSIONES


### II.1 Fundación de las estructuras de hormigón en margen derecha

#### • Resistencia del macizo rocoso

Los parámetros de resistencia han sido definidos de la siguiente manera:

- ✓ La descripción de litología y estructuras de los sondeos geotécnicos definieron tres estratos en la zona de fundación de las estructuras de hormigón de margen derecha.
- ✓ En cada uno de los estratos, se empleó el modelo de Hoek-Brown para estimar los parámetros del macizo rocoso a partir de los ensayos de laboratorio realizando una disminución progresiva del GSI con el programa RocLab.
- ✓ El valor de validación tomado para la degradación del GSI es el módulo de deformación del macizo obtenido a partir de la velocidad  $V_s$ .

La diferencia de los parámetros de resistencia,  $c$  y  $\phi$  estimados para cada una de las estructuras consideradas se debe esencialmente a la distribución de las distintas litologías reconocidas.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 16 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

Los parámetros propuestos y aplicados en los modelos de estabilidad y de tensión-deformación se resumen en la Tabla 2.

**Tabla 2: Parámetros propuestos para las estructuras de hormigón de margen derecha**

Estructuras	Parámetros	Estrato superior	Estrato medio	Estrato inferior
Central	$\phi$ [°]	38.3	32.7	33.6
	c [MPa]	0,32	0,34	0,36
Vertedero	$\phi$ [°]	38.4	31.4	33.3
	c [MPa]	0,31	0,36	0,35
Muro de cierre	$\phi$ [°]	38.4	31.9	32.7
	c [MPa]	0,3	0,35	0,35

- Capacidad de carga del macizo rocoso de fundación de las estructuras**

Para la capacidad de carga última se utilizó la ecuación de Terzaghi asumiendo una falla general por corte.

Se adoptó un ángulo de fricción interna de 25° y una cohesión de 0,4 MPa. La Tabla 3 resume los resultados.

La comparación de los valores de tensiones resultantes de los cálculos de estabilidad con las tensiones admisibles calculadas por los análisis de estabilidad de las tres estructuras analizadas, concluye que las tensiones resultantes son muy inferiores a las tensiones admisibles, con una seguridad elevada frente a la falla por capacidad de carga.

**Tabla 3: resumen de resultados para las estructuras de hormigón**

Estructura	N° combinación de carga	Tipo de combinación	$\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)	% base comprimida	Excentricidad	$\sigma_{\text{adm}}$ (MPa)
Central	1	Normal	0,656	100	0,91	3,61
	3	Excepcional	0,640	100	0	4,90
	9	Extrema (SMD)	0,767	100	11,81	4,90
Desvío y descargador	2	Normal	0,696	100	9,8	2,65
	6	Excepcional	0,752	100	11,17	3,89
	8	Extrema (SMD)	1,195	64	19,42	4,47
Vertedero	2	Normal	0,592	100	1,83	2,20
	5	Excepcional	0,550	100	2,15	3,29
	8	Extrema (SMD)	0,824	95,5	3,72	4,24

- Deformabilidad en macizos rocosos**

Para la determinación del módulo de deformabilidad del macizo rocoso se utilizaron las velocidades de ondas de corte de los ensayos *MASW* (Campaña 2015 y 2016) y los ensayos *Cross-Hole* (Campaña 2006 y 2016).


Los ensayos estáticos de carga permiten determinar los parámetros de deformación de los macizos rocosos, si se respeta la ejecución fuera de la EDZ (zona dañada por la excavación) y si se dan las condiciones ambientales. En el caso de las presas, es difícil cumplir con la condición de saturación.

Los ensayos geofísicos pueden cumplir con estas condiciones si se emplea la  $V_s$  que es insensible a la presencia de agua.

Los resultados obtenidos con medición de velocidad de ondas son parámetros dinámicos que deben ser convertidos en estáticos usando relaciones generadas por la teoría de elasticidad y por fórmulas de correlación empíricas.

En el sitio de la presa J. cepernic, los resultados obtenidos tanto con los ensayos *CH* como por los *MASW* han permitido cubrir gran parte de los sectores de obra.

Se puede diferenciar la zona de la presa de la zona donde se implantara el vertedero y la central.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 17 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

- ✓ Para el caso de la Presa, se definió un nivel de módulo de deformación  $E_{mass} = 1.500$  a  $1.900$  MPa.
- ✓ Para el caso del Vertedero y la Central, el nivel baja a un entorno de  $E_{mass} = 1.300$  a  $1.500$  MPa.

## II.2 Fundación del cuerpo de la presa

- **Muro colado y permeabilidad del macizo rocoso**

La permeabilidad del macizo rocoso en el eje del muro colado es de moderadamente baja a baja (0,5 a 3 UL) excepto en dos zonas singulares con permeabilidades mayores a las 8 UL y que ronda las 20 UL a 42 UL.

De los ensayos que se encuentran por encima de las 8 UL, la mayoría están en el rango de 10 a 40 UL, es decir, con permeabilidades que se encuentran entre  $1 \times 10^{-4}$  a  $4 \times 10^{-4}$  cm/s. En este perfil, el tramo más permeable llega a las 42 UL, es decir  $4,2 \times 10^{-4}$ . También se ha prestado atención al espesor de roca alterada analizada y definida en esta etapa de estudios mediante la interpretación de los sondeos de todas las campañas. Este espesor resulta de la diferencia entre CAR (contacto aluvión –roca) y CRC (contacto roca competente).

Para definir en esta etapa el empotramiento del muro colado de 5 m en roca desde el contacto aluvión-roca (CAR), se ha considerado un gradiente de 4. Se aplica para ello el criterio usado durante el proyecto por parte de MWH del gradiente hidráulico admisible según el estado del macizo rocoso para plintos de presas CFRD en roca, en este caso aplicable para el tramo de empotramiento del muro colado. De todos modos esta profundidad será determinada y ajustada con perforaciones de avance en las zonas donde se detectaron mayores Lugeon o donde se presente alguna duda o mejora de la calidad del macizo.

- **Condiciones del material aluvional de fundación de la presa**

En esta zona se realizaron ensayos MASW y ensayos de densidad *in situ* que permitieron definir la presencia de un espesor reducido de suelo orgánico, del orden de 0,5 a 1 metro y aluviones naturales con una buena densidad a partir de una profundidad de 1 m con propiedades muy similares al material 3 B. Los valores promedio de densidad *in situ* superan los  $2\ 000$  Kg/m<sup>3</sup> con valores bajos de relación de vacíos.

En función de los datos obtenidos, se ha definido que la cota de desplante de la presa sea de 1 m abajo del terreno natural. De todos modos, la profundidad de excavación deberá ser ajustada en el campo.

- **Potencial de licuefacción de los mantos arenosos presentes en la fundación del cuerpo de la presa**

Los mantos arenosos del valle del río detectados en los sondeos realizados, han sido objeto de un estudio detallado de potencial de licuefacción. Para ello se utilizaron los ensayos SPT del año 2006, Ensayos MASW de las campañas 2015 y 2016 y ensayos *Cross-Hole* realizados en los años 2006 y 2016.


Los ensayos de penetración Standard (SPT) muestran comportamiento dilatante en la mayoría de las determinaciones, con excepción de dos casos, uno de los cuales se encuentra en el límite del comportamiento contractivo-dilatante.

Las evaluaciones basadas en velocidad de ondas de corte se han ejecutado usando métodos superficiales (MASW) y en perforaciones (*Cross-Hole*). Los resultados no han resultado comparables, pero indican que no existen zonas contractivas, con excepción de un punto en uno de los ensayos CH.

La evaluación global señala que el comportamiento de los sedimentos frente a la acción sísmica es estable, sin que se esperen casos de licuación bajo la presa.

- **Resistencia al corte del aluvión de fundación**

El aluvión de la fundación se caracterizó de acuerdo con el documento Criterios de Diseño GE-A.CV-CD.CI-(OG-00-00)-P001-0D, con valores de densidad total de  $1\ 950$  kg/m<sup>3</sup>, ángulo de fricción de  $32^\circ$  y cohesión nula.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 18 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

- **Deformabilidad de los aluviones de fundación**

Para poder estimar los valores de módulo dinámico y estático de los aluviones de fundación se utilizaron los valores de módulo de rigidez al corte,  $G$ , y coeficiente de Poisson,  $\nu$ , obtenidos del análisis de deconvolución unidimensional realizado para la máxima profundidad de aluvión y sector del cauce.

Los acelerogramas corresponden a sismos para un período de recurrencia de 144 años (sismo básico de operación) y de 9 950 años. Para la determinación de  $G$  y  $\nu$  se tomó el promedio de los valores de cada uno de los tres sismos considerados para cada período de recurrencia.

Con los valores de  $G$  y  $\nu$  se calcularon los módulo de deformación dinámico y el estático, que resultan de multiplicar este valor por un coeficiente igual a 0,8. (Ver Tabla 6 y Tabla 7).

**Tabla 6: Módulo dinámico y estático de aluviones de fundación en sector del cauce**

Profundidad		Sismo de 144 años de recurrencia		Sismo de 9 950 años de recurrencia	
de	hasta	$E_{din}$	$E_{est(0,8)}$	$E_{din}$	$E_{est(0,8)}$
m	m	MPa	MPa	MPa	MPa
0	8	220 a 574	176 a 459	180 a 317	144 a 254

**Tabla 7: Módulo dinámico y estático de aluviones de fundación en sector máximo aluvión**

Profundidad		Sismo de 144 años de recurrencia		Sismo de 9 950 años de recurrencia	
de	hasta	$E_{din}$	$E_{est(0,8)}$	$E_{din}$	$E_{est(0,8)}$
m	m	MPa	MPa	MPa	MPa
0	17	302 a 706	242 a 565	219 a 348	175 a 279



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 19 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900


## RESUMEN DE RESULTADOS

Presa Gobernador Jorge Cepernic									
Parámetros geotécnicos recomendados para el Aluvión									
Estructura	Ubicación	Material Aluvional	Ángulo de fricción interna	Cohesión	Módulo	Densidad in situ	Densidad de sólidos	Relación de vacíos	Ensayos Lefranc
			$\phi$	$c$	$E$	$\rho$	$\rho_s$	$e$	$k$
			(°)	MPa	MPa	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>		cm/s
Presa	Valle del río	GP-GW	40	0	144 A 565 (Según TR de los sismos y la profundidad)	2 100	2 670	0.3	1x10 <sup>-3</sup> a 1x10 <sup>-1</sup>
		SM	37						
		Documento de referencia para los parámetros	JC-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P001-0C	JC-A.CV-MT.FE-(OG-00-00)-P001-0A	JC-A.CV-IL.GT-(PR-00-00)-P001-0A	JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P911 y P912-0A			

Presa Gobernador Jorge Cepernic									
Parámetros geotécnicos recomendados para el Macizo Rocoso									
Estructura	Ubicación	Roca	Cota	Ángulo de fricción interna	Cohesión	Módulo	Peso específico	Permeabilidad Lugeon	
			m	$\phi$	$c$	$E$	$\gamma$	UL	
				(°)	MPa	MPa	kN/m <sup>3</sup>		
Central	Margen Derecha-Sur	Estrato Superior	> 52	38	0.31	1 300 a 1 500	19	Ver Perfiles	
		Estrato Medio	52 a 46	33	0.33				
		Estrato Inferior	46 a 24	34	0.35				
Vertedero	Margen Derecha-Sur	Estrato Superior	> 52	38	0.3	1 300 a 1 500	19	Ver perfiles	
		Estrato Medio	52 a 46	31	0.35				
		Estrato Inferior	46 a 24	33	0.34				
Muro de cierre	Margen Derecha-Sur	Estrato Superior	> 52	38	0.29	1 300 a 1 500	19	Ver Perfiles	
		Estrato Medio	52 a 46	32	0.34				
		Estrato Inferior	46 a 24	33	0.34				
		Documento de referencia para los parámetros	JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001-0D	JC-A.CV-IV.GT-(OG-00-00)-P001-0A	JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P913, P914, P915 y P916-0A				

Para las unidades se utiliza Sistema Métrico Legal Argentino (SIMELA)



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 20 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

## COMENTARIOS FINALES

- ✓ Las condiciones geológicas y geotécnicas resultantes del análisis detallado de la información aquí presentada, permite confirmar la excelente aptitud del sitio para construir la presa JORGE CEPERNIC.
- ✓ No existen incertidumbres de magnitud que puedan cambiar el concepto definido en el proyecto civil.
- ✓ Quedan por resolver el nivel de fundación del plinto en roca de margen izquierda. Este tema es objeto de la campaña complementaria de investigaciones con sondeos exploratorios y sísmica.
- ✓ Queda por confirmar la extensión de zonas de alta permeabilidad en el muro colado, el cual sera estudiado mediante las perforaciones de avance a su construcción, tal como esta previsto en las especificaciones.
- ✓ La geometría, tipología y características de las inyecciones tanto en el trazado del muro colado como en las estructuras sobre roca será objeto de estudio en al siguiente etapa del proyecto.
- ✓ El modelo actual puede no contemplar imprevistos e incertidumbres inherentes a las características del medio geológico que puede surgir en la marcha de la obra, como por ejemplo, capas de menor resistencia que las definidas actualmente. Por ese motivo se instrumentarán las acciones necesarias para identificar posibles estratos débiles que puedan cambiar las hipótesis de diseño.”
- ✓ “La excavación de los dientes de la fundación de las obras de hormigón en JC nos permitirá apreciar sobre qué material efectivamente estaremos confiando para tomar empujes horizontales.”
- ✓ “El relevamiento geológico detallado será un hito de importancia a realizar cuando se lleven a cabo las excavaciones, y permitirá documentar efectivamente la fundación de estas estructuras acotando los riesgos o contingencias geológicas.”



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 21 de 268


APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900


## PARTE I: INFORMACIÓN DE BASE

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS		Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 22 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900	

## 1. OBJETO DEL DOCUMENTO

Este documento tiene el objeto de presentar toda la información geológica y geotécnica disponible de las campañas de investigaciones ejecutadas hasta el 2015 y en ejecución en 2016.

Este informe es una actualización del informe presentado el 15/10/2015 adjunto a la NP 254". En el mismo, se integran todos los resultados obtenidos de los ensayos de campo y laboratorio para la elaboración final del modelo geológico-geotécnico. Al presente, quedan pendientes las investigaciones correspondientes a la margen izquierda, tres perfiles sísmicos de refracción y cuatro sondeos geotécnicos denominados BP 23, BP 24, BP 25 y BP 10 los que se llevarán a cabo en una nueva campaña que complete la anterior.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 23 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Documentación de Licitación

Las fases de investigación geológica y geotécnica anteriores a la licitación se dividen en aquella ejecutada por el Consorcio IECI para AyEE entre los años 1977 y 1978 (anteproyecto) y en la ejecutada por el Consorcio ESIN-IATASA entre los años 2006 y 2007 contratado por la Provincia de Santa Cruz (diseño básico).

En el estudio de AyEE se realizaron ocho perforaciones con recuperación de núcleos y ensayos de permeabilidad (Tabla 2.1) cuyas posiciones pueden consultarse en el plano JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P004-01: "ANEXO 02: Plano de investigaciones geotécnicas".

**Tabla 2.1: Perforaciones ejecutadas por el Consorcio IECI para AyEE (1977-1978)**

Sondeo	Sondeos Exploratorios Campaña 1970-1980								
	Coordenadas			Profundidad m	Cota final	Ensayos de perm. Lefranc	Ensayos de perm. Lugeon	Ubicación	Estructura
	Este	Norte	z						
B 1	29448	71227	116.0	36.7	87.2	2	1	MI	
B 2	29605	70949	83.9	38.7	53.3	3	2	MI	
B 3	29857	70510	84.2	77.0	14.8	6	12	MD	Presa
B 4	30108	70071	85.9	75.0	18.6	5	13	MD	Presa
B 5	30317	69703	85.4	75.0	18.4	5	11	MD	Presa
B 6	30565	69267	81.8	75.0	14.3	2	14	MD	toma
B 7	30643	68763	139.1	66.0	81.1	4	10	Terraza Alta	
B 8	30689	68466	143.4	66.2	85.0	7	9	Terraza Alta	

Adicionalmente se realizaron levantamientos geológicos de superficie a diferentes escalas, con énfasis en la identificación de las unidades litológicas principales y de los rasgos geomorfológicos activos (remoción en masa).

De este estudio se obtuvieron algunas conclusiones importantes que condicionaron las campañas de investigaciones siguientes, inclusive la actual. El eje estudiado en aquel momento estaba desplazado aproximadamente 400 m aguas abajo del eje actual. Luego, la principal conclusión fue que el eje presentaba buenas condiciones topográficas y geológicas para la implantación de la presa. Para este sitio se definieron 3 situaciones geotécnicas condicionantes:

- La posible existencia de algún paleocauce en la extensa terraza de margen derecha,
- Condiciones de espesor y permeabilidad de aluviones,
- Propiedades geomecánicas de las rocas de fundación de las estructuras de hormigón.


El estudio concluye con la sugerencia de intensificar el conocimiento realizando una extensa investigación de la margen derecha y lecho del río.

Entre los años 2006 y 2007 la provincia de Santa Cruz contrató a la UTE ESIN S.A.-IATASA para realizar la Inspección del programa de investigaciones geológico-geotécnicas en el sitio actual de emplazamiento de la Presa. Estos estudios tuvieron por finalidad efectuar una actualización y ampliación del conocimiento geológico y geotécnico del sector para elaborar los documentos necesarios para la licitación de las obras. Las tareas consistieron en levantamientos topográficos, estudios geológicos de superficie, perforaciones en suelo y roca; ensayos "in situ" de crosshole y en muestras de laboratorio e investigación geofísica.



**Tabla 2.2: Perforaciones ejecutadas por la UTE ESIN-IATASA entre 2006 y 2007**

Sondeo	Sondeos Exploratorios Campaña 2006-2007								
	Coordenadas			Profundidad m	Cota final	Ensayos de perm. Lefranc	Ensayos de perm. Lugeon	Ubicación	Estructura
	y	x	z						
BDC 01	29690	70514	80.7	26.3	54.4	3	3	MD	Lecho río
BDC 02	29600	70506	80.5	25.2	55.6	2	5	MD	Lecho río
BDC 03	29984	70040	86.3	32.5	54.1	4	3	MD	
BDC 04	29979	70042	86.4	17.0	69.5			MD	Cross Hole
BDC 05	30270	69585	86.3	31.4	55.1	3	3	MD	Lecho río
BDC 06	30280	69123	83.0	33.0	50.3	2	5	MD	Canal de
BDC 07	30324	69034	82.8	26.3	56.8	1	3	MD	Canal de
BDC 08	30370	68945	81.6	30.2	51.7	1	5	MD	Canal de
BDC 09	30415	68854	81.2	31.0	50.4	1	5	MD	Canal de
BDC 13	30524	69080	81.4	28.0	53.7	2	4	MD	Toma/Verteder
BDC 14	30737	69186	80.7	25.0	55.9	3	2	MD	Toma/Verteder
BDC 15	30546	68813	108.5	65.0	43.5		11	MD	Toma/Verteder
BDC 16	30458	69213	83.6	29.1	54.8	2	4	MD	Toma/Verteder
BDC 17	30735	69298	80.9	25.0	56.3	1	3	MD	Toma/Verteder
BDC 18	30781	69158	81.0	25.3	55.9	1	4	MD	Toma/Verteder
BDC 19	30593	68944	82.9	52.0	30.9	1	7	MD	Toma/Verteder
BDC 20	30644	69247	81.4	28.1	54.1	1	4	MD	Toma/Verteder
BDC 21	30635	69134	81.1	27.1	54.2	1	4	MD	Toma/Verteder
BDC 24	30369	69168	83.4	34.3	49.3	2	4	MD	Toma/Verteder
BDC 25*	30676	68959	84.6	25.0	59.9			MD	Toma/Verteder
BDC 26	30503	68901	81.4	31.0	51.1	1	5	MD	Toma/Verteder
BDC A	30180	69540	86.3	66.3	20.2	3	10	MD	Presa
BDC B	30046	69472	86.5	50.2	36.5	3	7	MD	Presa
BDC C	29800	69960	86.7	50.0	36.9	4	6	MD	Presa
BDC D	30030	70060	86.4	31.0	55.5	4	3	MD	Presa
BDC E	29813	70266	86.5	66.0	20.7	3	10	MD	Presa
BDC F	29679	70198	86.9	50.0	37.1	3	7	MD	Presa
BDC G	29902	70312	86.3	31.2	55.2	3	3	MD	Presa
BDC H	30436	69034	81.6	62.0	19.7	1	11	MD	Toma/Verteder
BDC J	30058	69782	86.2	31.6	54.8	4	2	MD	Presa
BD 01	31460	67012	144.9	39.0	105.9	6	3	Terraza Alta	
BD 02	31785	66368	146.1	37.2	108.9	5	3	Terraza Alta	
BD 03	32110	65726	157.1	48.2	108.9	7	3	Terraza Alta	
BD 04	32272	65405	161.4	48.7	112.8	8	3	Terraza Alta	
BD5 bis	32589	64774	189.9	25.2	164.7	1	2	Terraza Alta	
BD 11	32307	64968	180.3	15.9	164.4	1	2	Terraza Alta	
BD 12	30593	68726	140.4	87.1	53.9	4	15	Terraza Alta	
BD 13	30597	68729	140.3	17.0	124.0			Terraza Alta	Cross Hole
BD 14	30813	68297	144.4	51.1	93.6	5	6	Terraza Alta	
BD 15	30972	67974	146.3	36.5	109.8	5	3	Terraza Alta	
BD 16	31163	67616	143.3	51.5	91.8	5	6	Terraza Alta	
BD 17	31297	67332	144.9	34.7	110.2	5	3	Terraza Alta	
BD 18	31622	66689	144.3	37.7	106.6	5	3	Terraza Alta	
BD 19	31947	66047	150.6	38.9	111.7	6	2	Terraza Alta	
BC 1	29565	70761	80.8	34.7	46.1	3	5	Cauce	
BC 2	29563	70765	80.9	13.0	67.9			Cauce	Cross Hole
BI 01	29465	70963	84.7	68.9	15.9	3	9	MI	
BI 02	29460	70960	84.7	13.3	71.4			MI	Cross Hole
BI 03	29315	71035	82.5	25.0	57.5	1	3	MI	
BI 04	29405	71070	82.8	50.0	32.8	-	8	MI	
BI 05	29489	71105	82.4	25.7	56.7	-	4	MI	
BI 06	29259	71139	120.2	42.7	77.5	-	6	MI	
BI 07	29355	71168	119.5	50.1	69.4	-	8	MI	
BI 08	29425	71208	115.8	28.4	87.4	-	4	MI	
BI 09	29329	70888	83.4	50.1	33.3	3	7	MI	
BI 10	29552	71002	84.8	40.9	43.9	3	6	MI	
BI 11	29686	71070	82.9	24.2	58.7	2	3	MI	
BI 12	29733	70922	81.7	28.5	53.2	3	3	MI	
BI 13	29864	70897	82.7	29.6	53.1	2	3	MI	
BI 14	29273	71332	172.5	95.0	77.5	-	13	MI	

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 25 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

La distribución de las investigaciones realizadas puede consultarse en el plano JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P004-01 ([ANEXO 02](#): “Plano de investigaciones geotécnicas”).

Se ejecutaron 17 perforaciones con recuperación de núcleos en margen izquierda y 43 en margen derecha incluidos los sondeos en el cauce ( [ANEXO 02](#): “Plano de investigaciones geotécnicas”). Adicionalmente se realizaron ensayos de permeabilidad “*in situ*” tipo Lefranc en aluviones y Lugeon en roca.

De los testigos de roca se obtuvieron muestras para ensayos de laboratorio de mecánica de rocas (ensayos de compresión uniaxial y triaxial), cuyos resultados se analizarán más adelante.

Se ejecutaron 3 344 m de sísmica de refracción distribuida en dos líneas, una (1) paralela al eje de la presa en MD y la otra en la terraza superior de MD (Ver plano JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P004-01) [ANEXO 02](#): “Plano de investigaciones geotécnicas”).

También se realizaron 8 089 m de tomografía eléctrica distribuidas en 4 líneas, una corta en MI sobre el eje de la presa, la segunda en MD también sobre el eje de la presa y 2 en la terraza superior de MD sobre la proyección del eje (Ver plano JC-A.CV-PL.G-(OG-00-00)-P004-01 ( [ANEXO 02](#): “Plano de investigaciones geotécnicas”).


Se realizaron también ensayos Cross-Hole en la margen derecha en las perforaciones BD 12-BD 13 y BDC 03-BDC 04; en la margen izquierda en las perforaciones BI 01-BI 02 y en terraplén de avance sobre el cauce desde la margen izquierda en los sondeos BC 1-BC 2.

En total se perforaron 2 218,53 m, de los cuales se ejecutaron 674,90 m en suelo y 1 543,63 m en roca.

En margen izquierda se excavó una trinchera exploratoria sobre el futuro estribo de la presa.

Las principales conclusiones a los que se arribó en este estudio fueron:

- Las rocas que constituyen el sustrato de las fundaciones para una futura presa y obras asociadas en La Barrancosa, son pelitas tobáceas, tobas y areniscas estratificadas, con contactos transicionales entre bancos. Esta unidad rocosa tiene su techo, en el sitio, a una profundidad que varía entre los 3,60 m y 17,50 m como valores extremos con respecto al terreno natural.
- Sólo la porción superior de la roca, en un espesor aproximado de más de un metro, se presenta alterada.
- La calidad geotécnica es buena o muy buena ya que se han obtenido, de manera sistemática, recuperaciones totales de testigos entre 90% y el 100%, en tanto que la recuperación modificada *RQD* es también buena a muy buena ya que supera el 75% y llega hasta el 100%.
- Con relación a los ensayos Lugeon, que miden valores de permeabilidad secundaria, las absorciones son en general de moderada a baja, salvo los ensayos realizados en los tramos superiores descomprimidos del macizo rocoso que subyace al material aluvional. También la presencia de discontinuidades localizadas puede generar absorciones más altas.
- Las discontinuidades en general son escasas y cerradas. Corresponden, la mayoría de las veces, a laminaciones de disposición subhorizontal y muchas veces los contactos litológicos son transicionales. Se presentan escasas diaclasas subverticales, planas y sin alteración en sus contactos.
- Los ensayos de compresión simple sobre testigos de las distintas litologías de la Fm. Sta. Cruz proporcionan valores que varían entre 5 MPa y 10 MPa.
- La cubierta sedimentaria ha sido muestreada a través de perforaciones y de calicatas realizadas. Corresponde a materiales aluvionales que se presentan como estratos, en parte lenticulares, de gravas, gravillas y arenas, con escaso contenido de arcilla. La permeabilidad de estos materiales es elevada, lo cual queda demostrado en los resultados de los ensayos Lefranc realizados de manera sistemática. Los valores de *k* varían en un rango entre 10<sup>-1</sup> y 10<sup>-3</sup> cm/s.
- Los ensayos Cross-Hole realizados en coincidencia con los depósitos QB1, que se disponen en la porción superior de la barda de cota 140 m de la margen derecha, dan valores de velocidad de la onda de corte, *V<sub>s</sub>*, entre 200 m/s y 250 m/s aproximadamente hasta los 10 m de profundidad. Luego, hasta los 16 m, en correspondencia con la parte basal de los depósitos aluvionales en el sector de estribo derecho, las

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 26 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

velocidades varían entre 250 m/s y 300 m/s con algunos valores puntuales en el entorno a los 200 m/s. Los ensayos realizados en la unidad QB2, que corresponde a los depósitos aluvionales ubicados en la parte central del cierre, donde se localiza el cauce actual del río Sta. Cruz, muestran velocidades de la onda de corte por encima de 250 m/s, en el sector del cauce sobre su margen izquierda en los primeros 2 m de profundidad, que luego pasan a 300 m/s y algo más de 400 m/s en el aluvión hasta alcanzar el techo de roca. En los depósitos de la margen izquierda, en posiciones alejadas del río, las velocidades  $V_s$  son del orden de 200 m/s a 250 m/s aproximadamente, hasta los 2 m de profundidad, para luego aumentar a valores entre 250 m/s y 300 m/s aproximadamente, hasta el techo de roca. En la misma unidad de depósitos aluvionales, pero en la margen derecha, los ensayos *Cross-Hole* han proporcionado valores de las ondas de corte,  $V_s$ , de 200 m/s o inferiores hasta los 2 m de profundidad, las cuales aumentan a 200 – 250 m/s hasta los 11 m de profundidad y alcanzan valores entre 250 m/s y 300 m/s en los m basales del depósito aluvional.

- i. El conjunto de los aspectos geológicos y geotécnicos reseñados sintéticamente permite señalar que el cierre en La Barrancosa posee condiciones naturales aptas para el emplazamiento de una presa del tipo materiales sueltos con pantalla de hormigón sobre el talud de aguas arriba (tipo *CFRD*).

## 2.2. Documentos Previos del Consorcio

En el documento JC-A.CV-MT.GT-(OG-20-00)-P001-0C, entregado en junio del año 2015, se enunciaron los objetivos, lineamientos generales y los detalles de la campaña de investigaciones que se comenzaba a desarrollar como soporte al Proyecto Ejecutivo y a la Ingeniería de Detalle de la Presa.

Esta campaña estaba estructurada en función de:


- lo previsto en el Pliego de Licitación,
- el programa de investigaciones complementarias presentado en la Oferta,
- la propuesta de optimización del Proyecto Básico,
- las recomendaciones surgidas del Panel de Expertos y las reuniones mantenidas con la Inspección.

Las investigaciones tienen como objetivo principal obtener información complementaria de carácter geológico y geotécnico apuntando a consolidar el modelo geomecánico de implantación de las obras principales de ambas presas.

Los asuntos principales a estudiar en la campaña 2015 se pueden resumir en lo siguiente:

- Investigar zonas sin información, detectadas con los estudios de los antecedentes disponibles de las fases de investigación anteriores así como de los estudios realizados por la UTE en 2014.
- Ajustes en el arreglo general del vertedero y estructura de toma;
- Necesidad de conocer las propiedades de deformación dinámica del aluvión de fundación de la presa
- Necesidad de definir la cota de fundación del muro colado.
- Conocer las propiedades de la roca en términos de resistencia al corte en el sector donde serán construidas las estructuras de hormigón de la toma/central y del vertedero, que son bastante más altas que las de la presa Néstor Kirchner.
- Estudiar los materiales de construcción

Este conjunto de actividades buscaron mejorar el nivel de conocimiento geológico y geotécnico del sitio de implantación de la presa Gdor. Jorge Cepernic y las informaciones obtenidas integraron el Modelo Geológico y Geomecánico del diseño.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 27 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

Se programó una campaña de investigaciones más amplia que la originalmente prevista y que incluye estudios especializados de:

- Estratigrafía y geomorfología,
- Mapeos geológicos de detalle,
- Sondeos exploratorios con y sin recuperación de testigos
- Ensayos *Cross-Hole* y perfiles sísmicos de velocidad de ondas de corte a través de ensayos *MASW*,
- Ensayos de laboratorio de mecánica de rocas.

### 2.3. Documentos del Consorcio posteriores a Noviembre de 2015

Con el propósito de resolver las incertidumbres surgidas en los estudios anteriores de la prefactibilidad y del diseño básico, se programaron, como ya explicamos, una campaña de investigación más amplia que la originalmente prevista en el pliego que incluyó:

- Estudios especializados de estratigrafía y geomorfología
- Sondeos exploratorios con recuperación de testigos y ensayos in situ de permeabilidad
- Ensayos *Cross-Hole*
- Perfiles sísmicos de velocidad de ondas de corte
- Prospección de sísmica de refracción en MI
- Ensayos de laboratorio de mecánica de rocas

La campaña de perforaciones planteada para el año 2015 consistió en la realización de 20 perforaciones profundas con recuperación de núcleos (serie de sondeos geotécnicos BP xx) ([ANEXO 03](#): "Sondeos geotécnicos 2015"). Además se realizaron 70 ensayos de permeabilidad Lugeon (Tabla 2.3).

Para los ensayos de mecánica de rocas, las muestras para ensayos de laboratorio se recuperaron en sacatestigos triples diámetro HQ3 y se almacenaron en tubos de plástico especialmente diseñados para la preservación de la muestras en su condición natural.

Quedan aún pendientes los sondeos de la margen izquierda, BP10, BP 23, BP 24 y BP 25 con 15 ensayos de permeabilidad Lugeon y la prospección de sísmica de refracción en la misma margen.

La serie BP xx se realizó con sistema ODEX para perforar el aluvión (SM 400) y a rotación con el sistema wire line atravesando la roca con equipo LF 90.

Los objetivos de estas perforaciones fueron:

- Obtener información geológica complementaria sobre las condiciones de excavación y fundación de las estructuras de la presa: canal de desvío, vertedero y circuito de generación en la margen derecha.
- Caracterizar el estado geomecánico del macizo rocoso en la zona alterada en el contacto con el aluvión;
- Definir los límites de distribución del aluvión y medir las propiedades de permeabilidad;
- Obtener muestras para la realización de ensayos de laboratorio
- Medir la permeabilidad del macizo rocoso
- Definir la profundidad del aluvión y roca alterada en el eje del muro colado
- Medir algunas propiedades mecánicas del aluvión y de la roca en la región del muro colado (módulo de deformación, velocidades sísmicas, etc.) por métodos indirectos.





REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 28 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

**Tabla 2.3: Sondeos exploratorios serie BP- Año 2015**

Sondeos Exploratorios Campaña 2015										
Sondeo	Coordenadas			Profundidad m	SPT	Ensayos de perm. Lugeon	Crosshole	Ubicación	Estructura	Posición
	y	x	z							
BP 01	30473	68968	81.3	45.4	-	4		MD	Toma	Vertical
BP 02	30407	69096	82.5	46	-	3		MD	Muro toma - vertedero	Vertical
BP 03	30310	69148	82.9	36.5	-	3		MD	Muro presa - vertedero	Vertical
BP 04	30181	69402	86.3	36	-	4		MD	Muro Colado - Plinto	Vertical
BP 04 bis	30177	69400	86.3	-	-	-	20	MD	Muro Colado - Plinto	
BP 05	30051	69657	86.2	35	-	3		MD	Muro Colado - Plinto	Vertical
BP 05 bis	30049	69661	86.3	-	-	-	21.7	MD	Muro Colado - Plinto	
BP 06	29930	69900	85.9	40.5	-	4		MD	Muro Colado - Plinto	Vertical
BP 07	29816	70127	86.2	40	-	8		MD	Muro Colado - Plinto	Vertical
BP 07 bis	29815	70131	86.3	-	-	-	18.5	MD	Muro Colado - Plinto	
BP 08	29683	70391	85.6	40.5	-	5		MD	Muro toma - vertedero	Vertical
BP 08 bis	29682	70395	85.6	-	-	-	20	MD	Vertedero	
BP 09	29581	70583	78.6	35	-	5	-	MD	Vertedero	Vertical
BP 10	29477	70789	82.0	35	-	-	-	MI	Vertedero	Vertical
BP 11	30494	69139	82.7	45.3	-	6	-	MD	Vertedero	Vertical
BP 12	30421	69064	81.7	38	-	5	-	MD	Casa de maquinas	Vertical
BP 13	30459	69115	82.4	55	-	7	-	MD	Casa de maquinas	Vertical
BP 14	30482	69070	81.5	55.3	-	7	-	MD	Casa de maquinas	Vertical
BP 15	30600	69159	81.5	38	-	6	-	MD	Casa de maquinas	Vertical
BP 16	30487	69011	81.4	56	-	-	-	MD	Casa de maquinas	Vertical
BP 17	30536	68999	81.3	43.5	-	-	-	MD	Puente de Servicio	Vertical
BP 18	30599	69031	81.1	17	-	-	-	MD	Puente de Servicio	Vertical
BP 19	30521	68942	81.2	42.5	-	-	-	MD	Muro Colado- Plinto	Vertical
BP 20	30554	68877	90.7	50.5	-	-	-	MD	Casa de maquinas	Vertical
BP 21	31882	69463	78.2	20	8	-	-	MI	Puente de Servicio	Vertical
BP 22	31940	69319	81.1	8	8	-	-	MD	Puente de Servicio	Vertical
BP 23	29334	71240	144.0	65	-	8	-	MI	Eje de Presa	Vertical
BP 24	29327	71106	106.0	45	-	7	-	MI	Muro Colado- Plinto	Vertical
BP 25	29404	71199	131.0	45	-	7	-	MI	Muro Colado- Plinto	Vertical



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 29 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

### 3. GEOLOGÍA REGIONAL

#### 3.1. Evolución tectónica

La región del río Santa Cruz donde se ubican los cierres proyectados para las presas Presidente Dr. Néstor Carlos Kirchner y Gobernador Jorge Cepernic se encuentra dentro de una región de la Patagonia Austral Extraandina, en área de cierta tranquilidad tectónica al menos desde el Neógeno (Figura 3.1 y Figura 3.2).

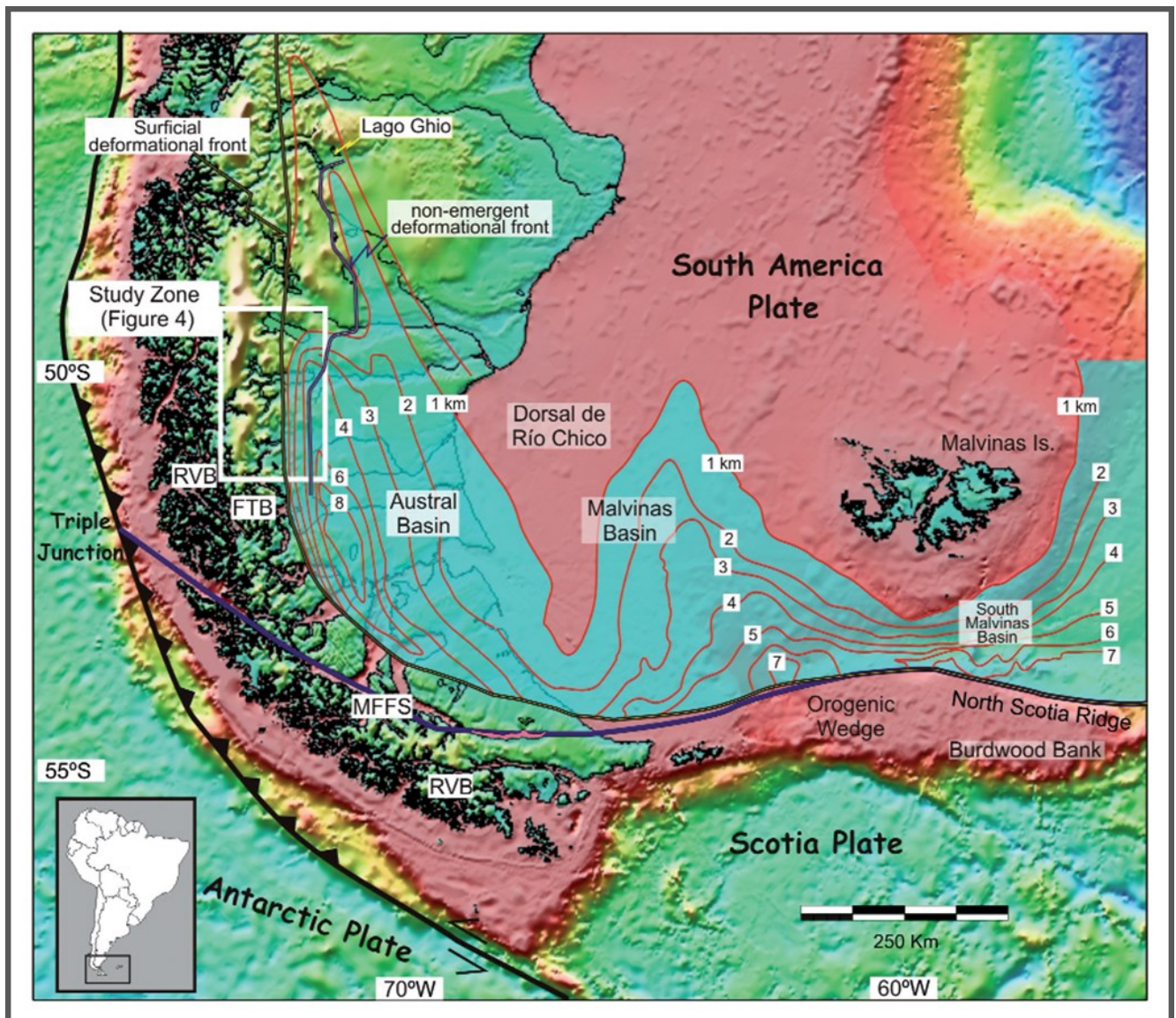


Figura 3.1: Distribución morfoestructural de la cuenca austral o magallánica y demarcación de los frentes de deformación emergentes y no emergentes a la latitud del río Santa Cruz (tomado de Ghiglione et al 2009). Recuadro pertenece a Figura 3-2.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

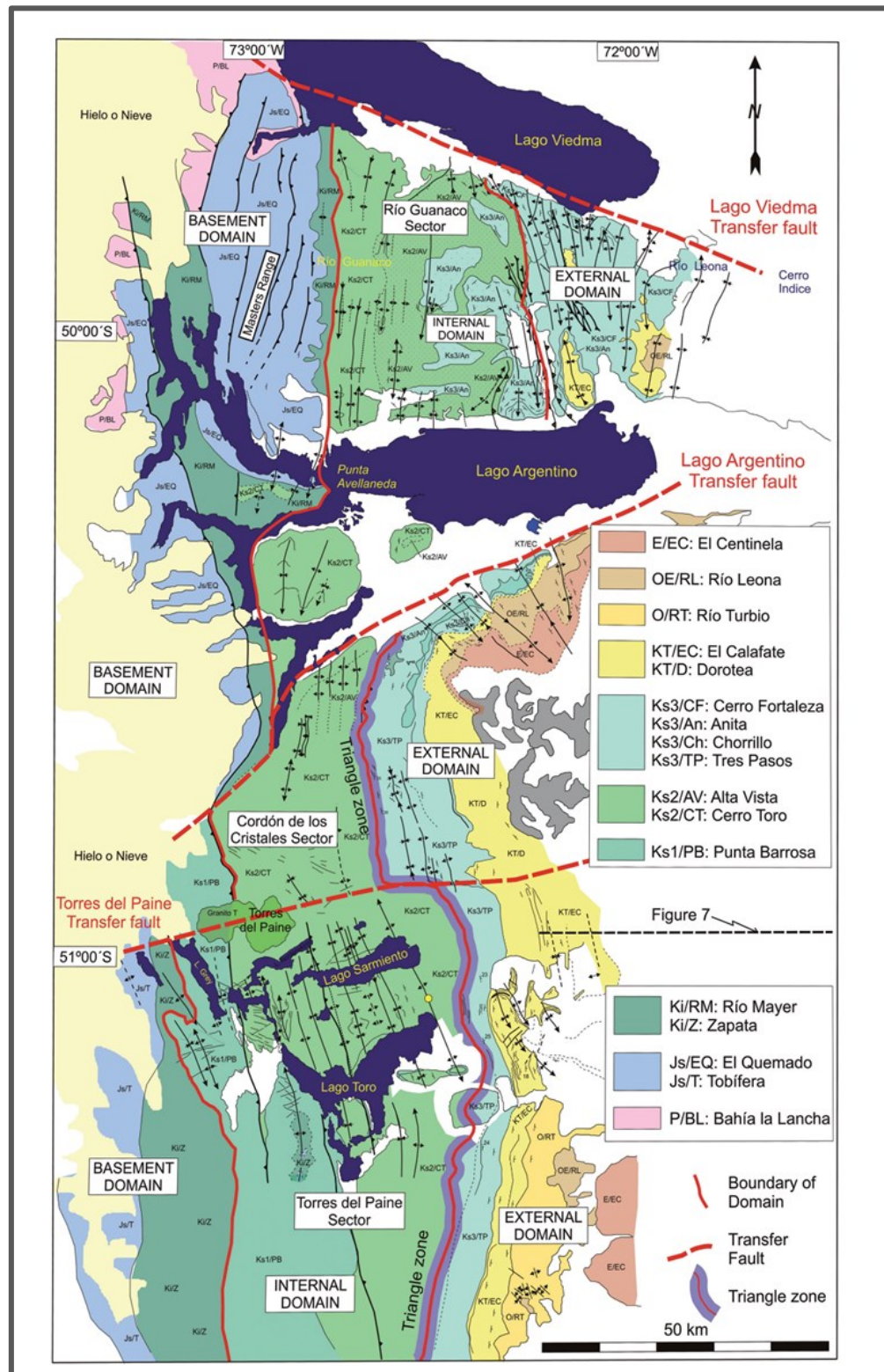

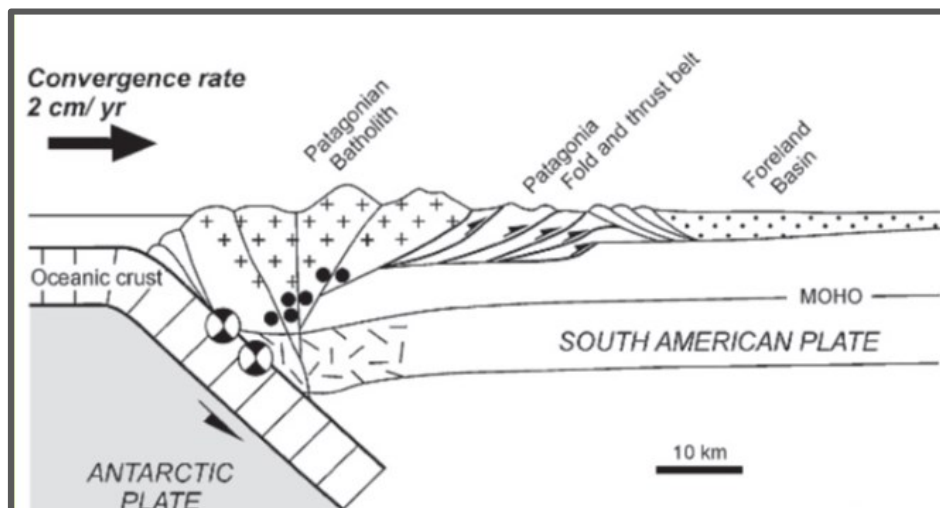


Figura 3.2: Mapa geológico tomado de la región cordillerana (véase recuadro en figura 1) a la latitud del área de estudio (Giglione et al 2009).

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 31 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

La misma se ubica dentro de la plataforma estable de la Cuenca Austral (*Ghiglione et al., 2009*) caracterizada por una sismicidad escasa a nula (Figura 3.3).



**Figura 3.3: Marco geológico y perfil esquemático de la Patagonia argentina contrastando la región interna (hinterland) representada por la actual Cordillera Patagónica de la región externa o tranquila del antepaís (foreland).**

En sentido estricto, la región del emplazamiento de estas obras corresponde al antepaís flexural donde, alternativamente, ocurre hundimiento (subsistencia) o alzamiento (epirogénico) como producto de una estructuración en bloques relativamente rígidos, asociada con la dinámica de un domamiento periférico que afecta a la placa sudamericana. En relación con los procesos geodinámicos (subducción) que afectan al borde de la placa sudamericana, la región ha venido desarrollando un fuerte vulcanismo basáltico (Figura 3.4), en general poco localizado y asociado con fusión mantélica (*Kay et al., 1994*). Esto, sin dudas, repercute directamente en los productos volcánicos (coladas, escorias y cineritas) y geoformas constructivas (plateau) tan comunes en la región y que actúan como condicionantes de los procesos superficiales y labrado de paisajes (e.g., mesadas) y pendientes (e.g., escarpas erosivas) en la región.

La región cordillerana, a esta latitud, ha sufrido un fuerte alzamiento a partir del Mioceno responsable, en cierta medida, tanto del deterioro climático progresivo producto de la interrupción de los Faja de Vientos húmedos del Oeste (*Westerlies*) como del desarrollo de intrusiones marinas generalizadas (Figura 3.5) y el anclado de las glaciaciones patagónicas (*Mercer, 1976; Mörner, 1991; Singer et al., 2004; Rabassa, 2008*). Esto último ha ejercido una fuerte influencia en el área ubicada inmediatamente al oeste de la región cordillerana (Figura 3.6), la cual habría estado bajo una fuerte influencia de las glaciaciones llegando a afectar directamente la zona de estudio (*Strelin, 1995; Strelin y Malagnino, 1996; Strelin et al., 1999*).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 32 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

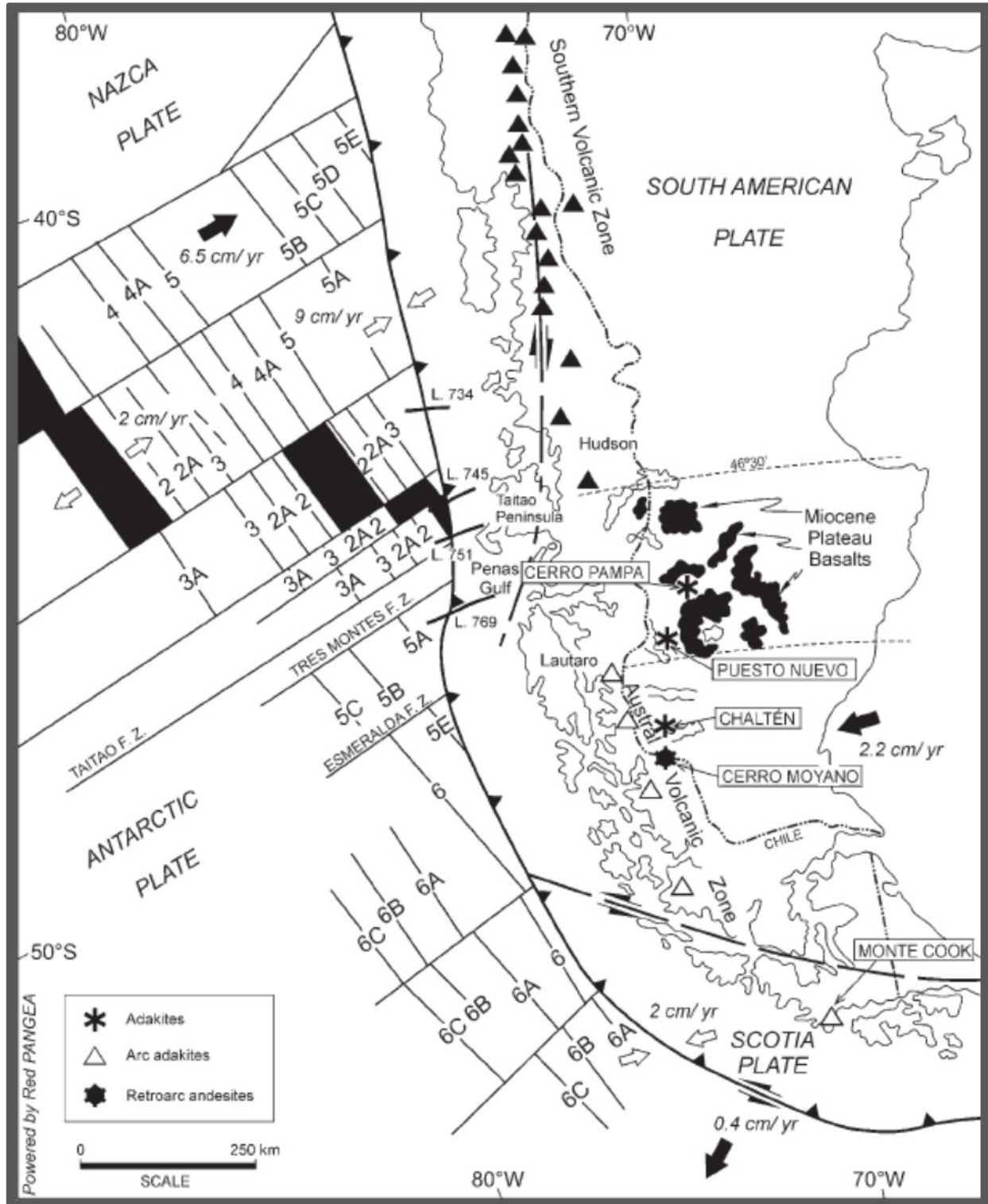


Figura 3.4: Marco geológico y principales rasgos geotectónicos de la Patagonia argentina (Tomado de Ramos y Ghiglione, 2008).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 33 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

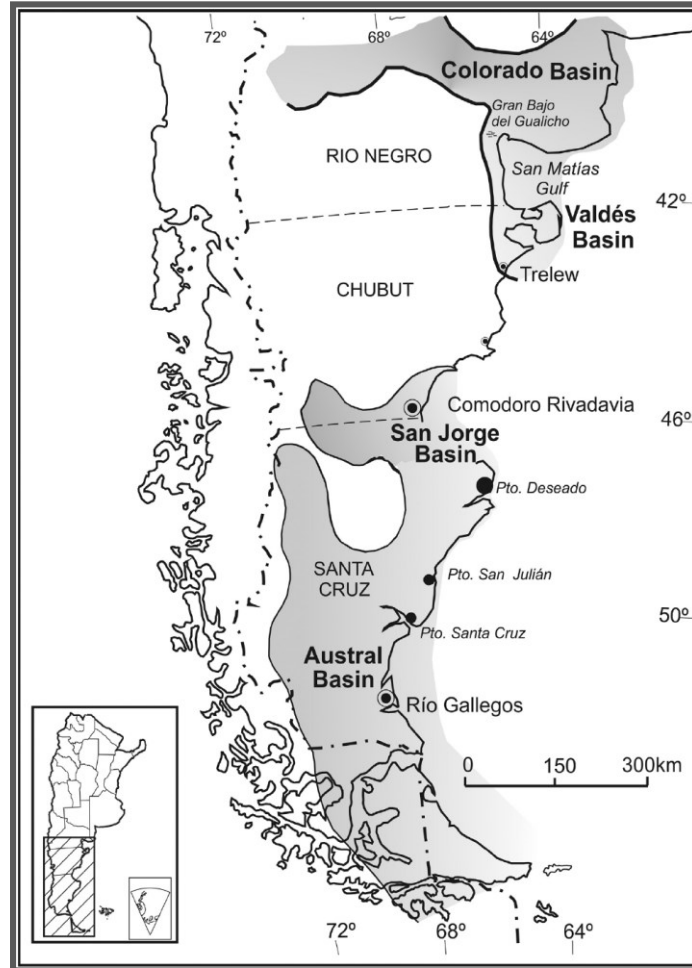


Figura 3.5: Mapa paleogeográfico mostrando la distribución de intrusiones marinas miocenas en la Patagonia (tomado de del Río et al., 2013).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 34 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Doc. N°

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

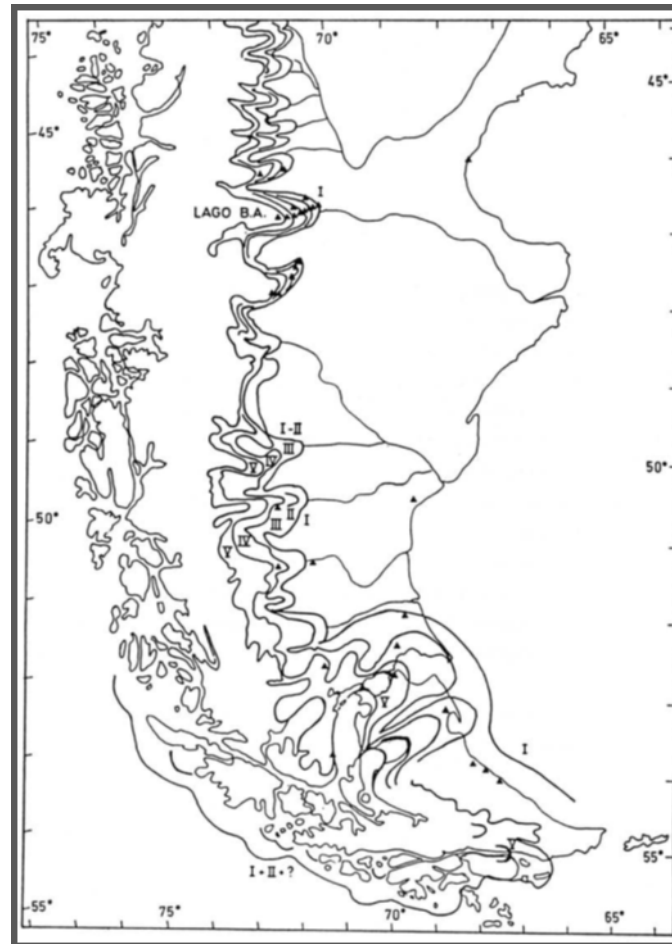



Figura 3.6: Mapa redibujado de Caldenius (1932) mostrando la extensión máxima que alcanzaron las glaciaciones Pleistocenas en Patagonia (tomado de Mörner, 1991).

### 3.2. Estratigrafía

La estratigrafía de la región Extraandina de Santa Cruz es relativamente simple y la mayor parte de las unidades tienen buena expresión areal a excepción de aquellas contraladas por el ingreso del mar y por la acción fluvial y fluvio-glaciar. Ambos tipos de depósitos si bien poseen características muy diferentes han sido controlados por la topografía incisa de cañones y valles que normalmente surcan la Patagonia con dirección este-oeste. Mientras que los depósitos marinos (del Patagoniense) obedecen a momentos geológicos de nivel de mar alto con la consiguiente inundación de valles y la Fm. de estuarios y rías, los depósitos fluviales representan etapas de fuerte incisión del paisaje y caída relativa del nivel del mar que operan a escalas de cientos de miles de años. Intercalados con estos procesos de naturaleza superficial (transporte y sedimentación) ocurrieron en la Patagonia episodios de volcanismo localizado que pueden tener gran expresión areal y composiciones muy variadas. Si bien en el área de estudio dominan cuerpos mantiformes reconocidos como derrames y coladas, en general, basálticas y equivalentes volcánoclasticos (depósitos de conos de escoria, cinders, lapillis y cenizas), también en el registro estratigráfico han quedado preservadas numerosas etapas de volcanismo ácido, representado por tobas y tobas retrabajadas. Mientras que el volcanismo basáltico de la región se asigna fundamentalmente al Plioceno (es decir más joven que 5 333 Ma y anteriores a 2 588 Ma) y ocurrió en la región de la meseta patagónica (que abarca esta región), el volcanismo ácido (explosivo) habría alcanzado la región fundamentalmente por vía aérea, a manera de lluvias de cenizas (granulometrías variables entre lapilli y chonitas), aportadas desde erupciones localizadas en la

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 35 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

región cordillerana durante el Oligoceno y Mioceno (esto es aproximadamente entre 23 Ma y el Plioceno). Una potencial consecuencia de la sedimentación volcániclastica es que los fenómenos de meteorización química pueden producir notables modificaciones tanto mineralógicas como físicas en estos materiales, débilmente consolidados y pobremente cementados.


La unidad basal está representada por la Fm. Estancia 25 de Mayo (nombre relativamente nuevo equivalente a la Fm. Monte León) la cual presenta escasos y reducidos afloramientos en los tramos del valle del río Santa Cruz con relación directa a las obras de cierre y embalses proyectados. Se trata de un depósito heterogéneo, notablemente estratificado que puede alcanzar más de 400 m de espesor. Las litologías más frecuentes son limolitas, areniscas, areniscas tobáceas, pelitas, tobas y tufitas de colores pardos, verde claros, gris verdosos y blanquecinos. La Fm. Estancia 25 de Mayo se asigna al Mioceno Inferior (Neógeno, intervalo superior dentro del Terciario) a partir de la datación de una toba en su sección superior, la cual arrojó una edad radimétrica de aproximadamente 19,5 Ma (Figura 3.7)



**Figura 3.7: Afloramiento de areniscas de la Fm. 25 de Mayo en la Quebrada del Mosquito sobre Ruta Provincial 17.**

En la unidad se intercalan niveles con fauna de invertebrados marinos (horizontes de coquinas calcáreas) también con abundante cemento carbonático (Figura 3.8).



 REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 36 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900




**Figura 3.8: Fósiles marinos de la Fm. 25 de Mayo en la Quebrada del Mosquito sobre Ruta Provincial 17.**

En aparente transición por encima de la Fm. Estancia 25 de Mayo se dispone la Fm. Santa Cruz, caracterizada por depósitos de areniscas y areniscas conglomerádicas blanquecinas del Mioceno Medio a Tardío (*Cuitiño y Scasso, 2010*). Coronan la sucesión sedimentaria coladas basálticas que se ubican sobre las terrazas altas y los niveles más elevados del valle del río Santa Cruz. Los asomos de basaltos tienen marcado predominio sobre el flanco norte, como es el caso del sector correspondiente al futuro cierre de la presa Néstor Kirchner. En este área porciones de basalto deslizado constituyen terracetas discontinuas y arqueadas, algunas de ellas probablemente aún inestables en faldeos con suaves pendientes. Procesos de remoción en masa, asentamientos por traslación y deslizamientos rotacionales y caídas de bloques basálticos que se produjeron directamente desde el frente expuesto de la margen norte pueden aún no estar del todo inactivos, aun cuando existen autores que señalan su completa

Las unidades más modernas que se disponen en el valle del río Santa Cruz corresponden a depósitos de edad cuaternaria (Pleistoceno-Holoceno). Estos ocupan distintas posiciones topográficas formando parte de terrazas, asentamientos y depósitos de fondo de valle y han sido generados por atrincheramiento, actividad glacial, procesos de remoción en masa y acción fluvial. Dentro de estos últimos dominan los depósitos de gravas con variada composición intercalados con cuñas de arena.

Durante el Pleistoceno el máximo avance de los hielos aprovechó el paleovalle del río Santa Cruz. Los registros geomorfológicos y depósitos sedimentarios indicarían que los procesos glaciogénicos alcanzaron una posición intermedia entre el km 250 (presa Néstor Kirchner) y el km 185 (presa Jorge Cepernic), alcanzando aproximadamente el meridiano de 70° 28' O, entre la estancia Del Vapor sobre el flanco sur y la estancia La Libertad en el flanco norte del valle (Glaciación Estancia La Frutuosa). De acuerdo con esta hipótesis, es posible considerar que mientras la cubierta moderna en el entorno de la presa Néstor Kirchner sea presumiblemente glacial, la misma sería completamente aluvial en el cierre de la presa Jorge Cepernic.

Que el sustrato en el segmento de interés, sobre el curso del Río Santa Cruz entre las dos presas proyectadas, haya sido alcanzado por uno de los avances de la glaciación pleistocena debe ser tenido en consideración a la hora del análisis de estructuras sedimentarias, en particular aquellas de deformación. Tanto los procesos de fondo asociados con la dinámica glacial y la cizalla que ejerce contra el fondo como los fenómenos de alta tasa de

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 37 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

sedimentación asociados con la etapa de retracción son proclives a generar una profusa deformación y perturbación en el registro sedimentario. Se trata de procesos tanto frágiles (fallamiento y escalonado) como dúctiles (plegamiento y estrangulamiento) que ocurren dentro del sedimento próximo a la superficie y, a veces, ocasionan licuefacción, fluidización y homogeneización parcial o completa del sedimento. La alta tasa de sedimentación que ocurre en estos ambientes glacifluviales y glacialacustres conduce con frecuencia a procesos de deformación muy temprana. La compactación temprana (eodiagénesis) y el aumento de la presión de poros comúnmente desencadenan fenómenos de sobrepresurización, induciendo a una notable de Fm. y licuefacción sin necesidad de gatillos sísmicos.

La estratigrafía oligo-miocena está agrupada en tres unidades geológicas que, según los autores, han recibido distintas denominaciones pero que genéricamente se conocen como “Patagoniano o Patagoniense” (*d’Orbigny, 1842*). La unidad más antigua corresponde a la Fm. Río Leona (*Barreda et al., 2009*) depositada en un ambiente fluvial de tipo entrelazado gravoso que pasa a meandriforme hacia el tope (*Marensi et al., 2005*), donde conserva abundante material carbonoso (truncos de *Notofagáceas* – *Pujano 2007, 2008*) y restos palinológicos. Esta unidad pasa transicionalmente a la Fm. Estancia 25 de Mayo (*Cuitiño y Scasso, 2010*) que se caracteriza por contener niveles de ostras de origen marino y de amplia distribución en la Patagonia, particularmente en las costas y engolfamientos. Por encima y también en concordancia se asienta la Fm. Santa Cruz (*Zambrano y Urien, 1970*) de origen continental fluvial. De esta manera la estratigrafía representa un típico ciclo transgresivo - regresivo, con intervalos marinos o estuarinos en el sector medio para culminar con un retorno a condiciones continentales dominadas por sistemas fluviales. En conjunto estas unidades forman parte del relleno de la cuenca de antepaís Austral o Magallánica que ocupó la actual región patagónica desde Tierra del Fuego hasta el Macizo del Deseado. Dicha cuenca de antepaís se desarrolló en respuesta al régimen compresivo dado por la interacción de las placas de Nazca (*Farallón*), Aluk y Antártica con la placa Sudamericana (*Ramos, 1989*). La edad del inicio del régimen compresivo y, por lo tanto, de la deformación y exhumación andina está datada en el Cretácico Superior (*Turoniano*); sin embargo, el relleno de la cuenca continuó hasta el Mioceno tardío (*Biddle et al., 1986; Giglione et al., 2009*). Vale destacar que los estudios estructurales regionales (*Ghiglione et al., 2009; entre otros*) muestran que el avance de la faja plegada y corrida no emergente no habría alcanzado la región de los proyectos en cuestión, lo que implica que cualquier estructuración de esta edad en la región debería responder a una dinámica de bloques y sutiles fracturas compatibles con la deformación que afecta a domamientos periféricos.

### 3.2.1. Formación Estancia 25 de Mayo

También conocida como Fm. Centinela (*Furque y Camacho, 1972*) y es equivalente a la Fm. Monte León (piso Leonense de *Ameghino, 1898*) definida en el área costera de Patagonia (véase *Bertels, 1970; Legarreta y Uliana, 1993*). La Fm. Estancia 25 de Mayo se asienta en transición sobre la Fm. Río Leona (*Barreda et al., 2009*) y pasa también transicionalmente a la Fm. Santa Cruz.


La unidad aflora en una faja occidental desde el Lago Posadas hasta Río Turbio, los afloramientos más orientales conocidos corresponden a los del Cañadón El Mosquito sobre el río Santa Cruz (*Cuitiño, 2011*). El alto contenido de material volcánico y la abundancia de niveles con alta concentración de ostras de gran tamaño la distinguen de otros intervalos marinos de la región patagónica (*Cuitiño, 2011*).

La Fm. Estancia 25 de Mayo tiene un espesor promedio de 180 m y ha sido dividida en base a las características sedimentológicas en un miembro basal Quien Sabe y un miembro cuspidal Bandurrias, separados por una discontinuidad sedimentaria (*Cuitiño y Scasso, 2010*).

El conjunto de facies sedimentarias ha sido interpretado como indicadores de un ambiente estuárico dominado por mareas (*Cuitiño y Scasso, 2010*).

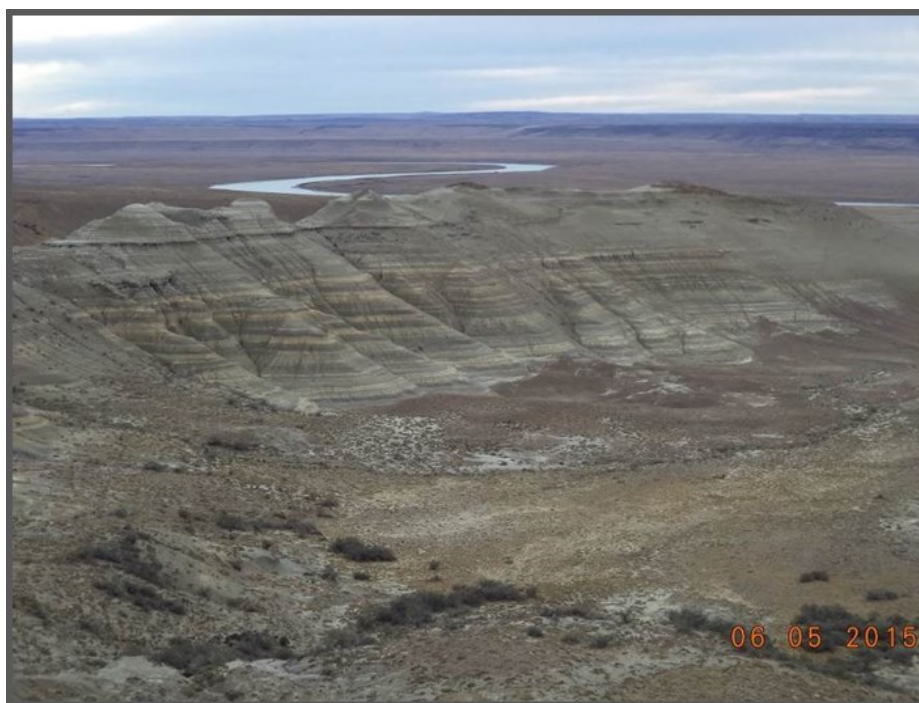
### 3.2.2. Formación Santa Cruz

Esta unidad está formada por pelitas, areniscas, niveles de cenizas volcánicas y progresivamente incluye una mayor abundancia de lentes de conglomerados depositados en un ambiente fluvial. El espesor de esta unidad en

 REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 38 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

el Lago Posada es de aproximadamente 500 – 600 m (Blisniuk *et al.*, 2005). Cuitiño (2011) señala un pasaje en transición desde la infrayacente Fm. Estancia 25 de Mayo, colocando el límite arbitrariamente el límite entre ambas formaciones donde aparece el último nivel con banco con ostras.


La Fm. Santa Cruz está integrada por bancos lenticulares a intermedios de conglomerados finos a areniscas conglomerádicas, con gradación normal, areniscas finas macizas, areniscas medianas a gruesas con estratificación cruzada tabular planar, niveles heterolíticos, pelitas oscuras macizas a laminadas bioturbadas con marcas de raíces y moteados. Además, presenta frecuentes restos de briznas vegetales y abundante material carbonoso preservado en los niveles finos. En esta sucesión también se intercalan niveles distintivos dados por tobas y tobas retrabajadas con coloración blanquecina-amarillenta (Figura 3.9).



**Figura 3.9: Facies sedimentarias de la Fm. Santa Cruz en el sitio Cordón Alto.**

En base a las características sedimentológicas se ha interpretado que esta unidad habría sido formada a partir de la acumulación de material volcánoclastico de grano fino, que incluye el desarrollo de paleosuelos inmaduros, depositados en llanuras de inundación y llanuras costeras asociados lateralmente a cinturones o fajas de canales de sistemas meandriformes (Brown y Fleagle, 1993; Blisniuk *et al.*, 2005). La Fm. Santa Cruz presenta una rica fauna de vertebrados que dió lugar a la propuesta de una edad Mamífero (SALMA) “Santa Crusense” (Flynn y Swisher, 1995). En la sección inferior de esta unidad, la asociación de taxones de mamíferos, *Caudiverbera*, *Microbiotheriidae*, *Echimyidae*, *Erethizothidae*, *Atelidae*, de hábitos arborícolas y semi-arborícolas son indicadores de climas templados cálidos y húmedos. Mientras que, hacia la parte superior de la sucesión sedimentaria la asociación de taxones de mamíferos indican condiciones cálidas templadas bajo un régimen más seco y el pasaje de una vegetación arbórea y arbustiva a pastizales de herbáceas (Pascual, 1984; Tauber 1999). Estas observaciones concuerdan con las interpretaciones efectuadas a partir del análisis de isótopos estables de C13 y O18 en nódulos carbonáticos de paleosuelos (Blisniuk *et al.*, 2005). Estos autores interpretan que las condiciones de mayor aridez habrían sido relacionadas con efectos de barrera orográfica por un incremento en la tasa de alzamiento de la cadena andina entre los ~15-16 Ma.

### 3.2.3. Estratigrafía volcánica (de basaltos)

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 39 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

La historia volcánica cenozoica de la región es compleja (*Corbella y Lara, 2008*) y está vinculada con la evolución geodinámica de la Patagonia Austral y la subducción de la dorsal de Chile (*Gorring et al., 1997; Ramos y Ghiglione, 2008*). *Corbella y Lara (2008)* indican los siguientes lapsos efusivos: 11-10 Ma, 7,3-7,8 Ma, 5,6-4,8 Ma, 4,0-3,8 Ma, 3,2-3,0 Ma, 2,4Ma, 1,7 Ma, 1,35 Ma, 1,0 Ma, 750 Mil años, 490-330 Mil años y 109-66 Mil años.

A nivel general, las diferentes coladas y episodios eruptivos han sido agrupados por su edad y características geoquímicas en distintas etapas efusivas (*Kay et al., 2004*): 1) Paleoceno/Eoceno, 2) Oligoceno/Mioceno temprano; 3) Mioceno tardío/Plioceno y Plioceno/Reciente. Los ciclos efusivos del Mioceno tardío/ Plioceno y del Plioceno/Reciente son los que interesan describir en este informe por su localización en el área de estudio. Ambos forman parte del plateau de lavas, pero se distinguen porque el primer ciclo (Mioceno tardío/ Plioceno) es más extenso y voluminoso (Plateau principal) mientras que el segundo ciclo (Plioceno/Reciente), que se identifica como basaltos de post-plateau (*Gorring et al 1997; Corbela y Lara, 2008*), es de menor envergadura y se encuentra canalizados o rellenando topografías más bajas.

Las lavas del plateau principal son las que forman las mesetas de la Muerte, Belgrano, Central, Meseta Pampa Alta. Estas rocas son basaltos tolheíticos y andesitas basálticas (*Gorring y Kay, 2001*). En los cortes de acantilados se pueden reconocer el apilamiento vertical de varias unidades de enfriamiento (cuerpos de lava que se han depositado y enfriado individualmente) entre 2 a 10 m de espesor cada una y formando paquetes de entre 20 y 40 m. Estas unidades con marcada disyunción columnar son generalmente macizas hacia la base y con mayor vesicularidad hacia el tope (*Ramos y Kay, 1992; Gorring et al., 1997*). La efusión de estas lavas ha sido asociada a un incremento en la deformación en el retro arco (*Kay et al., 2004*).

Por otro lado, las lavas post-plateau ocurren de manera más restringida como conos de escoria menores y unidades de flujos y flujos piroclásticos más localizadas y con frecuencia canalizadas y rellenando paleovalles o paleocanales. Si bien esta unidad (más joven) ocurre temporalmente por encima de los basaltos del plateau principal, forma pequeñas mesetas topográficamente menos elevadas (*Gorring et al., 1997*), hecho relacionado con el permanente reajuste de los niveles de base en la región. En afloramientos se distinguen unidades de enfriamiento de 1 a 3 m de espesor aunque, localmente, pueden alcanzar los 10 m de espesor, especialmente en los pequeños plateau (*Gorring et al., 1997*).

### 3.3. Unidades morfoestratigráficas y depósitos

La zona del Alto Valle del río Santa Cruz, se encuentra emplazada en la región extraandina de la Provincia de Santa Cruz ente los 49° 30' y los 51° 30' de latitud Sur (Figura 3.10).

De acuerdo a la recopilación bibliográfica realizada surge que sobre las sedimentitas neógenas marinas regresivas a continentales de las formaciones Estancia 25 de Mayo y Santa Cruz se disponen niveles agradacionales de sedimentos glaciares, glacioluviales y glaciolacustres. Entre los diversos tipos de depósitos se destacan extensos y en algunos casos potentes mantos de rodados que se atribuye al aumento de la competencia y capacidad de carga de los ríos, producto del alzamiento de los Andes Patagónicos y a los aportes glacioluviales (outwash) de una serie de glaciaciones cuyos registros se remontan al Mioceno (*Mercer, 1976*). Estos eventos fundamentalmente agradacionales, que alternan con otros principalmente erosivos, ligados a períodos interglaciares y al alzamiento de la región extracordillerana (tectónico y glacioisostático), sumado al derrame de coladas basálticas (Plioceno-Pleistoceno), dominan desde dicho momento el modelado del paisaje (*Strelin 1995; Strelin y Malagnino 1995; Strelin et al., 1999; Strelin y Malagnino, 2009*).

Las unidades estratigráficas y morfoestratigráficas identificadas (Tabla 3.1 y Figura 3.10) configuran en su conjunto el marco geológico regional en el cual se localizan los sitios correspondientes a los cierres proyectados de las presas Néstor Kirchner y Jorge Cepernic.

A continuación se describen en forma general las características de las litologías y acumulaciones inconsolidadas de las unidades morfoestratigráficas pertenecientes al entorno temporal que se extiende desde el Mioceno superior hasta el Holoceno.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 40 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Doc. N°

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

**Tabla 3.1: Cuadro estratigráfico\* y morfoestratigráfico de las unidades geológicas presentes en el marco regional y local.**

CUATERNARIO	HOLOCENO	<p>Depósitos coluviales</p> <p>Depósitos de llanura aluvial</p> <p>Depósitos de terraza aluvial</p> <p>Depósitos de remoción en masa</p> <p>Depósitos eólicos</p> <p>Depósitos lacustres</p>
	PLEISTOCENO	<p>Morenas El Tranquilo (ET) y sus depósitos de gravas, arenas y limo/arcillas glaciales y glacialacustres</p> <p>Morenas Arroyo Verde (AV) y sus depósitos de gravas, arenas y limo/arcillas glaciales y glacialacustres</p> <p>Morenas Cerro Fortaleza (CF) y sus depósitos de gravas, arenas y limo/arcillas glaciales y glacialacustres</p> <p>Morenas Chuñi Aike (ChA) y sus depósitos de gravas y arenas glaciales</p> <p>Morenas Estancia La Fructuosa (ELF) y sus depósitos de gravas y arenas glaciales</p> <p>Coladas de Basaltos pleistocenas</p>
	PLIOCENO MIOCENO sup	<p>Coladas de Basaltos pliocenas</p> <p>Terraza San Fernando y sus gravas y arenas glaciales</p> <p>Terraza La Australasia y sus gravas y arenas glaciales</p> <p>Morenas Pampa Alta y sus depósitos de gravas y arenas glaciales</p> <p>Terraza Cerro Cuadrado y sus gravas y arenas glaciales</p>
TERCIARIO	MIOCENO	Fm. Santa Cruz*
	MIOCENO-EOCENO	Fm. 25 de Mayo*



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 41 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

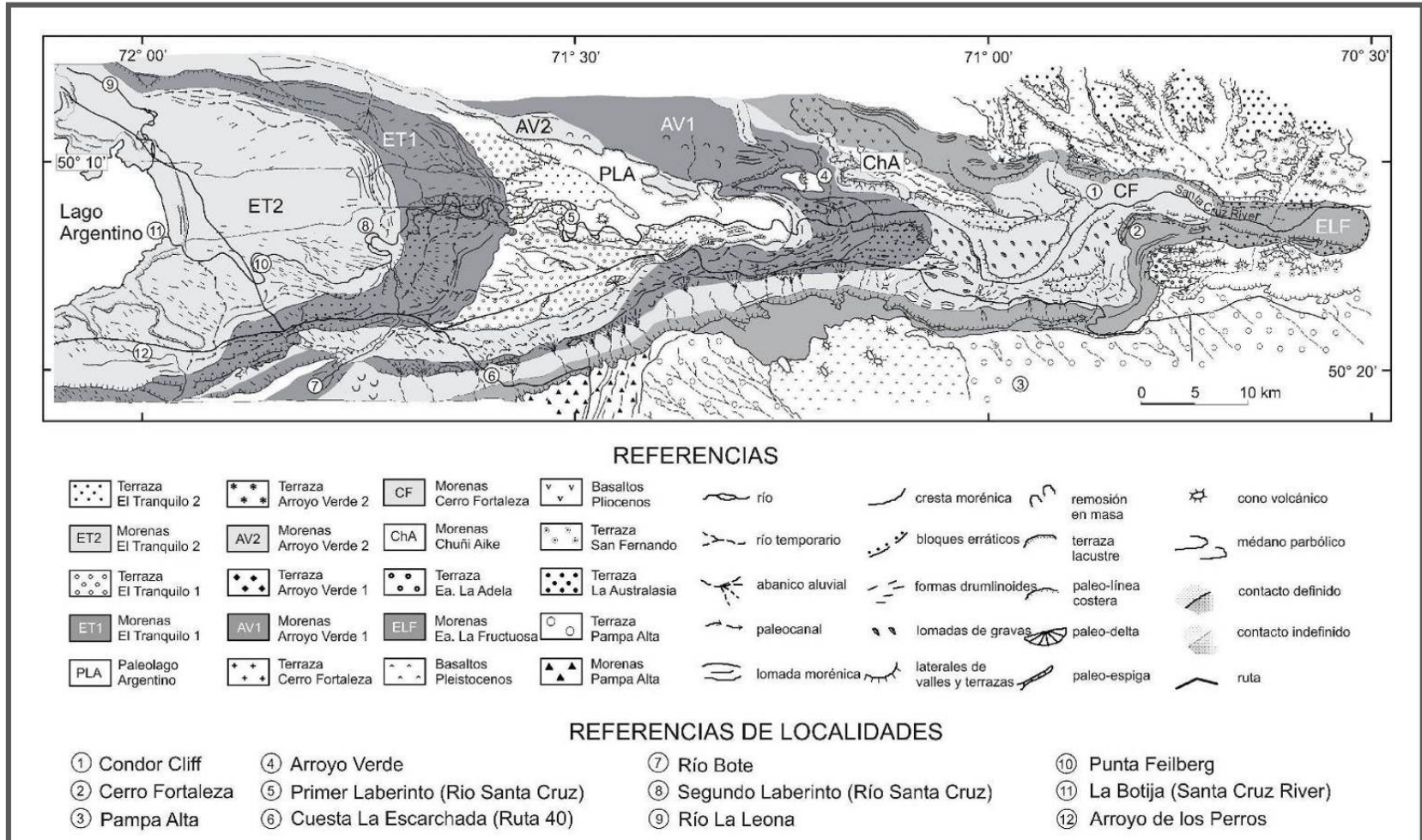



Figura 3.10: Distribución de las unidades morfoestratigráficas en el Alto Valle del río Santa Cruz (según Strelin y Malagnino, 1996)

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 42 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

### 3.3.1. Terraza Cerro Cuadrado (TCC) y sus depósitos glacifluviales

Sobre ambos márgenes del Alto Valle del río Santa Cruz cubriendo las mesetas Pampa Alta y La Meseta (Figura 3.10), se preservan rastros del más antiguo de estos paisajes de rodados agradacionales. Estos relictos (cerros Cuadrado y La Criolla y probablemente la meseta de la Nortera) engranan hacia el norte con la meseta La Siberia (al este del lago San Martín) y al sur con la meseta Latorre (al este del seno Última Esperanza). Su origen se relaciona a un ambiente proglaciar con importantes aportes glacifluviales provenientes de un amplio campo de hielo que cubría las suaves geoformas de la antigua cordillera. Algunos depósitos limnoglaciares podrían adscribirse a esta etapa de desarrollo del paisaje.

En su conjunto configuran un antiguo sistema de transporte glacifluvial, actualmente inactivo y relictico, de paleohábito megaentrelazado.

### 3.3.2. Terraza La Australasia (TLA) y sus depósitos glacifluviales

Según Strelin (1995) y Strelin et al. (1999), conforma una serie de terrazas, de las cuales la más expandida se corresponde altitudinalmente con la terraza labrada al pie del llamado Cordón Alto (Strelin, 1995), equivalente al Nivel II Pampa Alta - Meseta del Monte León de Feruglio (1950). (Figura 3.11).

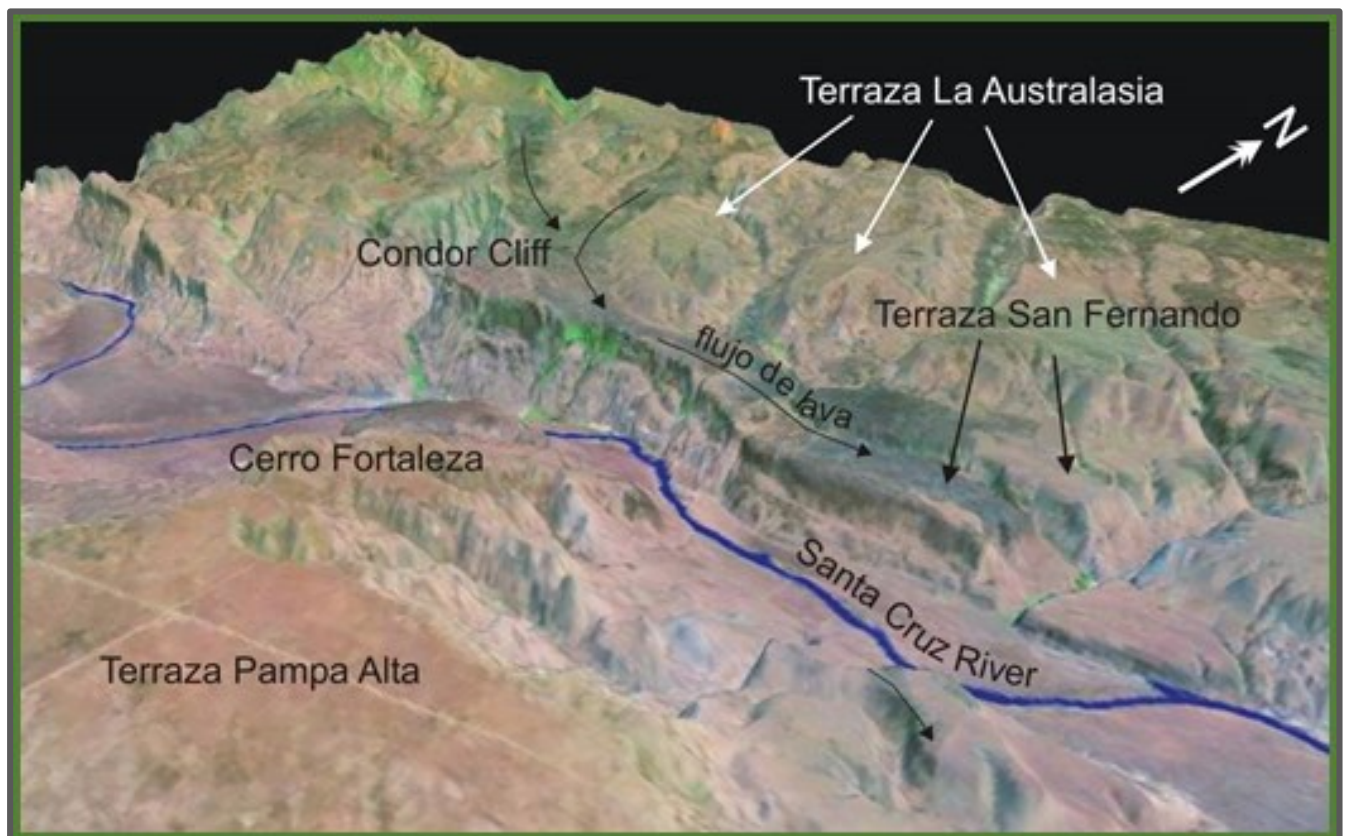



Figura 3.11: Basaltos pliocenos encauzados en la terraza La Australasia, cubriendo la Terraza San Fernando

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 43 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

### 3.3.3. Terraza San Fernando (TSF) y sus depósitos glacifluviales

Durante un período interglaciar y/o probable fase diatrófica se produce reactivación de la erosión fluvial que labró un amplio y profundo valle de recorrido muy similar al del actual AVRSC. La erosión labró una importante terraza a lo largo del valle principal del río Santa Cruz, truncando las terrazas Pampa Alta, Cordón Alto y La Australasia (Figura 3.10 y Figura 3.11). Este proceso erosivo, en el sector extra-andino se manifiesta en importantes aportes de rodados que agradan la superficie de la terraza San Fernando, y se reconoce también en el sector cordillerano donde coladas de basaltos alternan con till en el cerro Fraile (Feruglio, 1944).

A cotas del orden de los 300 m, en conformidad altimétrica con el Cerro Fortaleza y los riscos de Las Lascas, San Fernando y La Rampa, existen terrazas aluviales disectadas, coronadas por una capa de hasta 20 m de espesor compuesta por rodados y bloques polimícticos, en algunos casos facetados, de hasta 0,30 m de diámetro. Dichos rodados se hallan parcialmente cubiertos por coladas basálticas. De acuerdo el apilamiento lávico registrado en el cerro Fortaleza, el antiguo río Santa Cruz se habría entallado en erosión hasta alcanzar la cota de 200 m, apenas 70 m por encima del actual nivel del río. El sitio actualmente ocupado por los riscos se corresponde con un paleovalle labrado en la Fm. Santa Cruz relleno posteriormente con brechas piroclásticas de matriz palagonitizada, cubiertas por 10 a 15 m de lavas almohadilladas. Todo este conjunto es agrado por unas 12 capas lávicas que en su conjunto alcanzan 100 m de espesor. Estos niveles de terraza fueron asignados por Feruglio (1950) al nivel III (Cerro Fortaleza - La Barrancosa - Santa Cruz).

### 3.3.4. Coladas de basaltos pliocenas y pleistocenas

Durante el Plioceno tardío, se produjo la erupción y el derrame de coladas basálticas que invadieron en parte los valles fluviales tributarios y parte del valle principal del antiguo río Santa Cruz. Erupciones volcánicas subsecuentes ocurridas durante el Pleistoceno medio produjeron derrames lávicos que cubrieron en parte la terraza Pampa Alta (Figura 3.11), encauzándose en cañadones ajustados al nivel de base de la terraza de La Australasia (edad máxima).

Aplicando criterios de campo y la interpretación de rasgos texturales en fotografías aéreas e imágenes satelitales se pudieron separar dos tipos de coladas de acuerdo a su grado de preservación. Interesa destacar aquí que tres cuerpos de coladas juzgadas de esta manera más antiguas fueron datadas por Mercer et al. (1975) y Mercer (1976) como pliocenas ( $2,95 \pm 0,07$  Ma,  $2,79 \pm 0,15$  Ma y  $2,66 \pm 0,06$  Ma), mientras que una de las juzgadas más modernas, localizada sobre la terraza Pampa Alta, arrojó una edad de  $0,675 \pm 0,56$  Ma (Strelin et al., 1999).


Todo este conjunto de coladas es cubierto por exponentes morénicos de la glaciación Estancia La Fructuosa, cuya edad mínima es considerada pleistocena temprana a media (Strelin, 1995; Strelin y Malagnino, 1996).

### 3.3.5. Morenas Estancia La Fructuosa (ELF) y sus depósitos glacifluviales

Con posterioridad a estos últimos episodios volcánicos los glaciares alcanzaron su máxima expansión hacia el este a los  $70^{\circ} 27'$  de longitud oeste, dejando los depósitos de las morenas de la glaciación ELF y depósitos glacifluviales relacionados (Strelin, 1995; Strelin y Malagnino, 1996). Sobre los laterales norte y sur, cubriendo en parte las planicies que bordean el AVRSC, son claramente visibles una serie de lomadas y crestas morénicas dispuestas en forma aproximadamente paralela al desarrollo del valle principal. (Figura 3.12).

Sobre la vertiente sur del valle, entre las estancias Las Torcazas y Los Criollos, los depósitos morénicos ELF (Figura 3.10) alcanzan la arista superior del valle confundiendo en su parte más elevada (cota 800 m) con los depósitos más antiguos de las morenas PA (Strelin, 1995). A la altura de la estancia El Refugio (Figura 3.12) los depósitos morénicos cubren coladas basálticas y los faldeos de algunos conos volcánicos de presumible edad pleistocena (Strelin, 1995; Strelin y Malagnino, 1996). El espesor del till es aquí del orden de los 20 m y se caracteriza por la presencia de erráticos y de bloques de basaltos autóctonos que superan los 2 m de diámetro, inmersos en una matriz limosa de color grisáceo. Hacia el oeste de la estancia La Enriqueta (Figura 3.12), los niveles de till descienden de la Pampa Alta para continuar su recorrido sobre el lateral alto del valle a una cota del orden de los 500 m. En la angostura del antiguo valle glaciario, al este de la estancia Los Criollos (Figura 3.12), los depósitos morénicos yacen a una cota del orden de los 490 m. Entre las estancias El Refugio y La



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 44 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

Enriqueta la meseta Pampa Alta se halla fuertemente disectada por un arroyo. Este arroyo define un interfluvio estrecho que se desprende de la meseta sin perder mucha altura. La cima de este filo, que alcanza una cota media de 550 m, se encuentra coronada por espesos depósitos morénicos asignables a un segundo pulso o estadal de la presente glaciación.

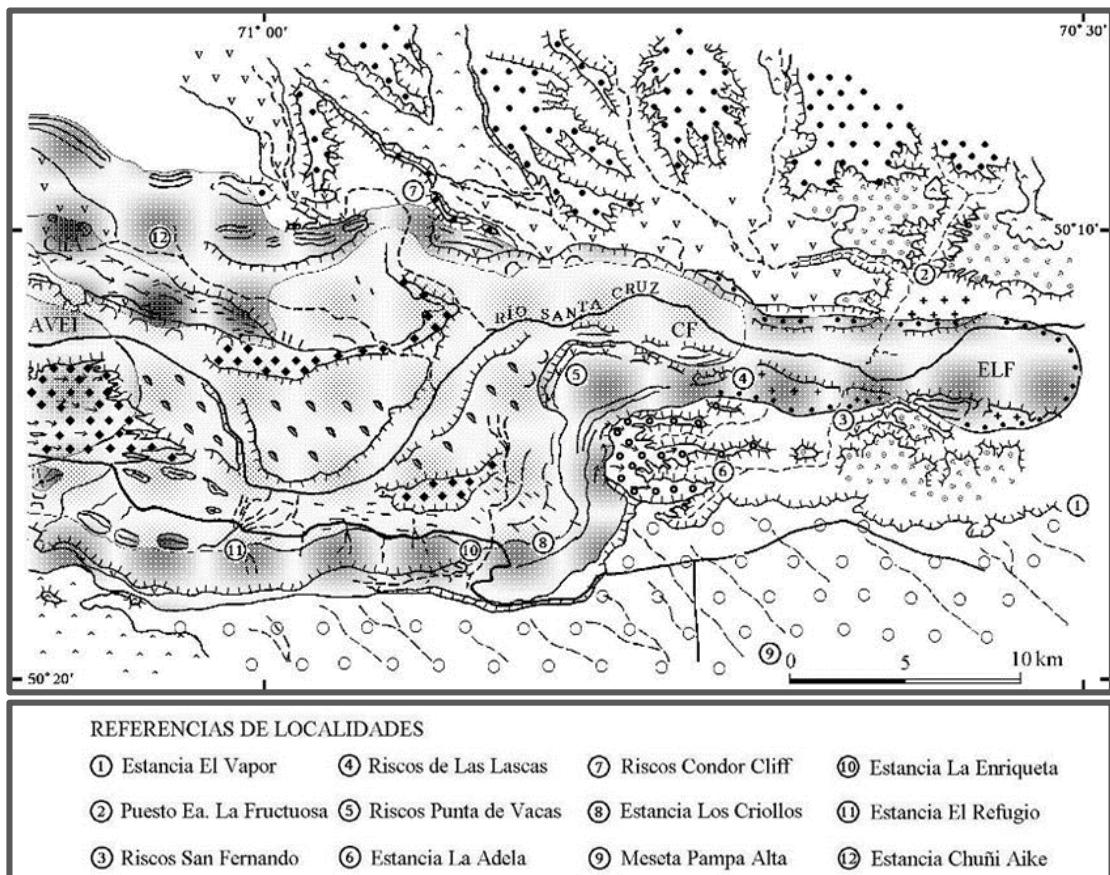



Figura 3.12: Morenas Estancia La Frutuosa (ELF), Chuñi Aike (ChA) y Cerro Fortaleza (CF). Ver referencias en la figura 15 (adaptado de Strelin y Malagnino 1996)

Teniendo en cuenta ambos márgenes del valle, todo parecería indicar que el cierre morénico correspondiente a estos primeros dos pulsos glaciares se localiza al este de la angostura Cerro Fortaleza - Riscos Cóndor Cliff entre los cierres programados para las presas Néstor Kirchner y Jorge Cepernic”.

### 3.3.6. Morenas Chuñi Aike (ChA) y sus depósitos de gravas y arenas glaciales

Durante la glaciación que depositó las morenas Chuñi Aike el piso del valle principal aún se encontraba relativamente alto. Esta glaciación no superó hacia el este la angostura de los Riscos Cóndor Cliff y puede corresponder a un estadal de las glaciaciones que depositó las MELF o las morenas Cerro Fortaleza (Strelin, 1995; Strelin et al., 1999).

Se manifiestan como dos arcos morénicos que quedaron aislados por eventos erosivos posteriores. Las morenas ChA fueron también reconocidas en los valles vecinos del Coyle y Viedma. Sus depósitos se localizan sobre una meseta que bordea la margen norte del AVRSC entre las Estancias El Mosquito y Chuñi Aike. Los dos arcos morénicos que la constituyen son aproximadamente paralelos entre sí y poseen una marcada tendencia a cerrar el valle principal al oeste de los Riscos Cóndor Cliff. Las morenas ChA se hallan tapizadas por erráticos y drumlins. La disposición de estos últimos acompaña la geometría curvada de las crestas. Los depósitos alcanzan una cota máxima de 550 m y su espesor se estima superior a los 30 m. En algunos cortes del terreno pudo observarse parte del till basal que posee un predominio de matriz limosa compacta de color

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 45 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

gris claro en el cual se hallan inmersos bloques de composición predominantemente basáltica, facetados y estriados, de hasta 1,5 m de diámetro.

### 3.3.7. Morenas Cerro Fortaleza (CF) y sus depósitos de glacifluviales y glacilacustres

Las morenas Cerro Fortaleza (Figura 3.10) se encuentran casi totalmente encauzados en el amplio valle del AVRSC. Cortan a los remanentes de la glaciación anterior y a las mesas basálticas alcanzando los 70° 46' de longitud oeste. Es muy probable que durante esta etapa el glaciar modelara localmente un perfil longitudinal de valle con forma de cubeta, que fuera posteriormente ocupado por uno o varios lagos.

A cotas que fluctúan entre los 650 y 550 m en las adyacencias del río Bote y que 80 km al este al pie de los Riscos de Las Lascas (Figura 3.12) descienden a 220 m, se dispone una serie de depósitos morénicos vinculables a un mismo evento glaciario.

En el sector de la angostura del cerro Fortaleza, los depósitos morénicos no alcanzan a cubrir la mesa basáltica, indicando que la lengua del glaciar principal fue desviada y encauzada al pie de los riscos (Figura 3.12). En forma similar a lo que ocurrió durante la Glaciación ELF, el glaciar atravesó la angostura del cerro Fortaleza-riscos Condor Cliff, para alcanzar luego su máxima expansión al pie de los riscos de Las Lascas (Figura 3.12). Al pie de dichos riscos se pueden distinguir aun claramente dos crestas morénicas subparalelas que tienden a cerrar el valle. En un corte pronunciado del terreno aflora una capa de till de 25 m de espesor que asienta sobre un nivel de rodados glacifluviales. El till se compone mayoritariamente de bloques basálticos de hasta 2 m de diámetro y exóticos, de tamaños similares, inmersos en una matriz limosa de color gris claro. A 5 m del tope del perfil se advierte la intercalación de una capa limosa gris clara de 0,5 m de espesor que contiene esporádicos guijarros y pequeños bloques de composición principalmente basáltica. Los bloques incorporados en las secciones superficiales del till presentan gruesas costras calcáreas que tapizan sus bases y en algunos casos los cementan entre sí. Los remanentes del nivel proglaciar de dicha glaciación se extienden río abajo de los riscos de Las Lascas a cotas del orden de los 200 m. Se trata de terrazas cubiertas con aluvio que incorporan grandes bloques retrabajados de un till más antiguo.


### 3.3.8. Morenas Arroyo Verde (AV) y depósitos glacifluviales y glacilacustres

Estas morenas se resuelven en dos estadales separados por un interestadial muy marcado. El límite entre los dos eventos es definido por un importante retroceso glaciario y posterior reavance durante el cual el glaciar excavó una profunda cubeta que posteriormente fue ocupada por un extenso lago. Provisoriamente y hasta tanto no se logren mayores precisiones sobre el tiempo transcurrido entre los dos episodios glaciarios se los describe como estadales pertenecientes a una misma glaciación (Strelin y Malagnino, 1996).

Estadial AV1: Sus exponentes morénicos se encuentran muy bien preservados sobre ambos márgenes del AVRSC (Figura 3.13 y Figura 3.14). Sobre la margen norte se localizan entre la estancia El Mosquito y el valle del arroyo Verde, mientras que sobre la sur los depósitos morénicos se pueden seguir en forma ininterrumpida desde la estancia Las Torcazas hasta la estancia La Rosita (Figura 3.13).

Los escapes fluviales relacionados a los sucesivos pulsos de este estadal dieron lugar a un potente depósito glacifluvial que en el sector proximal supera los 100 m de potencia. El espesor del aluvio decrece rápidamente río abajo donde la terraza glacifluvial converge con el nivel proglaciar más antiguo. La máxima agradación de sedimentos glacifluviales se alcanzó durante el tercer pulso glaciario y se asocia a una terraza que asciende a una cota de 280 m en las proximidades del frente morénico. Este nivel puede seguirse claramente hasta las inmediaciones de la estancia Los Criollos donde a cota 250 m trunca en parte los depósitos de las morenas Cerro Fortaleza. Sobre la superficie del glacifluvial se distinguen aun claramente paleocauces de hábito anastomosado y alta densidad de drenaje. Un gran número de ellos converge valle arriba hacia la salida de un paleocanal que bordea externamente a la morena lateral derecha.

A medida que el glaciar retrocedía de la posición alcanzada durante el tercer pulso, se produjo el entallamiento del nivel proglaciar más elevado labrándose, al pie del antiguo frente de hielo en retroceso, una serie de

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 46 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

terrazas fluvio-glaciarias escalonadas. La preservación de las terrazas y de los remanentes de los dos últimos arcos morénicos es tan buena que permiten reconstruir claramente la recesión del glaciar.

Estadial AV2: Los mejores exponentes morénicos del estadal Arroyo Verde 2 se encuentran al pie del cerro Nunatak, sobre su faldeo sur, donde los depósitos alcanzan una cota máxima de 320 m. Se distinguen aquí al menos tres cierres morénicos, el último de los cuales produjo el endicamiento de un paleolago. Río abajo, sobre ambos márgenes del valle, se disponen los correspondientes depósitos glaciafluviales que truncan en parte a las morenas del estadal anterior.

Los depósitos morénicos del lateral norte del valle, desdibujados en gran parte por fenómenos de remoción en masa, alcanzan nuevamente mayor altura que los del lateral opuesto, disponiéndose a cotas máximas del orden de los 500 m.

Numerosos drumlins de disposición oblicua al eje del valle cubren un amplio escalón que se extiende al pie de la meseta Pampa Alta y que en el sector de la Cuesta de La Escarchada alcanza cotas comprendidas entre los 340 y 280 m. Es evidente que durante su recesión el glaciar sufrió un mayor número de reavances que, al no alcanzar la orilla oriental del lago formado durante el retroceso glaciar, prácticamente no dejaron registros morénicos. Una probable cresta morénica asociada a uno de estos reavances póstumos, luego retrabajada a una espiga, se ubica inmediatamente al oeste de la estancia La Martina.

Paleolago Argentino (PLA): Sobre ambos márgenes del valle, entre las estancias La Victoria y La Martina se distinguen claramente una serie de geoformas de origen lacustre. Se relacionan a un antiguo lago proglaciar cuyo origen y límite oriental corresponden al tercer arco morénico del estadal AV2. Su límite occidental se desconoce ya que fue cubierto por los depósitos morénicos frontales del estadal El Tranquilo 1. El nivel máximo del paleolago alcanzó la cota de 280 m y las geoformas más conspicuas se ubican sobre su orilla sur. Se trata de una serie de paleolíneas de costa, paleoplayas, tres espigas y un delta.

La espiga más occidental se encuentra inmediatamente al oeste de la estancia La Martina donde se proyecta hacia noreste despegándose marcadamente de la costa del paleolago. La punta de esta espiga finaliza en gancho y alcanza en su parte superior la cota de 280 m. Su génesis se asocia probablemente, como se mencionara más arriba, al retrabajo de una cresta morénica recesiva del estadal AV2. El delta posee una típica planta triangular con suave pendiente hacia el norte. Se localiza inmediatamente al sur de la estancia Los Porteños y su cota media es de 210 m. Marca un período de estabilización del cuerpo de agua durante su paulatino vaciado. La espiga que sigue al este es de tipo compuesta, diferenciándose en ella dos espigas en gancho que progradan hacia el este, una a continuación de la otra, encerrando una antigua albufera. Las geoformas permanecen prácticamente intactas alcanzando una cota máxima de 260 m. La tercera espiga es de tipo simple y se halla parcialmente erodada alcanzando una cota similar a la anterior.

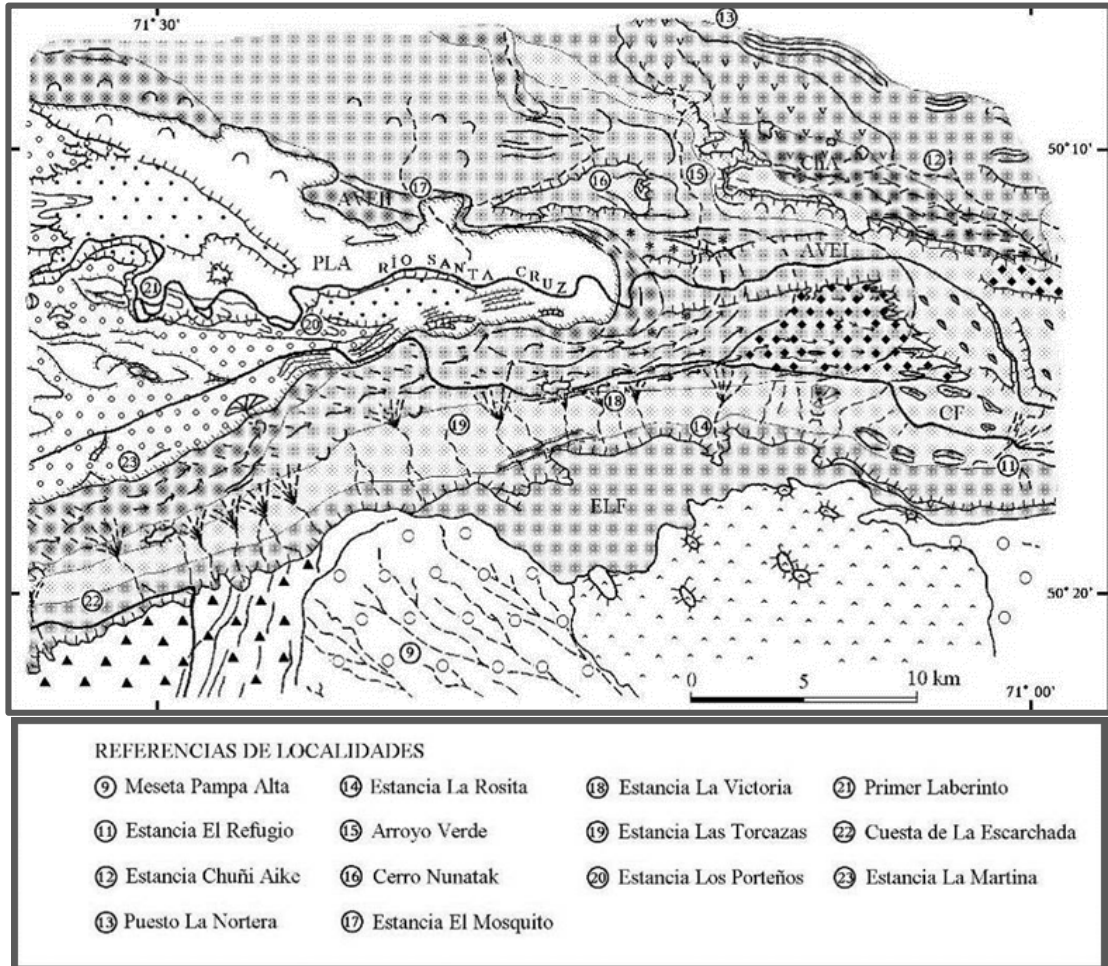



Figura 3.13: Morenas Arroyo Verde 1 (AVI), Arroyo Verde 2 (AVII), Paleo Lago Argentino (PLA). Ver referencias en la figura 15 (adaptado de Strelin y Malagnino 1996)

Los niveles aterrizados del antiguo lago se hallan escalonados entre las cotas de 280 y 195 m y se los puede seguir en todo el perímetro del paleolago, inclusive en una serie de lomadas ubicadas al oeste llamadas Cola de Ratón. Se contabilizaron un total de 22 líneas de costa y paleoplayas.

Las espigas, líneas costeras y playas se componen fundamentalmente de rodados de gravas y bloques de entre 0,05 0,40 m de diámetro. La mayor parte de ellos se asocia al retrabajo de sedimentos glaciogénicos previos, pudiendo existir algunos aportados por balseo en témpanos.

El antiguo río Santa Cruz, emisario que nació al este del gran paleolago, cortó las morenas frontales del estadal AV2 y sus correspondientes depósitos glaciocliviales provocando el paulatino vaciado del cuerpo de agua. Durante la última etapa del vaciado se labró un nivel de terraza muy extenso que en las proximidades al antiguo punto de efluencia posee una cota de 195 m. Dicho nivel se caracteriza por presentar sobre su superficie una serie de lomadas de rodados cuya disposición espacial permite reconstruir un hábito anastomosado divergente. El nivel se puede seguir claramente hasta el pie occidental del Cerro Fortaleza. Las lomadas, compuestas por rodados de hasta 0,30 m de diámetro, se elevan hasta 3 m sobre el nivel de la terraza y alcanzan largos de algunas decenas de m. Es probable que estas lomadas correspondan a megaóndulas asociado a un vaciado súbito del paleolago durante una etapa póstuma, o se trata de relictos de erosión.

Caracteriza al conjunto de estos depósitos la fuerte deformación postdeposicional producto de la presión ejercida por los hielos durante episodios glaciarios posteriores (El Tranquilo). A causa de empuje glaciectónico

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 48 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

se generaron complejas mezclas de sedimentos que llegan a reunir en una misma masa till, varves y rodados glaciafluviales.

### 3.3.9. Morenas El Tranquilo (ET) y sus depósitos glaciafluviales y glacialacustres

Dichas morenas fueron depositadas durante una glaciación que se resuelve en dos estadales, seguidos por un retroceso continuo del glaciar a lo largo de un intervalo de tiempo indeterminable. El endicamiento del lago Argentino se debe a los cierres morénicos de estos primeros dos pulsos glaciares. Un tercer estadal de esta misma glaciación corresponde al reavance póstumo que depositó los arcos morénicos de Puerto Bandera que bloquearon los distintos brazos del lago Argentino.

Estadal 1 (ETEI): Las geoformas de origen glaciario y glaciafluviales relacionadas con dichas morenas poseen sus rasgos originales muy bien preservados (Figura 3.14).

Durante este evento glaciario la lengua tributaria que descendía por el valle del río Bote no volvió a confluir con el glaciar principal. Esto determinó que el escape fluvial del glaciar tributario fuera desviado hacia el noreste por el glaciar encauzado en el lago Argentino. Ambas planicies glaciafluviales coalescieron valle abajo inundando con sus aluvios la cuenca del PLA (Figura 3.13) que para aquél entonces ya se encontraba casi totalmente evacuada. Dicho proglaciar asciende a cotas que varían entre 190 y 180 m y en su descenso hacia el este se encauza parcialmente en la garganta que corta las acumulaciones glaciares y proglaciares de la glaciación Arroyo Verde. Por la altura que alcanzan las crestas morénicas sobre el lateral norte del valle se presume que una difluencia del glaciar encauzado en el lago Argentino se encontró con otra proveniente de las cuencas Guanacos - Turbio y Viedma a mitad del valle del río La Leona.

Estadal 2 (ETEII) Estadal ETII: A unos 5 km río arriba del último cierre del estadal El Tranquilo 1(ETEI, Figura 3.14) se ubica un segundo conjunto de crestas morénicas apretadas a cuyas espaldas se extiende una amplia zona cubierta de drumlins y morenas aflautadas (fluted moraines).

El glaciafluvial de este estadal cubre en sus primeros tramos proximales a los depósitos morénicos internos del estadal ETI, pero poco más hacia el este se encauza entre ellos siguiendo un curso similar al del actual río Santa Cruz. La planicie fluvio-glaciaria es atravesada por los paleocauces de los antiguos ríos La Leona y Bote y por el arroyo de los Perros, cuyos trazados fueron desplazándose hacia el oeste a medida que el glaciar retrocedía.

Estadal 3 Estadal ETIII: Una vez retirado el glaciar y formado el lago Argentino, cuyo nivel máximo alcanzó los 230 m, el río Santa Cruz inició el corte del endicamiento morénico provocando el descenso del nivel del lago hasta alcanzar la cota de la terraza lacustre de 210 m. Entre el labrado de esta terraza y la que se eleva 6 m sobre el actual lago, se produjo un nuevo reavance del glaciar Argentino que, a poco de rodear al cerro Buenos Aires, depositó las morenas que se extienden entre las estancias La Anita y María Antonia (Figura 3.14).

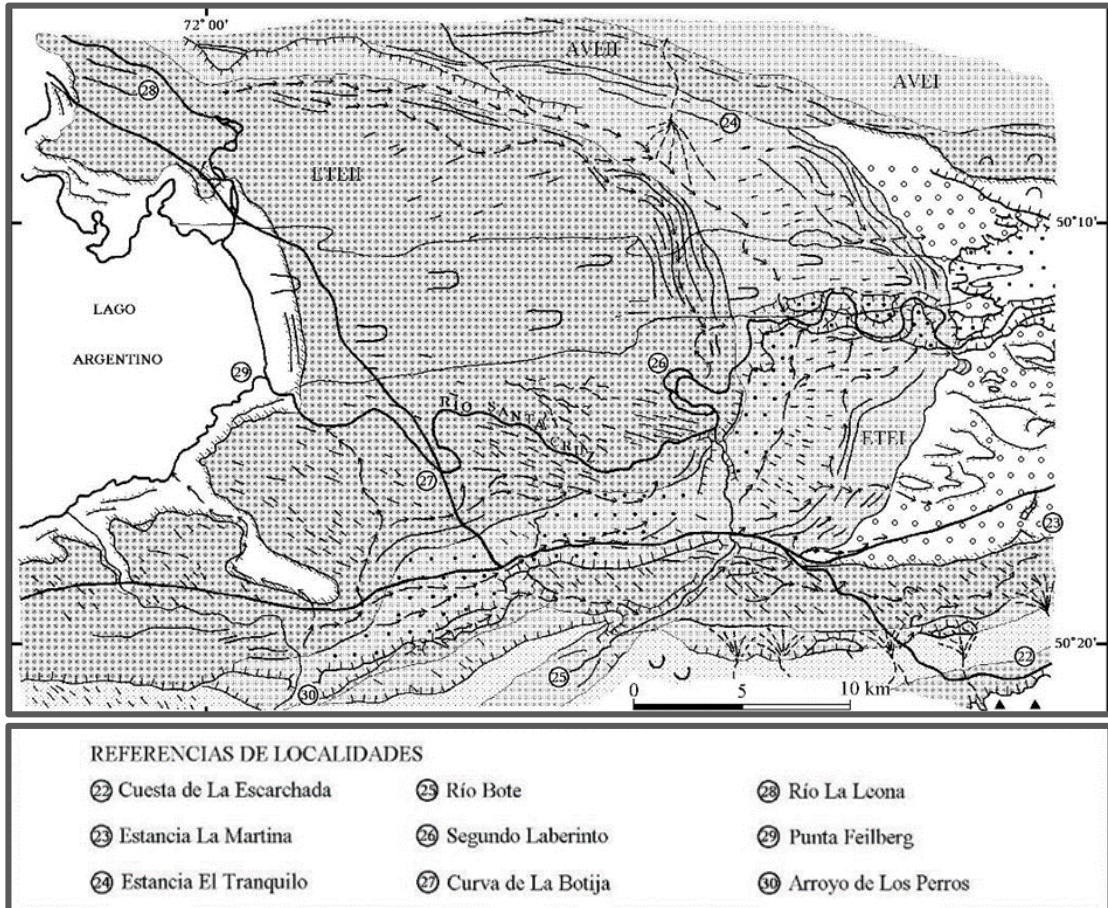



Figura 3.14: Morenas El Tranquilo, Estadal 1 (ETEI), El Tranquilo Estadal 2 (ETEII). (Adaptado de Strelin y Malagnino 1996)

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 50 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

## 4. GEOLOGÍA LOCAL

En la Figura 4.2 se presenta el mapa geológico del sitio de emplazamiento de la Presa J. Cepernic.

### 4.1. Estratigrafía

#### 4.1.1. Formación Santa Cruz

En la comarca relevada están presentes las sedimentitas de la Fm. Santa Cruz, las que forman en cuerpo sobre ambos márgenes del valle. Sin embargo, no se observan afloramientos de esta unidad ya que está cubierta en su mayor parte por acumulaciones coluviales. En la margen sur están por debajo de un banco de gravas y arenas existiendo entre el techo de la Fm. Santa Cruz y la base de las gravas una discordancia erosiva. Por su parte en la margen norte están parcialmente cubiertas por coladas de lavas basálticas.

La Fm. Santa Cruz, se observó con mayor grado de detalle en la Estancia Cordón Alto y Estancia Rincon Grande. Se trata de una sucesión sedimentaria fuertemente estratificada y disposición horizontal (a modo de "torta") o con escasa inclinación de entre 3° y 8°, donde alternan bancos de colores claros pasteles (blancos, grises y amarillentos) y colores grises oscuros (Figura 3.9).

En la zona relevada los afloramientos más cercanos se sitúan 4 km al sur de la misma y fuera de ella. Con la finalidad de establecer una caracterización sedimentológica cercana de esta unidad formacional se realizaron observaciones sobre el camino que conecta la localidad del cierre con el sitio del Campamento y Villa Temporaria Jorge Cepernic.

En la sección superior de esta formación., a la cota de los 353 m afloran saltuariamente areniscas y limolitas intercalas con bancos de tobas. Hacia la sección intermedia se observan afloramientos de areniscas de granulometría gruesa a mediana, color gris claro con estratificación entrecruzada en cubeta, de tenacidad elevada y con concreciones esféricas estériles. Estos afloramientos se localizan entre la cota de los 322 y 305 m, desarrollando un espesor total de 15 m (Figura 4.1).



**Figura 4.1: Areniscas de la Fm. Santa Cruz con estratificación entrecruzada.**

Sobre el corte artificial existente en este último, se realizó un perfil. El mismo se integra una sucesión muy regular de bancos de areniscas con tenacidad intermedia a alta, con espesores individuales del orden de 4 m, integrados de areniscas medianas y gruesas de color gris, con estructura de sedimentación entrecruzada en cubeta y en la cual son abundantes las concreciones estériles esféricas y elongadas (Figura 4.2).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 51 de 268

Doc. N°

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

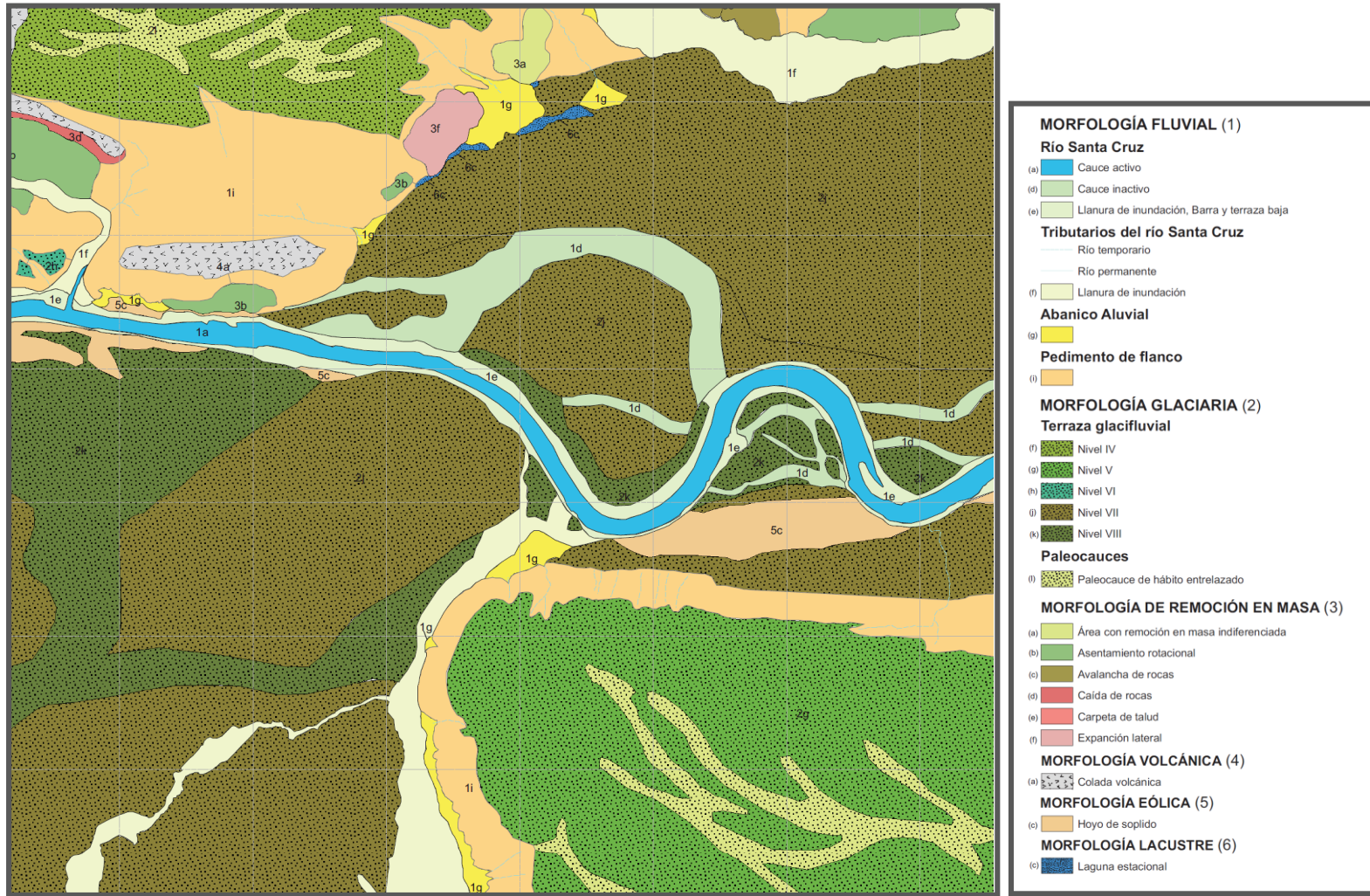


Figura 4.2: Mapa Geológico y geomorfológico de la presa Jorge Cepernic






**Figura 4.3: Areniscas tenaces de la Fm. Santa cruz, con concreciones elongadas y estratificación entrecruzada en cubeta**

Hacia los niveles topográficos más bajos, en la cota de los 175 m, se observan asomos discontinuos de arcillitas y limolitas color castaño claro y amarillo claro.

Otros tipos litológicos observados en las perforaciones son:

- a. Areniscas finas limosas de colores gris oscuro a claro y blanquecino, dispuestas en cuerpos tabulares, de ambientes de desbordamiento (derrames) desde canales principales hacia la llanura de inundación en épocas de crecidas.
- b. Niveles de limolitas tobáceas moteadas con porcentajes variables de arcilla y arena fina dispuestos en bancos tabulares, de colores gris claro a gris verdoso claro, homogéneo, macizo, de ambientes de llanuras de inundación adyacentes a los cursos principales, los que se encontraban permanentemente colonizados por vegetación y organismos logrando desarrollar paleosuelos producto de actividad pedogenética.
- c. Arcillitas tobáceas laminadas a bandeadas, plásticas dispuestas en capas tabulares, de espesores entre 20 cm y 1 metro, de colores gris blanquecino a gris oscuro y niveles en los que alternan láminas gris claro a gris oscuro. Las laminaciones son milimétricas o bien se produce un bandeado de capas de 1-2 cm de espesor de arcillitas y areniscas finas gradadas formando una estratificación heterolítica. Formadas por decantación en ambiente subácueo, posiblemente representando etapas lacustres o palustres o encharcamientos someros asociados a planicies de inundación o por el abandono de cursos fluviales divagantes (ríos meandriformes).
- d. Tobas blanquecinas amarillentas de grano fino, con altos porcentajes de arcillas. Se trata de bancos de escasos centím (5-6 cm) a varios decím (60-70 cm) de geometría tabular y gran continuidad lateral (centenares de m). Sus contactos basales son normalmente netos mientras que los cuspidales son graduales a otras litologías y poseen notable perturbación pedognética. En afloramientos generalmente las tobas son truncadas por fases erosivas (migración de canales) o pedogenizadas de modo gradual generando transiciones. Se distinguen por los colores amarillos ocres que destacan en el paisaje mientras que en testigos secos se distinguen por los colores blanco tiza o blanco grisáceo y en roca húmeda son amarillos a ocres o grises más oscuros. Estas rocas son notablemente plásticas cuando humedecidas y en seco se tornan frágiles y tienen notable desarrollo de fracturación concoidea. Si bien localmente preservan laminación primaria o son macizas, generalmente, se encuentran muy

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 53 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

bioturbadas y con desarrollo de suelos. Excepcionalmente poseen granos dispersos de mayor tamaño y color blanquecino que recuerdan fragmentos de pómez, siendo estas de mayor granulometría y compatibles con tobas lapilíticas. Estos niveles representan la caída de ceniza volcánica (cineritas), que se deposita rápidamente a partir de eventos eruptivos y tapizan el paisaje a modo de manto. La granulometría del material volcánico es variable pudiendo representar niveles muy finos (choníticos) a más gruesos (tobas arenosas) y hasta lapilíticas. Los mismos en general se encuentran todos muy transformados a arcilitas altamente plásticas.

- e. Limo-arcilitas con láminas de areniscas finas brechadas. De colores gris verde oscuro a claro, e integrada por fragmentos angulosos a subangulosos, algunos rotados o ligeramente movidos de su posición original
- f. Niveles de areniscas gruesas gradadas y mal seleccionadas de colores gris, gris verdoso y gris claro. Internamente contienen granos líticos, especialmente intraclastospelíticos verdosos e intraclastos de tobas amarillentas.
- g. Niveles con alternancia de areniscas muy finas laminadas y pelitas. Se trata de paquetes de reducido espesor (entre 0,30 y 1,2 m de espesor máximo) intercalados entre las facies anteriores compuestas de una intercalación de pelitas grises verdosas y delgados niveles de areniscas finas y muy finas de colores gris claro con gradación normal o con desarrollo de laminación ondulítica.


Los componentes tobáceos de la Fm. Santa Cruz alterados en arcillas esmectíticas con notable expansividad y plasticidad superficial retienen humedad y generan típicos paisajes de *badlands* con fluencia y reptación por pendiente (creep). En superficie y dentro de estos intervalos tobáceos fueron observados sumideros y hoyos de colapso que favorecen procesos subsuperficiales de piping que contribuyen a acelerar los procesos erosivos y generan un boxwork de cavidades y conductos hasta niveles permeables por donde emergen freáticas (vegas) a diferentes alturas dentro de las terrazas actuales del río Santa Cruz (Figura 4.4).



**Figura 4.4: Sumideros por efecto de piping en rocas tobáceas**

Los conos o embudos de sumideros alcanzan varios metros de diámetro en superficie y su generación puede haber tenido lugar reiteradas veces a lo largo de la historia cuaternaria y acentuada en períodos más húmedos que el actual.

Mientras que las arcilitas y tobas constituyen barreras naturales de permeabilidad, en contraste, las areniscas gruesas abiertas (en general muy poco cementadas), actúan como niveles de tránsito de freáticas confinadas o libres según su posición bajo la cubierta cuaternaria o los mantos lávicos-basálticos y perturbaciones de cualquier naturaleza ayudarían a incrementar notablemente la presión poral e inducir deslizamientos o fluidización.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 54 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

#### 4.1.2. Niveles de gravas y arenas

Si bien los glaciares que ocuparon el valle del río Santa Cruz no llegaron hasta esta localidad, el agua de derretimiento de los mismos desarrollo en esta comarca varias planicies glacifluviales cubiertas de gravas y arenas. Se reconocieron ocho niveles escalonados, donde el superior es el de mayor antigüedad y el inferior el más joven. Cada superficie de terraza se puede vincular con una glaciación en progreso que daba lugar a un incremento superlativo de caudales en un medio fluvial que presentaba un sistema de multicanales de hábito megatrenzado a entrelazado de gran escala.

Todos ellos configuraban durante sus etapas activas, fajas de transporte fluvial, en general de ancho progresivamente menor desde la correspondiente al Nivel I hasta la propia al Nivel VIII, destacándose además que cada faja se encajó en la precedente, de tal forma que desde el nivel superior más antiguo (Nivel I) al inferior más moderno (Nivel VIII) existe un resalto de unos 115 400 m, a lo largo del cual se sitúan escalones topográficos pronunciados. De esta forma cada nivel representa una glaciación.

Que cada faja se encaje sucesivamente en la de mayor antigüedad se debe a que durante los periodos interglaciares se producía la caída de los caudales al tiempo que disminuía la cantidad de carga transportada al bajar el trabajo glaciario. Bajo estas condiciones tenía lugar la estabilización del sistema fluvial que se simplificaba a la de un río del tipo monocanal, con fuerte capacidad de profundización lineal, de tal forma que la anterior planicie glacifluvial se convertía en una terraza.

En cada glaciación se incrementaban los caudales y por lo tanto sobrevenía un nuevo período de sedimentación vertical y expansión lateral del valle por planación lateral, aunque en este caso la nueva superficie de transporte glacifluvial estaba encajada en la anterior y a varios m por debajo de su superficie. De esta forma cada resalto entre niveles glacifluviales representa un período interglaciar.

Las terrazas del Nivel IV, es la que se vincula con el emplazamiento de la presa Jorge Cepernic. Se halla preservada únicamente sobre la margen norte del valle, donde aparece mayormente cubierta por coladas basálticas. Las gravas y arenas que componen dicha terraza poseen un probable origen glacifluvial.


La terraza del Nivel V es probable que se corresponda con la planicie glacifluvial estructurada por el agua de ablación de la Glaciación La Fructuosa, que se vincula con la segunda glaciación de todas las que han sido reconocidas en esta región (Strelin, 1995; Strelin y Malagnino, 1986). Con posterioridad a ella y durante un período interglaciar el ancestral río Santa Cruz disminuyó su caudal y carga variando a un sistema monocanal que se indento en las acumulación existentes estableciéndose así el primer quinto nivel de Gravas y Arenas glacifluviales (Nivel V).

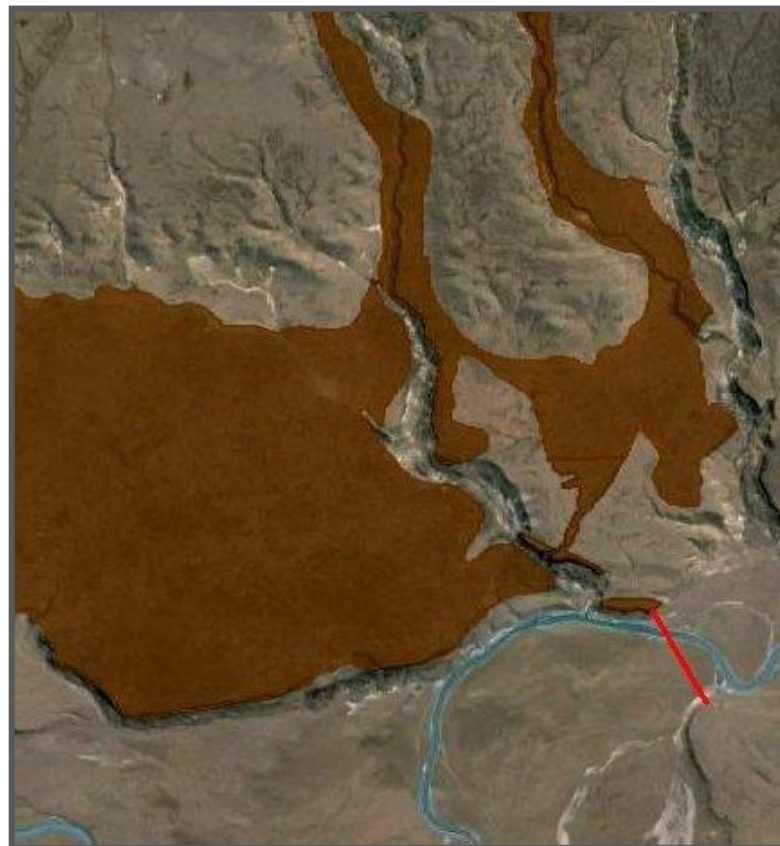
Por su parte, los niveles VI a VIII se vinculan con las últimas glaciaciones pleistocenas. Finalmente, los procesos de estallamiento fluvial del río Santa Cruz ocurridos durante el Holoceno, han dado lugar a una nueva profundización de su cauce, el que actualmente está inserto en las Gravas y Arenas Glacifluviales del Nivel VIII.

#### 4.1.3. Vulcanitas basálticas

Se relacionan con las erupciones que tuvieron lugar durante el Plioceno Tardío, período en el cual se localizaban varios emisores volcánicos en la región situada al norte del valle del río Santa Cruz.

Las lavas basálticas que emitieron estos volcanes se encauzo en cañadones existente y a través de ellos llego hasta las terrazas que marginaban al valle sepultándolas parcialmente (Figura 4.5). En la zona de cierre de Jorge Cepernic los basaltos solamente están presentes en la margen izquierda localidad en la cual constituyen una extensa meseta volcánica que cubre una antigua planicie glacifluvial.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 55 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900



**Figura 4.5: Efusiones lávicas en la región norte del valle del río Santa Cruz. La traza roja señala la localización del cierre proyectado Jorge Cepernic.**

## 4.2. Geomorfología


Teniendo en cuenta cuales fueron los procesos geomórficos que actuaron en la comarca modelándola, las formas reconocidas han sido agrupadas en: Fluviales, Glacifluviales, Remoción en Masa, Volcánicas, Eólicas y Lacustre.

Las morfologías vinculadas con el proceso fluvial fueron agrupadas en cuatro unidades principales: río Santa Cruz, Tributarios del río Santa Cruz, Pedimento de Flanco y Abanico Aluvial. Dentro de las dos primeras se separaron varias unidades secundarias.

### 4.2.1. Formas Fluviales

La de mayor importancia la constituye el cauce meandriforme del río Santa Cruz, que varía a lo largo de su recorrido hasta alcanzar en la zona de la traza de la futura presa, un hábito rectilíneo. Las secciones meandriformes exhiben una pronunciada inestabilidad de borde de canal con desplazamientos progresivos generales tanto hacia el cuadrante norte como hacia el cuadrante sur, e incluso hacia el cuadrante este. Además presenta procesos de divagación no continua recientes a partir del proceso de rectificación de cauces por desborde ocurridos durante sucesos de crecientes, por el corte de cuello de meandro durante episodios de caudales normales y también por procesos de avulsión. Estos procesos fluviales dieron lugar al abandono súbito de una parte del cauce y a la generación de numerosos cauces inactivos, los que eventualmente podrían activarse durante los periodos de creciente. De todas formas se observa en ellos evidencias de su progresiva colmatación, lo que inhabilitaría futuras reactivaciones

Su cauce también tiene deriva progresiva, especialmente identificadas en la cara interna de la curva de los meandros a partir de la existencia de acumulaciones semilunares que en su conjunto se encuentran escalonadas desde las más bajas (en contacto con el río) hasta las más elevadas (hacia la zona interna de la curva). Otras formas secundarias son las barras laterales y centrales, que favorecen la multiplicidad simple de

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 56 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

cauces en forma muy localizada. Estas geoformas integran la llanura de inundación del río Santa Cruz, la que presenta un ancho relativamente regular, de poco desarrollo y con algunas expansiones locales.

A ambos de su planicie de inundación, se observan niveles de terrazas aluviales bajas, en general bien separadas de las terrazas glacifluviales y a una cota que no llega a superar los 2 m sobre la superficie del río durante los periodos de caudales normales.

Por su parte, la red fluvial tributaria tiene mínimo desarrollo sobre ambos laterales del valle, aunque alcanzan una mayor presencia sobre su margen izquierda. En general son ríos de régimen estacional o temporario que solamente se activan como respuesta a las precipitaciones pluviales locales y/o fusión de la nieve estacional. La excepción la constituye un curso fluvial que penetra parcialmente por el ángulo noreste de la comarca relevada, el cual posee un régimen permanente a causa de su extensa cuenca (Basalt Glen o cañadón Basalt). Los tributarios de la margen norte tienen un diseño subdendrítico, con evidencia de controles especialmente morfológicos, una densidad baja y textura gruesa. Los situados sobre la margen sur son casi inexistentes ya que se limitan a algunos pocos cauces lineales y elementales que descienden desde la meseta situada en ese sector. El único que alcanza un mayor desarrollo constituye un cauce de hábito entrelazado que drena sobre un ambiente con circulación restringida situado sobre una terraza glacifluvial. Este último es el colector principal de varios cursos fluviales estacionales que descienden por la pendiente sur del valle desde los niveles superiores de Pampa Alta.

Si bien estos cauces no tienen un desarrollo importante, exhiben en cambio llanuras de inundación extensas. De entre ellas se destacan las que acompañan al curso definido precedentemente de hábito entrelazado y la que se vincula con el curso fluvial tributario de régimen permanente (*Basalt Glen*). En general esta discordancia entre importancia del cauce y su llanura de inundación se debe a que estos cursos fluviales presentan endicamientos locales debido a diversas causas entre las que se destacan los movimientos de remoción en masa o la interposición de terraza glacifluviales entre sus cabeceras y el enlace con el río Santa Cruz.

Integrando el grupo de las geoformas fluviales se destacan los pedimentos de flanco, que son superficies labradas por la acción erosiva fluvial, labradas en su mayor parte sobre las sedimentitas de edad terciaria, y en menor grado sobre las vulcanitas y acumulaciones de gravas y arenas glacifluviales que se localizan sobre ellas. Con un desarrollo muy bajo, en la mayoría de los casos tienen una cubierta clástica coluvial integrada de gravas y arenas de pedimento. Los correspondientes a la margen norte fueron labrados sobre secuencias volcánico-clásticas mientras que los labrados sobre el lateral sur del valle solamente involucran a las sedimentitas terciarias y gravas glacifluviales.

En armonía con el bajo desarrollo de la red fluvial tributaria, los abanicos aluviales presentes en la comarca son de poca importancia. Los localizados sobre la margen sur se componen de pequeños abanicos que al coalescer lateralmente dan lugar a una angosta bajada continua. Por su parte los situados en la margen norte son algo más importantes al estar vinculados con cursos fluviales de mayor entidad.


#### 4.2.2. Geoformas glacifluviales

Como ya se indicó en el ítem 4.1.2, en la comarca relevada la mayor parte de su superficie corresponde a una serie de ocho niveles de terrazas glacifluviales. Presentan una acumulación de espesor variable de gravas y arenas, que sobreyacen a las sedimentitas terciarias mediando entre ambas unidades una superficie discordante erosiva. Como ya fue referido precedentemente, se vinculan con las glaciaciones que ocurrieron durante el Pleistoceno.

#### 4.2.3. Geoformas de Remoción en Masa

Tienen limitada presencia ya que están confinados al lateral norte del valle del río Santa Cruz, sector en el cual se identifican Asentamientos rotacionales, Expansiones laterales, Avalancha de rocas, Caída de rocas y Movimientos de remoción en masa indiferenciados.

De todos ellos, los Asentamientos rotacionales son los de mayor distribución. Se con secuencias volcánico-clásticas horizontales donde sedimentitas terciarias y cuaternarias subyacen a coladas basálticas. Su morfología individual no es muy definida debido a que los bloques movilizados se fracturaron desagregándose. En cambio son fácilmente reconocidas las cicatrices cóncavas que presentan cara libre labrada sobre las vulcanitas.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 57 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

También se reconocieron Expansiones laterales locales, las que solamente se presentan en el ámbito de las sedimentitas terciarias. También se observaron áreas con Caída de rocas. Las mismas tienen lugar a lo largo de la cara libre labrada sobre el coronamiento de las coladas basálticas. En este caso la generación de estos movimientos se debe al empinamiento de la pendiente y a la existencia del intenso diaclasamiento que tienen las vulcanitas. La acumulación de bloque al pie de la pendiente da lugar a una carpeta de talud de elevada inclinación e inestabilidad.

#### 4.2.4. Geformas Volcánicas

Se localizan exclusivamente sobre la margen norte del valle, zona donde se localizan una serie de coladas basálticas que en sus sectores distales avanzaron en forma encauza a lo largo de cañadones preexistentes. Los procesos glacifluviales y fluviales posteriores erosionaron sus adyacencias de tal forma que algunas de estas coladas configuran ejemplos de inversión del relieve locales. Como se indicó, fueron emitidas por centros efusivos que no han dejado aparatos volcánicos fácilmente distinguibles. Su disposición tabular implica que las mismas se desplazaron cubriendo terraza glacifluviales preexistentes, tal como se puede apreciar en el mapa relevado. Incluso, durante su desplazamiento se derramaron sobre los desniveles existentes entre terrazas escalonadas adyacentes de cotas iguales o superiores al Nivel IV.

#### 4.2.5. Geformas Eólicas

Constituye dunas parabólicas en horquilla que en la actualidad están pasando por un intenso proceso de deflación de tal forma que están gradando hacia morfologías típicas de hoyos de soplido. El aporte clástico inicial que posibilitó la Fm. de las dunas parabólicas provino de las arenas que el río Santa Cruz aporta sobre su llanura de inundación, las que son deflacionadas durante los periodos de bajos caudales, lapso en el que son deflacionadas.

#### 4.2.6. Geformas Lacustres


De desarrollo muy limitado, de acuerdo a su génesis se las separa en dos grupos: Las vinculada con las áreas en las cuales se observa un drenaje obstruido y las que se localizan sobre la superficie de las coladas basálticas. Las primeras se producen cuando los arroyos que descienden desde las mesetas situadas en el norte del río Santa Cruz, no pueden conectarse con este curso fluvial por la existencia de un nivel de terrazas glacifluvial elevado que funciona como una represa local. En este caso las cuencas cerradas presentan un patrón elongado. Las del otro tipo son equidimensionales y probablemente se vinculen con las particularidades iniciales que la superficie de las coladas puede presentar, o ser de génesis posterior y asociarse a colapsos locales de la superficie de las coladas por la existencia de cavernas o túneles de lava locales.

### 4.3. Secciones estratigráficas de la roca de fundación

La estratigrafía de rocas bajo la proyectada presa Jorge Cepernic se compone exclusivamente de la Fm. Santa Cruz. No se identificó la Fm. 25 de mayo, incluso en el pozo más profundo (BI 01) que alcanzó una cota de 15,86 m. De acuerdo con esto se infiere que esta unidad debe encontrarse a cotas más bajas dado que la misma presenta carácter regional apareciendo a cotas próximas al nivel del mar sobre la costa.

En la región de la presa J.Cepernic, la Fm. Santa Cruz se encuentra aflorando en los acantilados y laderas abruptas sobre ambos márgenes del río Santa Cruz. En las zonas con menor relieve ésta se encuentra cubierta por depósitos fluviales cuaternarios.

A partir de los legajos de pozos y fotografías de testigos se reconocieron los tipos litológicos descritos en el informe Final NK (Tabla 4.1). No se reconocieron litologías diferentes que puedan generar nuevas interpretaciones paleoambientales. Para las descripciones detalladas de las litologías, geometrías y mineralogía de la Fm. Santa Cruz se remite al Informe Final NK (julio 2015).

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 58 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

**Tabla 4.1: Tipos litológicos descritos en el informe Final NK**

Fm. Santa Cruz	
Litologías	Procesos y ambientes
1. Areniscas gruesas laminadas	Relleno de canales fluviales con transporte de formas de lecho
2. Areniscas finas limosas	Depósitos de derrames en planicies fluviales
3. Limolitas tobáceas moteadas	Desbordes en la llanura de inundación afectados por pedogénesis, paleosuelos
4. Arcilitas tobáceas laminadas a bandeadas	Decantación en ambiente subácueos someros, lagunas con periódica desecación.
5. Tobas blanquecinas amarillentas de grano fino	Depósitos de caída de ceniza volcánica
6. Limo-arcilitas con láminas de areniscas finas brechadas	Desecación, contracción y ruptura, fragmentación frágil e inyección de arenas
7. Areniscas gruesas gradadas y mal seleccionadas grises	Depósitos de flujos densos hiperpícnicos
8. Alternancia de areniscas muy finas laminadas y pelitas	decantación de material fino en cuerpos de agua tranquilos (lacustres) intercalados con flujos hiperpícnicos

### 4.3.1. Correlación bajo la presa


Los criterios utilizados en las correlaciones propuestas para la presa JC se mantienen con respecto a la correlación de NK. A modo de recordatorio se detallan:

- La disposición espacial de las unidades y las estratofábricas a nivel regional y a nivel local en general permanecen horizontales a subhorizontales;
- En la totalidad de los pozos revisados no se han observado actitudes que se aparten grandemente de la horizontalidad y como consecuencia, se establecieron equivalencias entre cotas, espesores y litologías;
- El contacto entre la Fm. Santa Cruz y la cubierta cuaternaria se definió a partir del inicio de secciones con recuperación continua y sin evidencias de mezclas con materiales sueltos;
- Al igual que en NK existen próximos al contacto intervalos de “ruido” con cambios de colores producto de meteorización.
- Ante la gran proximidad de algunos registros y la superposición que esto genera en el diagrama de la Figura 4.6 hemos optado por no mostrar la totalidad de los pozos, sin embargo se tienen en cuenta para elaborar las conclusiones.
- Ante la ausencia de marcadores estratigráficos de relevancia (verdaderas capas guía) se optó como criterio de correlación utilizar depósitos asociados a eventos puntuales o serie de eventos (geológicamente significativos). Tal es el caso de los depósitos de tobas amarillentas (poco perturbadas) dentro de la Fm. Santa Cruz que constituyen las geometrías más tabulares y continuas del sistema a diferencia de la mayor parte de las areniscas que forman cuerpos de geometría fuertemente lenticular y espacialmente discontinuos.

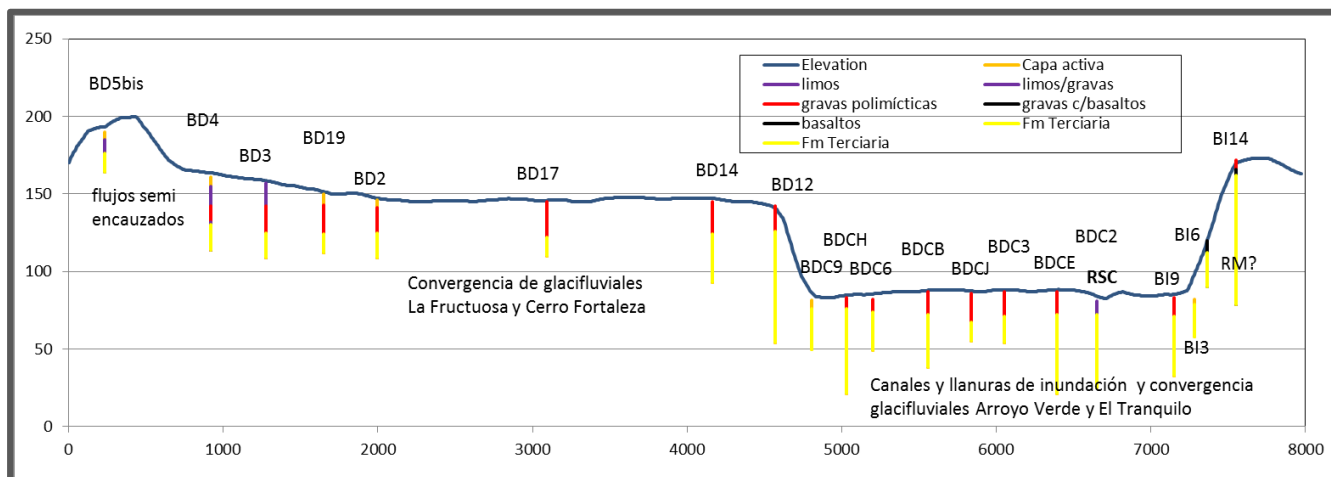
Considerando las interpretaciones generales alcanzadas para NK y los datos disponibles se realizaron, aparte de la correlación N-S, transectas transversales al eje de la presa con el objeto de poder chequear la hipótesis de una geometría de cuerpos cordoniformes dispuestos E-O (y en consecuencia, una paleopendiente general hacia el este).

#### 4.3.1.1. Correlación N-S

En esta correlación se utilizaron los pozos que se encontraban más próximos al eje de la presa proyectada (Figura 4.6). En ningún pozo de esta transecta se encontraron vestigios de la Fm. 25 de Mayo y de las coquinas (de bivalvos) que la caracterizan. Al igual que en el caso de NK (ver informe Final NK) se pueden diferenciar tres intervalos estratigráficos dentro de la Fm. Santa Cruz: a) basal, b) media y c) superior. La sección basal (aflorante desde la base del pozo más profundo a cota 15,86 m) posee escasas tobas y cuerpos de areniscas predominantemente tabulares de reducido espesor (inferior al metro) a excepción de una etapa canalizada ubicada aproximadamente a los 28 m de cota (en dos de los perfiles). La sección media se extiende entre cotas 56,50 y 130 m aproximadamente donde se concentra un alto número de intercalaciones de tobas y

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 59 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

se desarrollan canales lenticulares de areniscas grises con mayor frecuencia y envergadura (espesores de hasta 11 m en BI 07 y BD 12). La sección superior con escasez de tobas y canales de arena alcanza el tope de la sección aproximadamente ubicado a 175 m de cota. Vale indicar que en los pozos ubicados en el tramo central del valle entre BI 01 y BDC A (exceptuando el caso de BDC 01) no se detectaron niveles prominentes de tobas incluso dentro de la sección media, hecho que puede asociarse con una baja tasa de preservación. También se reconoció un único nivel perturbado en BDC H a cota 36 m posiblemente primario y sin connotaciones evidentes con tectonismo o de fallamiento. Este se encuentra localizado entre estratofábricas laminadas de posible origen lacustre. Estructuras similares fueron descriptas en el pozo PRK 01 de NK.



**Figura 4.6: Sección del valle del río Santa Cruz con la proyección de los sondeos realizados**

El análisis regional permite establecer similitudes con el análisis de afloramientos y de la correlación efectuada en NK sugiriendo un buzamiento regional de muy bajo ángulo de la estratigrafía hacia el este.

#### 4.3.1.2. Correlaciones O-E


Se efectuaron dos correlaciones transversales, una sobre la margen norte y otra sobre la margen sur (Figura 2-2 a y b respectivamente del [ANEXO 01](#)-Informe final de CICTERRA: DIAGRAMA DE CORRELACIÓN DE LAS UNIDADES DE ROCA EN SENTIDO E-W). De las dos, la de la margen norte resulta más significativa, permitiendo corroborar lo sostenido en el análisis de correlación N-S aunque la cantidad de datos es también limitada.

Nótese que el diagrama de correlación (Figura 2-1 del [ANEXO 01](#)-Informe final de CICTERRA: DIAGRAMA DE CORRELACIÓN DE LAS UNIDADES DE ROCA EN SENTIDO S-N) tiene una exageración vertical que magnifica las geometrías lenticulares y los relieves de los contactos. Esto se ha realizado con el objetivo de poder mostrar detalles internos. En la Figura 2-3 del [ANEXO 01](#)-Informe final de CICTERRA: DIAGRAMA DE CORRELACIÓN DE LAS UNIDADES DE ROCA EN SENTIDO N-S A ESCALA VERTICAL NATURAL, se muestra la correlación a escala 1:1 donde se puede observar la arquitectura tabular de la estratigrafía.

### 4.4. Conclusiones Generales


En razón de las disciplinas consideradas y los especialistas participantes en el estudio, el informe se separa en dos grandes secciones: 1) Geomorfología y morfoestratigrafía cuaternaria y 2) Estratigrafía y sedimentología de las unidades más antiguas. El informe concluye con un Capítulo de conclusiones y consideraciones finales relacionadas con problemáticas y diagnósticos generados a partir de una discusión final.



	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 60 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

#### 4.4.1. Geomorfología y morfoestratigrafía cuaternaria


- a. En el ámbito de la presa Jorge Cepernic se reconocieron y describieron en detalle unidades y subunidades morfoestratigráficas.
- b. Para facilitar la identificación de estas unidades y subunidades morfoestratigráficas se elaboró una cartografía específica y una memoria técnica que se compone de:
  - I. Un mapa Geológico a escala 1:20 000, el que cubre una superficie cuadrada de 10 km de lado.
  - II. Un mapa Geomorfológico a escala 1:20 000, el que cubre una superficie cuadrada de 10 km de lado.
  - III. Un capítulo dedicado a la descripción de la geología/morfoestratigrafía, acompañado de una serie de perfiles morfoestratigráficos que permiten vincular las diversas terrazas glaciales que están presentes en el valle del río Santa Cruz.
  - IV. Un capítulo dedicado a los procesos geomorfológicos que actuaron y aún actúan en el presente sector y la clasificación de unidades y subunidades geomorfológicas detectadas.
- c. Las unidades morfoestratigráficas de mayor importancia presentes en la zona relevada son las acumulaciones glaciales y las sedimentitas terciarias, y en forma secundaria las coladas volcánicas pertenecientes a los Basaltos Cóndor Cliff. Tanto la primera como la última apoyan sobre los sedimentos de la Fm. Santa Cruz según una relación discordante.
- d. Formando parte de las acumulaciones más modernas de edad holocena, se relevaron acumulaciones fluviales y las derivadas de movimientos de remoción en masa, y en forma subordinada, acumulaciones eólicas y lacustres.
- e. Las acumulaciones glaciales presentan la mayor superficie de exposición y aparecen como una serie de terrazas escalonadas a diferente altura. El estudio realizado permitió establecer que dentro del área de mapeo están presentes las terrazas glaciales de los niveles IV San Fernando, V La Fructuosa y VI Cerro Fortaleza, entre los más antiguos. Además se reconocieron los niveles de terrazas glaciales encauzados más bajos acumulados durante las glaciaciones Arroyo Verde (Nivel VII) y El Tranquilo I (Nivel VIII), cartografiados en forma indiferenciada y los depósitos de terraza El Tranquilo II (Nivel IX). La correlación de estas unidades con sus correspondientes niveles presentes en la zona del cierre Néstor Kirchner se logró mediante el relevamiento de perfiles realizados entre los dos cierres proyectados.
- f. En la zona de cierre de Jorge Cepernic también están presentes los Basaltos Cóndor Cliff aunque solamente se exponen en la margen norte del valle, localidad en la cual constituyen una extensa meseta volcánica recortada por los procesos glaciales, fluviales y de remoción en masa con posterioridad a su emplazamiento.
- g. Las sedimentitas terciarias están presentes en la mayoría de las pendientes, especialmente en las vinculadas con los estribos de la futura presa Jorge Cepernic. Sus particularidades son tratadas en el capítulo correspondiente.
- h. Las acumulaciones derivadas de movimientos de remoción en masa son de bajo desarrollo y en general se localizan sobre la margen norte del valle. En esta localidad se vinculan con movimientos de remoción en masa del tipo deslizamiento rotacional, expansión lateral local, caída de rocas y flujos de variada densidad. Estos últimos, que poseen granulometrías generalmente areno limosas, pueden observarse localmente sobre la margen sur del valle. Para el caso de la margen norte debe tenerse en cuenta que el área con movimientos gravitacionales involucra en parte la sección del cierre proyectado.
- i. El estudio realizado permite establecer el siguiente modelo geológico/morfoestratigráfico local. Luego de la sedimentación de la Fm. Santa Cruz sobrevino la instalación de un sistema fluvial que dio lugar a la erosión recurrente de esta unidad. Cada uno de los niveles de terrazas glaciales relevados fue labrado sobre las sedimentitas terciarias por procesos de planación lateral con tendencia a la depositación vertical de arenas y gravas. Estos depósitos se vinculan en su mayor parte con la acción del agua de ablación de glaciaciones situadas en la cuenca superior del valle, que dieron lugar a ríos del tipo multicanal con elevado caudal y sobrecargados. Por su parte, cada resalto entre terrazas representa periodos interglaciales, en los cuales el río presentaba poca carga, alto poder de erosión vertical y un solo canal. Los procesos fluviales de mayor juventud que ocurrieron en tiempos post

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 61 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900


glaciaros del holoceno, dieron lugar a locales acumulaciones de remoción en masa por la desestabilización de pendientes, acumulaciones eólicas y lacustres.

#### 4.4.2. Estratigrafía y sedimentología de las unidades más antiguas

- a. En la estratigrafía bajo la presa JC no se detectó la presencia de la Fm. 25 de mayo, estando el 100% de la columna de roca representada por la Fm. Santa Cruz.
- b. La Fm. Santa Cruz constituye un paquete de rocas estratiforme, dispuesto horizontalmente e internamente bien estratificado y con composiciones, colores y litotipos variados, con extremos silicoclásticos representados por areniscas líticas grises gruesas a medianas y otros de origen volcánico, representados por tobas amarillento-blancas (depósitos de caída). Productos de reciclado,
- c. Retrabajo (areniscas y limolitas tobáceas) y mezclas pedogenéticas (paleosuelos) son muy frecuentes y constituyen el grueso de las litologías restantes.
- d. Desde un punto de vista paleoambiental la Fm. Santa Cruz representa un registro fluvial conteniendo una relación de arenisca/pelita muy baja (<1:10) y una abundancia de depósitos de llanuras fluviales con predominio de materiales finos asociados con procesos de desborde y decantación en planicies anegadas (parcialmente lacustres), vegetadas y palustres. Esto registra condiciones primarias de cierta humedad compatibles con climas húmedos a subhúmedos muy diferentes de los actuales para la región. Esto es compatible con la evidencia paleontológica de dicha unidad y la escasez de registros de calcretes. Las condiciones climáticas y de saturación habrían actuado durante la diagénesis temprana para transformar los niveles de tobas en arcillas esmectíticas e impedir la oxidación temprana y la coloración rojiza de la unidad.
- e. Las intercalaciones de tobas representan episodios de magnitud regional asociados con la actividad magmática en la adyacente cordillera. La alteración de tobas y limolitas tobáceas ha dado lugar a niveles arcillosos, donde predominan arcillas expansibles, que actuarían como barreras de impermeabilidad.
- f. Los niveles de areniscas gruesas grises con estructuras mecánicas bien preservadas (laminaciones primarias) y con menor cementación (pobre recuperación) constituyen intervalos permeables que canalizan acuíferos en la región y potencialmente pueden contribuir como "puntos de fuga" a tener, especialmente, en cuenta durante los programas de impermeabilización. En el sector de la presa JC se identificó una alta frecuencia de cuerpos arenosos lenticulares de gran espesor en la sección media entre cotas 56,50 y 130 m aproximadamente.
- g. Son válidas las conclusiones alcanzadas en el análisis de arquitecturas dentro del Informe NK en relación con las geometrías dominantes de cuerpos de arena de la Fm. Santa Cruz. De acuerdo con esto, en la correlación efectuada en las secciones basales y cuspidales dominan geometrías intermedias a tabulares mientras que en la sección media son prominentes los cuerpos con geometría lenticular (en sección N-S y cordoniformes en sentido E-O). Asimismo, dentro del intervalo medio, las tobas constituyen un elemento distintivo de geometría tabular. La falta de continuidad de estas últimas obedece a procesos erosivos (e.g. eliminación por erosión y migración de canales).
- h. Considerando las geometrías de cuerpos de arena predominantemente cordoniformes en sentido E-O (especialmente en el intervalo medio) debe especialmente tenerse en cuenta este aspecto al realizarse correlaciones y al momento de efectuar consideraciones geotécnicas.
- i. La correlación bajo la tapada, al igual que en el caso de NK, permite diferenciar dentro de la Fm. Santa Cruz tres secciones: a) una sección basal con escasas tobas y cuerpos de areniscas predominantemente tabulares de reducido espesor (inferior al metro) a partir de los 15,8 m de cota; b) una sección media entre cotas 56,50 y 130 m donde se concentran un alto número de intercalaciones de tobas y canales lenticulares de areniscas grises con mayor espesor (alcanzando 11m) y c) una sección superior con escasez de tobas y canales de arena hasta los 175 m de cota aproximadamente.
- j. La estratificación horizontal y continuidad lateral permiten interpretar condiciones de estabilidad del macizo durante el cuaternario, época en la que sólo se suceden incisiones y aterrazamientos asociados con cambios relativos del nivel de base; esto es, cambios en la historia de los caudales y de las fluctuaciones eustáticas originadas como consecuencia de las fluctuaciones climáticas cuaternarias.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 62 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

- k. La correlación regional permite interpretar una suave inclinación de carácter regional (de aproximadamente 1°-2° hacia el este) constatada por la ausencia de la Fm. 25 de Mayo (presente en NK a cotas de aproximadamente de 50 m) que aflora a esta latitud a nivel del mar en la región costera. Esto puede atribuirse a efectos de acomodación diferencial con respecto al basamento rígido infrayacente o bazculamiento o flexión de magnitud regional.
- l. Desde un punto de vista geomecánico la marcada estratificación le imprime una fuerte anisotropía al macizo que no parece haber sido perturbado por tectonismo o estructuraciones posteriores. Los fenómenos de brechamiento, pseudobrechamiento y deformación localizada observados en algunos intervalos saltuarios de testigos estarían relacionada con procesos primarios o tempranos y desvinculados con procesos de deslizamientos o fallamientos recientes.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 63 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

## 5. ESTUDIOS DE LA PELIGROSIDAD SÍSMICA, VULCANISMO Y OLA SÍSMICA

### 5.1. Peligrosidad sísmica

El objetivo del análisis de peligrosidad sísmica es determinar el máximo terremoto que puede afectar a las presas durante su vida operativa o el máximo terremoto en los emplazamientos en un período de tiempo determinado. El conocimiento de la sismicidad de la región donde se quiere predecir el movimiento, es el primer paso a seguir en todo estudio de peligrosidad. Para ello se tienen en cuenta las características geológicas, tectónicas y sismológicas de las distintas regiones sismotectónicas que resultan abarcadas por el área de análisis y las características de los eventos sísmicos sucedidos desde tiempos históricos, así como su potencial sismogénico. Para mayores detalles se puede consultar el informe de peligrosidad sísmica y volcánica: GE-A.CV-ES.RS-(00-00-00)-P001 en cuyos anexos se encuentran un informe de la geología tectónica de la región y otro respecto al análisis de la actividad volcánica de que puede afectar la zona de emplazamiento. Todos estos informes fueron realizados por la Universidad Nacional de Córdoba.

#### 5.1.1. Definición de las fuentes sismogénicas

La sismicidad debe ser relacionada con la tectónica de la zona con el fin de identificar las fallas activas de la región y las zonas sismogénicas, de potencial sísmico uniforme; así como los máximos sismos potenciales asociados a ellas y las leyes de recurrencia que gobiernan la sismicidad. Estos datos caracterizarán el término “fuente” y serán una información de partida en toda evaluación de peligrosidad.

En primer lugar ubicamos los emplazamientos según las regiones propuestas por *Flinn-Engdahl* que son una división de la tierra en zonas sísmicas. El área de estudio corresponde a la gran región sísmica 9, Extremo de Sudamérica, con las siguientes regiones:

- 143: Frente a las costas del sur de Chile
- 144: Sur de Chile
- 145: Región fronteriza entre Chile-Argentina
- 146: Sur de Argentina

También participa, en menor medida la gran región sísmica 10, Sur de Antillas, con la región 147: Tierra del Fuego. Ver Figura 5.1.

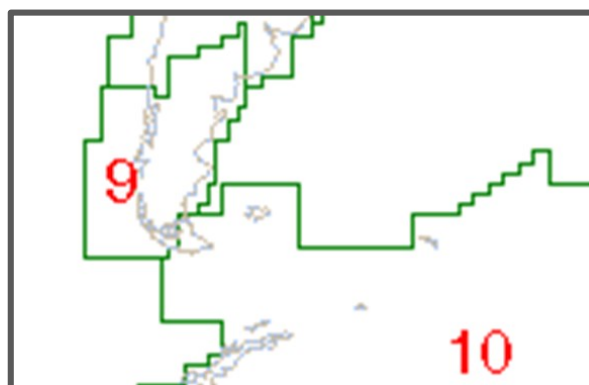



Figura 5.1: Regionalización sísmica de Flinn-Engdahl

En segundo lugar, a partir de la regionalización sísmica de Flinn y Engdahl actualizada en función de las regiones definidas tectónicamente, se determinaron las siguientes fuentes sismogénicas (Ver Figura 5.2)

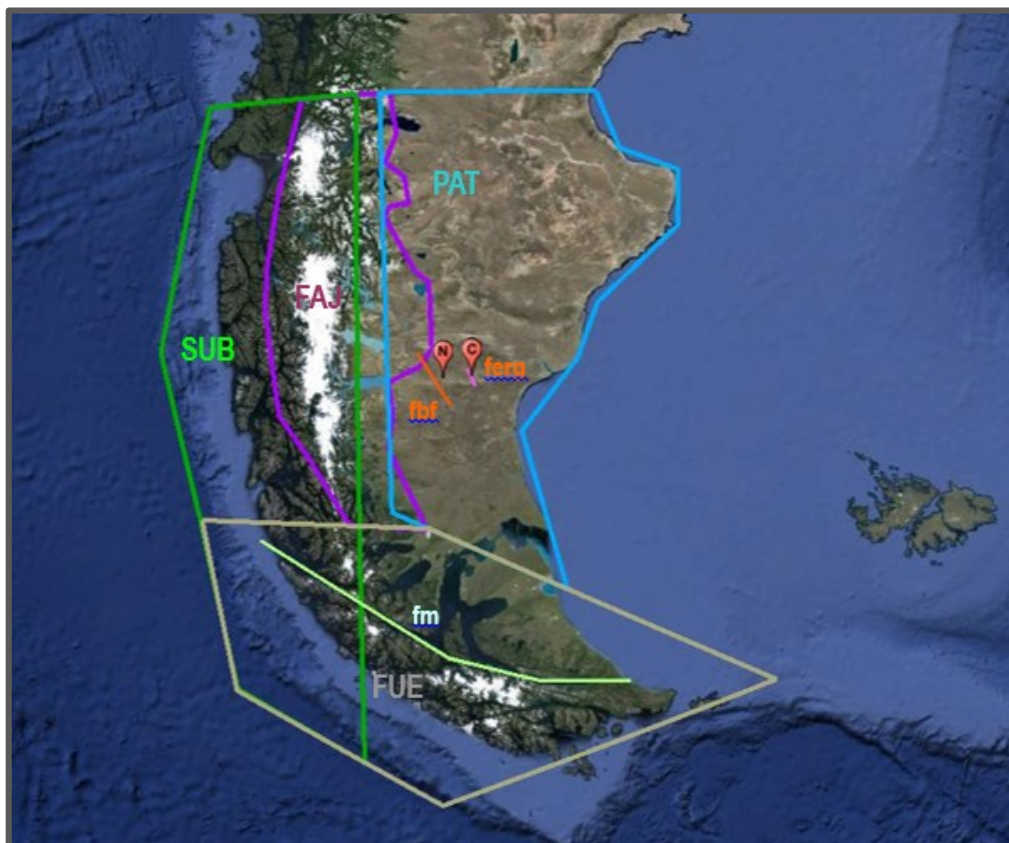
- Patagonia extrandina (PAT) (Subhorizontal, Prof. Promedio 20 km.)
- Faja corrida y plegada de Argentina y Chile (FAJ) (Subhorizontal, Prof. Promedio 5 km.)
- Borde de subducción chileno (SUB) (Inclinado 30°. Prof. Promedio de 10 a 35 km.)
- Tierra del Fuego (FUE) (Subhorizontal. Prof. Promedio 5 km.)

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 64 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

También se consideraron en forma particular, fallas que pueden tener actividad sísmica:

- Falla Bajada Fortaleza (fbf) (100 km) a 12 km aguas arriba de sitio NK.
- Falla Rincón Grande (ferg) (60 km) a 3 km aguas arriba del sitio JC.
- Falla Magallanes (fm), límite entre la placa sudamericana y de Scotia.

La fuente sismogénica más importante es la falla Magallanes que constituye el límite entre la Placa Sudamericana y la Placa de Scotia. Es una falla de rumbo dextral a lo largo de la cual se acumulan deformaciones debido al movimiento relativo entre las dos placas que es de unos 2 cm/año.



**Figura 5.2: Ubicación de fuentes sismogénicas.** PAT: Patagonia extraandina. FAJ: Faja corrida y plegada de Argentina y Chile. SUB: Borde de subducción chileno. FUE: Tierra del Fuego. fbf: Falla Bajada Fortaleza. ferg: Falla Rincón Grande. fm: Falla Magallanes

### 5.1.2. Actividad de las fuentes. Recurrencia

Para el cálculo de la peligrosidad se utilizó el método probabilístico que considera los efectos de todos los terremotos que pueden afectar al emplazamiento teniendo en cuenta las leyes de recurrencia de los mismos.


A partir del análisis de sismicidad se estima la relación entre el número de terremotos  $N$  y su magnitud  $M$ , según la relación de *Gutenberg y Richter*:

$$\log N = a - bM \quad (1)$$

$a$  y  $b$  son coeficientes de regresión obtenidos por el método de mínimos cuadrados en donde  $a$  representa el nivel de sismicidad en la región considerada y  $b$  la relación entre el número de terremotos pequeños con respecto a los grandes;  $N$  es el número de terremotos de magnitud igual o superior a  $M$ .

Como se puede ver en la ecuación 1, el número de terremotos en una región disminuye de forma exponencial con sus magnitudes.

Luego de realizar los cálculos, los resultados fueron los de la Tabla 5.1.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 65 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

**Tabla 5.1: Relación de recurrencia para las distintas fuentes**

Fuente sismogénica	Valores de regresión		M <sub>0</sub>	M <sub>max</sub>
	a	b		
PAT: Patagonia extrandina	0,4380	0,3979	4	6,5
FAJ: Faja corrida y plegada (borde argentino-chileno)	5,211	1,176	4	7,5
SUB: Borde de subducción chileno	5,4835	1,0413	4	8,5
FUE: Tierra del Fuego	3,3167	0,7781	4	8,5

### 5.1.3. Efecto de los sismos en el emplazamiento. Leyes de atenuación

Las leyes de atenuación varían según se trate de zonas de subducción, zonas con actividad cortical y zonas continentales estables. Al no contar con leyes derivadas regionalmente, se analizaron distintos tipos de GMPE (*ground motion prediction estimator*) o relaciones de atenuación, para cada tipo de fuentes. Una forma de resolver esta incertidumbre epistémica es la ejecución de combinaciones de varias de las GMPE, con ponderaciones diferenciadas. Otra alternativa es comparar resultados de distintas combinaciones de GMPE, lo que lleva a realizar numerosas corridas. Esto se realizó ejecutando alrededor de 50 corridas. Finalmente, se adoptó la que se consideró como más probable y más conservativa. ([ANEXO 04: "PELIGROSIDAD SÍSMICA Y VULCANISMO"](#)). Las GMPE que se definieron fueron:

- Zona de Subducción chilena y Tierra del Fuego: BCHydro2012
- Zona plegada y corrida: Abrahamson and Silva 1997
- Zona Patagonica extrandina: Atkinson and Boore 2006
- Fallas: Abrahamson and Silva 1997

### 5.1.4. Estimación de la peligrosidad

La estimación de la peligrosidad total se obtiene a partir de la suma de las probabilidades obtenidas por acción de todas las zonas que influyen en el emplazamiento. Para ello se adopta el modelo Poisson según el cual cada terremoto ocurre de manera aleatoria, independientemente del tiempo y cada suceso es independiente de los restantes y no tiene influencia sobre ellos ni condiciona su distribución.

En el **método probabilista** los resultados se expresan como la **probabilidad anual de excedencia** de diferentes niveles de intensidad o aceleración del suelo en un período de tiempo determinado y en cada fuente sismogénica.

La **probabilidad anual de excedencia** equivale a la inversa del período de retorno. El período de retorno es el intervalo de tiempo en años en el que, con una probabilidad, se producirá el sismo asociado.

En los proyectos del río Santa Cruz se ha previsto la definición de sismos probabilísticamente de acuerdo con los siguientes períodos de retorno.

- TR 144: 50% de probabilidad de superación en 100 años (período de retorno de 144 años),
- TR 475: 19% de probabilidad de superación en 100 años (período de retorno de 475 años),
- TR 1 950: 5% de probabilidad de superación en 100 años (período de retorno de 1 950 años),
- TR 4 950: 2% de probabilidad de superación en 100 años (período de retorno de 4 950 años),
- TR 9 950: 1% de probabilidad de superación en 100 años (período de retorno de 9 950 años).

A su vez, para las verificaciones se requiere definir varios tipos de sismos (ICOLD 2010):

- **Sismo de Verificación o Sismo Máximo Creíble (SMC):** definido como el terremoto Máximo Creíble debido a fallas conocidas o a provincias tectónicas específicas, en base a criterios deterministas o probabilísticos. El tiempo de retorno se estima de 10 000 a 35 000 años.
- **Sismo Básico de Operación (SBO):** definido como aquel que produce un nivel de excitación tal que posee una probabilidad de excedencia del 50% en 100 años. Este terremoto representa un evento que tanto la presa como sus obras complementarias deben soportar sin mayores daños.

- **Sismo Inducido por el embalse:** algunas presas con más de 100 m de altura pueden generar deformaciones en el área de embalse, capaces de inducir sismos en fallas próximas al mismo. Este caso está descartado en el análisis.

Los sismos 1) y 5) corresponden al SBO y el SMC de *ICOLD*.

Los resultados del análisis probabilístico están graficados en la Figura 5.3. En la misma se presenta las probabilidades correspondientes a los sitios de las presas. Como referencia, se han colocado los valores que corresponden a El Calafate, situado al borde de una zona de mayor sismicidad (Faja Plegada y corrida).

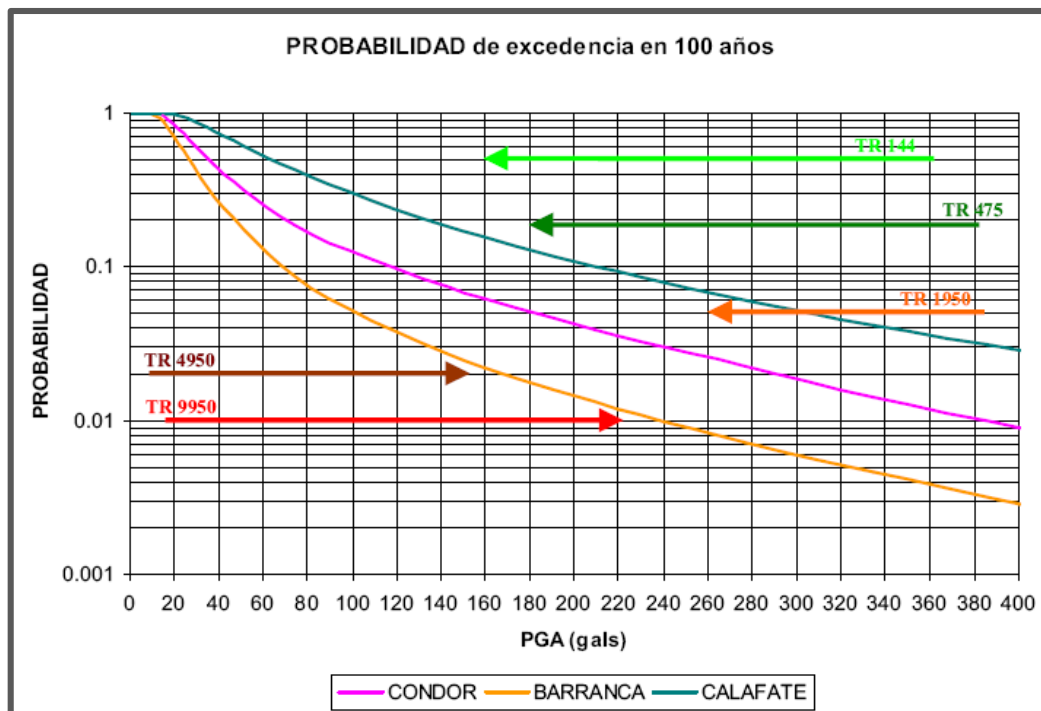


Figura 5.3: Resultados del cálculo de probabilidades. CONDOR: sitio de la presa N. Kirchner. BARRANCA: sitio de la presa J. Cepernic. CALAFATE: El Calafate

La peligrosidad puede expresarse como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de determinada intensidad en un lapso de tiempo dado, pero también se puede expresar a partir del período de retorno TR. En cuanto a la zona de emplazamiento de las presas, se puede deducir de la Figura 5.3, que existe una probabilidad del 1% de que, en un período de 100 años, ocurra un sismo de una magnitud de 0,244 g para la presa J. Cepernic. Expresado en período de retorno, cada 9 950 años, puede ocurrir un sismo de 0,244 g o mayor para la presa J. Cepernic.

Se han señalado los valores de *PGA* (aceleración máxima del terreno) correspondientes a los períodos de recurrencia definidos previamente. Los valores correspondientes se expresan en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2: Resultados del análisis probabilístico para la presa J. Cepernic

Sismo	Presal J. Cepernic	
	En gals	En g
TR 144	26	0.027
TR 475	48	0.049
TR 1 950	101	0.103
TR 4 950	168	0.171
TR 9 950	239	0.244

### 5.1.5. Formulación de espectros de riesgo uniforme (UHS)

Cuando se dispone de las curvas de probabilidad para distintos contenidos de frecuencia es posible calcular los Espectros de Riesgo Uniforme, UHS, (Abrahamson 2000). Esto fue realizado para los distintos eventos de cada sitio.

La Figura 5.4 muestra los espectros uniformes horizontales para el sitio de la presa de J. Cepernic para un amortiguamiento del 5%.

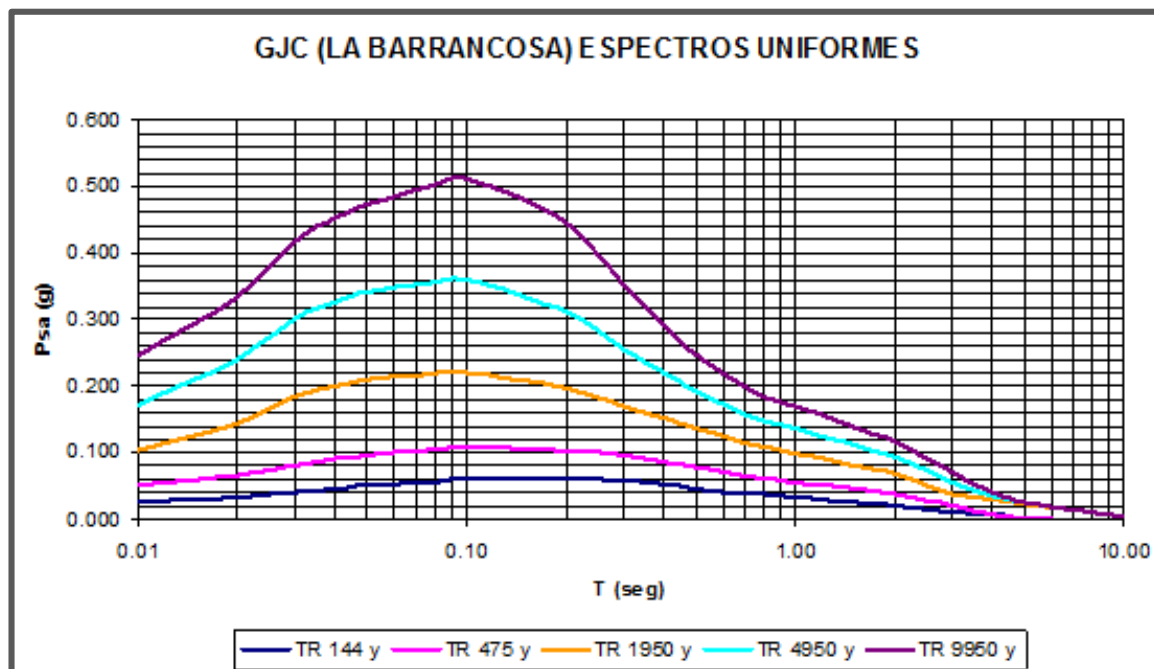


Figura 5.4: Espectros Uniformes horizontales para el sitio de GJC para un amortiguamiento del 5%

### 5.1.6. Obtención del acelerograma de diseño

Para la obtención del acelerograma de diseño se empleó la técnica de desagregación de la peligrosidad.

La desagregación es un proceso que permite observar la influencia de las magnitudes y las distancias que tienen las distintas fuentes en el cálculo de probabilidades (Bazzurro and Cornell, 1999).

Sirve para identificar las combinaciones de magnitudes y distancias que producen la mayor contribución a la peligrosidad de un sitio y por ello definir con mejor precisión los espectros de respuesta y acelerogramas asociados a un nivel de peligrosidad dado.

En la Figura 5.5, la desagregación señala la influencia de las distancias y de la magnitud en la definición de la peligrosidad correspondiente al sismo con TR 9 950 que es el sismo máximo de verificación (TS). En el [ANEXO 04](#)-Peligrosidad sísmica y vulcanismo, se pueden ver las desagregaciones correspondientes a los otros sismos para cada sitio dentro del informe.

Con los espectros definidos para cada uno de los cinco escenarios planteados (TR144, TR475, TR1950, TR4950 y TR9950), se seleccionaron de 3 a 7 acelerogramas compatibles con los mismos, para cada sitio y para cada escenario. En forma adicional, se ha modificado un acelerograma de cada sitio de manera de ajustarlo con mayor precisión a los espectros calculados.



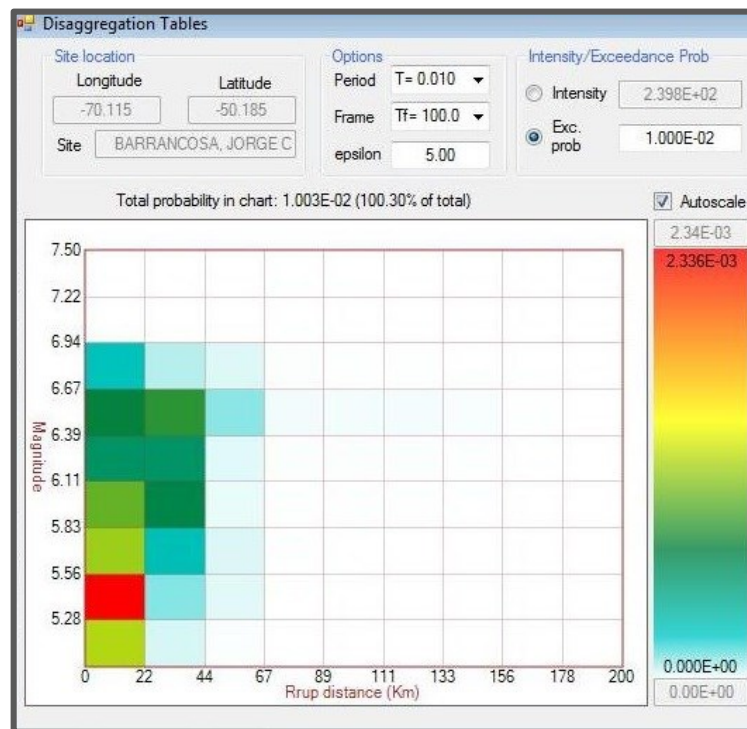


Figura 5.5: Desagregaciones en distancias a la fuente y magnitudes para TR 9950

### 5.1.7. Componentes horizontales del acelerograma

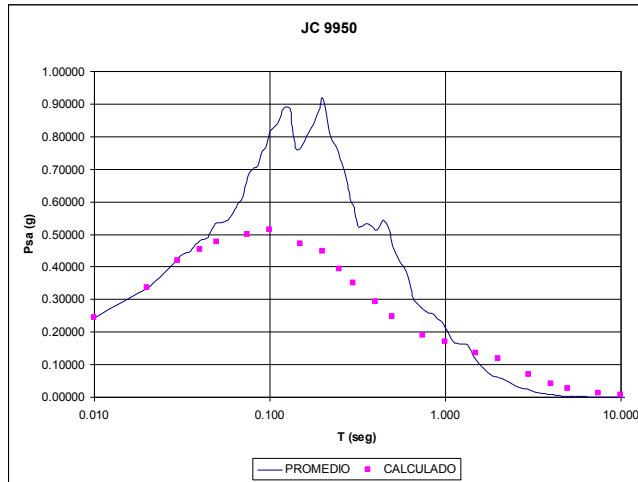
Las distancias a las fuentes y magnitudes que se analizaron dependieron de los gráficos de desagregaciones.

En el proceso, se buscaron también ajustes para promedios de cuatro y tres acelerogramas.

En la Figura 5.6 se han graficado los espectros de la presa J. Cepernic para un período de retorno de 9 950 años y los acelerogramas cuyos promedios tienden a ajustarse a los mismos. En el [ANEXO 04](#): "Peligrosidad sísmica y vulcanismo", se presentan las características de los acelerogramas seleccionados.

Para cada sitio y escenario, se han modificado un acelerograma de manera que ajuste con mayor precisión a los espectros calculados. Los mismos se encuentran en el [ANEXO 04](#): "Peligrosidad sísmica y vulcanismo".

**COMBINACION DE 7 COMPONENTES**

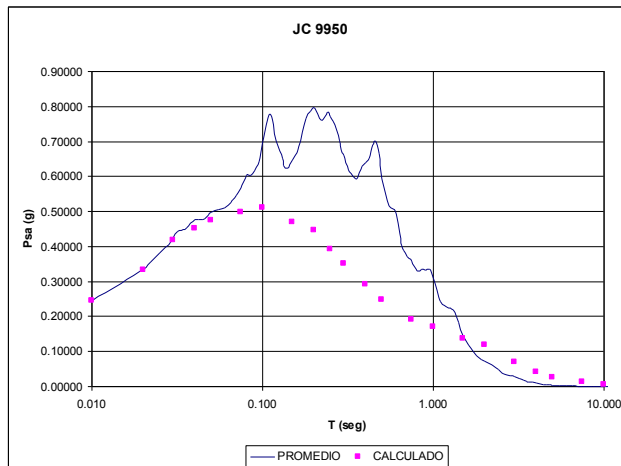


**GJC TR 9950 años (PGA:0.244 g)**

Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN-748 H-2	RSN-793 H-1	RSN-793 H-2	RSN-797 H-1	RSN-797 H-2	RSN-4852 H2	RSN-5820 H2
----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

**COMBINACION DE 4 COMPONENTES**

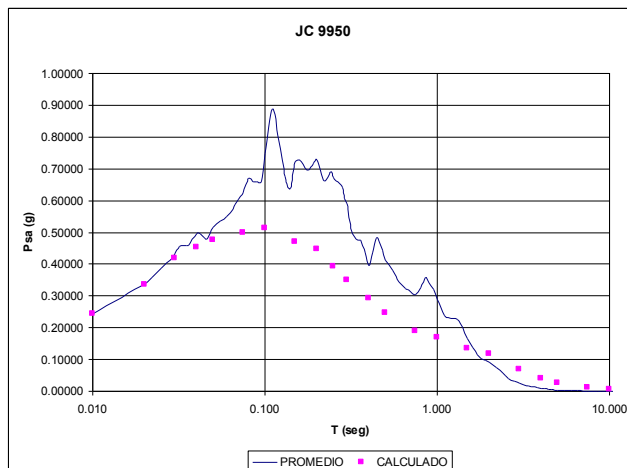


**GJC TR 9950 años (PGA:0.244 g)**

Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN-748 H-2	RSN-793 H-1	RSN-793 H-2	RSN-797 H-1
----------------	----------------	----------------	----------------

**COMBINACION DE 3 COMPONENTES**

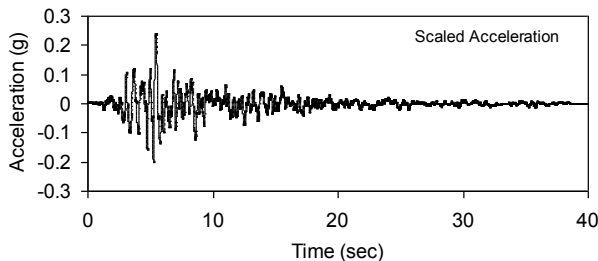


**GJC TR 9950 años (PGA:0.244 g)**

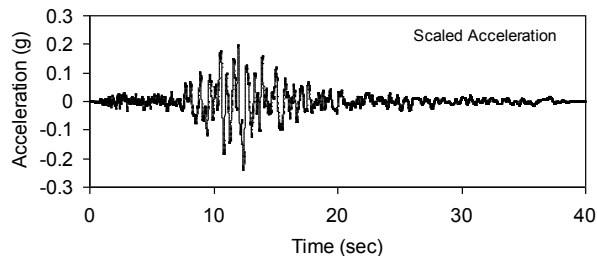
Acelerogramas cuyos espectros participan en el promedio

RSN-793 H-2	RSN-797 H-1	RSN-797 H-2
----------------	----------------	----------------

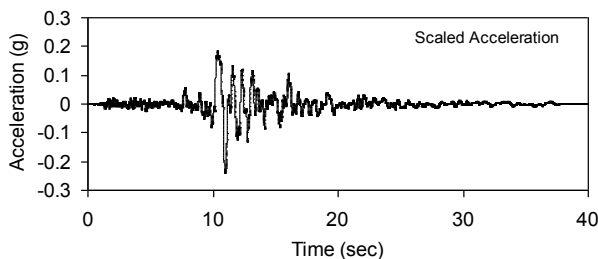
RSN-748 H-2: Loma Prieta (1989) Belmont. M =6.93



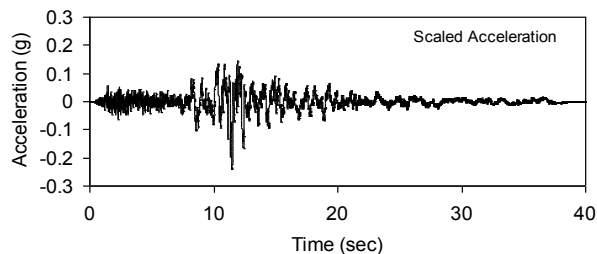
RSN-793 H-1: Loma Prieta (1989) SF Cliff H. M=6.93



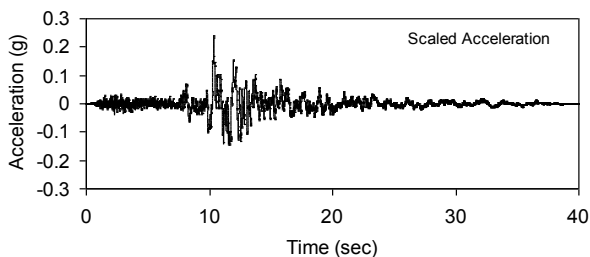
RSN-793 H-2: Loma Prieta (1989) SF Cliff H. M=6.93



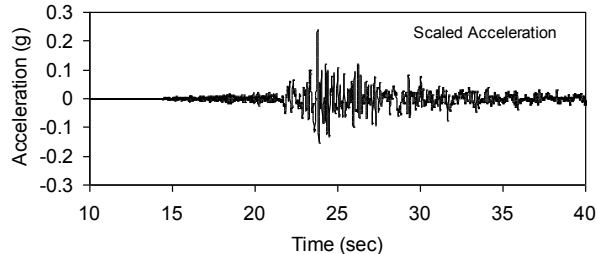
RSN-797 H-1: Loma Prieta (1989) SF.Rincón.M=6.93



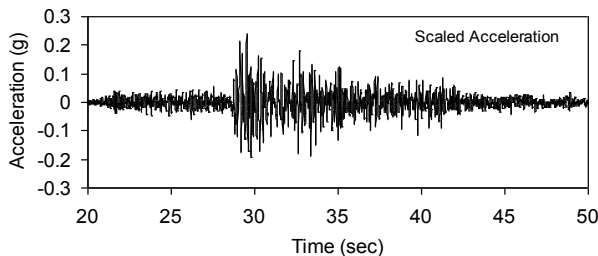
RSN-797 H-2: Loma Prieta (1989) SF.Rincón. M=6.93



RSN-4852 H2: Chuetsu-oki (2007) Joetsu. M =6.8



RSN-5820 H2: Iwate (2008) Okura. M =6.9



GJC TR 9950 años (PGA:0.244 g)

Figura 5.6: Acelerogramas para la presa J. Cepernic

### 5.1.8. Componentes verticales

La relación entre las componentes verticales y las horizontales de los acelerogramas seleccionados se encuentran en el [ANEXO 04](#): "Peligrosidad sísmica y vulcanismo".

Los valores promedios de la relación para cada escenario se presentan en la Tabla 5.3: Relación entre los componentes verticales y horizontales.

**Tabla 5.3: Relación entre los componentes verticales y horizontales**

Tiempo de retorno	Presa J. Cepernic
TR144	0,47
TR475	0,71
TR1950	0,57
TR4950	0,67
TR9950	0,45

El rango de valores de la relación se encuentra entre 0,5 y 0,75 aproximadamente. Se deberán usar los que correspondan a cada sismo en particular, manteniendo la relación cuando las componentes horizontales sean escaladas.

## 5.2. Vulcanismo (síntesis del Anexo 2)

### 5.2.1. Localización de volcanes

La zona de influencia de las obras tiene algunos volcanes pertenecientes a la AVZ Austral Volcanic Zone que es un segmento de arco volcánico que corre por unos 800 kilóm y que surge de la subducción de la Placa Antártica con el continente de América del Sur por un lado (desde aproximadamente los 49°S hasta los 53°S) y de la microplaca de Scotia por el otro (desde aproximadamente los 53°S a los 55°S. Hay coincidencia que en este segmento hay seis centros volcánicos (Lautaro, Viedma, Aguilera, Réclus, Monte Burney y Volcán Fuego) y un campo volcánico (Pali Aike) que han estado activos durante el Cuaternario tardío (Figura 5.7).

Es de destacar el Viedma por pertenecer a la cuenca del Atlántico, mientras que el resto de los cordilleros, pertenecen a la cuenca del Pacífico.

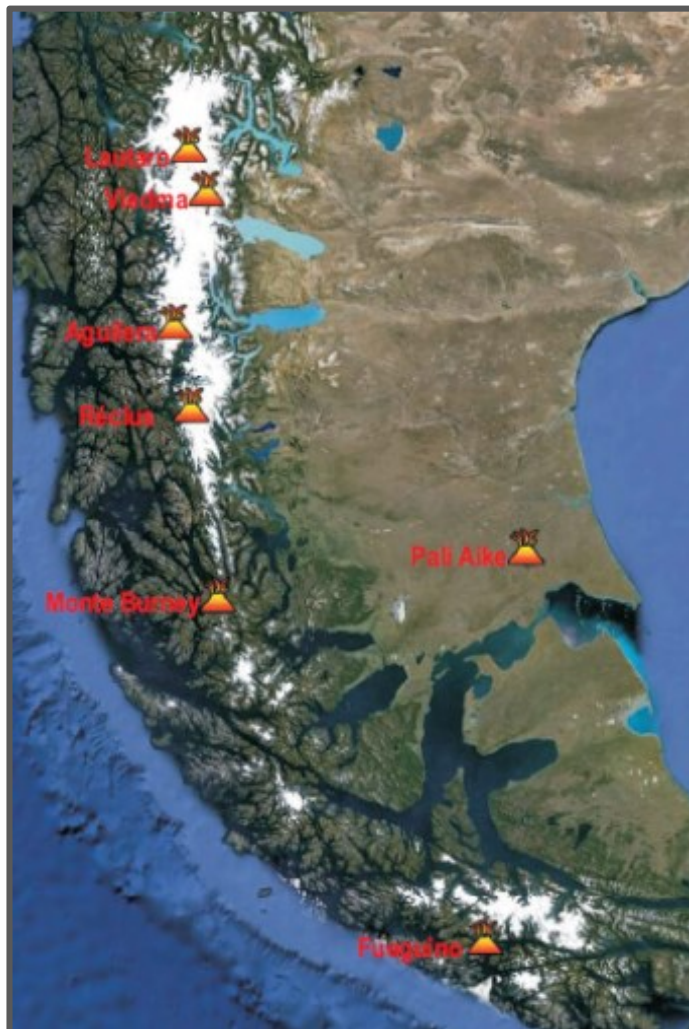


Figura 5.7: Ubicación de volcanes activos en la zona de influencia de las presas.


## 5.2.2. Definición del tipo y fenómenos volcánicos

### 5.2.2.1. Índice de Explosividad Volcánica (VEI)

Una medida del tamaño de las erupciones que combina algunos de los parámetros anteriores (dependiente de la disponibilidad de información), es el Índice de Explosividad Volcánica, -VEI- (Newhall, C. y Self, S. 1982). Las erupciones históricas tienen asignado un número del 0 al 8. Los números del VEI corresponden a las características expresadas en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4: Parámetros que definen el Índice de Explosividad volcánica

VEI	Descripción	Volumen eyectado	Altura columna	Clasificación	Invade Tropósfera	Invade Estratósfera
0	No explosiva	>1.000 m <sup>3</sup>	<100 m	Hawaiano	Despreciable	No
1	Pequeña	>10.000 m <sup>3</sup>	100 – 1000 m	Hawaiano/Stromboliano	Menor	No
2	Moderada	>1.000.000 m <sup>3</sup>	1 – 5 Km	Stromboliano/ Vulcaniano	Moderada	No
3	Moderada (+)	>10.000.000 m <sup>3</sup>	3 -15 Km	Vulcaniano	Significativa	Posible
4	Grande	>0,1K m <sup>3</sup>	10 – 25 Km	Vulcaniano/Pliniano	Significativa	Frecuente
5	Muy grande	>1 Km <sup>3</sup>	> 25 Km	Pliniano	Significativa	Significativa
6	Muy grande	>10 Km <sup>3</sup>	> 25 Km	Pliniano/Ultraplino	Significativa	Significativa
7	Muy grande	>100 Km <sup>3</sup>	> 25 Km	Ultraplino	Significativa	Significativa
8	Muy grande	>1000 Km <sup>3</sup>	> 25 Km	Ultraplino	Significativa	Significativa

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 73 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

La descripción de la actividad de los volcanes del área de influencia esté descriptas en el Anexo correspondiente y sintetizada en la Tabla 5.5.

**Tabla 5.5: Registro de los volcanes del AVZ**

Volcán	País	Estructura	Latitud S	Longitud W	Altura mts	Actividad	Certeza	Evidencia	VEI
<b>LAUTARO</b> (dacita)	Chile	Estratovolcán	49,02°	73,55°	3607	08/03/1979	Confirmada	O. Históricas	2?
						Jun 1978	Confirmada	O. Históricas	No informado
						1972	Confirmada	O. Históricas	No informado
						Oct 1961	Confirmada	Desconocida	2
						28/12/1959	Confirmada	O. Históricas	2
						15/01/1945	Confirmada	O. Históricas	1
						Feb 1933	Confirmada	O. Históricas	2
						1879	Confirmada, solo se detectó cenizas en la atmósfera	Visualización entre los lagos S. Martín y Viedma.	No informado
						Ene 1878	No confirmada	Desconocida	1
						Oct 1876	Confirmada	O. Históricas	2
<b>VIEDMA</b> (dacita)	Argentina	Subglaciar	49,35°	73,28°	1500	15/11/1988	Confirmada	O. Históricas	No informado
<b>AGUILERA</b> (dacita)	Chile	Estratovolcán	50,33°	73,75°	2546	1250 AC	Confirmada	Radiocarbono	5 (A1)>4Km <sup>3</sup>
						2610 AC	Confirmada	Radiocarbono	No informado
<b>RECLUS</b> (dacita)	Chile	Cono piroclástico	50,96°	73,58°	1000	1908	Confirmada	O. Históricas	1
						1879	Confirmada	O. Históricas	2
						1869	Confirmada	O. Históricas	2
						1830 AC	Confirmada	Tefrocronología	No informado
						hace 1000 a 2000 años	Confirmada	Radiocarbono	No informado
						Hace 12552 ±33	Confirmada	Radiocarbono	6 (R1)>5Km <sup>3</sup>
<b>MONTE BURNEY</b>	Chile	Estratovolcán	52,33°	73,40°	1758	Mar 1910	Confirmada	O. Históricas	2
						90 AC	Confirmada	Radiocarbono	No informado
						800 AC	Confirmada	Radiocarbono	No informado
(dacita)						2320 AC	Confirmada	Radiocarbono	5 (MB2)>1Km <sup>3</sup>
						3740 AC	Confirmada	Radiocarbono	No informado
						7390 AC	Confirmada	Tefrocronología	No informado
(dacita)						7450 AC	Confirmada	Radiocarbono	5 (MB1)>1Km <sup>3</sup>
<b>FUEGUINO</b>	Chile	Domo de lava	54,95°	70,25°	150	25/11/1820	Confirmada	O. Históricas	2
(dacita – andesita)						26/11/1712	No confirmada	Desconocida	No informado
<b>PALI AIKE</b> (B. Alcalino)	Chile/Arg	Conos piroclásticos	52,08°	69,69°	282	5550 AC	Confirmada	Antropológica	No informado

En la AVZ, hay tres volcanes muy bien estudiados desde lo tefrocronológico y desde la integración isopáquica de los depósitos piroclásticos, ellos son el A1 (Volcán Aguilera), el R1 (Volcán Réclus) y los MB1 – MB2 (Volcán Monte Burney).

### 5.2.3. Riesgos asociados a las características de erupciones

Las distancias entre las obras y los volcanes son significativas, tal como se señala en la Figura 5.8. Esto hace que las amenazas de origen volcánico estén relacionadas con el transporte, el viento y el agua.

Las amenazas vigentes en el área se pueden dividir en dos acciones, depósito de productos volcánicos, esencialmente cenizas y fusión de hielo por un evento volcánico.

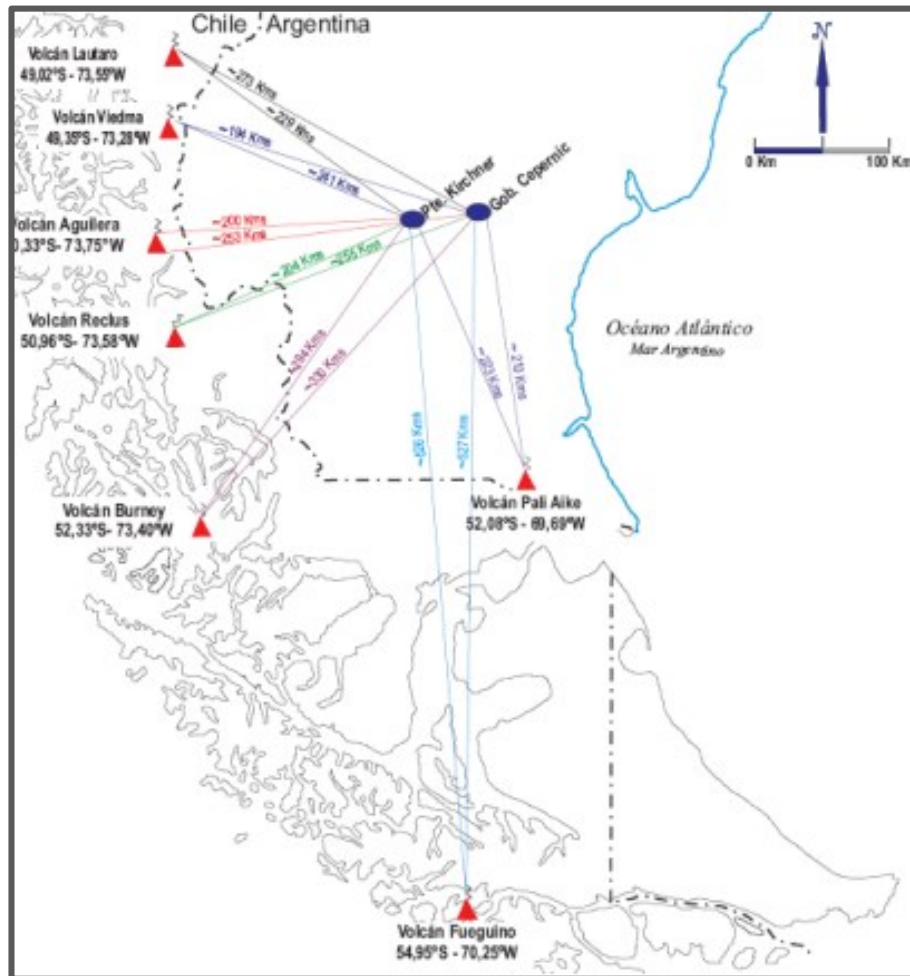


Figura 5.8: Distancia de las presas NK y JC a los volcanes activos más importantes.

### 5.2.3.1. Depósito de cenizas

#### Vientos predominantes

Las direcciones dominantes en el área de influencia son del W y el WSW, lo cual indica una dirección claramente preferencial desde ese cuadrante. Analizado estacionalmente, la dirección O predomina durante el otoño e invierno, mientras que la WSW lo hace durante el verano, y en la primavera tienden ambas a equilibrarse (Figura 5.9).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 75 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

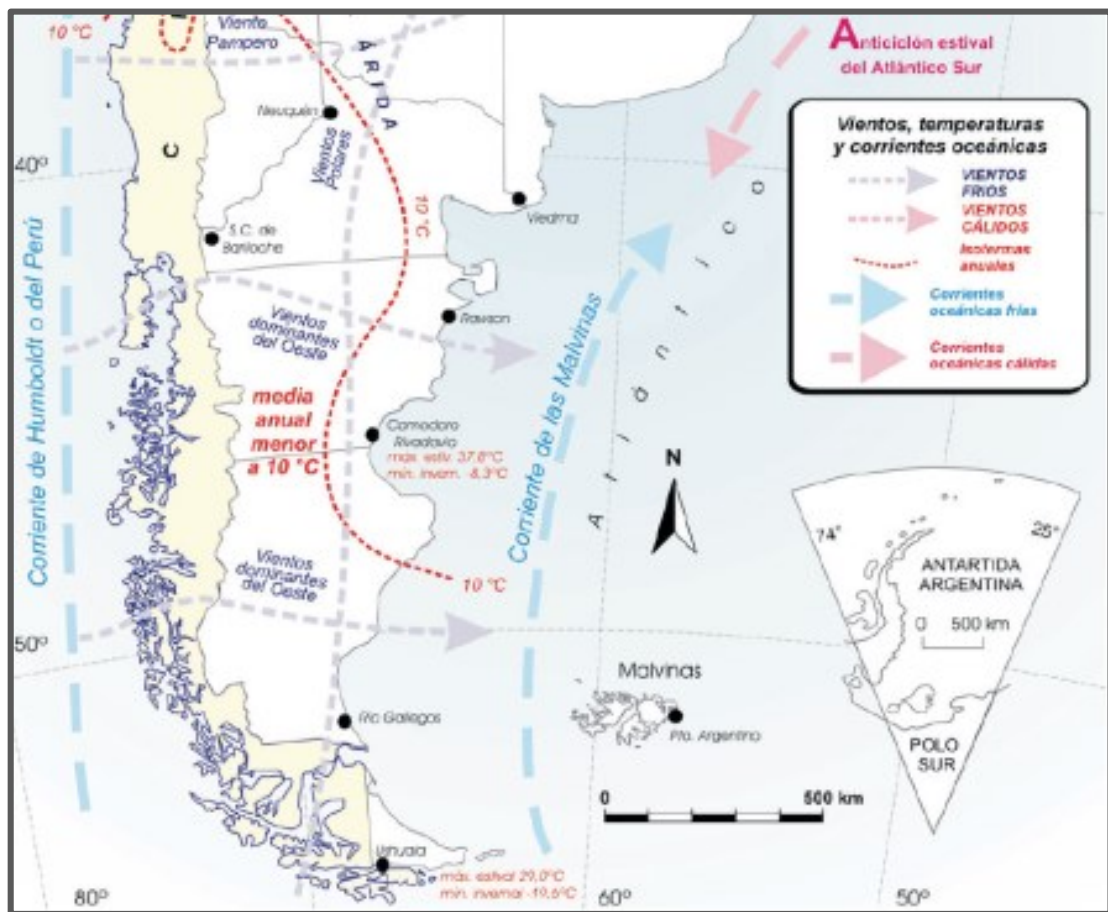


Figura 5.9: Distribución de los vientos en el sur argentino

#### Alcance de las cenizas

La distribución de las plumas de cenizas de las grandes explosiones históricas se refleja en la Figura 5.10.

Entre ellos, se destacan los estudios de una de las explosiones del Reclus que se han graficado en detalle en la Figura 5.11.

Esto sirve como para tener de referencia de cuál sería la distribución de una pluma y el espesor que alcanzan las cenizas depositadas.

Si los vientos hubieran sido SW, en vez de NW, seguramente se hubieran depositado en la zona de las presas 5 cm de tefras sobre los lagos. Es posible razonar en base a estos datos isopáquicos concretos, que con un VEI menor a 5, los espesores serían menores a la R1.





REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE



Figura 5.10: Distribución de plumas de ceniza de grandes explosiones

Las plumas de cenizas que caigan dentro de la cuenca del río Santa Cruz pueden ser arrastradas fluvialmente y llegar hasta los embalses. Este fenómeno ha sido significativo en otras erupciones recientes que han afectado aprovechamientos hidroeléctricos en el Comahue.

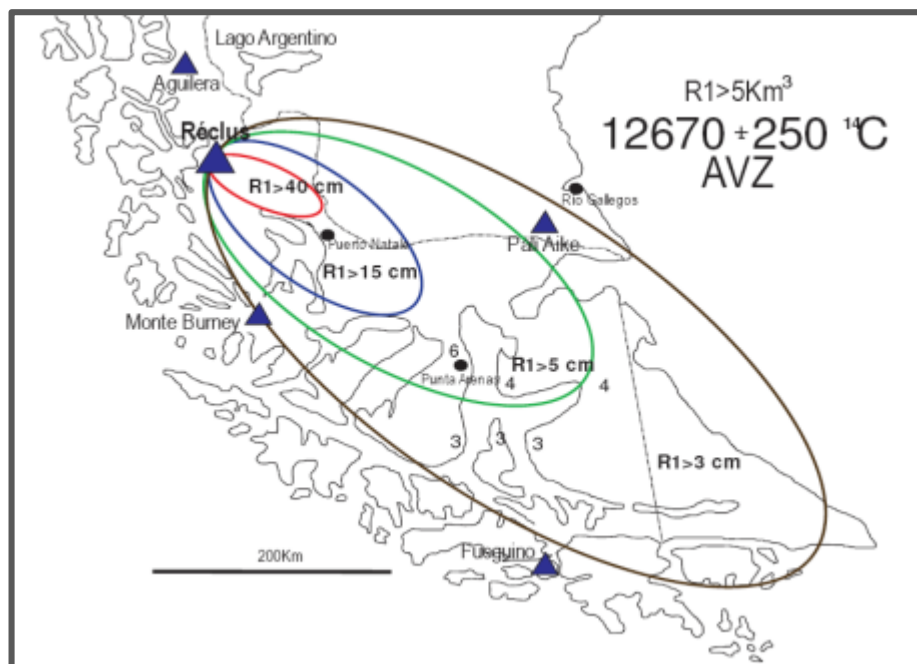



Figura 5.11: Curvas de espesores de ceniza de una explosión del Réclus

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 77 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

### 5.2.3.2. Crecidas por la interacción lava-hielo

Como varios de los principales volcanes están en los Hielos Continentales, su erupción puede fundir parte del hielo y generar crecidas. Estos fenómenos han sido bien modelados en Islandia y por ello se conoce que es muy importante la cobertura de hielo que tenga el aparato volcánico. De acuerdo a ello, se puede cuantificar el volumen de hielo afectado. Esta situación es crítica en el Viedma por pertenecer a la cuenca del Atlántico, tal como se plantea en la Tabla 5.6.

**Tabla 5.6: Registro Cuantificación potencial crecidas de lagos de la cuenca del río Santa Cruz**

Fenómeno causante	Volumen de agua afectado	Superficie del lago adyacente	Incremento de altura en el lago	Observaciones
Erupción tipo basáltica bajo alta cobertura de hielo Gjalp (1996). Gudmundsson et al. 1997	3 km <sup>3</sup>	Viedma: 1100 km <sup>2</sup>	3 m	El lago Viedma desagua en el lago Argentino
Erupción tipo Pliniana sobre baja cobertura de hielo. Ej. Mt Santa Elena 1980). Lipman y Mulineaux 1981.	2.8 km <sup>3</sup>	Viedma: 1100 km <sup>2</sup>	2.8 m	El lago Viedma desagua en el lago Argentino
Rotura embalse del Brazo Rico	4 km <sup>3</sup> (nivel embalsado de 30m)*	Argentino: 1400 km <sup>2</sup>	2.85 m	* en base a una superficie de 135 km <sup>2</sup>

A modo de comparación, se ha incluido la rotura del embalse en el brazo Rico donde se produce una crecida que afecta al lago Argentino. Se puede apreciar que una crecida de origen volcánico sería similar a la rotura del Glaciar Perito Moreno.

## 5.3. Ola sísmica

(Ver [ANEXO 41](#): "Ola Sísmica" GE-A.CV-ET.RS-(OG-00-00)-P900-0A)

### 5.3.1. Conceptos generales

Los sismos pueden producir sobre cuerpos de agua como océanos y lagos distintos fenómenos ondulatorios, siendo la posibilidad de *overtopping* el efecto más peligroso de los fenómenos hidrodinámicos que pueden presentarse en las presas de enrocado.

El *overtopping* puede ser causado por la combinación de una reducción en la altura de la presa (debido a compactación y deslizamiento a lo largo de superficies de falla) y la producción de grandes olas. Estas últimas pueden ser originadas directamente como una consecuencia de oscilaciones del reservorio, como resultante de la inclinación del fondo del reservorio, o como un tsunami de agua dulce producido por una falla de talud en cualquier lugar del reservorio.


En vista a estos fenómenos, el manual de *ICOLD* (1986) que trata sobre análisis sísmicos de presas excluye expresamente en sus procedimientos:

- movimientos diferenciales grandes que ocurran en el caso de que una falla activa atravesase la fundación de la presa, por considerar que estas fallas deben ser evitadas
- *overtopping* de la presa por olas causadas por movimientos tectónicos en la cuenca del reservorio.
- *overtopping* de la presa por olas debidas a deslizamientos producidos por terremotos en el reservorio.

Estos últimos peligros existen y debieran ser excluidos o minimizados en la elección del sitio de la presa.

### 5.3.2. Efectos según la distancia epicentral

La distancia epicentral tiene una importante influencia sobre los efectos que producen las acciones sísmicas sobre los embalses.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 78 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

### 5.3.2.1. Sismos cercanos

Los sismos cercanos presentan períodos muy cortos (frecuencias altas) en la zona epicentral. En el caso de producirse deformaciones del fondo del cuerpo de agua, puede generarse un movimiento en la masa de agua similar al movimiento producido por un remo.

Otra causa de generación de olas es la debida a deslizamientos o caídas de bloques en el perillago provocados por los sismos. Estas olas pueden alcanzar gran altura, en función de volumen que se deslice y la velocidad con la que ocurra el fenómeno (por ejemplo, en Vaiont la ola alcanzó 245 m y en Lituya 60 m de altura).

### 5.3.2.2. Sismos lejanos

Los sismos lejanos de subducción y transFm poseen una recurrencia que depende del movimiento de las placas, que en el caso de las presas sobre el río Santa Cruz son la “Antártica” y la de “Scotia”. La experiencia respecto a la recurrencia de estos sismos indica que su generación se da dentro de entornos menores a  $TR = 475$  años. Esto implica que pueden ser tomados como una verificación dentro de las condiciones normales de operación de la presa (SBO).

### 5.3.2.3. Modelación numérica de oleajes

En esta instancia se considera oportuno realizar una diferenciación entre “amplitud” y “altura” de acuerdo a la terminología utilizada en los textos que tratan sobre el tema de oleajes. Se designa “amplitud” a la distancia, entre el punto más alto de la ola y el nivel del reservorio en reposo, en tanto que la “altura” de la ola se mide desde el punto más alto hasta el punto más bajo hacia adelante o hacia atrás de la ola. De esta forma, la altura de la ola resulta el doble de su amplitud para el caso de ondas armónicas.

La modelación numérica de oleajes consiste en el desarrollo de modelos numéricos planos (2D) de ambos embalses que permitan el cálculo de la amplitud de las olas generadas por los efectos descriptos a continuación.

- Las ondas sísmicas transmitidas a través del fondo y las laderas del embalse según datos contenidos en el estudio de riesgo sísmico de ambas presas.
- Desplazamientos en masa de formas simples similares a las citadas en la bibliografía. Se consideran distintas formas y dimensiones de movimientos en masa que permitan estimar el oleaje que se puede generar en caso de producirse los desplazamientos postulados.

Los tres modelos utilizados para el embalse de esta presa son los siguientes:


- Modelo GJC paralelo “A”: paralelo y contiguo a la presa con sección rectangular.
- Modelo GJC paralelo “B”: paralelo a la presa a una distancia de 2400 m, con sección rectangular.
- Modelo GJC perpendicular: se define a través de un plano vertical casi perpendicular al eje de la presa y que pasa por su centro.

### 5.3.2.4. Definición de las acciones sísmicas

Los acelerogramas que se utilizan en el cálculo de la respuesta sísmica de los embalses se obtienen en base a los espectros definidos en el estudio de riesgo sísmico. Las propiedades de los perfiles de suelo para los sitios de emplazamiento de cada presa se extraen de los informes de los estudios geológicos y geotécnicos.

A los efectos de tener en cuenta la variabilidad de estas propiedades, y de acuerdo con lo que recomiendan las normas para obras de estas características, se han considerado 2 perfiles de suelo adicionales para cada sitio de emplazamiento donde los módulos de elasticidad se han dividido y multiplicado por 1.5, respectivamente, para obtener un perfil designado “flexibilizado” y otro designado “rigidizado”. De esta forma, los acelerogramas definidos para afloramiento de roca han sido deconvolucionados usando perfiles con diferentes propiedades de rigidez para analizar su posible influencia sobre la amplitud alcanzada por las olas producidas en los embalses.

La Tabla 5.7 presenta las propiedades originales del perfil de suelo nominal para el sitio de emplazamiento de la presa GJC. La Tabla 5.8 muestra la degradación de las propiedades del suelo por efectos no-lineales.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 79 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

Los valores máximos de aceleración (*PGA*) para las distintas componentes de los acelerogramas obtenidos a través del proceso de deconvolución se presentan en la Tabla 5.9.

**Tabla 5.7: Propiedades originales del perfil de suelo nominal en la zona de la presa GJC**


Estrato	Tipo	Espesor [m]	Profundidad [m]	Presión total [KPa]	Módulo de corte [MPa]	Amortiguamiento	Peso específico [KN/m <sup>3</sup> ]	Vel. ondas corte [m/s]
1	1	1.00	0.50	10.0	183.5	0.01	20.00	300
2	1	1.00	1.50	30.0	183.5	0.01	20.00	300
3	1	1.00	2.50	50.0	183.5	0.01	20.00	300
4	1	1.00	3.50	70.0	183.5	0.01	20.00	300
5	1	1.00	4.50	90.0	183.5	0.01	20.00	300
6	1	1.00	5.50	110.0	183.5	0.01	20.00	300
7	1	1.00	6.50	130.0	183.5	0.01	20.00	300
8	1	1.00	7.50	150.5	342.6	0.01	21.00	400
9	1	2.00	9.00	182.0	342.6	0.01	21.00	400
10	1	2.00	11.00	224.0	342.6	0.01	21.00	400
11	Semiesp.	-	-	-	2714.4	0.01	22.00	1100

**Tabla 5.8: Propiedades degradadas del perfil de suelo nominal en la zona de la presa GJC**

Estrato	Profundidad [m]	Deform. uniforme	Módulo de corte [MPa]	Amortiguamiento	Relación G / G <sub>0</sub>
1	0.50	0.0013	171.8	0.021	0.937
2	1.50	0.0041	155.4	0.043	0.847
3	2.50	0.0074	141.2	0.057	0.770
4	3.50	0.0108	131.0	0.068	0.715
5	4.50	0.0145	120.9	0.079	0.659
6	5.50	0.0178	113.7	0.087	0.620
7	6.50	0.0207	108.5	0.093	0.592
8	7.50	0.0097	250.9	0.064	0.733
9	9.00	0.0111	243.2	0.069	0.711
10	11.00	0.0139	229.0	0.077	0.669

**Tabla 5.9: Valores PGA de los acelerogramas utilizados para la presa GJC [g]**

Sismo	Perfil de suelo	Dirección		
		H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	V
Iwate	Nominal	0.337	0.383	0.365
	Flexibilizado	0.310	0.385	0.371
	Rigidizado	0.339	0.394	0.368
Loma Prieta, Cliff House	Nominal	0.274	0.445	0.388
	Flexibilizado	0.292	0.354	0.321
	Rigidizado	0.388	0.451	0.398
Loma Prieta, Rincon Hill	Nominal	0.339	0.335	0.386
	Flexibilizado	0.300	0.303	0.377
	Rigidizado	0.385	0.342	0.324

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 80 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

### 5.3.3. Oleajes producidos por acciones sísmicas

Los escenarios sísmicos considerados para el cálculo de la amplitud máxima del oleaje son los siguientes:

- Ambas componentes horizontales de cada sismo y de cada perfil de suelo se aplican por separado en los bordes verticales del embalse en forma sincrónica. Por otra parte, la componente vertical de cada sismo y de cada perfil de suelo se aplica sincrónicamente en el fondo del embalse (borde inferior).
- Para cada componente horizontal de cada sismo, asociada al perfil de suelo nominal, se define una componente vertical consistente con ondas superficiales (ondas de Rayleigh) propagándose en dirección horizontal a diferentes velocidades: 250 m/s, 500 m/s y 1 000 m/s. Ambas componentes (horizontal y vertical) se aplican luego en forma simultánea y desfasadas en los distintos puntos de los bordes en función de la velocidad de propagación correspondiente.

De acuerdo a los resultados de la presa PNK, se observa que la amplitud de las olas no resulta sensible ni a la flexibilización ni a la rigidización propuesta para el perfil de suelo nominal. Por lo tanto, para la presa GJC sólo se realiza el análisis utilizando el perfil de suelo con las propiedades nominales.

La Tabla 5.10 y la Tabla 5.11 muestran las amplitudes máximas de olas para los escenarios I y II, respectivamente, del modelo GJC paralelo "A". Para el escenario I se observa que las olas en ningún caso superan 0,25 m de amplitud, mientras que para el escenario II no superan 0,45 m.

La Tabla 5.12 y la Tabla 5.13 muestran las amplitudes máximas de olas para los escenarios I y II, respectivamente, del modelo GJC paralelo "B".

Para el escenario I se observa que las olas en ningún caso superan 0,20 m de amplitud, mientras que para el escenario II no superan 0,40 m.

La Tabla 5.14 y la Tabla 5.15 muestran las amplitudes máximas de olas para los escenarios I y II, respectivamente, del modelo GJC perpendicular.

Para el escenario I se observa que las olas en ningún caso superan 0,15 m de amplitud, mientras que para el escenario II no superan 0,35 m.

**Tabla 5.10: Amplitud máxima de olas las p/ escenario I de excitación sísmica – Modelo GJC paralelo "A" [m]**


Sismo	Dirección		
	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	V
Iwate	0.166	0.139	0.032
Loma Prieta, Cliff House	0.198	0.216	0.105
Loma Prieta, Rincon Hill	<b>0.222</b>	0.175	0.060

**Tabla 5.11: Amplitud máxima de olas p/ escenario II de excitación sísmica – Modelo GJC paralelo "A" [m]**

Sismo	Dirección	
	H <sub>1</sub> – V <sub>1</sub>	H <sub>2</sub> – V <sub>2</sub>
Iwate	0.251	0.211
Loma Prieta, Cliff House	0.437	0.340
Loma Prieta, Rincon Hill	<b>0.445</b>	0.245

**Tabla 5.12: Amplitud máxima de las olas p/ escenario I de excitación sísmica – Modelo GJC paralelo "B" [m]**

Sismo	Dirección		
	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	V
Iwate	0.143	0.119	0.032
Loma Prieta, Cliff House	0.162	<b>0.176</b>	0.104
Loma Prieta, Rincon Hill	0.163	0.141	0.059

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 81 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

**Tabla 5.13: Amplitud máxima de las olas p/ escenario II de excitación sísmica – Modelo GJC paralelo “B” [m]**

Sismo	Dirección (Sentido S-N)		Dirección (Sentido N-S)	
	H <sub>1</sub> – V <sub>1</sub>	H <sub>2</sub> – V <sub>2</sub>	H <sub>1</sub> – V <sub>1</sub>	H <sub>2</sub> – V <sub>2</sub>
Iwate	0.193	0.167	0.193	0.169
Loma Prieta, Cliff House	0.374	0.284	0.362	0.282
Loma Prieta, Rincon Hill	<b>0.375</b>	0.186	0.355	0.191

**Tabla 5.14: Amplitud máxima de olas p/ escenario I de excitación sísmica – Modelo GJC perpendicular [m]**

Sismo	Dirección		
	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	V
Iwate	0.093	0.086	0.032
Loma Prieta, Cliff House	0.111	<b>0.118</b>	0.105
Loma Prieta, Rincon Hill	0.105	0.090	0.059

**Tabla 5.15: Amplitud máxima de olas p/ escenario II de excitación sísmica – Modelo GJC perpendicular [m]**

Sismo	Dirección (Sentido O-E)		Dirección (Sentido E-O)	
	H <sub>1</sub> – V <sub>1</sub>	H <sub>2</sub> – V <sub>2</sub>	H <sub>1</sub> – V <sub>1</sub>	H <sub>2</sub> – V <sub>2</sub>
Iwate	0.159	0.149	0.156	0.151
Loma Prieta, Cliff House	<b>0.330</b>	0.231	0.315	0.233
Loma Prieta, Rincon Hill	0.320	0.181	0.302	0.172

En general, se observa que a pesar de que la presa GJC se encuentra más alejada de los posibles epicentros de los sismos respecto a la presa PNK, el orden de magnitud de la amplitud de las olas es similar. Esto se atribuye a que este fenómeno está controlado por las componentes de baja frecuencia de los sismos que se propagan a grandes distancias atenuándose más lentamente que las componentes de alta frecuencia.


### 5.3.3.1. Estudio de sensibilidad del oleaje a componentes de baja frecuencia del sismo

A los efectos de cuantificar los efectos sobre el oleaje que pueden generar eventuales componentes de baja frecuencia de la excitación sísmica se ha realizado un análisis de sensibilidad agregando a los acelerogramas originales funciones armónicas con frecuencias que corresponden a los modos naturales del embalse cuyos períodos superan los 15 segundos. Las amplitudes definidas para estas funciones resultan consistentes con los espectros de respuesta descritos en la sección anterior para las demandas sísmicas que se obtienen con el foco en las bajas frecuencias.

El procedimiento aproximado propuesto encuentra justificación en la dificultad de contar con registros sísmicos reales que tengan la capacidad de reproducir fielmente las componentes de baja frecuencia debido a limitaciones de los instrumentos de registro y al filtrado implícito en los registros disponibles como consecuencia de la corrección de la línea de base de los acelerogramas. El propósito es evaluar la influencia en la amplitud máxima del oleaje que esas componentes del movimiento sísmico podrían producir, y que fueron definidas.

La Tabla 5.16 y la Tabla 5.17 presentan las amplitudes máximas del oleaje para los modelos GJC paralelo “A” y perpendicular, respectivamente. Esta última tabla muestra los valores máximos contra la presa considerando ambas direcciones de propagación de las ondas sísmicas.

Las amplitudes máximas de olas resultan de 0,50 m y 0,76 m, respectivamente.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 82 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

**Tabla 5.16: Amplitud máxima de olas con componentes de baja frecuencia de amplitud  $A = 0.025$  m–Modelo GJC paralelo “A” [m]**

Sismo	Dirección	
	$H_1 - V_1$	$H_2 - V_2$
Iwate	0.35	0.41
Loma Prieta	<b>0.50</b>	0.36
Northridge	0.40	0.46

**Tabla 5.17: Amplitud máxima de olas con componentes de baja frecuencia de amplitud  $A = 0.010$  m–Modelo GJC perpendicular [m]**

Sismo	Dirección	
	$H_1 - V_1$	$H_2 - V_2$
Iwate	0.47	0.64
Loma Prieta	<b>0.76</b>	0.44
Northridge	0.53	0.40

### 5.3.3.2. Conclusiones sobre el estudio de las acciones sísmicas

Las componentes de baja frecuencia agregadas a los acelerogramas originales se consideran suficientemente conservadoras tanto en su duración (5 minutos en total, pero sólo 1,5 minutos de amplitud superior al 80% del máximo) como en su contenido de frecuencias (sintonizadas con las frecuencias naturales de los modelos de los embalses). Las amplitudes de las funciones ficticias han sido definidas usando el criterio de no distorsionar significativamente los espectros de respuesta para periodos inferiores a 5 s. Para estos periodos altos no se cuenta con registros instrumentales confiables de las aceleraciones que efectivamente pueden alcanzarse, y por lo tanto estas aceleraciones pueden superar las que normalmente suelen considerarse en la verificación sísmica de presas y estructuras en general. De todos modos, las hipótesis adoptadas han permitido reproducir satisfactoriamente las amplitudes de olas que se han observado en los casos reportados en las referencias bibliográficas citadas en este informe.

Las longitudes de onda determinadas para las olas de máximas amplitudes pueden utilizarse para el cálculo de amplificación de las amplitudes de estas olas por efecto de *run-up*. En el caso de los modelos perpendiculares a las presas debe tomarse la pendiente aguas arriba de esta presa, en tanto que la pendiente para los modelos paralelos depende de la geometría de las márgenes laterales del embalse.


### 5.3.4. Oleajes producidos por desplazamientos permanentes del fondo o de las laderas (desmoronamientos)

#### 5.3.4.1. General

En esta sección se consideran los siguientes escenarios para estimar la amplitud máxima del oleaje por posibles desplazamientos del fondo o de las laderas cercanas a las márgenes de los embalses:

- Corrimiento horizontal de 1 m de la pared vertical completa de una de las márgenes a distintas velocidades para simular el desplazamiento del agua debido a la ocupación de su espacio por el material desprendido. Estas velocidades se definen a través de las siguientes duraciones del proceso de desmoronamiento: 5 s, 10 s y 20 s.
- Levantamiento del fondo del embalse en forma de cuña contra una de las márgenes hasta una longitud horizontal igual a la profundidad del embalse en dicha margen. La ley de variación temporal es la misma que se utiliza en el escenario anterior, mientras que la ley de variación espacial es lineal y alcanza un valor máximo de 2 m en correspondencia con la pared vertical. De esta forma se impone al final del proceso de desmoronamiento una variación de volumen idéntica a la del escenario anterior.

La Tabla 5.18 y la Tabla 5.19 recopilan los valores de la amplitud máxima de las olas para los bordes activo y pasivo de los modelos GJC paralelo “A” y perpendicular, respectivamente. Las observaciones que pueden realizarse sobre estos resultados son cualitativamente similares a las ya realizadas para la presa PNK, aunque

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 83 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

las amplitudes de las olas resultan en todos los casos menores debido a la menor profundidad de este embalse.

**Tabla 5.18: Amplitud máxima de olas por desmoronamientos – Modelo GJC paralelo “A” [m]**

Duración [s]	Escenario I		Escenario II	
	Borde activo	Borde pasivo	Borde activo	Borde pasivo
5	0.49	0.25	0.44	0.24
10	0.23	0.24	0.23	0.23
20	0.11 – 0.17	0.20	0.11 – 0.17	0.20

**Tabla 5.19: Amplitud máxima de olas por desmoronamientos – Modelo GJC perpendicular [m]**

Duración [s]	Escenario I	
	Borde activo	Borde pasivo
5	0.28	0.03
10	0.11	0.03
20	0.06	0.03


### 5.3.4.2. Conclusiones

El problema sísmico en la latitud de las presas del río Santa Cruz se encuentra controlado por el movimiento de la placa Antártica, y es menos significativo que en latitudes inferiores a 46° donde influye más la placa de Nazca. El caso de Bariloche tiene mayor aplicabilidad a presas situadas en la parte central de Argentina, donde los sismos de subducción tienen particularidades de recurrencia que hacen que las olas de origen sísmico sean un fenómeno generado para el SBO.

Según los resultados del presente estudio, la amplitud máxima sobre la superficie media del embalse de las olas inducidas por la excitación sísmica adoptada para el diseño en ningún caso supera 0,42 m (0,84 m de altura valle-pico suponiendo una ola simétrica). Sin embargo, la incorporación en los acelerogramas de componentes de baja frecuencia que no afectan los espectros de respuesta usados para el diseño, y que son consistentes con las demandas sísmicas en bajas frecuencias, produce la excitación de los primeros modos del embalse, lo cual genera que la amplitud máxima de las olas alcance 1,22 m, y con hipótesis más pesimistas hasta 2,26 m. A pesar de que las funciones agregadas poseen una duración de 5 minutos y que las frecuencias excitatrices son coincidentes con las frecuencias naturales de los 10 primeros modos naturales, el hecho que los espectros de respuesta no sean afectados respalda la consideración de este escenario aunque resulte conservador.

Por otro lado, la amplitud máxima de la ola generada por un desplazamiento permanente del fondo o de una de las márgenes del embalse es aproximadamente igual a 0,80 m para un desplazamiento de 1 m. Sin embargo, estos resultados corresponden a desplazamientos permanentes hipotéticos, ya sean horizontales o verticales, considerados en forma separada. Si ambos desplazamientos se produjeran en forma simultánea, la predicción del modelo lineal aplicado implicaría una suma directa de ambos efectos. Adicionalmente, si el desplazamiento permanente fuera igual al supuesto pero afectado por un factor de proporcionalidad, la amplitud correspondiente de la ola será proporcional a ese factor. Estas hipótesis fueron adoptadas al sólo efecto de estimar la amplitud de las olas que se podrían esperar en caso ocurrir esos desplazamientos como consecuencia de un sismo (en tal caso serían desplazamientos co-sísmicos) o alguna otra circunstancia que produzca desestabilización de las márgenes, dado que actualmente no se cuenta con información o estudios relativos a la estabilidad de las márgenes naturales de los embalses.



	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 84 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

## 6. INVESTIGACIONES REALIZADAS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Ensayos Lugeon

#### 6.1.1. Introducción

Este tipo de ensayo se realiza en el interior de sondeos y permite calcular semi-cuantitativamente la permeabilidad de los macizos rocosos en cualquier tipo de litología y estado de fracturación. El ensayo consiste en introducir agua a presión constante hasta 10 bar en el sondeo, midiendo las admisiones durante un período de 10 minutos. Normalmente se ensayan tramos de 5 m, aislando el tramo de ensayo del resto del sondeo mediante dos obturadores. La presión se aplica en escalones sucesivos de carga y descarga de 0, 1, 2, 5 y 10 bar, manteniéndose en cada escalón durante 10 minutos.

La unidad de medida del ensayo es el Lugeon que corresponde a una absorción de agua de 1 litro por metro de sondeo y por minuto realizando el mismo a 10 atmósferas de presión máxima durante 10 minutos. De acuerdo al punto 6.5 de la Norma IRAM, la equivalencia que surge de valores experimentales entre la UL y el valor de  $k$  coeficiente de permeabilidad es de  $10^{-5}$  cm/s ( $UL = 1 \text{ l/m} \times \text{min} = 10^{-5} \text{ cm/s}$ ).

#### 6.1.2. Procedimiento del ensayo en los sondeos geotécnicos

Los ensayos se efectuaron en ambas márgenes y en profundidades próximas a las cotas de fundación de las principales estructuras. Fueron realizados en los sondeos geotécnicos en tramos máximos de 5 m y en la roca sana para asegurar la correcta obturación del packer y evitar fugas de agua por el contacto aluvión-roca. Para su ejecución se aplicó la norma IRAM 10532.

Cada ensayo se realizó inyectando agua de manera continua utilizando tres escalones de presiones efectivas ascendentes y descendentes, donde la presión de cada escalón se mantuvo durante 10 minutos a la vez que se registraron los volúmenes absorbidos cada 2,5 minutos.

Para el cálculo de la presión efectiva máxima se utilizó un factor de  $0,2 \text{ kg/cm}^2$  por metro de profundidad ( $0,2 \times$  profundidad del obturador) para evitar, al ser una roca blanda, la fracturación hidráulica que puede ocurrir cuando las presiones de confinamiento son más bajas.


Las presiones intermedias se calcularon de la siguiente manera: a la máxima presión efectiva ( $P_{\text{efec.máx}}$ ) se le restó la presión hidráulica ( $P_h$ ) obteniendo así la presión manométrica máxima correspondiente. Luego se dividió esta presión a la mitad, luego a la cuarta parte y así sucesivamente conforme a la cantidad de escalones que requirió el ensayo. Finalmente, a la presión manométrica calculada para cada escalón, se le sumó la presión hidráulica acorde a la profundidad del tramo ensayado.

En los tramos ensayados con una absorción de agua considerada alta, se repitió el ensayo en tramos de menor longitud para identificar con mayor precisión las secciones de permeabilidad más alta.

El esquema de trabajo que se realizó para cada ensayo se muestra en la Tabla 6.1 :

**Tabla 6.1: Esquema de escalones de presión**

Presión manométrica	Presión efectiva
1° escalón de carga: $P_{\text{man. máx}}/4$	$P_{\text{man}} + P_h$
2° escalón de carga: $P_{\text{man. máx}}/2$	$P_{\text{man}} + P_h$
$P_{\text{man. máx}} = P_{\text{efec.máx}} - P_h$	$P_{\text{efec.máx}} = 0,2 \times \text{Profundidad del obturador}$
1° escalón de descarga $P_{\text{man. máx}}/2$	$P_{\text{man}} + P_h$
2° escalón de descarga $P_{\text{man. máx}}/4$	$P_{\text{man}} + P_h$

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 85 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

### 6.1.3. Interpretación

Con los datos obtenidos de los ensayos se realizó un trabajo para uniformarlos con el objetivo de poder realizar una mejor comparación entre diferentes tramos del sondeo o entre sondeos próximos o lejanos y, por lo tanto, una mejor correlación con la litología y estructura del macizo rocoso. Muchos de los ensayos, particularmente los primeros tramos, se realizaron a presiones menores a los 10 bar. En estos casos se hizo una extrapolación no lineal, prolongando la tendencia de la curva ensayada, hasta los 10 bar, presión que define la unidad Lugeon (Ver [ANEXO 05](#): "Análisis de los ensayos Lugeon"). Luego se hizo una clasificación de la roca según la absorción de agua conforme a la propuesta por D. U. Deere que podemos ver en la Tabla 6.2.

**Tabla 6.2: Clasificación del macizo rocoso en función de la permeabilidad**

UL	Absorción
Menor 0.5	Muy baja
0.5-1	Baja
1-3	Moderada Baja
3-5	Moderada Alta
5-8	Alta
Mayor 8	Muy Alta

En cada sondeo se informa la profundidad a la que fue ejecutada la prueba, el valor final de Lugeon calculado, la clasificación cualitativa según el criterio del Dr. Don Deere, el tipo de gráfica o camino de presión vs caudal, el valor de  $K_0$  que es la relación entre la presión efectiva máxima de ensayo o también llamada presión crítica  $p_c$  en que ocurrió la abertura de fracturas o fisuras y la presión correspondiente al peso de la roca arriba del obturador.

En cuanto a la presión  $P_c$ , esta será indicada no sólo en los casos en que la gráfica puede mostrar claramente la expansión de la fractura o fractura hidráulica, sino en aquellos casos en que se produce un cambio de pendiente o incremento de la absorción. Este dato es de utilidad para estimar la presión máxima de inyección en el tramo considerado.

En cuanto al tipo de gráfica de presión vs caudal, se consideran cinco casos que son típicos en estos ensayos y están ampliamente descriptos en la literatura técnica (Ver Figura 6.1). Se presentan variantes de algunos de ellos, pero se ha tratado de simplificar la identificación con los tipos principales. Estos son:

- **Caso 1 Flujo Laminar:** los valores de absorción y presión efectiva guardan relación lineal. Es decir, que la absorción es proporcional a la presión efectiva. Este hecho se debe a que las fracturas son finas y se entiende que el relleno es granular y, consecuentemente, el consumo por fractura es aproximadamente igual. Normalmente está asociado a valores Lugeon menores que 3 U.L.
- **Caso 2 Flujo Turbulento:** La Absorción correspondiente a la presión máxima es relativamente menor que la de las presiones intermedias y mínimas, y responde a que las fracturas son de diferente grosor. Generalmente está asociado a valores Lugeon mayores que 4 U.L.
- **Caso 3 Dilatación:** en este caso, cuando la roca es sometida a la presión máxima, hay una dilatación temporal de la abertura o se comprime momentáneamente el relleno por efecto de la presión de agua, entonces, la absorción para este estadio es sensiblemente mayor que en los otros, es un pronóstico reversible y la abertura se comporta de forma "elástica".
- **Caso 4 Erosión:** el material fino de relleno de las fracturas es lavada por el agua de ensayo incrementándose el volumen útil de poros o de fisuras en el tramo de macizo rocoso ensayado, por ello, la absorción se incrementa relativamente con el tiempo. En este caso la curva absorción-presión efectiva se ensancha y las flechas apuntarán en sentido contrario
- **Caso 5 Relleno o colmatación:** por efecto de la sedimentación de los finos que pudiera transportar el agua del ensayo o bien del mismo material erosionado y re depositado del relleno de fractura, las aberturas se cierran o taponan a medida que transcurre el ensayo; la absorción consecuentemente decrecerá en función del tiempo. También en este caso la curva absorción-presión efectiva se ensancha, pero las flechas apuntarán en sentido anti horario, otro factor atribuido se debe a la resistencia capilar de penetración del agua en fracturas finas.

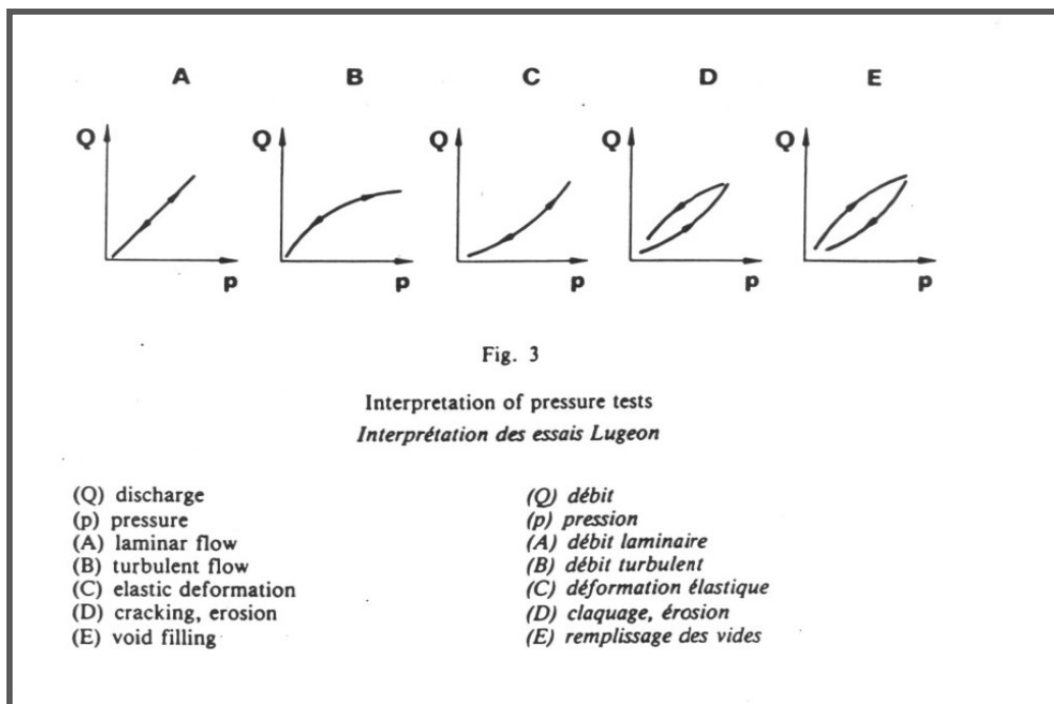


Figura 6.1: Relaciones presión-caudal en el ensayo Lugeon (Clasificación según ICOLD Y HOULSBY)

Hemos considerado a los fines prácticos, la absorción en litros/m de los ensayos con la curva extrapolada a 10 bar de las tres campañas: 1970-80, 2006-07 y 2015-16. Los resultados son los siguientes:

**Campaña 1970-80:**

- Ensayos totales: 67 (100%)
- Ensayos que superan las 8 UL: 10 (14,9%)
- Ensayos que superan las 8 UL realizados en el primer tramo desde la superficie: 3 (4,5%)

**Campaña 2006-07:**

- Ensayos totales: 287 (100%)
- Ensayos que superan las 8 UL: 69 (24%)
- Ensayos que superan las 8 UL realizados en el primer tramo desde la superficie: 24 (8,4%)

**Campaña '15:**


- Ensayos totales: 70 (100%)
- Ensayos que superan las 8 UL: 16 (22,9%)
- Ensayos que superan las 8 UL realizados en el primer tramo desde la superficie: 6 (8,6%)

**TOTAL:**

- Ensayos totales: 424 (100%)
- Ensayos que superan las 8 UL: 95 (22,4%)
- Ensayos que superan las 8 UL realizados en el primer tramo desde la superficie: 33 (7,8%)

Analizando los resultados se puede ver una gran coincidencia entre las campañas 2006-07 y 2015 en los porcentajes de los ensayos que superan las 8 UL lo que demuestra, de alguna manera, que los resultados son fiables para las dos campañas.

En el apartado de modelo geológico-geotécnico se muestran, en los diversos perfiles, los tramos ensayados en cada sondeo con diferentes colores según la absorción detectada en cada tramo.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 87 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

## 6.2. Ensayos Lefranc

### 6.2.1. Introducción

Este tipo de ensayo se utiliza para medir el coeficiente de permeabilidad en suelos permeables o semipermeables de tipo granular situados por encima o por debajo del nivel freático. La permeabilidad o coeficiente de permeabilidad es la propiedad del suelo que indica la facilidad relativa con la que un fluido puede atravesarlo por efecto de un gradiente hidráulico. Esta depende de las características del fluido y del suelo. Influyen la viscosidad, peso específico y polaridad del fluido, así como del suelo importan el tamaño de las partículas, la relación de vacíos, la composición, la estructura y el grado de saturación. Los valores calculados del coeficiente de permeabilidad son corregidos por la temperatura del fluido para el valor Standard a 20°C, de acuerdo a la viscosidad del agua a esas temperaturas y para una presión de 760 mm de Hg.

El ensayo se efectúa en el interior de sondeos y puede realizarse durante la ejecución de la perforación o una vez finalizada ésta. El procedimiento consiste en llenar de agua el sondeo y medir el caudal necesario para mantener el nivel constante (ensayo a régimen permanente) o bien medir la velocidad de descenso del nivel de agua (ensayo a régimen variable). La medida del caudal de admisión debe realizarse cada 5 minutos manteniendo el nivel constante en la boca de sondeo durante 45 minutos. Si la admisión es muy alta, debe medirse cada minuto durante los 20 primeros y después cada 5 minutos.

La realización del ensayo requiere que, antes de medir tiempos y caudales, se llene el sondeo de agua, observando que el aire sea expulsado y que se estabilice el nivel y la velocidad de descenso, lo que indica que se ha alcanzado el régimen permanente. Para los cálculos posteriores es necesario determinar la cota del nivel freático.

El coeficiente de permeabilidad del suelo se calcula de manera simple con la siguiente fórmula:

$$k = \frac{Q}{C \Delta h}$$

Siendo:

$k$  = coeficiente de permeabilidad en cm/s,

$Q$  = caudal admitido en cm<sup>3</sup>/s,

$\Delta h$  = carga hidráulica en cm,

$C$  = coeficiente de forma en cm,

Para la definición de la carga hidráulica,  $\Delta h$ , se aplicó el concepto del *Bureau of Reclamation (USBR)* que considera la presión de la columna de agua a la altura de la mitad de la cámara filtrante tal como se muestra en la Figura 6.2.

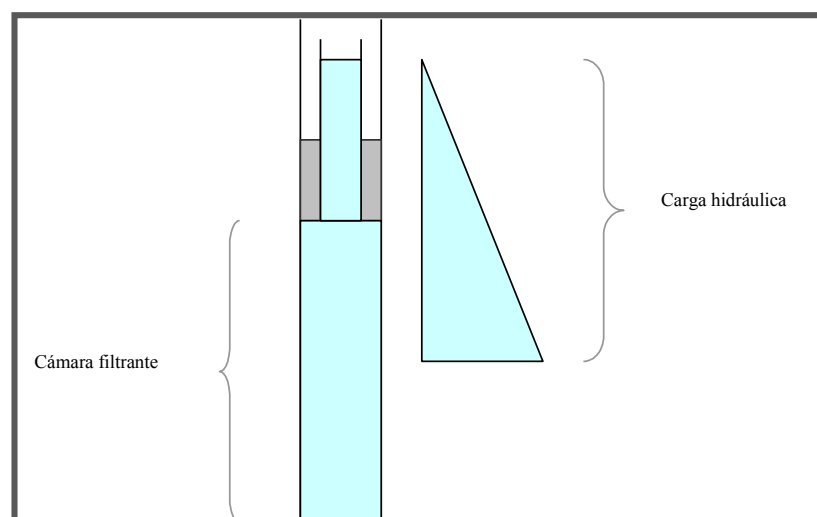



Figura 6.2: Criterio para la definición de la carga hidráulica según la propuesta del USBR

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 88 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

## 6.2.2. Procedimiento de realización del ensayo en los sondeos geotécnicos

Para medir la permeabilidad en aluvión se realizaron ensayos Lefranc durante la campaña 2006 en los sondeos indicados en la Tabla 2.2 y en las profundidades definidas en el campo. Se aplicó la norma IRAM 10531.

Los ensayos Lugeon fueron hechos a nivel constante, es decir, se inyectó agua hasta lograr la estabilización del nivel logrado. El tiempo de estabilización fue, generalmente, de 8 minutos. Se mantuvieron el nivel y el caudal constantes, se registraron los consumos de agua y los tiempos correspondientes. Las mediciones se realizaron cada minuto, durante 15 minutos.

Estos ensayos fueron realizados sin bulbo y las medidas del tramo quedaron reducidas a la sección del caño camisa.

## 6.2.3. Interpretación

Los ensayos fueron realizados en los sondeos geotécnicos para medir la permeabilidad del material aluvional.

A partir de la clasificación de los suelos propuesta por *Terzaghi y Peck*, 1967, que presentamos en la Tabla 6.3, haremos un análisis general del material aluvional para cada uno de los modelos geológico-geotécnicos.

**Tabla 6.3: Clasificación de suelos según el coeficiente de permeabilidad, Terzaghi y Peck, 1967**

Permeabilidad elevada o muy permeable	superior a $10^{-1}$ cm/s
Permeabilidad media o moderadamente permeable	de $10^{-1}$ a $10^{-3}$ cm/s
Permeabilidad baja a poco permeable	menor a $10^{-3}$ cm/s

En general, se puede decir que los estratos compuestos por bloques, cantos rodados, grava, gravilla con escasa o ninguna arena, son muy permeables. Las excepciones se encuentran en los sondeos BDC H y BDC C. Los sondeos BI 09, BDC 02, BDC B, BDC 07, BDC 08, BDC 09 y BD 12 presentan una escasa matriz arenosa fina que le puede dar una permeabilidad más baja al material.

Las arenas medianas a finas presentan propiedades de permeabilidad que varía entre muy permeable a una permeabilidad media.

Las arenas finas tienen permeabilidades de moderadas a bajas como se puede ver en el sondeo BC 1.

## 6.3. Medición de la velocidad de onda de corte por los métodos SAWS-MASW

### 6.3.1. Introducción

El ensayo *MASW* (*Multichannel Spectral Analysis of Surface Waves*) o Análisis de Ondas Superficiales en Arreglo Multicanal es un método de exploración geofísica que permite determinar la rigidez dinámica y la estratigrafía del subsuelo bajo un punto en forma indirecta, basándose en el cambio de las propiedades dinámicas de los materiales que la conforman. Este método consiste en la interpretación de las ondas superficiales, ondas de Rayleigh, de un registro en arreglo multicanal, generadas por una fuente de energía impulsiva en puntos localizados a distancias predeterminadas a lo largo de un eje sobre la superficie del terreno, obteniéndose un perfil de velocidades de ondas de corte,  $V_s$ , para el punto central de dicha línea.

El ensayo *SASW* (*Spectral Analysis of Surface Waves*) se llevó a cabo en algunos tramos para verificar su aptitud y de modo comparativo con el *MASW* (Ver [ANEXO 15](#): Informe Ensayos *MASW*-ENDEIC-2016).

Para el *MASW*, una vez adquiridos los registros de paso de la onda superficial, se realiza un análisis en el dominio de las frecuencias para obtener la curva de dispersión, como se puede ver en Figura 6.3, es decir, un trazado de la velocidad de fase de las ondas superficiales versus la frecuencia, filtrándose solamente las ondas superficiales, ya que son éstas las ondas que predominan en el grupo de ondas, poseyendo alrededor del 70 % de la energía del tren de ondas. La velocidad de fase de estas ondas tiene un valor que varía entre el 90 % al 95 % del valor de la velocidad de propagación de las ondas de corte S,  $V_s$ .

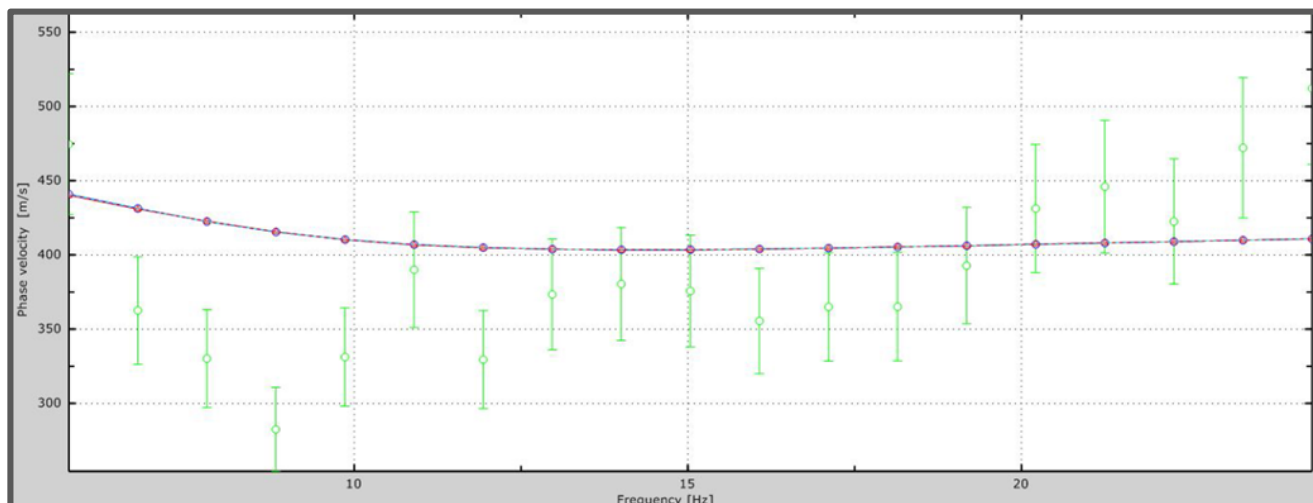


Figura 6.3: Ejemplo de una curva de dispersión analítica

Finalmente, mediante un procedimiento de cálculo inverso iterativo (método de inversión) y a partir de la curva de dispersión calculada, se obtiene el perfil sísmico del terreno en función de  $V_s$  para cada punto de estudio, como se puede ver a modo de ejemplo en la Figura 6.4.

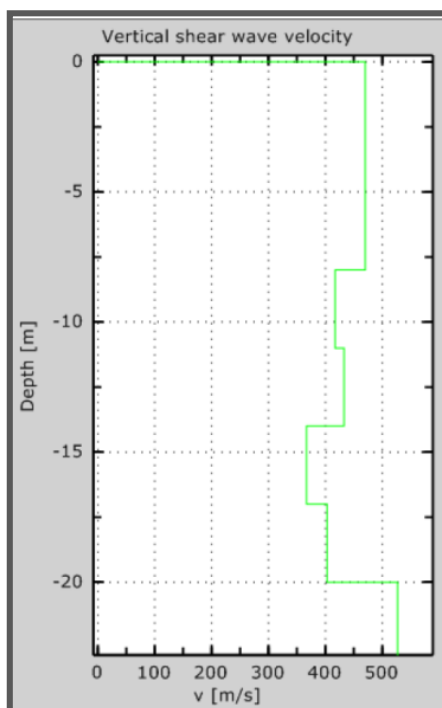



Figura 6.4: Ejemplo de variación de  $V_s$  en función de la profundidad

### 6.3.2. Procedimiento de Ensayo en la zona de fundación de la presa

Se realizaron 15 sondeos geosísmicos *MASW* en una primera campaña realizada en el 2015 en dos líneas geofísicas paralelas al eje de la presa y 30 sondeos geosísmicos *MASW* en una segunda campaña realizada en mayo de 2016 distribuidos en dos zonas, una en los alrededores de los sondeos BP 08 y BP 09 y otra hacia la derecha del primer grupo, entre los sondeos BP 07 y BP 04 (Ver Figura 6.5).

En los ensayos de campo que se realizaron se definió el punto central de cada perfil sísmico y la dirección del eje de la línea geofísica, luego se procedió a instalar los geófonos y los cables de conexión al equipo de adquisición de datos. Los puntos de medición se separaron entre sí una distancia,  $d$ , cuya magnitud es del

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 90 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

mismo orden que la profundidad de los suelos cuyas propiedades pueden ser detectadas con el ensayo. El impacto se realizó mediante el accionamiento del balde de carga de una retrocargadora que se accionó en sentido vertical contra el suelo y se efectuó en un punto colineal con los puntos de medición a una distancia del mismo orden de  $d$ , desde el sensor más cercano. Se utilizaron distintas distancias  $d$  para determinar las propiedades de los suelos en el rango de profundidades de interés.

En la Figura 6.5 se muestran los perfiles en el valle del río de la primera campaña del año 2015 y de la campaña de mayo de 2016 junto con los sondeos geotécnicos de las tres campañas realizadas.

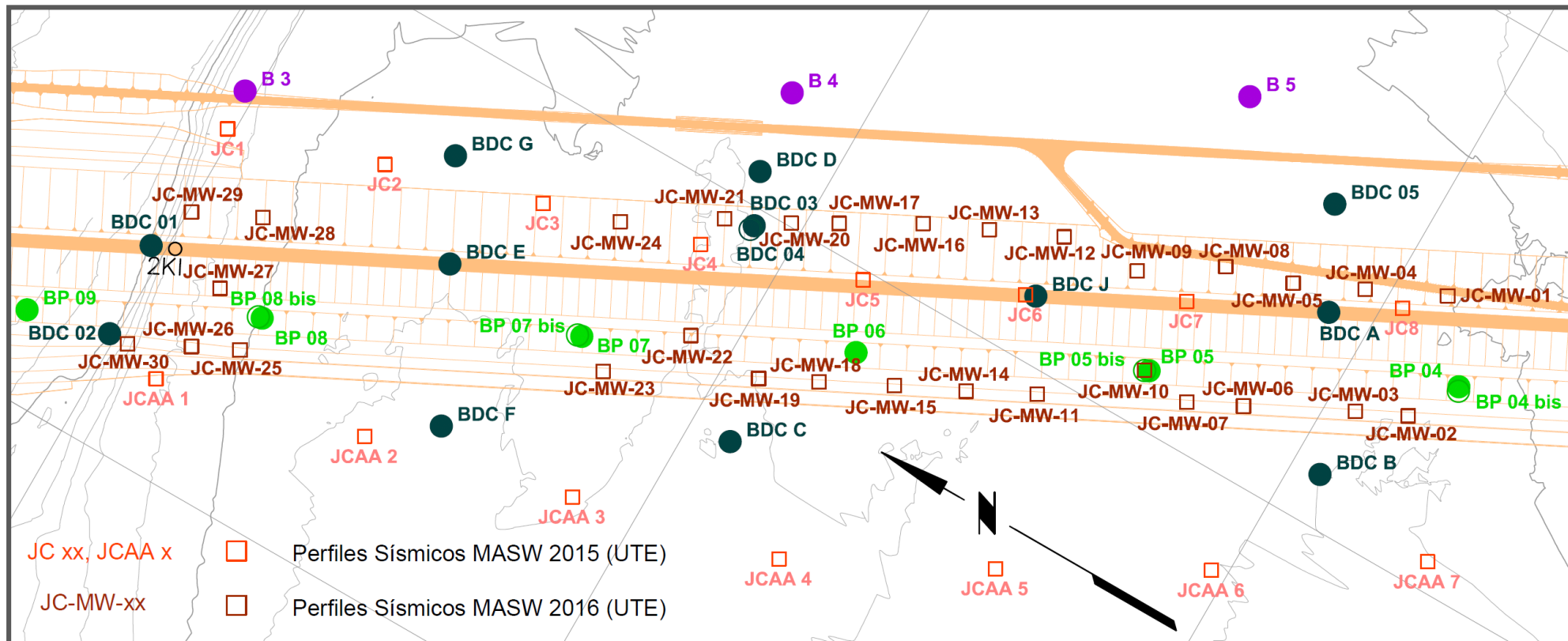



Figura 6.5: Perfiles en el valle del río. Campaña 2015 y 2016



	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 92 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

### 6.3.3. Interpretación de los resultados

El objetivo de este estudio fue determinar experimentalmente el perfil de velocidad de ondas de corte,  $V_s$ , de los suelos en el sitio de emplazamiento de la presa Jorge Cepernic. Para ello se previeron 15 sondeos geosísmicos MASW en la campaña 2015 y 30 sondeos geosísmicos MASW en la campaña 2016.

#### 6.3.3.1. Normalización de la velocidad de onda de corte

La velocidad de onda de corte obtenida a través de estos ensayos se encuentra influenciada por la tensión litostática. Si dicha velocidad la expresamos para una presión de confinamiento igual a una atmósfera, la velocidad resultante  $V_{s1}$ , es, con una aproximación suficiente, una propiedad de cada estrato. Para ello utilizaremos la siguiente expresión:

$$V_{s1} = \frac{V_s}{\left(\frac{\sigma'_0}{P_a}\right)^{0.25}}$$

donde

$V_{s1}$ : velocidad de onda de corte normalizada (presión de confinamiento igual a la presión atmosférica)

$V_s$ : velocidad de onda de corte del perfil sísmico

$\sigma'_0$  = presión de confinamiento

$P_a$  = presión atmosférica

El hecho de adoptar la presión de una atmósfera como presión de referencia significa que las velocidades,  $V_s$ , que no requieren corrección son aquellas que quedan multiplicadas por un número mayor que 1. Esta situación ocurre cuando la presión de confinamiento es menor que la presión atmosférica. En este trabajo haremos la normalización para una presión atmosférica de 101,3 kN/m<sup>2</sup> y un peso específico promedio, correspondiente a un suelo de grano grueso, de 19 kN/m<sup>2</sup>. Con estos valores, la normalización de las ondas de corte  $V_s$  se hizo por debajo de los 5,33 m.

#### 6.3.3.2. Obtención de las principales propiedades del material aluvional

Una vez adquirido el perfil de velocidades de onda de corte normalizado, se pueden obtener determinadas propiedades físicas de los materiales involucrados en el mismo ya sea, material aluvional o macizo rocoso subyacente. Las más importantes son las siguientes:

##### I Módulos de deformación dinámicos.

Para obtener los módulos de deformación dinámicos necesitamos estimaciones independientes del módulo de Poisson y de la densidad de los materiales de la siguiente manera:


**Obtención de la densidad del material aluvional,  $\rho$ :** a partir de los ensayos de densidad *in situ*

**Obtención del coeficiente de Poisson,  $\nu$ :** a partir de los ensayos crosshole realizados en sondeos geotécnicos y sísmica de refracción utilizando la siguiente fórmula:

$$\nu = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1}$$

donde:

$$\text{Velocidad de onda P, } V_p = \frac{\text{distancia entre perforaciones}}{\text{tiempo de viaje de la onda P}}$$

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 93 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

Velocidad de onda S, 
$$V_s = \frac{\text{distancia entre perforaciones}}{\text{tiempo de viaje de la onda S}}$$

### Cálculo del módulo de elasticidad dinámico, $E_d$

Conocido el valor de  $V_s$ , el módulo elástico dinámico del suelo para pequeñas deformaciones,  $E_d$ , puede ser obtenido de la expresión:

$$E_d = 2\rho V_s^2(1 + \nu_d) \quad (1)$$

donde:

$V_s$  = velocidad de onda de corte de los ensayos MASW

$\nu_d$  = coeficiente de Poisson

En esta ecuación se puede apreciar que los valores de  $E_d$  asociados a los valores extremos de Poisson entre 0,2 y 0,5 se encuentran entre 2,4 a 3 veces del valor de  $V_s$ , es decir que la máxima variación posible es del 20%. Aún si se tomara un coeficiente de poisson de 0,32, la diferencia entre ese valor genérico y los otros límites elásticos físicos sería del 10% solamente.

Algo similar sucede con el valor de la densidad del suelo a utilizar en la ecuación 1 para calcular  $E_d$ . Esta depende del tipo de suelo y de la humedad y si bien presenta incertidumbres, la influencia es lineal, es decir, que entre un valor genérico de la densidad y los valores extremos posibles, la influencia de este parámetro se mantiene acotada si se utilizan los datos disponibles de otro tipo de ensayos.

### Cálculo del módulo de corte dinámico, $G_d$

Los valores del módulo elástico dinámico  $G_d$  pueden ser calculados a partir de  $V_s$  mediante la siguiente expresión:

$$G_d = \rho V_s^2$$

donde:

$V_s$  = velocidad de onda de corte de los ensayos MASW

$\rho$  = densidad del material

## II. Módulos de deformación estáticos, $E_s$ y $G_s$ , a partir de aplicar un cierto factor al módulo de deformación dinámico $E_d$ y al módulo de corte dinámico, $G_s$ .

La relación entre los valores de módulos estáticos y dinámicos ha sido objeto de numerosas investigaciones, principalmente de laboratorio, donde se mide la resistencia a la compresión y la velocidad de ondas sobre la misma muestra. Una diferencia sustancial es la repetitividad de los ensayos. Mientras que los ensayos estáticos tienen dispersión, producto de la necesidad de ensayar un conjunto de muestras, los dinámicos, al no ser destructivos, se pueden repetir indefinidas veces con baja dispersión.

En el Informe JC-A.CV-IV.GT-(OG-00-00)-P001-0A incluido en el [ANEXO 40](#): "Módulo de deformabilidad", se propone una de las relaciones de la bibliografía técnica como la siguiente:


$$E = 0,83 E_d$$

Siendo  $E$  el módulo de deformación (estático) del macizo rocoso y  $E_d$  el módulo dinámico. Para los cálculos presentados en el capítulo de Modelo geotécnico de la margen derecha se ha adoptado una sensibilidad de valores entre 0,6 y 0,8.

Este tipo de correlaciones pueden ser tomadas como referencia para algunas rocas, como las sedimentarias, si consideramos el hormigón como una de ellas.

En ensayos realizados en distintos tipos de roca, se ha podido demostrar la influencia de características particulares de las muestras, como porosidad, microfisuras, cementación, etc.

Existen algunos ensayos in situ estáticos en donde también se ha medido velocidad de ondas. Este tema está tratado exhaustivamente por un libro de Barton (2007). Allí se tienen en cuenta las correlaciones,  $E_{mass} = 10 Qc^{1/3}$ , con la expresión que relaciona la velocidad con la calidad de la roca,  $V_p = 3.5 + \log Qc$

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 94 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

Esto concluye en la fórmula empírica:

$$E_{mass} = 10^{(V_p - 0,5)/3} (GPa)$$

En este caso, el módulo  $E_{mass}$  que se determina es el que corresponde al macizo rocoso.

Esta fórmula es similar a la desarrollada previamente por Ribacchi, basados en ensayos que correlacionan ambos tipos de ensayos en rocas variadas (calcáreas, esquistos, gneisses, granodioritas, milonitas, dolomita, calcarenitas, y areniscas intercaladas con fangolitas). Los mejores resultados provienen de calcáreos y dolomitas.

Se han encontrado otras correlaciones, en la importante recopilación de Nick Barton titulada "Rock quality, seismic velocity, attenuation and anisotropy"

### III. Compacidad del material aluvional y resistencia al corte

En el capítulo del modelo geotécnico del valle y en particular de la Fundación de la presa se presenta un análisis específico sobre este tema, tomando en cuenta no solo los estudios *MASW* y *Cross-Hole* sino también los ensayos SPT realizados en anteriores campañas.

Esto incluye el perfil de velocidades  $V_s$  para las campañas del año 2015 y 2016 distribuida en tres sectores de la zona del valle, norte, central y sur, marcando en línea roja la velocidad límite de 210 m/seg para análisis de la licuación de arenas y de la densidad relativa de gravas. En la misma figura se marcarán los sectores que presentan cambios bruscos de velocidades en profundidad y con valores cercanos al límite inferior.

### IV. Peligro de licuefacción de materiales limoarenosos

En el informe del [ANEXO 39](#)-Estudios de licuefacción, se presenta un análisis específico sobre este tema, tomando en cuenta no solo los estudios *MASW* y *Cross-Hole* sino también los ensayos SPT realizados en anteriores campañas.

Hay numerosas correlaciones entre el potencial de licuación y la velocidad de onda de corte, presentados en numerosos trabajos técnicos como los del reconocido trabajo resumen de investigaciones titulado "*Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*", "*Metodología y técnicas para la Cuantificación del potencial de licuación en suelos sujetos a solicitaciones dinámicas*"- Tupak Obando (España), "*A Liquefaction evaluation procedure based on shear wave velocity*" de K. Stokoe, entre otros.

El análisis junto con el Informe específico se comenta en el capítulo del modelo geológico-geotécnico del cauce del río.

### V. Integración de la información de los perfiles *MASW* con los perfiles obtenidos de los sondeos geotécnicos, los ensayos *Cross-Hole* y sondeos eléctricos verticales.


En primera instancia se buscan correlaciones entre los resultados de los ensayos *MASW* con los *Cross-Hole* con el parámetro de velocidad de onda de corte  $V_s$  y la observación de los cutting de los sondeos.

Esta comparación se aplica para el modelo geotécnico en la zona del valle del río para el estudio de la fundación de la presa en el material aluvional y el macizo rocoso en la fundación de las estructuras de margen derecha.

#### 6.3.3.3. Conclusiones generales sobre el perfil de velocidades $V_s$

En el [ANEXO 14](#): "Informe Ensayos *MASW*-ENDEIC-2015" y [ANEXO 15](#): "Informe Ensayos *MASW*-ENDEIC-2016" se incluyen los informes de la firma ENDEIC-Ensayos no destructivos y Evaluación de Infraestructura Civil del año 2015 y año 2016.

Hay que tener en cuenta que la resolución de la curva de dispersión depende fundamentalmente del algoritmo de procesamiento de datos y de la adquisición de los registros en el campo en cuanto a parámetros como la fuente de energía, armado o geometría del conjunto de receptores, ruido ambiental y separación de la fuente de energía con respecto al armado. En el estudio realizado, cada salto de velocidad, de aproximadamente 3 m, corresponde a un promedio de los diversos estratos del tramo correspondiente.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 95 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

A grandes rasgos, se puede afirmar que el rango de velocidades  $V_s$  varía:

- en el material aluvional entre 260 m/s a 280 m/s en su parte superior
- hasta los 300 m/s a 400 m/s o más en el contacto con la roca sedimentaria subyacente.
- La Fm. Sta. Cruz subyacente también presenta un rango de velocidades muy variable, alrededor de los 300 a 400 m/s en la zona de roca alterada hasta llegar a valores, en general, superiores a los 500 m/s en la roca sana.

En el [ANEXO 20](#): “Plano MASW” y [ANEXO 19](#): “Coordenadas y valores MASW” se incluyen el plano con los perfiles de las velocidades medidas y las normalizadas y las planillas con los cálculos y resultados de las velocidades normalizadas. A modo de ejemplo, en la Figura 6.6 se muestra un tramo del perfil realizado en el eje de la presa. Se pueden ver los ensayos MASW JC 6, JC 7 y JC 8 de la campaña 2015. El Ensayo MASW JC 6 se encuentra al lado del sondeo BDC J. Esta situación permite calibrar los resultados de los ensayos realizados con el perfil estratigráfico de la zona ensayada.

Los resultados de estos ensayos y su integración con los otros estudios realizados se muestran específicamente en el apartado de “modelo geológico-geotécnico” de cada estructura.

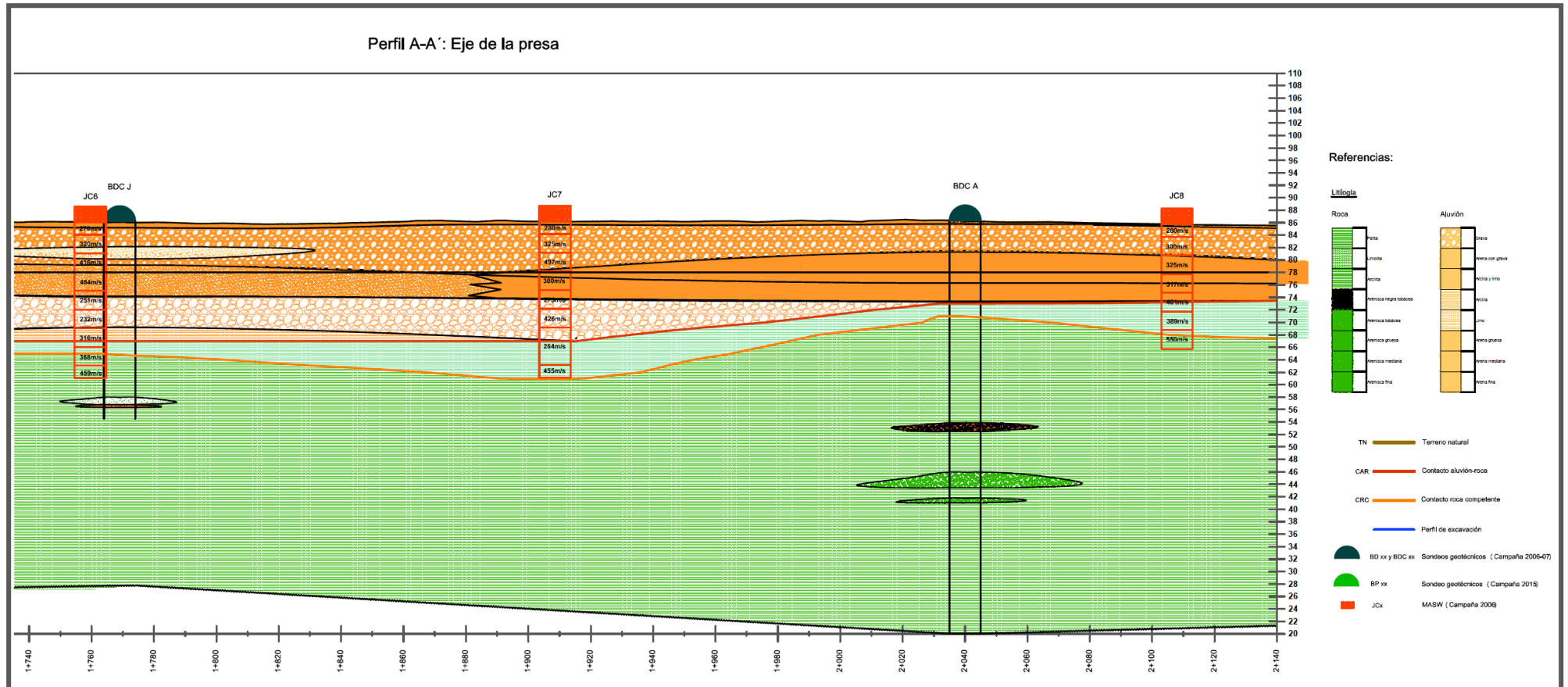



Figura 6.6: Resultados de los ensayos MASW-2015 en un tramo del perfil ubicado en el eje de la presa

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 97 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

## 6.4. Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)

### 6.4.1. Introducción

A partir de los valores medidos de la intensidad de corriente inyectada al terreno, de la caída de potencial y de la separación entre los electrodos, se puede determinar el valor de la *resistividad aparente*. Sólo en el caso de un subsuelo homogéneo la resistividad aparente coincide con la resistividad verdadera del subsuelo. Como sucede generalmente, el suelo es heterogéneo y el valor obtenido dependerá de las distintas formaciones que atraviesa la corriente.

La conducción eléctrica en la mayoría de sedimentos y rocas es esencialmente electrolítica. Esto es debido a que los granos que componen los materiales son, en su mayoría, aislantes, por lo que la conducción eléctrica se realiza a través del agua intersticial. Normalmente, el agua intersticial contiene sales disueltas que la hacen conductora. Por consiguiente, la resistividad de un suelo o roca dependerá de su contenido de electrolitos, que a su vez depende de la porosidad efectiva y del grado de saturación del agua.

### 6.4.2. Trabajos realizados en la zona de fundación de la presa

El objetivo de los sondeos eléctricos verticales (SEV) realizados en la zona de fundación de la presa fue determinar el nivel de roca de fundación, el espesor del aluvión y los distintos estratos que componen el mismo. Para lograr dicho objetivo se ejecutaron 82 SEV en la campaña del año 2006.

De todos los sondeos realizados, nos interesan los 17 SEV realizados en el valle del río siguiendo el eje de la futura presa donde se ubican las perforaciones BDC 02, BDC E, BDC 04, BDC 03, BDC J, BDC A, BDC 24, BDC H y BDC 26 y los 3 SEV ubicados en la margen izquierda donde se encuentran las perforaciones BDC 01, BI 02 y BI 04. Cada SEV se encuentra separado aproximadamente 100 m dentro de cada alineación.

El dispositivo usado fue el tetraelectródico ideado por *Schlumberger* por tener más ventajas técnicas que otros dispositivos, entre ellas, una mejor calidad en la determinación de las curvas de resistividad aparente obtenidas en campo, puesto que, al permanecer fijos los electrodos de potencial, todas las determinaciones tendrán el mismo efecto de la zona superficial en donde se hallan situados y por esta razón no se producen saltos adicionales en las curvas de manera que entorpezcan la interpretación.

### 6.4.3. Interpretación

La finalidad de la interpretación es determinar la distribución espacial de las resistividades en el subsuelo partiendo de los datos de resistividad aparente observada en la superficie del terreno. La solución válida es aquella que armonice más con los SEV contiguos y con los datos geológicos disponibles de los *Sondeos Geotécnicos*. Para ello se debió realizar un ajuste de la interpretación de acuerdo a lo recién planteado.

Para comenzar con el proceso de interpretación se realizaron los cálculos, volcando la curva en un gráfico bilogarítmico, (Curva de campo, en negro) y se realizó una primera interpretación cuantitativa mediante la ayuda de diversos ábacos (Curva teórica, en rojo). El proceso consistió en la superposición de la curva de campo con la curva teórica a partir de la cual fue posible determinar, utilizando técnicas auxiliares en forma indirecta, los espesores y las resistividades correspondientes a cada capa (modelo eléctrico, en azul). (Ver Figura 6.7). Los datos finales que figuran en el corte geoelectrico que se halla junto a las curvas de resistividad aparente medidas en el campo, representan la profundidad del techo de cada capa geoelectrica, su espesor y la resistividad verdadera de las mismas para la posición del centro del SEV, como se puede ver en la Tabla 6.4, a manera de ejemplo. Estos datos fueron interpretados hasta hallar la mejor coincidencia entre la curva de campo, la teórica y los datos proporcionados por los sondeos geotécnicos.

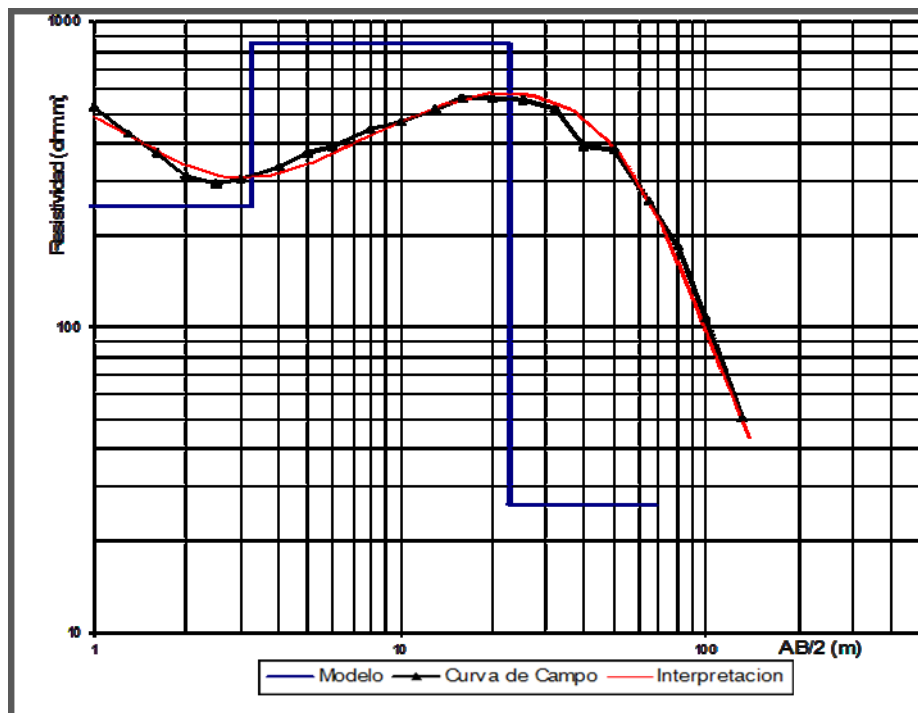


Figura 6.7: Gráfico con las curvas de campo en color negro, curva teórica computada en color rojo y en azul el modelo eléctrico de mejor ajuste. En este caso está incompleto pues sale fuera del gráfico de las curvas.

Tabla 6.4: Corte geoelectrico con las profundidades del techo y espesores de los estratos en m y su resistividad eléctrica verdadera en ohm-m.


Corte Geoelectrico			
Capa	Espesor	Prof. techo	Resist.
N°	(m)	(m)	(Ohm m)
1	0.5	0	636
2	2.7	0.5	251
3	19.6	3.2	848
4	-	22.8	26

En el tratamiento de los datos para su interpretación se consideraron los siguientes criterios:

- Las superficies de separación del corte o capas geoelectricas no coinciden siempre con los límites geológicos determinados por caracteres litológicos, genéticos y estructurales, de manera tal que puede suceder que un subsuelo homogéneo, desde el punto de vista geológico, se subdivide en varios horizontes geoelectricos y a la inversa, que varios horizontes geológicos se unan en uno solo horizonte geoelectrico. Esto se debe a que en el corte eléctrico del terreno influyen características tales como el contenido de humedad, composición química, granulometría, etc.
- No existe una ley general que correlacione litología con resistividad, no obstante, a grandes rasgos, se puede decir que la resistividad de los materiales crece en el siguiente orden: arcilla, limo, arena y grava y disminuye con el aumento del contenido de agua en los poros.
- Con respecto al contenido de agua de los materiales, hay que aclarar que el río Santa Cruz es de agua con bajo contenido salino por lo que la resistividad disminuye por debajo del nivel freático pero no de una manera drástica. El agua dulce presenta una mayor resistividad respecto del agua salada.

#### 6.4.3.1. Conclusiones sobre estudios geoelectricos

Teniendo en cuenta el limitado poder de resolución que presenta el método, la mayoría de los cortes geoelectricos responden, de una manera muy general, a un modelo de cuatro capas:

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 99 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

- La primera, de muy poco espesor y no siempre presente, tiene una resistividad más baja que la infrayacente debido al mayor contenido de humedad natural presente en el suelo en contacto con la atmósfera. Los valores presentan un rango entre los 125 a 354 ohm m.
- La segunda capa es la que tiene mayores valores de resistividad eléctrica y en su mayoría se encuentran presentes grava, gravilla y arena secas. Los valores oscilan en alrededor de 1 500 ohm m y superaron los 3 000 ohm m en las cercanías del cauce del río
- La tercera capa tiene, generalmente, una granulometría más baja que la primera y, prácticamente se encuentra por debajo del nivel freático. El contenido de agua con una cierta cantidad de sales disueltas y la menor granulometría en general, hace que las resistividades sean menores que la capa suprayacente. En esta capa se presentan grandes saltos de resistividad cuando aparecen estratos de granulometría muy fina sumada a la presencia de agua. Esta situación enmascara el contacto aluvión-roca como pasa en el sondeo BI 04 con una granulometría fina desde su comienzo (arena fina y limo arcilloso) donde, además, la roca de la Fm. Sta. Cruz comienza con una arenisca parda friable. El nivel de arena fina en el sondeo BP 12 o el nivel de arcilla en el sondeo BP 01 produce la falsa sensación de un contacto roca-aluvión en cotas más altas que las reales. En esta capa, los valores varían en un rango de 300 a 800 ohm m, con un aumento hacia el cauce del río, donde supera los 800 ohm m y un descenso hacia la ladera derecha, con valores por debajo de los 300 ohm m.
- La cuarta capa tiene las resistividades más bajas y, a grandes rasgos, responde a las pelitas de la Fm. Sta. Cruz cuya superficie geoelectrica de separación se encuentra en una posición que varía entre el contacto aluvión-roca al contacto con la roca sana. Los valores de esta capa se encuentran por debajo de los 11 ohm m.

Todo lo explicado se puede ver, a modo de ejemplo en la Figura 6.8. Las planillas de resultados y los perfiles completos se encuentran en el [ANEXO 17](#): “Coordenadas y Valores SEV” y [ANEXO 18](#): “Plano SEV”.

A partir del conocimiento de la geología del lugar, en la Tabla 6.5 se muestran los rangos de valores típicos que figuran en la literatura técnica. En la Figura 6.8 se muestra un perfil típico incluyendo los valores de resistividad sobre la litología.

**Tabla 6.5: Resistividad eléctrica de suelos y rocas**

Resistividad ohm m	TABLA DE COLORES	Tipo de suelo
> 2400	6	Arenas y gravas gruesas y secas
300-2400	5	Arenas y gravas con capas limosas
150-300	4	Arenas y gravas con limos
15-150	3	Suelo limoso y arenoso húmedo a seco
3-15	2	Arcilla limosa y suelo limoso muy húmedo a húmedo
< 3	1	Suelo arcillosos muy húmedo a húmedo



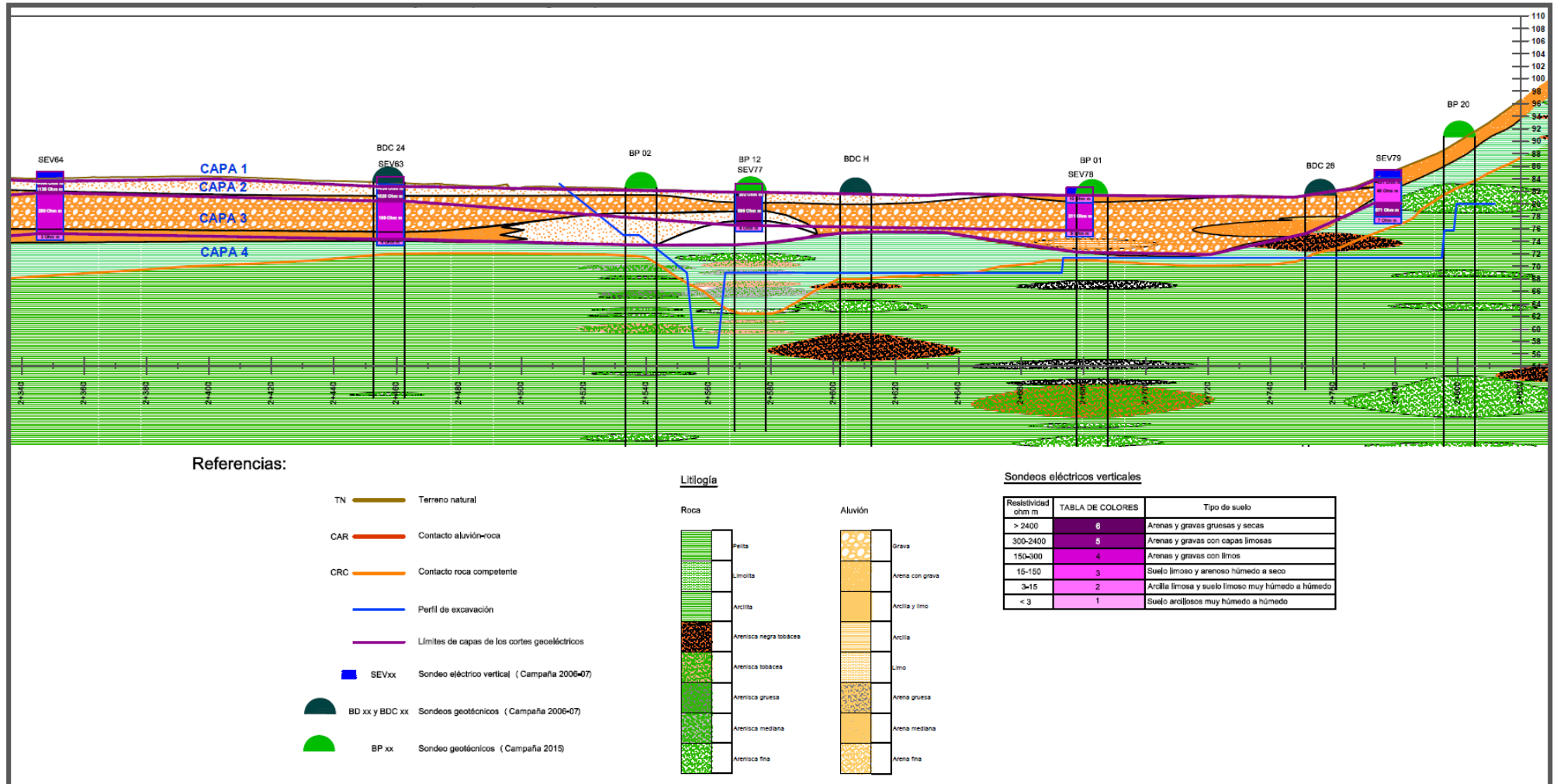



Figura 6.8: Resultados de los sondeos eléctricos verticales (SEV) en un tramo del perfil ubicado en el eje de la presa sobre Margen derecha

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 101 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

## 6.5. Sísmica de Refracción

### 6.5.1. Introducción

Los métodos sísmicos estudian la propagación en el terreno de ondas sísmicas producidas artificialmente, estableciendo su relación con la configuración geológica del subsuelo. La velocidad depende básicamente de las constantes elásticas y de la densidad del medio. Los contactos entre los cuerpos geológicos, con diferente velocidad de transmisión de las ondas sísmicas, definen superficies de separación en las que las ondas sufren refracción, reflexión o difracción.

La sísmica de refracción es un método muy empleado en la ingeniería geológica que estudia la energía que vuelve a la superficie tras sufrir refracción total en superficies límite del subsuelo. Consiste en la realización de perfiles longitudinales instrumentados con sensores (geófonos), espaciados entre sí una distancia conocida y generalmente regular. La energía que libera el disparo, habitualmente mediante un golpe con un martillo, llega a los sensores provocando una perturbación que se registra en un sismógrafo. La medida de los tiempos de llegada de las ondas elásticas a los geófonos proporciona el valor de la velocidad de propagación y espesor de los distintos materiales atravesados.

La dromocroma es la función lineal que relaciona el tiempo de llegada de la primera onda con la distancia recorrida por la misma. A cada refractor corresponde una dromocroma y la pendiente y ordenada en el origen de la recta permiten calcular la velocidad del medio y la profundidad a la que se encuentra la superficie de refracción.

La velocidad de transmisión de las ondas sísmicas, en este caso de ondas compresionales  $V_p$  es un buen indicador de las características geotécnicas de los materiales. A medida que los materiales se degradan y aumentan su grado de alteración, la velocidad disminuye. No se midieron las velocidades de onda cortante  $V_s$ .

Por lo tanto, a partir de este método se puede obtener la siguiente información:

- Velocidad de propagación de las ondas elásticas longitudinales en los distintos tipos de aluvión y en roca, así como también los espesores de las distintas capas
- Calidad de la roca aflorante y subyacente, estado de los macizos rocosos y grado de alteración
- Determinación de la profundidad del contacto aluvión-roca.

### 6.5.2. Trabajos realizados en la zona de fundación de la presa


En la campaña del año 2006 se realizaron tendidos de receptores (geófonos), llamados dispositivos sísmicos de hasta 24 canales, ubicados en línea, con espaciamientos máximos de 10 m entre sí. Luego se registraron y midieron los tiempos de llegada a esos receptores de los impulsos sísmicos generados mediante golpes.

### 6.5.3. Interpretación

Se efectuaron dispositivos sísmicos en forma de perfil y contraperfil con perturbaciones en los extremos, en mitad del dispositivo, en el centro y en algunos casos también se efectuaron de manera lejana. Desde los registros de campo se obtienen las primeras llegadas correspondientes a las ondas compresionales  $P$  o velocidad  $V_p$ , para todos los impactos que comprende el dispositivo. Se analizaron las dromocromas obtenidas delimitando por tramos las diferentes velocidades y estudiando las posibles estructuras que hagan coherentes los datos de los puntos de impacto. A partir del análisis de cada dromocroma y calculando en forma analítica, se determinaron las velocidades de propagación y se calcularon las profundidades. Los valores definidos de profundidad y velocidad de propagación se procesaron junto con la topografía para obtener el dibujo del perfil sísmico haciéndose un ajuste final a través de correlaciones geológicas y datos disponibles del área.

En los 8 dispositivos del valle entre la margen derecha del río y el pie de la barda (geófonos 139 a 323: D 14 a D 07) se obtuvo la siguiente información descripta por parte del subcontratista especializado:

- Una capa de espesor variable, entre 5 y 14 m, con velocidades variables entre los 800 m/s y 1 300 m/s que luego aumenta hasta los 1 600 m/s. Corresponde a gravas y rodados saturados.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 102 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

- Una velocidad de 2 000 m/s que corresponde a la Fm. Sta. Cruz.
- Se destaca el escaso contraste entre las velocidades de propagación de los aluviones saturados y la Fm. Sta. Cruz.

### 6.5.4. Conclusiones sobre estudios de sismica de refracción

De la revisión de estos trabajos se concluye de nuestra parte que:

- En los perfiles entregados en esa oportunidad, solamente se distinguen dos capas: una superior de Velocidad de onda  $V_p$  de 1000 m/s y que abarca la mitad superior del material aluvional sin discriminar otra capa superficial. La capa subyacente de  $V_p$  igual a 2000 m/s integra la parte inferior del aluvión y la roca alterada y sana. Estos resultados no se ajustan a la realidad verificada en los sondeos geotécnicos ni a la discriminación que presentó el subcontratista en sus conclusiones.
- El Informe presentado ha sido incompleto al no presentar las dromocromas, que podrían usarse para hacer una revisión de los resultados.
- Se observa un gran contraste entre estos resultados de  $V_p$  con los medidos en los ensayos Cross-Hole, que consideramos de mayor exactitud.

## 6.6. Ensayos Cross-Hole

### 6.6.1. Introducción

Este tipo de técnica se realiza mediante la introducción, en un sondeo previamente revestido, de una sonda triaxial que registra los tiempos de llegada de las ondas  $P$ , compresional y  $S$ , de corte, a partir de las cuales se calculan las velocidades de transmisión ( $V_p$  y  $V_s$ ) y los módulos de deformación dinámicos del terreno ( $v_d$ ,  $E_d$  y  $G_d$ ). Se realiza entre dos sondeos; en uno de ellos se introduce la sonda triaxial a distintas profundidades y en el otro se realizan los golpes también a profundidad variable (Ver Figura 6.9). El resultado es una sección de las diferentes velocidades del material entre los sondeos. Las mediciones son obtenidas *in situ* bajo las condiciones naturales existentes en el terreno, y no influenciadas por efectos perturbantes de la toma de muestras y su tratamiento.

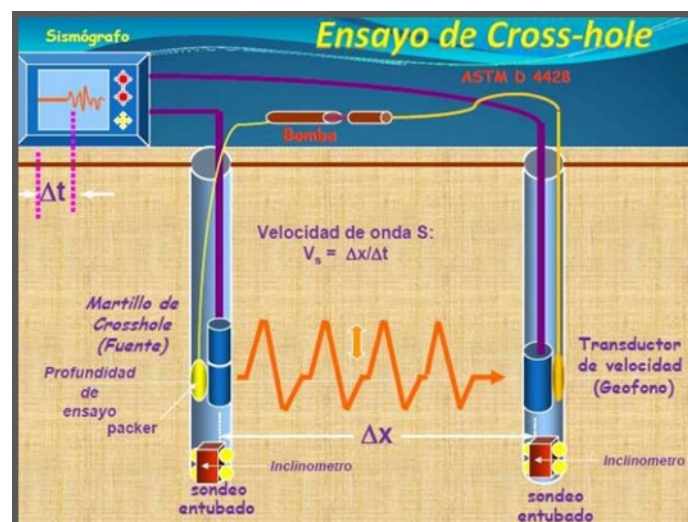



Figura 6.9: Esquema del ensayo de Cross-Hole

Tanto las ondas de compresión como las de corte son ondas de cuerpo ya que se propagan por el interior de los cuerpos sólidos. La relación entre estas velocidades y la densidad del material permite el cálculo de las siguientes expresiones:

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 103 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

$$V_p = \frac{\text{distancia entre perforaciones}}{\text{tiempo de viaje de la onda P}}$$

$$V_s = \frac{\text{distancia entre perforaciones}}{\text{tiempo de viaje de la onda S}}$$

$$v_d = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2}$$

$$E_d = 2\rho V_s^2(1+v_d)$$

$$G_d = \rho V_s^2$$

donde:

$V_p$  = velocidad de onda de compresión, onda P

$V_s$  = velocidad de onda de corte, onda S

$v_d$  = coeficiente de Poisson dinámico

$E_d$  = módulo de elasticidad dinámico

$G_d$  = módulo de corte dinámico

El valor de la velocidad de la onda de corte,  $V_s$ , es más representativo de los materiales del subsuelo que la onda de compresión  $V_p$ , porque no depende del fluido presente y del grado de saturación. Por otra parte la experiencia demuestra que para diversos tipos de terreno, el valor de  $V_s$  puede variar ampliamente, lo que constituye una excelente medida de las propiedades de los materiales.


## 6.6.2. Trabajos realizados en la zona de fundación de la presa

### 6.6.2.1. Campaña 2006 y Campaña 2016

En la Campaña 2006, se realizaron 4 grupos de ensayos mediante esta técnica, dos en la margen derecha, en las perforaciones BD 12 (arriba de la barda) y BDC 03 (en el valle del río) y dos en la margen izquierda, en las perforaciones BC 1 (cerca del cauce del río) y BI 01 (en el valle del río). En la Campaña 2016 también se realizaron 4 grupos de ensayos en los sondeos BP 04, BP 05, BP 07 y BP 08, todos ubicados en la margen derecha, en el valle del río. Las perforaciones utilizadas para cada ensayo se realizaron con una separación de aproximadamente 5 m entre sí.

Para realizar el ensayo se ubicaron el martillo y la sonda en la misma cota. Una vez fijadas las herramientas se procedió al registro. Al golpear el martillo hacia abajo, se produce una onda de corte polarizada en la dirección del eje del pozo. Al registrar esta señal, con el geófono de eje vertical tendremos una onda con la mayor parte de la energía en forma de onda de corte y con el geófono horizontal se registra la onda de compresión que también se genera en el golpe. Al cambiar el sentido del golpe (hacia arriba), se obtiene un cambio de fase de la onda de corte las cuales se restan y las ondas de compresión se suman al no cambiar su fase. Si antes de golpear en este sentido (hacia arriba) se invierte la polaridad eléctrica de los geófonos, las ondas de compresión se restan y se refuerzan las de corte. Al sumar y restar señales de este modo, se logró identificar, por sumas y restas, las ondas de corte.

Las ondas de corte tienen una frecuencia de oscilación menor que la onda de compresión (aproximadamente dos tercios de la onda de compresión) y su velocidad se encuentra ubicada entre ésta y las de Love y de Raleigh.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 104 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

### 6.6.3. Interpretación

Los datos medidos y calculados se presentan en el “ [ANEXO 21](#): “Coordenadas y valores CH” para las dos campañas. El plano para la campaña 2006 se encuentra en el “ [ANEXO 22](#): “Plano CH”, y el respectivo a la campaña 2016 en el [ANEXO 33](#): “Investigaciones geológico-geotécnicas Perfil B-B’ Eje del muro colado”. Los valores de velocidad  $V_p$  y  $V_s$  más altos se producen en las capas con gravas gruesas y en la roca de la Fm. Sta. Cruz aunque no son significativamente más altos que los otros materiales presentes. Las primeras capas de velocidades más bajas son debidas a la descompresión del terreno. Luego las velocidades van en orden creciente con la profundidad.

Resultados en perforaciones

- En las perforaciones BP 04-04 bis, BP 05-05 bis, BP 06-06 bis, BP 07-07 bis, BDC 03-04, BI 01-02 y BC 1-2 se produce un salto de la velocidad de onda de compresión debido a la presencia de agua en el subsuelo mientras que la velocidad de onda de corte se mantiene ya que no es influenciada por este hecho (el agua no resiste esfuerzos de cizalla, por lo tanto no transmite las ondas de corte).
- En la perforación BC 1 se presenta un promedio de valores más altos respecto a las otras tres perforaciones. Esta situación se da en los niveles más profundos, donde se encuentran dos niveles de arena parda fina y un nivel de limo arcilloso en contacto con la Fm. Sta. Cruz. Probablemente la razón sea la cercanía que tiene la perforación con el cauce del río Sta. Cruz donde las oscilaciones del nivel freático podrían generar asentamientos en el momento de su abatimiento y con ello una mejor compactación del suelo. En la Figura 6.10 se muestra este sondeo junto con el BI 01 para comparación.
- La campaña 2016 presenta un promedio de valores más alto que la campaña 2006.
- En la Figura 6.10, antes citada, se puede observar el salto de velocidades a partir del nivel freático medido en sondeos como también verificado con el salto de las velocidades  $V_p$  y no así el  $V_s$  que no se ve afectado por la presencia de agua
- Del mismo modo se puede observar la diferencia importante entre la velocidad  $V_p$  medida en Cross-Hole que es la mitad de la medida por sísmica de refracción. En ninguno de los *Cross-Hole* se observa una velocidad  $V_p$  cercana a los 1 000 m/seg en los niveles superiores en la campaña 2006

### 6.6.4. Conclusiones de los estudios de *Cross-Hole*

Luego de analizar los diferentes perfiles teniendo en cuenta los perfiles estratigráficos observados en los perfiles geotécnicos, se hacen las siguientes consideraciones generales sobre este estudio:

#### 5 m superiores


- En general las gravas ubicadas antes de los 5 m tienen una velocidad de alrededor de los 250 m/s,
- la grava con algo de arena y las arenas con rodados, grava y gravilla entre los 225 y los 240 m/s y
- las arenas puras, entre los 190 y los 225 m/s.
- Las velocidades para cada material descriptas en los puntos anteriores corresponden a la Campaña 2006. La Campaña 2016, presenta valores más altos

#### Por debajo de los 5 m

- Por debajo de los 5 m las velocidades aumentan ligeramente. Las gravas presentan valores superiores a los 270 m/s y las arenas alrededor de los 250 m/s para la Campaña 2006. La Campaña 2016 presenta valores más altos.

En el [ANEXO 21](#): “Coordenadas y valores CH”, [ANEXO 22](#): “Plano CH” y [ANEXO 33](#): “Investigaciones geológico-geotécnicas Perfil B-B’ Eje del muro colado” se presenta los resultados de los ensayos *Cross-Hole* de una manera más simplificada, con el criterio de tomar un promedio de las velocidades presentes en cada estrato identificado en los sondeos geotécnicos. Ello permite observar lo siguiente:

- Se pueden ver los pequeños saltos de velocidades coherentes con los cambios composicionales de los estratos de materiales aluvionales observados en los sondeos mediante el cutting.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 105 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

- En cada sondeo, cuando se pasa de un estrato de granulometría más gruesa a una más fina, la velocidad promedio disminuye y viceversa.
- Hay un aumento gradual de las velocidades con el aumento de la profundidad.
- Las velocidades más altas se presentan hacia el cauce del río, como ya dijimos y los valores más bajos se encuentran en el BD 12, en la escarpa de la margen derecha.

Los resultados de estos ensayos y su integración con los otros estudios realizados se muestran específicamente en los apartados que tratan sobre los modelos geológico-geotécnicos de cada estructura.

En la Figura 6.10 se muestra un perfil geotécnico mostrando estos resultados en relación con la litología.

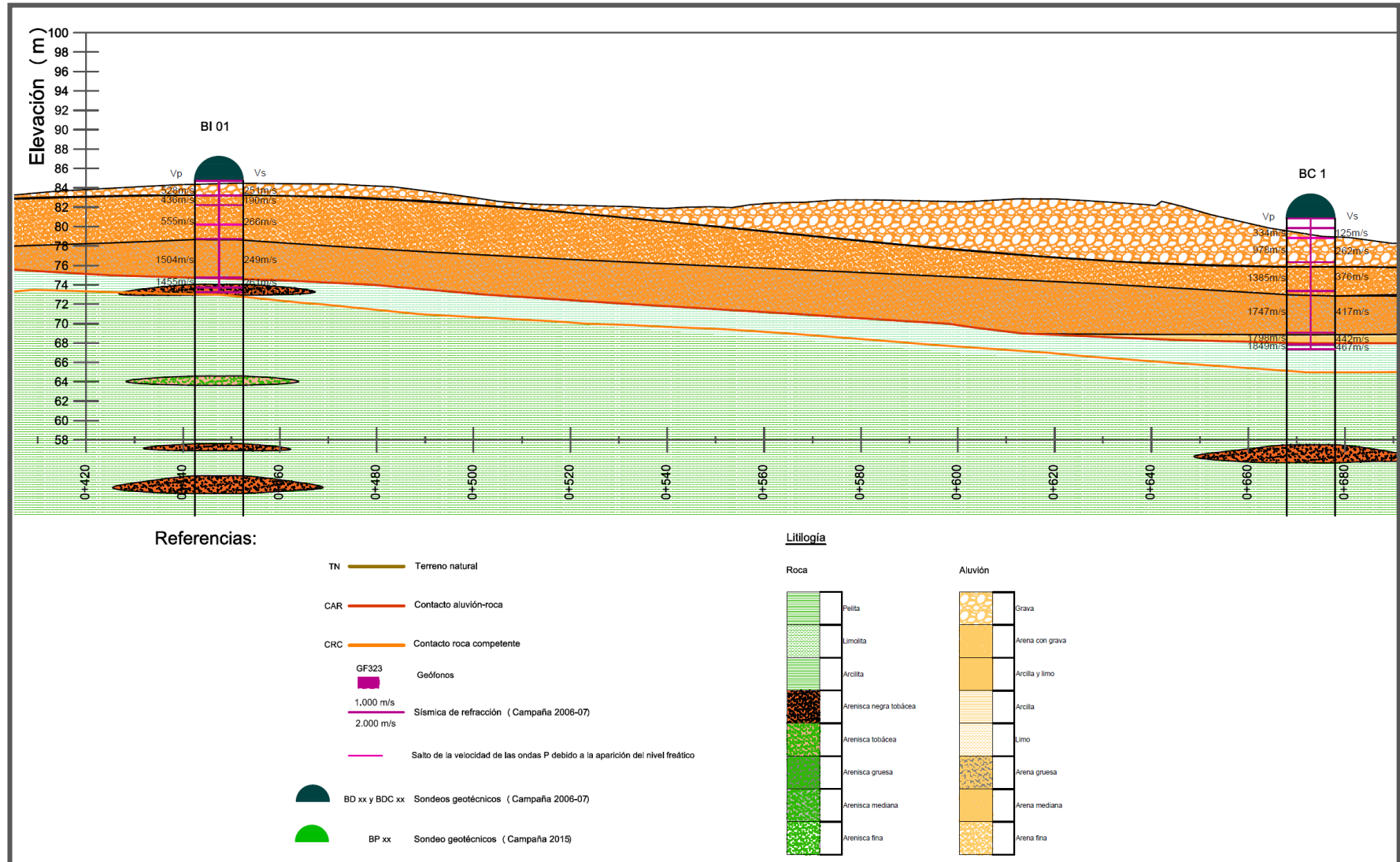



Figura 6.10: Resultados de la sísmica de refracción y ensayos Cross-Hole en el perfil ubicado en el eje de la presa

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 107 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

## 6.7. Ensayos SPT

Se llevaron a cabo ensayos SPT en 19 sondeos de la campaña 2006 y se previeron más ensayos para la campaña 2016 que finalmente fue cancelada.

### 6.7.1. Procedimiento del ensayo en los sondeos geotécnicos

Normalmente se aplica la Norma ASTM: Designación D1586 "METODO ESTANDAR DEL ENSAYO DE PENETRACION "SPT" CON MUESTREADOR DE SUELOS CON CAÑA PARTIDA "que toma en cuenta las siguientes referencias:

- D2487 Método de Ensayo para la Clasificación de Suelos con Propósitos Ingenieriles.
- D2488 Práctica para la Descripción e Identificación de Suelos (Procedimiento Visual-Manual).
- D4220 Prácticas para Preservar y Transportar Muestras de Suelo.

Se define al Valor N como el número de golpes representativo de la resistencia a la penetración del suelo.

El valor de N, representado en golpes/pie es igual a la suma del número de golpes requerido para hincar el muestreador en el intervalo de profundidad de 6 a 18 pulgadas (150 a 450 mm).

A la vez se define a N como el número de golpes obtenido en cada intervalo de 15.0 cm o 6" de la penetración del muestreador.

Será aceptable cualquier procedimiento de perforación que proporcione una cavidad razonablemente limpia y estable antes de introducir el muestreador y asegure que el ensayo se realiza en suelo esencialmente inalterado. Cada uno de los procedimientos siguientes ha sido probado como aceptable para algunas condiciones del subsuelo anticipadas al seleccionar el método de perforación a emplearse.

Se debe registrar el número de golpes requerido para alcanzar cada 15 cm o 6" de penetración o fracción. Los primeros 15 cm o 6" se consideran los de acomodamiento. La suma del número de golpes del segundo y tercer incremento de 15 cm o 6" de penetración se denomina "resistencia a la penetración estándar" o "valor de N".

Si el muestreador se hinca menos de 45 cm o 18", como lo permite la norma, deberá anotarse en el registro de sondaje el número de golpes de cada incremento completo de 15 cm o 6" y cada incremento parcial. Para los incrementos parciales, deberá reportarse la profundidad de penetración con aproximación a 2.5 cm o 1", además del número de golpes. Si el muestreador avanza por debajo del fondo de la perforación por acción del peso propio de las varillas y varillas más martillo, deberá ser anotada dicha información.

En la campaña 2006 el procedimiento fue levemente distinto, al hacerse la lectura primera a 15 cm que se desecha y luego 3 lecturas cada 10 cm en lugar de 15 cm.

### 6.7.2. Interpretación

En la Tabla 6.6 se muestra un registro tipo de la campaña 2006 y el valor corregido del SPT. Al valor total de 50 golpes en realidad corresponde un SPT de 43 al desechar los primeros 15 cm.


**Tabla 6.6: Registro tipo de la Campaña 2006 y valor corregido de SPT**

Profundidad en centímetros	N° de golpes
0-16	7
16-26	13
26-36	20
36-46	10
N° Total de golpes	50

En la literatura técnica hay numerosas correlaciones entre el valor de SPT y el potencial de licuación de arenas y estratos finos limo-arenosos o similares.

Del reconocido trabajo resumen de investigaciones titulado "Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils" se han




 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 108 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

extractado un par de correlaciones que se muestran en el capítulo específico de análisis de la licuación de arenas en el modelo geotécnico del valle del río.

Otros títulos tomados en cuenta para este análisis son el libro “*Soil Dynamics*” de *Shamsher Prakash (USA)*, el titulado “*Metodología y técnicas para la cuantificación del potencial de licuación en suelos sujetos a sollicitaciones dinámicas-Ejemplos de casos*”- Tupak Obando (España).

### 6.7.3. Conclusiones de los estudios de SPT

Con los resultados de SPT de la campaña 2006, junto con las investigaciones de *MASW* de los años 2015 y 2016 y los *Cross-Hole* de los años 2006 y 2016 se ha elaborado un estudio específico sobre la posibilidad de Licuefacción de arenas, Informe JC-A.CV-MT.GT-(PR-00-00)-P002-0A, el cual se encuentra en el [ANEXO 39](#): “Estudios de licuefacción”.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 109 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

## 7. ESTUDIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN


El presente capítulo tiene por objetivo presentar el estado del conocimiento actual, sobre los yacimientos para los materiales de construcción de la presa Jorge Cepernic en la provincia de Santa Cruz, incluyendo las llevadas a cabo por el Laboratorio de la UTE durante noviembre-diciembre 2015. Gran parte de este apartado es un extracto del Informe completo JC-A.CV-ES.GT-(PR-00-00)-P001 presentado en Enero 2016.

De acuerdo con el perfil típico presentado en la oferta (plano JC-A.CV-PL.PR-(PR-08-00)-P002), para la construcción de la presa serán necesarios los siguientes materiales pétreos:

- a. **Material 1A:** Es el material empleado como sellador natural en el sector del plinto y los niveles inferiores de la pantalla de hormigón. El material es un suelo no plástico (no cohesivo) del tipo limo arenoso o con una granulometría inferior. El pasante del tamiz 200 de este material debe superar el 20%.
    - b. **Material 1B,** random de protección del material 1A. Se utilizara material aluvional sin clasificar.
    - c. **Material 2A,** arenas y gravas finas bien gradadas (<#1/2") que actúan de filtro del material 1A. Material empleado para el apoyo de la junta perimetral. El contenido de finos puede variar entre 2 y 8%.
 

▪ 1/2" (12,7 mm)	100%
▪ 3/8" (9,5 mm)	85-100%
▪ 4 (4,8 mm)	54-90%
▪ 15 (1,19 mm)	23-46%
▪ 50 (0,297 mm)	5-23%
▪ 100 (0,15 mm)	3-13%
▪ 200 (0,074 mm)	2-8%
    - d. **Material 2B,** arenas y gravas bien gradadas (<#11/2") y pocos finos (<10%), de apoyo de la losa de hormigón del talud de aguas arriba. El entorno granulométrico aproximado es el siguiente, siguiendo lineamientos del Bulletin ICOLD 141 y de la propuesta del proyecto de detalle según el diseñador:
 

▪ 3" (76,2mm)	100%
▪ 1 1/2 " (38 mm)	90-100%
▪ 1" (25,4 mm)	70-90%
▪ 3/4 " (19,1 mm)	50-80%
▪ 3/8" (9,5 mm)	35-65%
▪ No. 4 (4.8 mm)	20-45%
▪ No10 (2mm)	12-35%
▪ No 40 (0,42 mm)	5-25%
▪ No. 100 (0,15 mm)	3-12%
▪ No. 200 (0,074 mm)	0-8%
- A la vez incluimos otra faja comparativa más amplia de este material según la siguiente gradación:
- |                    |         |
|--------------------|---------|
| ▪ 3" (76,2mm)      | 100%    |
| ▪ 1 1/2 " (38 mm)  | 70-100% |
| ▪ 3/4 " (19,05 mm) | 55-80%  |
| ▪ 3/8" (9,5 mm)    | 35-65%  |
| ▪ No. 4 (4.8 mm)   | 35-60%  |
| ▪ No10 (2mm)       | 12-35%  |
| ▪ No 40 (0,42 mm)  | 5-25%   |

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 110 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

- No. 200 (0,074 mm) 0-7%
- e. **Material 3B**, gravas bien graduadas (80-100% < 3”), con tamaño máximo de 100 cm, en el cuerpo principal de la presa, aguas arriba del eje. Es de aplicación el siguiente entorno granulométrico aproximado:
- 4” (101,6 mm) 100%
  - 3” (76 mm) 76-100%
  - 2 ½” (63,3 mm) 70-97%
  - 2” (50,8 mm) 63-94%
  - 1 ½” (38 mm) 52-92%
  - ¾” (18 mm) 25-60%
  - No. 4 (4.8 mm) 20-55%
  - No. 40 (0,42 mm) 10-30%
  - No. 200 (0,074 mm) 0-5%
- f. **Material 3C**, gravas de aluvión con tamaño máximo de 200 cm, en el cuerpo de la presa aguas abajo del eje.
- g. **Material D**; arenas para el dren inclinado ubicado entre el material 3A y 3B y del dren horizontal. Es una grava seleccionada, de forma de cumplir adecuadamente con las leyes de filtros en función de los materiales con los cuales se encuentra vinculado. Se emplearán materiales naturales o eventualmente roca triturada, dura, sana y durable. No deben usarse materiales no sanos, que se desintegren fácilmente durante el manipuleo, la colocación o por efecto de la intemperie. Se indica a título indicativo la siguiente distribución granulométrica propuesta por el diseñador.
- 4” (100 mm) 100%
  - 3” (76 mm) 38-100%
  - 2” (50,8 mm) 8-55%
  - ¾” (19,05 mm) 0-15%
  - ½” (12.7 mm) 0-5%
  - 3/8” (9,5 mm) 0-2%
- h. **Material 4**: enrocado de protección de talud de aguas abajo con tamaño de fragmento de roca de hasta 0,5 m.

## 7.1. Recopilación y análisis de antecedentes

Durante la décadas del 70 y del 80 la Empresa Estatal Agua y Energía Eléctrica (AyEE) realizó las Campañas de Investigación para determinar la factibilidad de la construcción de las Presas del río Santa Cruz denominadas Cóndor Cliff en el Km 250 y La Barrancosa en el Km 180, hoy denominadas Pdte. N. Kirchner y Gdor. J. Cepernic respectivamente. Ambos sitios fueron seleccionados por ser uno de los pocos estrechamientos naturales que presenta el río Santa Cruz en su recorrido que ofrecen la facilidad de construir dos presas de tipo CFRD debido a los abundantes yacimientos granulares que existen en las adyacencias.

En el sitio de emplazamiento de la Presa J. Cepernic fueron estudiados 6 yacimientos denominados BI, BII, BIII, BIV, Ba y Bb (Figura 7.1).

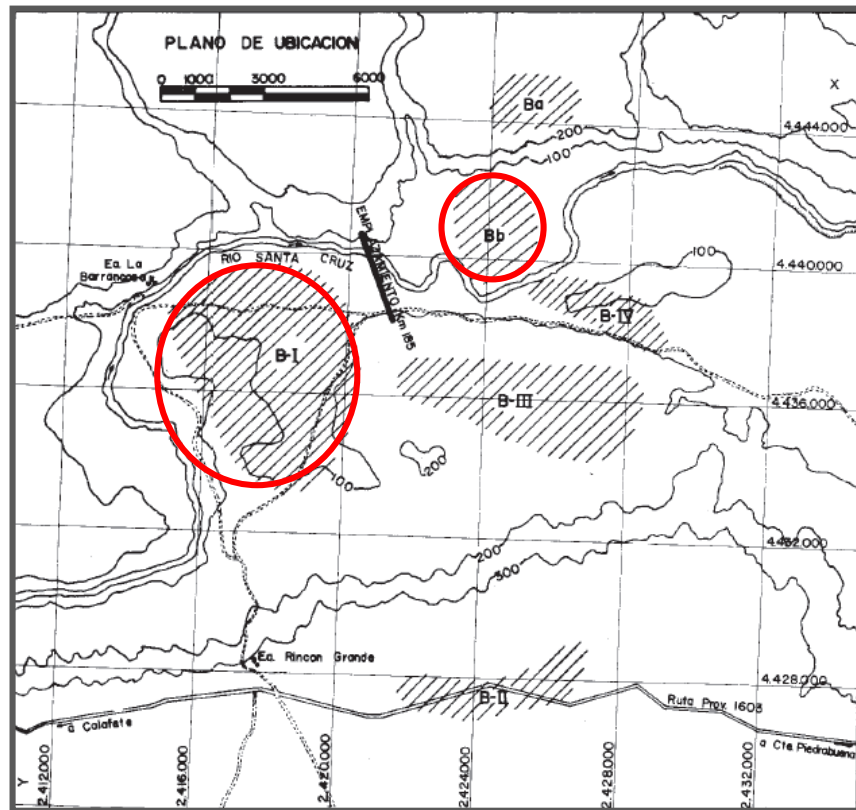


Figura 7.1: Plano de Ubicación de los yacimientos estudiados por AyEE en el sitio de la Presa J. Cepernic.

En esa época, la alternativa considerada era la de presas de enrocado con núcleo de arcilla por lo que:

- los yacimientos BI, BIV y Bb se estudiaron en busca de materiales para los espaldones de la presa y
- los yacimientos BII, BIII y Ba para material de núcleo.
- El yacimiento BI se estudió también en busca de arenas para el hormigón.
- Los materiales finos podrán ser de utilidad para ataguías.

Todos los yacimientos de materiales granulares se ubican sobre terrazas fluvio-glaciales y fluviales aledañas al curso actual del río Santa Cruz.

La ubicación de las muestras obtenidas en cada yacimiento se presenta en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1: Coordenadas de ubicación de los Yacimientos en la Presa J. Cepernic

YACIMIENTOS EN LA BARRANCOSA											
YACIM.	CALICATA	COORDENADAS			COTAS	YACIM.	CALICATA	COORDENADAS		COTAS	
		X	Y					X	Y		
B I	B I-1	4.439.373	2.419.189		94.5	B III	B III-1	4.437.666	2.421.027	152.2	
	B I-4	4.436.846	2.418.416		98.3		B III-3	4.437.667	2.423.048	150.5	
	B I-6	4.435.114	2.417.886		105.0		B III-5	4.437.667	2.425.048	143.1	
	B I-8	4.433.373	2.417.354		106.4		B III-7	4.436.709	2.422.048	147.3	
	B I-9	4.432.800	2.417.178		107.1		B III-9	4.435.614	2.423.550	147.6	
	B I-10	4.437.645	2.415.806		96.7		B III-10	4.435.055	2.424.318	150.1	
	B I-12	4.437.113	2.417.546		100.2		B III-11	4.434.495	2.425.085	153.8	
	B I-13	4.436.580	2.419.287		101.9		B III-12	4.433.687	2.424.495	167.6	
	B I-15	4.435.646	2.416.146		100.1		B III-13	4.433.098	2.425.308	181.9	
	B I-17	4.434.848	2.418.756		105.5		B III-14	4.435.303	2.423.675	147.9	
	B I-19	4.433.640	2.416.484		107.6		B III-15	4.434.713	2.426.482	145.9	
	B I-21	4.432.534	2.418.048		108.8		B III-16	4.434.259	2.425.408	152.6	
	B I-22	4.437.557	2.416.093		95.1		B IV	B IV-2	4.439.078	2.426.245	96.0
	B I-23	4.437.733	2.415.519		99.6			B IV-4	4.438.181	2.427.877	95.1
	B I-24	4.437.932	2.415.894		97.9			B IV-6	4.437.432	2.428.978	87.9
	B I-25	4.438.219	2.415.982		99.6		B a	B a1	4.443.782	2.424.600	215.9
B I-26	4.438.198	2.416.059		99.6	B a2	4.444.032		2.425.466	213.8		
B I-27	4.438.240	2.415.905		99.4	B a3	4.444.279		2.426.321	213.2		
B II	B II-1	4.427.156	2.418.459		390.2	B a4		4.444.463	2.425.341	214.0	
	B II-3	4.426.174	2.420.315		388.3	B a5		4.443.605	2.425.589	214.8	
	B II-4	4.425.844	2.421.231		389.6	B b	B b1	4.442.534	2.425.241	90.6	
	B II-5	4.426.039	2.422.212		389.4		B b2	4.441.630	2.425.493	91.0	
	B II-6	4.426.234	2.423.193		391.7		B b3	4.440.745	2.425.754	87.4	
	B II-7	4.427.020	2.422.017		390.0		B b4	4.441.447	2.424.866	92.0	
	B II-8	4.425.058	2.422.407		394.3		B b5	4.440.496	2.424.955	89.9	
	B II-9	4.425.253	2.423.388		392.1		B b6	4.441.128	2.423.756	92.0	
	B II-10	4.427.215	2.422.998		391.4		B b7	4.440.242	2.424.010	93.7	
							B b8	4.440.863	2.422.842	91.4	
					B b9		4.439.951	2.423.095	89.2		
					B b10		4.441.557	2.422.643	97.6		
					B b11	4.441.924	2.423.532	93.7			

### 7.1.1. Yacimiento B II

El yacimiento BII está ubicado sobre la ruta provincial 9, al este de la estancia Rincón Grande sobre la terraza superior denominada Pampa alta.

La Figura 7.2 presenta la ubicación en planta de los 9 pozos exploratorios realizados para cuantificar los materiales de este yacimiento.

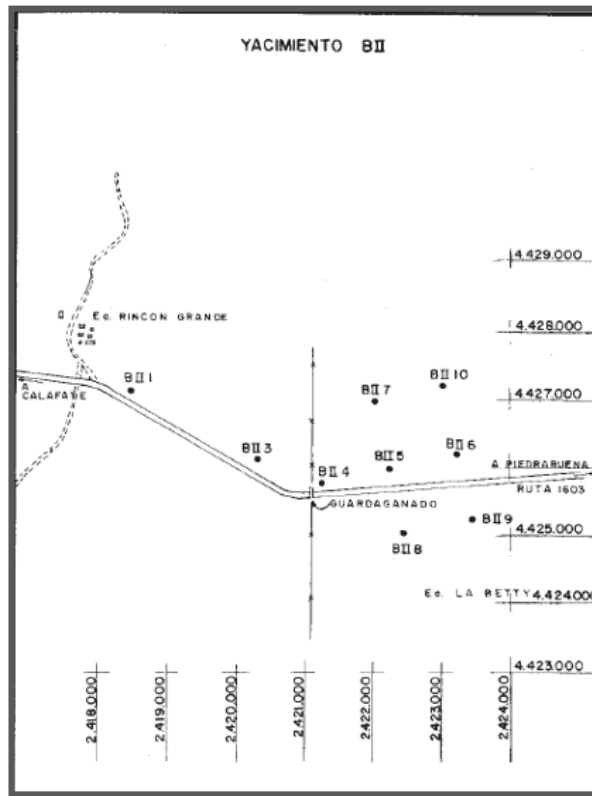


Figura 7.2: Planta de ubicación de los 25 pozos exploratorios del yacimiento B II

La Figura 7.3 presenta las curvas granulométricas límites y promedio de los materiales elaborados en el estudio de AyEE. En general se trata de gravas limosas y arcillosas con un porcentaje de finos entre 14,5% y 36%.

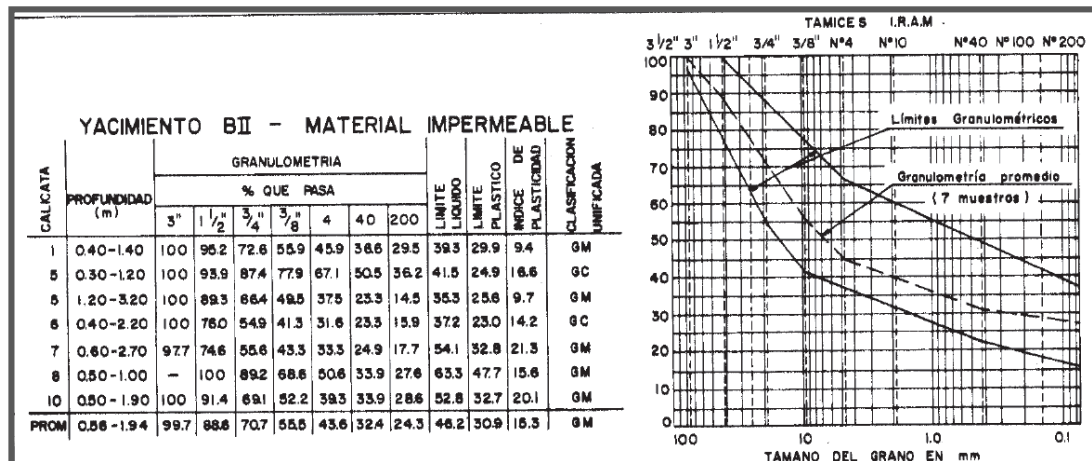


Figura 7.3: Curvas granulométricas de los pozos seleccionados en el estudio de AyEE para el yacimiento B II

### 7.1.2. Yacimiento B III

Este yacimiento se encuentra en la terraza glaciifluvial de cota aproximada 150 m situada en la margen derecha del eje de la presa. En estos depósitos de origen glacial predominan materiales granulares (GW-GP) intercalados con gravas arcillosas (GC). Se calcula un volumen de aproximadamente 20 000 000 m<sup>3</sup>.

En la Figura 7.4 se muestra la posición espacial de las muestras colectadas y en la Figura 7.5 las curvas granulométricas obtenidas.

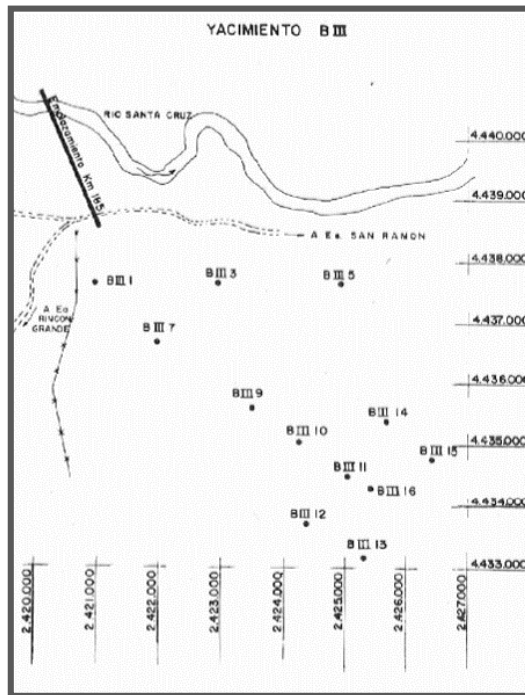


Figura 7.4: Planta de ubicación de los 12 pozos exploratorios del yacimiento BIII

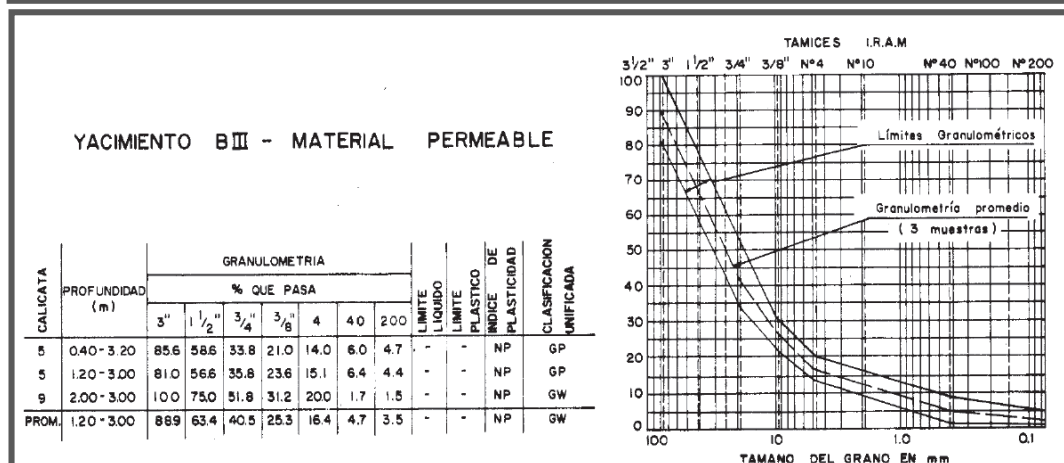
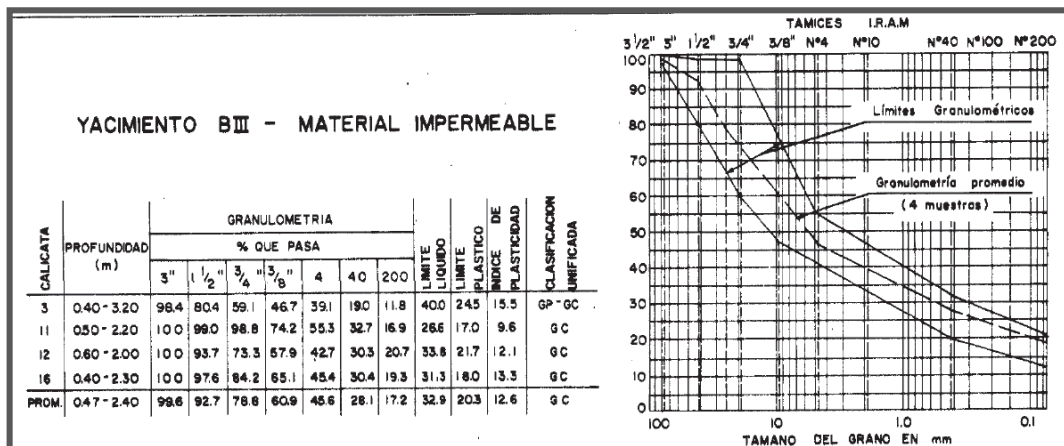


Figura 7.5: Curvas granulométricas de los pozos seleccionados en el estudio de AyEE para el yacimiento BIII

### 7.1.3. Yacimiento BIV

Se trata de un pequeño yacimiento explorado para búsqueda de material para espaldones ubicado en la terraza fluvial inferior del río Santa Cruz, unos 4 a 5 km aguas abajo del eje sobre la margen derecha. La Figura 7.6 muestra la ubicación de los pozos ejecutados.

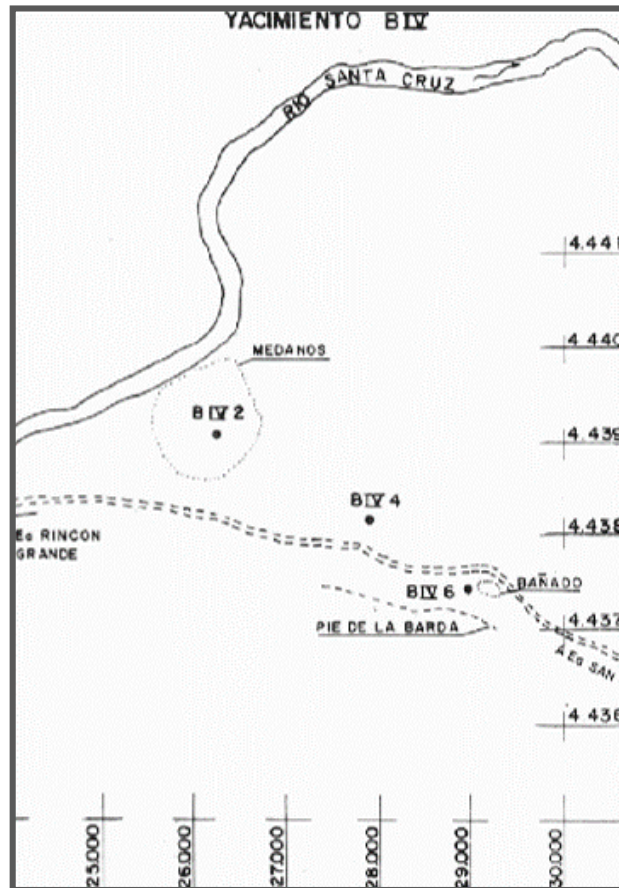


Figura 7.6: Planta de ubicación de los 3 pozos exploratorios del yacimiento BIV

Los depósitos corresponden a gravas limpias bien graduadas (GW) a pobremente graduadas (GP) (Figura 7.7).

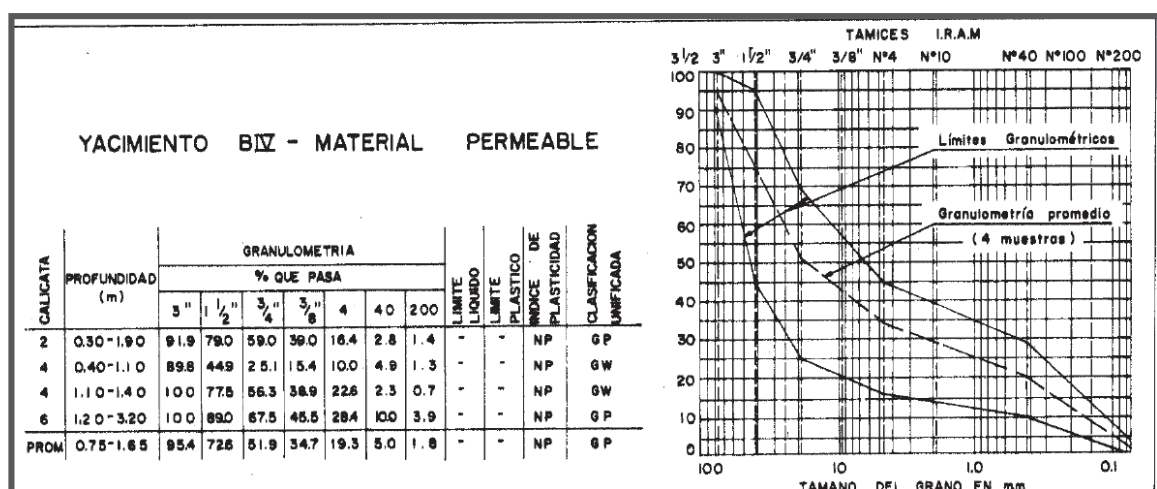


Figura 7.7: Curvas granulométricas de los pozos seleccionados en el estudio de AyEE para el yacimiento B IV

### 7.1.4. Yacimiento Ba



Se encuentra ubicado a unos 5 km al NE aguas arriba del cierre sobre margen izquierda sobre una terraza aluvial de cota 215 m. Corresponden a depósitos de origen fluvio-glacial de tipo gravas limosas (GM) y gravas arcillosas (GC), con más de 20% de finos de baja plasticidad (ML-CL).

En la Figura 7.8 se presenta la posición de los pozos ejecutados y en la Figura 7.9 las curvas granulométricas estudiadas por AyEE.

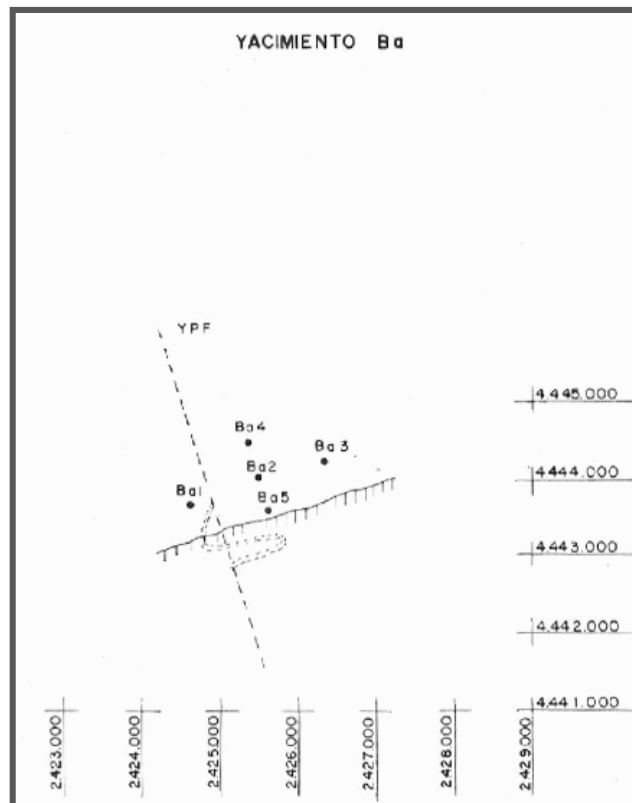


Figura 7.8: Planta de ubicación de los 5 pozos exploratorios del yacimiento Ba.

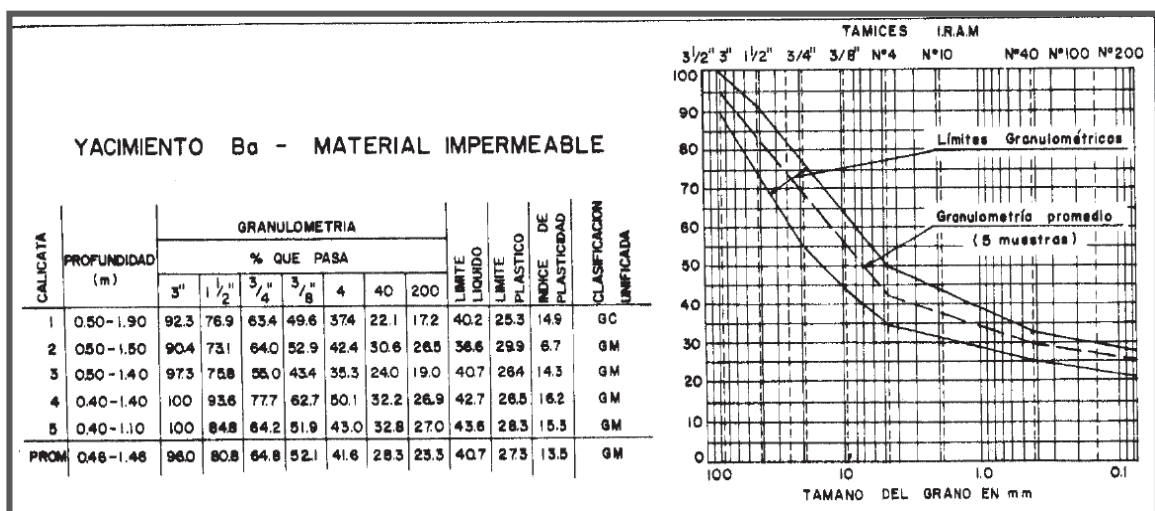



Figura 7.9: Curvas granulométricas de los suelos del yacimiento Ba.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 117 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

## 7.2. Análisis de los aluviones de los yacimientos BI y Bb

En función de la proximidad de los yacimientos BI y Bb a la presa y a las excavaciones permanentes del canal de desvío, de los canales de restitución del vertedero y del circuito de generación, se ha optado por utilizarlos como fuente de materiales para la presa y para los hormigones.

A continuación se presentara un análisis más detallado de las características geológicas y granulométricas de los depósitos de los citados yacimientos.

### 7.2.1. Yacimiento BI

El yacimiento BI encuentra ubicado inmediatamente aguas arriba del eje de la presa sobre la Margen Derecha del río Santa Cruz, en los depósitos de la terraza fluvial del río. Ocupa una extensión de aproximadamente 16 km<sup>2</sup>. Se estima un volumen aproximado de 73 000 000 m<sup>3</sup> de materiales granulares. Este yacimiento de gran porte tiene la ventaja aparte de su cercanía con el cierre de la Presa y de quedar cubierto con el embalse evitando tareas de remediaciones posteriores.

Se excavaron 18 pozos exploratorios a razón de 1 por km<sup>2</sup> de extensión (Figura 7.10). Los pozos BI 10 y BI 22 a BI 27 se concentraron en un área pequeña para caracterizar un depósito arenoso encontrado dentro de la planicie aluvial del río. Los restantes pozos se ubicaron con un espaciamiento grande con el propósito de caracterizar toda la extensa área. Para una mejor caracterización del depósito se programara una campaña adicional más densa y profunda.

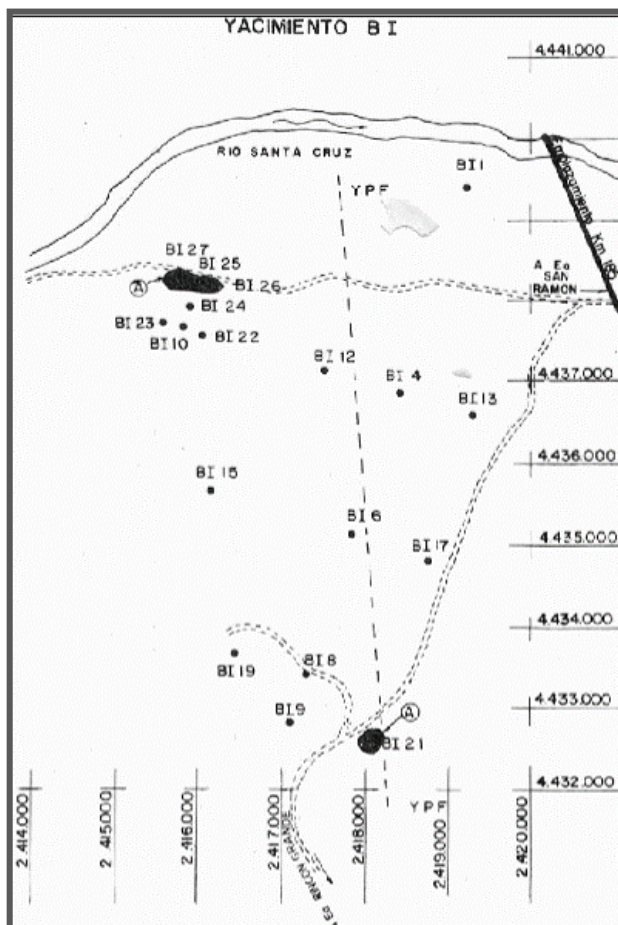



Figura 7.10: Planta de ubicación de los 18 pozos exploratorios del yacimiento BI.

La Tabla 7.2 resume los análisis granulométricos de la primera campaña realizado por AyEE. La Figura 7.11 muestra las curvas granulométricas correspondientes a la campaña de AyEE (1980).

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS		Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 119 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC		Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

**Tabla 7.2: Resumen de los resultados obtenidos de los pozos excavados en la margen derecha de la Presa J. Cepernic, aguas arriba del eje**

Tamiz		BI-1 (0,5-3,0)	BI-4 (0,4-2,0)	BI-6 (0,5-2,6)	BI-8 (0,4-2,8)	BI-9 (0,2-2,0)	BI-9 (2-3,1)	BI-10 (0,4-2,8)	BI-12 (0,5-2,2)	BI-13 (0,5-1,1)	BI-13 (1,1-2,6)		BI-15 (0,5-2,9)	BI-17 (0,1-1,0)	BI-17 (1-3,2)
número	mm	% Pasante	% Pasante	% Pasante	% Pasante	% Pasante	% Pasante	% Pasante	% Pasante	% Pasante	% Pasante		% Pasante	% Pasante	% Pasante
3"	76,2	83,5	100,0	96,6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	94,7	96,2	90,9	97,0	100,0
1 1/2"	38,1	53,9	93,7	75,8	95,4	100,0	81,3	100,0	84,1	78,0	86,8	84,3	64,4	71,3	85,8
3/4"	19,05	36,0	78,5	50,8	77,5	100,0	62,5	95,5	69,3	60,5	73,6	69,9	41,7	46,4	54,0
3/8"	9,53	25,6	49,8	33,5	55,5	100,0	45,2	93,5	50,8	43,5	64,7	58,6	24,7	31,9	41,4
4	4,75	17,5	27,9	25,1	39,7	100,0	34,4	91,7	36,6	31,1	57,5	50,0	14,7	22,0	32,1
40	0,425	5,2	2,8	5,3	14,2	99,2	16,5	49,1	11,0	9,5	9,4	9,4	6,1	13,4	15,0
200	0,075	3,2	1,6	1,0	5,2	97,0	6,3	4,4	1,2	6,1	1,9	3,1	4,3	5,7	3,9
Clasificación SUCS		GW	GW	GW	GW-GM	MH	GW-GC	SP	GW	GW-GC	SP		GW	GW	GW
	D10	1,1	0,88	0,8	0,19		0,16	0,092	0,39	0,43	0,43		1,6	0,2	0,2
	D30	13,5	5,1	7,1	1,9		2,80	0,205	2,60	5,0	1,2		12,0	8,5	3,8
	D60	43,0	13,0	26,0	11,0		18,5	0,80	15,0	19,0	5,0		33,0	29,0	21,0
	Cu	39	15	33	58		116	9	38	44	12		21	145	105
	Cc	3,9	2,3	2,4	1,7		2,6	0,6	1,2	3,1	0,7		2,7	12,5	3,4

Tamiz		BI-19 (0,25-1,0)	BI-19 (1,0-2,2)		BI-21 (0,4-2,3)	BI-22 (0,6-1,5)	BI-22 (1,5-2,1)		BI-23 (0,5-2,5)	BI-24 (0,4-2,5)	BI-25 (0,4-3,1)	BI-26 (0,3-3,0)	BI-27 (0,5-2,8)
número	mm	% Pasante	% Pasante		% Pasante	% Pasante	% Pasante		% Pasante	% Pasante	% Pasante	% Pasante	% Pasante
3"	76,2	99,1	96,1	95,9	96,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1 1/2"	38,1	81,6	73,8	72,2	72,8	89,8	100,0	67,4	87,0	100,0	100,0	100,0	100,0
3/4"	19,05	51,8	43,2	46,3	45,1	64,0	100,0	50,1	80,0	100,0	100,0	100,0	100,0
3/8"	9,53	38,6	26,1	25,7	25,9	44,1	100,0	39,6	75,8	100,0	100,0	100,0	100,0
4	4,75	29,2	15,2	14,1	14,5	27,8	100,0	32,1	72,8	100,0	100,0	100,0	98,9
40	0,425	14,5	6,4	4,7	5,4	4,1	15,0	6,6	11,6	52,7	75,7	93,0	89,1
200	0,075	4,4	3,6	0,7	1,8	1,3	1,9	1,4	1,7	29,5	6,8	6,4	3,8
Clasificación SUCS			GW	GW		GW	SP	GP		SM	SP-SM	SP-SM	SP
	D10		1,6	1,8		0,8	0,22	0,6		0,016	0,08	0,081	0,086
	D30		11,0	11,0		5,2	0,66	4,0		0,080	0,14	0,12	0,135
	D60		28,0	28,0		18,0	1,60	29,0		0,610	0,29	0,21	0,23
	Cu		18	16		23	7	48		38	4	3	3
	Cc		2,7	2,4		1,9	1,2	0,9		0,7	0,8	0,8	0,9



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 120 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

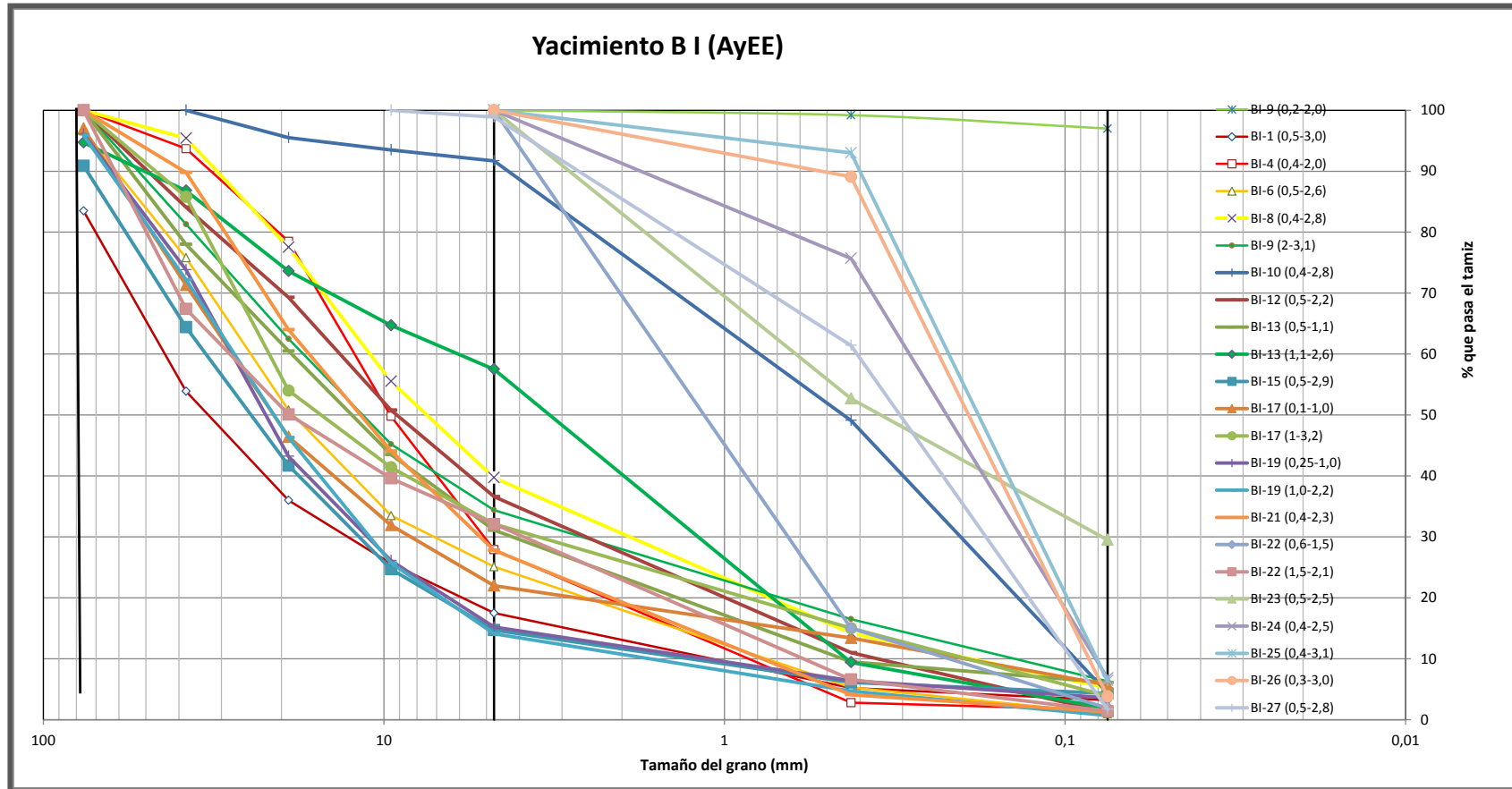


Figura 7.11: Curvas granulométricas de todos los horizontes estudiados en la campaña de la década de 80 por AyEE – Yacimiento BI

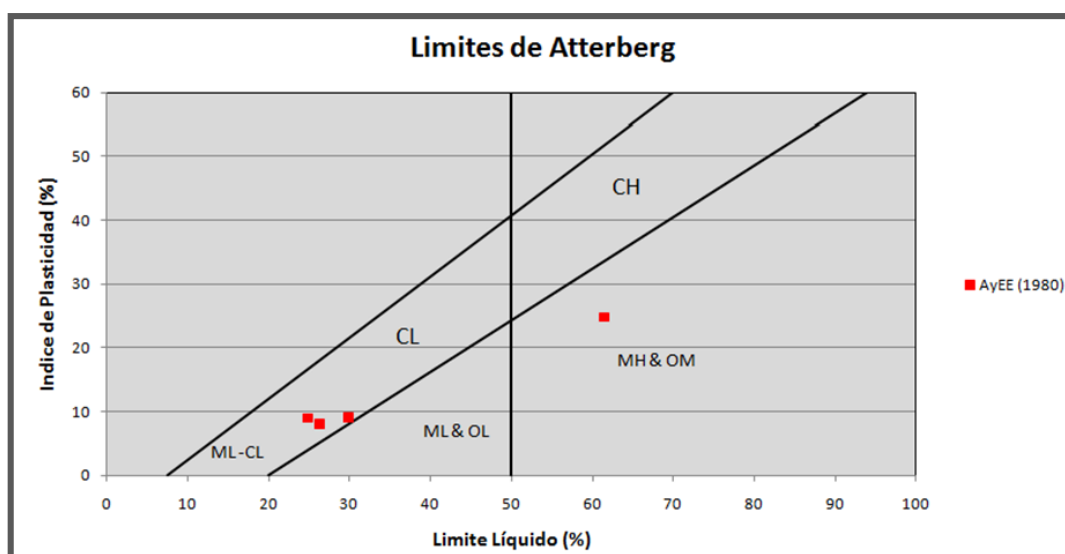
La Figura 7.13 muestra las curvas granulométricas de los sedimentos fluviales del valle y en la Tabla 7.3 el promedio ponderado y los límites inferior y superior de las granulometrías asumiendo un desvío estándar.

**Tabla 7.3: Promedio ponderado y desvío estándar de los sedimentos fluviales del yacimiento BI**

Tamiz		Promedios	Desvio Estandar	Mínimo	Máximo
número	mm	Ponderado			
		%	%	%	%
3"	76,2	96,9	5,0	91,8	100,0
1 1/2"	38,1	81,3	13,0	68,3	94,3
3/4"	19,05	62,0	17,6	44,3	79,6
3/8"	9,53	45,7	19,6	26,0	65,3
4	4,75	34,3	21,7	12,6	56,1
40	0,425	13,0	16,0	0,0	29,1
200	0,075	3,4	2,2	1,2	5,6
	D10	0,2		3,0	0,1
	D30	3,0		11,0	0,5
	D60	18,0		30,0	5,5
	Cu	75		10	55
	Cc	2,08		1,34	0,44

Las curvas promedio muestran coeficiente de uniformidad alto (>15) indicando suelos no uniformes, con bajo contenido de finos (<5%), y menos de 5% de fracción mayor de 3", un balance de 63% de gravas y 30% de arenas. Según la clasificación SUCS son suelos del tipo GW, es decir gravas limpias bien gradadas. Los finos encontrados en algunos depósitos son básicamente arcillas y limos de baja plasticidad (Figura 7.12).

En la Figura 7.14 se superpusieron las curvas de los materiales 2B (Boletín 70 ICOLD modificado) y material 3B de espaldones, con la curva promedio del yacimiento BI. Se observa que los materiales del yacimiento atienden con el requerimiento de este tipo de materiales para la presa, aunque con alguna previsión de corte para el primer material que se coloca como apoyo de losa.



**Figura 7.12: Carta de Plasticidad de finos – Yacimiento BI.**



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 122 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

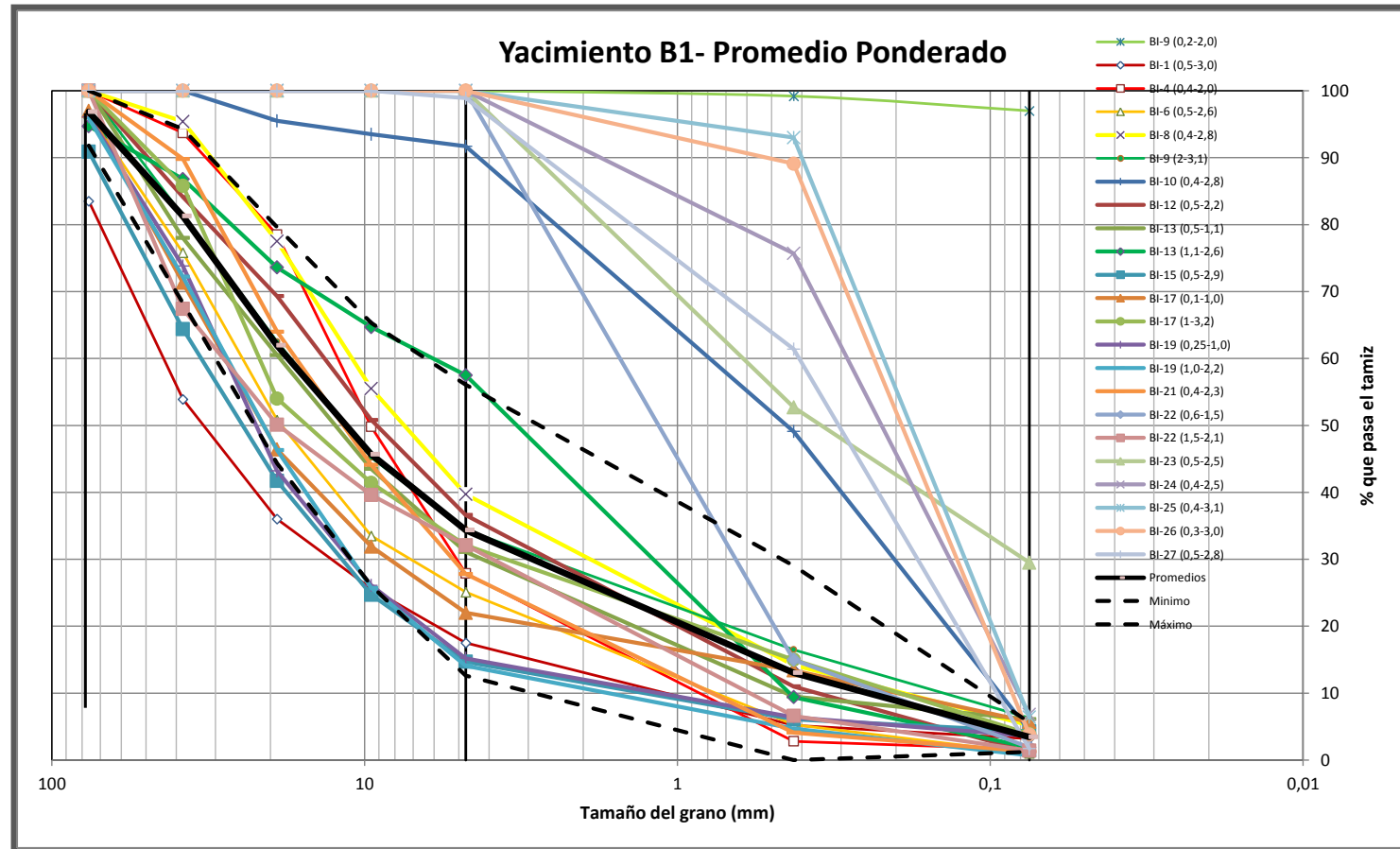


Figura 7.13: Curvas granulométricas del Yacimiento B1 mostrando el promedio ponderado y un desvío standard (máximo y mínimo).



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 123 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

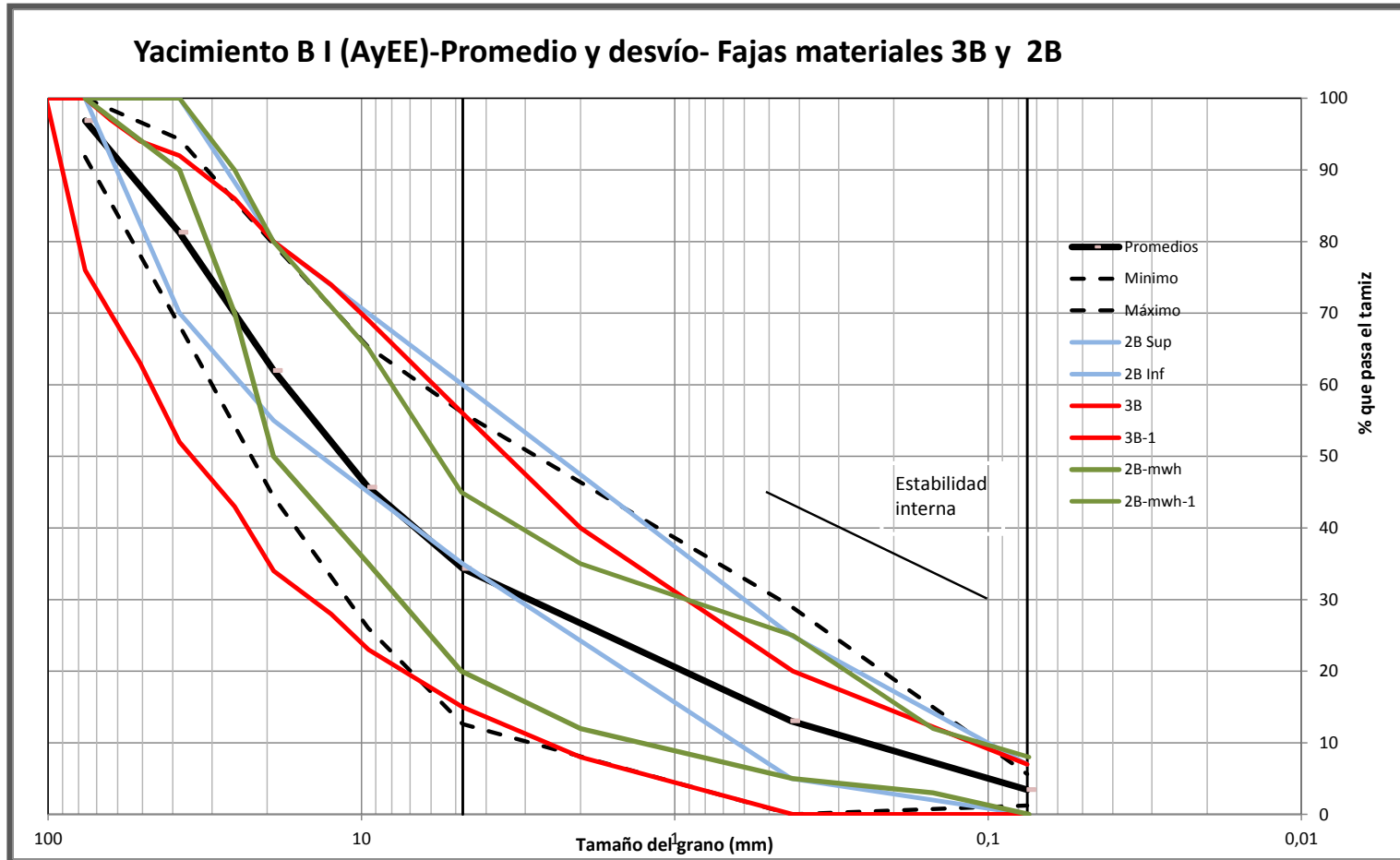


Figura 7.14: Curvas granulométricas del yacimiento BI superpuestas con las fajas de referencia del material 2B (celeste y verde) y el 3B para espaldones (rojo).



### 7.2.2. Yacimiento Bb

Es un yacimiento ubicado 4 km aguas abajo del cierre de la presa sobre la Margen Izquierda. Todos los pozos se ubican en la terraza fluvial inferior del río Santa Cruz donde yacen horizontes de materiales granulares (preferentemente gravillas). Si bien este sitio no será objeto de explotación directa, se considera representativo, por su proximidad, con el yacimiento definitivo.

En la Figura 7.15 se muestra la posición de los 11 pozos exploratorios.

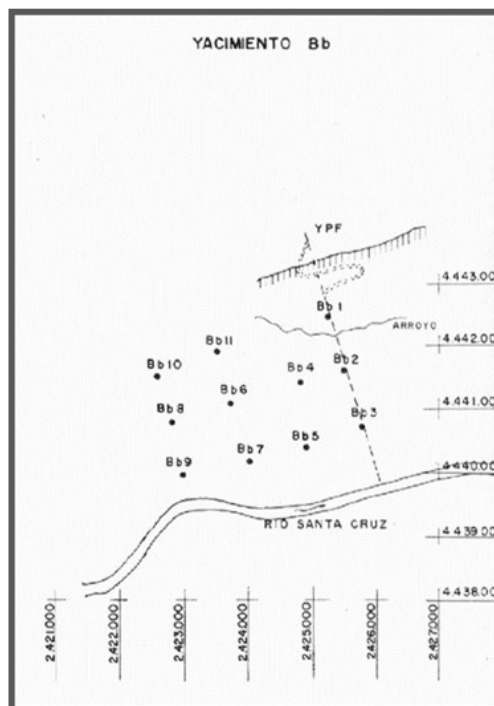



Figura 7.15: Planta de ubicación de los 11 pozos exploratorios del yacimiento Bb.

En la Tabla 7.4 se muestran los datos procesados de los estudios realizados por AyEE en la campaña de 1980.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 125 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

La Figura 7.16 muestra las curvas granulométricas del yacimiento Bb y en la Tabla 7.5 el promedio ponderado y los límites inferior y superior de las granulometrías asumiendo 1 desvío estándar.

Las curvas promedio muestran coeficiente de uniformidad alto ( $>15$ ) indicando suelos no uniformes, con bajo contenido de finos ( $<5\%$ ), menos de 8% de fracción mayor de 3", 62% de gravas y 28% de arenas en promedio. Según la clasificación SUCS son gravas limpias bien graduadas (GW). Los límites de consistencia de material fino solo pudieron ser medidos en dos muestras (Figura 7.12).

La Figura 7.16 muestra la superposición de la curva granulométrica promedio y sus límites inferior y superior con las fajas granulométricas de los materiales 2A (según pliego) y 2B (rojo) (Boletín 70 ICOLD modificado). Se observa que los materiales del yacimiento Bb cumplen relativamente bien con la faja de material 2A. El yacimiento tiene deficiencia de arenas lo que impide que se ajuste a los requerimientos del Material 2B.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS  
SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A  
Fecha: 25-08-16  
Página: 126 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

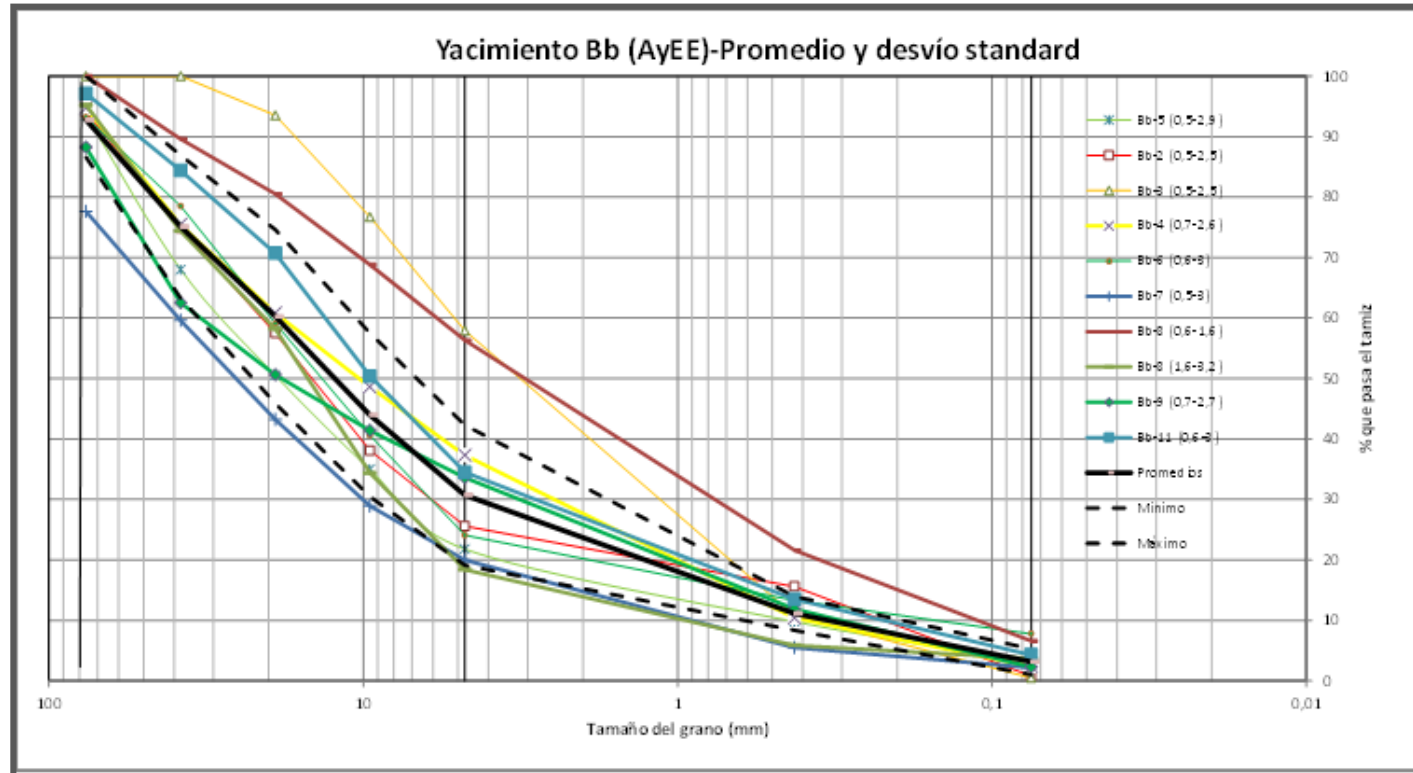



Figura 7.16: Curvas granulométricas de los suelos del yacimiento Bb. En celeste curva granulométrica del material 2A y en rojo para el material 2B.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS		Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 127 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC		Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

**Tabla 7.4: Análisis Granulométrico calicatas de AyEE (1980) para el Yacimiento Bb**

Tamiz		Bb-1 (0,2-1,7)	Bb-2 (0,5-2,5)	Bb-3 (0,5-2,5)	Bb-4 (0,7-2,6)	Bb-5 (0,5-2,9)	Bb-6 (0,6-3)	Bb-7 (0,5-3)	Bb-8 (0,6-1,6)	Bb-8 (1,6-3,2)	Bb-9 (0,7-2,7)	Bb-10 (0,5-2,1)	Bb-11 (0,6-3)
número	mm	% Pasante	% Pasante	% Pasante	% Pasante	% Pasante	% Pasante	% Pasante	% Pasante	% Pasante	% Pasante	% Pasante	% Pasante
3"	76,2		94,1		94,7	93,5	93,2	77,6	100,0	95,2	88,2	92,3	97,1
1 1/2"	38,1		74,9	100,0	75,4	68,0	78,5	59,6	89,6	74,4	62,5	67,5	84,4
3/4"	19,05		57,5	93,5	60,8	50,5	59,1	43,2	80,5	58,2	50,6	49,8	70,7
3/8"	9,53		38,1	76,7	48,6	35,0	40,6	28,9	68,8	34,4	41,4	32,4	50,4
4	4,75	100,0	25,6	57,9	37,3	21,8	24,1	20,0	56,3	18,4	33,6	19,3	34,5
40	0,425	98,4	15,6	10,8	10,4	9,8	13,3	5,5	21,6	5,9	11,9	8,9	13,5
200	0,075	87,4	0,8	0,5	2,4	3,2	7,8	2,2	6,6	3,7	2,3	3,5	4,3
Clasificación SUCS		MH	GW	SP	GP	GP	GP-GC	GW	SP-SM	GW	GW	GW	GW
	D10		0,21	0,4	0,40	0,44	0,16	0,9	0,11	0,95	0,30	0,6	0,21
	D30		6,0	1,1	2,4	2,3	6,00	10,0	0,76	7,9	3,1	8,4	2,90
	D60		20,5	5,1	19,0	28,0	20,0	39,0	6,9	21,0	33,0	28,0	13,5
	Cu		98	12	48	64	125	43	63	22	110	50	64
	Cc		8,4	0,6	0,8	0,4	11,3	2,8	0,8	3,1	1,0	4,5	3,0

**Tabla 7.5: Promedio ponderado y desvío estándar de los sedimentos fluviales de la margen izquierda del Río Santa Cruz – Yacimiento Bb.**

Tamiz		Promedios Ponderado	Desvio Estandar	Mínimo	Máximo
número	mm	%	%	%	%
3"	76,2	92,8	6,2	86,6	100,0
1 1/2"	38,1	75,1	11,8	63,3	86,9
3/4"	19,05	60,2	14,4	45,9	74,6
3/8"	9,53	44,0	13,5	30,5	57,5
4	4,75	30,7	11,6	19,1	42,3
40	0,425	11,2	2,8	8,4	14,0
200	0,075	3,2	2,1	1,1	5,3
	D10	0,4		0,6	0,2
	D30	4,4		9,1	1,7
	D60	19,0		33,0	11,0
	Cu	54		55	55
	Cc	2,9		4,2	1,3



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 128 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

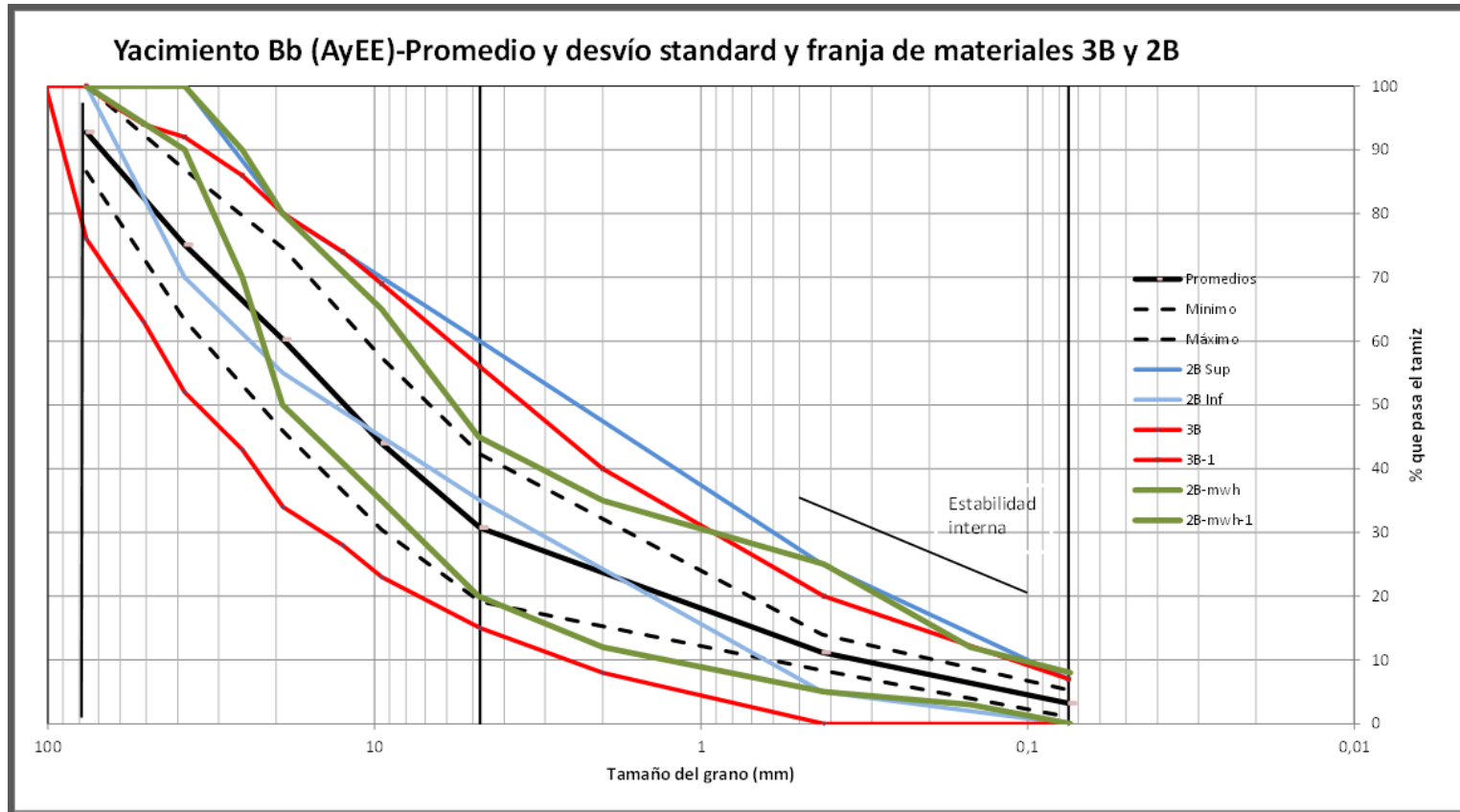



Figura 7.17: Curvas granulométrica promedio del yacimiento Bb y banda de aceptación del material 2B (celeste y verde) y del material 3B (rojo).

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 129 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

### 7.3. Campaña de investigaciones 2015

La campaña prevé la ejecución de calicatas en los sectores de excavaciones permanentes, con el objetivo de verificar la aptitud de ese material aluvional tanto para la construcción de la presa como para árido de hormigón. Se ejecutaron calicatas aguas arriba del eje de presa sobre el canal de desvío/aducción.

En la Figura 7.18 se muestran las calicatas ejecutadas hasta el momento en esta campaña a lo largo del canal de aducción y una calicata de la campaña de AyEE correspondiente al yacimiento B1.

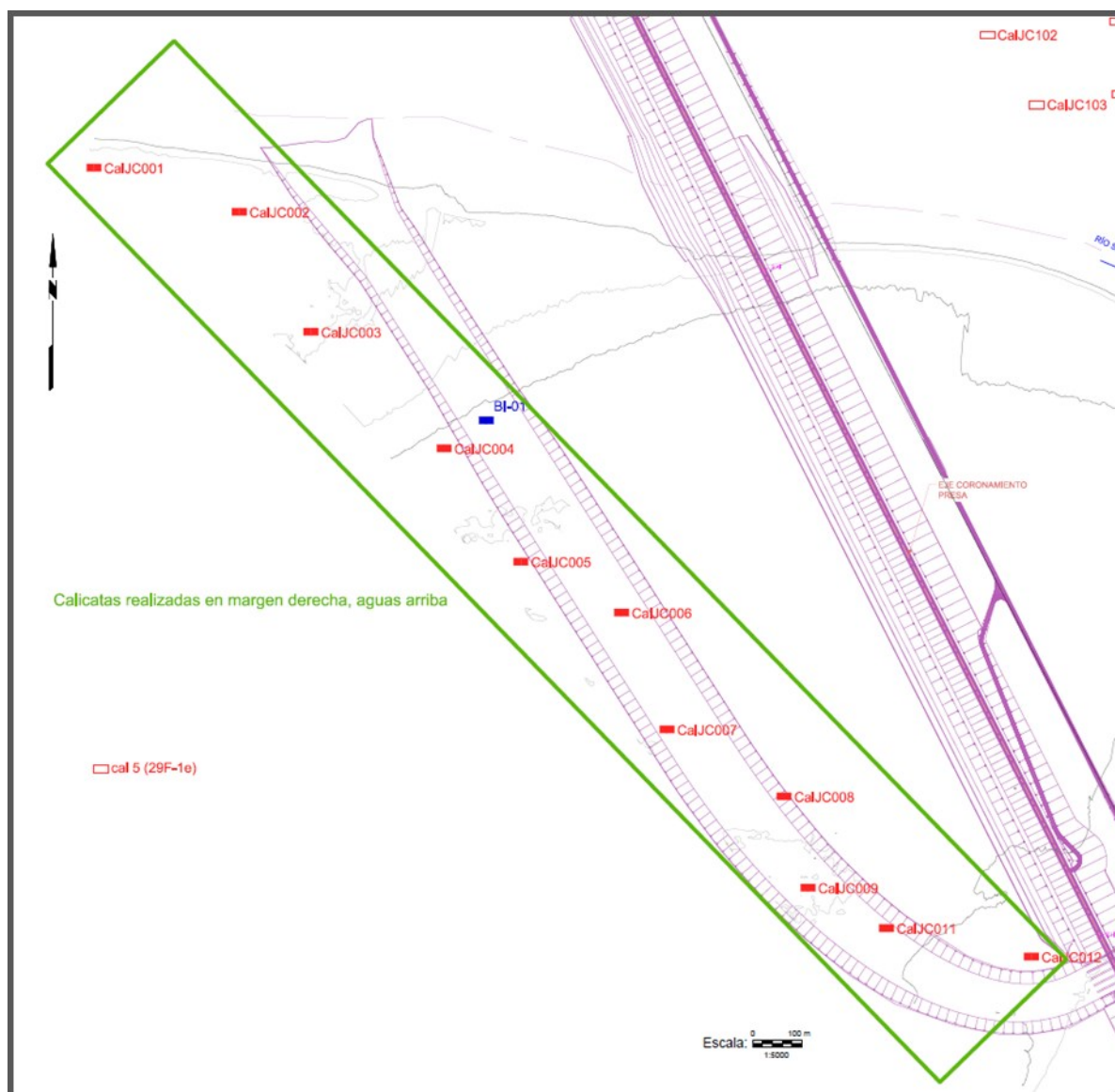



Figura 7.18: Plano de ubicación de las investigaciones ejecutadas en la campaña 2015

En los estudios granulométricos, se hicieron análisis separados utilizando los tamices para agregados de hormigones, y por otro lado, para agregado fino de hormigones, mientras que para los espaldones se usaron los tamices 10, 40 y 200 en la fracción fina. Se incluye en este análisis solamente estas últimas granulometrías.

Con respecto al tamaño máximo, se tiene que la gran mayoría del material retenido en el tamiz 3" ronda en alrededor del 10%. El retenido en el tamiz 3" son bloques que no superan las 5", incluyéndolos en la planilla como pasante del tamiz de 4" (101.6 mm). En realidad hay bloques que pueden ser más grandes que 4", pero en el momento que se hicieron estas granulometrías fueron descartados, pues no se disponía de laboratorio completo en obra.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 130 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

La mezcla ponderada fue hecha tomando como altura total, la suma de los espesores de cada estrato, y calculando un porcentaje en base a esa altura total. Se descartó el espesor de destape, que está en el orden de los 30 cm.

En la Tabla 7.6 se muestran las granulometrías de las calicatas mencionadas y la Tabla 7.7 el promedio y la desviación standard.

En la Figura 7.19 se muestran las granulometrías y mezclas ponderadas de todas las calicatas comparándolas con el promedio general como el máximo y mínimo. Solo tres calicatas han estado por fuera de las fajas de aceptación del material para espaldones 3B.

En la Figura 7.20 se puede visualizar la similitud de las granulometrías promedio de la actual investigación representadas por la curva promedio de mezclas ponderadas y la curva promedio general (incluyendo además de la ponderada, una granulometría del nivel más profundo del estrato) y el promedio de la investigación llevada a cabo por AyEE para el yacimiento B1. Asimismo se incluyen las fajas de aceptación de los materiales 3B y 2B.

Hay que tener en cuenta que el área de investigación de AyEE es largamente más amplia que la actual investigación circunscripta a la traza del canal de aducción. No obstante, la similitud confirma las características homogéneas de estas gravas.

Se incluyó, en esa gráfica, la línea de pendiente de la estabilidad interna, uno de los métodos usados para verificar que no haya migración de finos entre las fracciones del material. Corresponde al criterio de 15%(V)-5D (H).

En la Figura 7.21 se comparan las dos curvas granulométricas medias (actual investigación y AyEE) con las de proyectos de gravas compactadas como Pichi Picun Leufu (PPL) (Argentina), Aguamilpa (México), Puclaro (Chile), Pinzadaran (México) y la banda de aceptación de Salvajina (Colombia). En todos los casos, el tamaño máximo de estas presas es ostensiblemente mayor que el de Cepernic. La curva promedio de PPL es la que se aprecia similar separándose en los tamaños mayores.

En la Tabla 7.8 se resumen los parámetros de la curva promedio general incluyendo la clasificación SUCS, siendo la primera para la investigación de AyEE y la segunda para la campaña 2015. En el caso de la campaña 2015, el material promedio se clasifica como GP en razón de tener un  $C_c$  menor a 1.

En la Tabla 7.9 se muestran los valores del coeficiente de uniformidad,  $C_u$ , y coeficiente de curvatura,  $C_c$ , de todas las calicatas consideradas en este estudio.

Un análisis separado de los finos superficiales en el primer estrato de las calicatas, indica que sólo en una calicata se presenta un valor superior a 5% y en otra calicata, en el 2do estrato, se presenta un valor anormal cercano al 10%.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 131 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°


JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

Tabla 7.6: Análisis Promedio ponderado de las calicatas de Campaña 2015 en Canal de Aducción.

Tamices IRAM	cal1	cal2	cal3	cal4	mezcla4	mezcla2	cal5	mezcla5	cal6
	Pasante	Pasante	Pasante	Pasante	Pasante	Pasante	Pasante	Pasante	Pasante
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	%pasa	[%]
101,6	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
76,2	100,0%	98,4%	95,4%	92,0%	87,5%	98,5%	86,6%	89,9%	90,5%
63,5	97,6%	92,8%	87,7%	89,0%	82,0%	94,9%	81,1%	84,0%	86,5%
50,8	93,0%	88,0%	82,0%	84,3%	75,2%	92,1%	74,7%	75,2%	80,9%
38,1	86,5%	80,0%	74,4%	76,9%	68,9%	86,7%	69,6%	66,9%	75,5%
25,4	73,8%	66,5%	61,6%	67,7%	58,0%	76,0%	59,4%	55,5%	74,5%
19,05	67,3%	57,4%	54,0%	61,0%	51,7%	68,6%	54,6%	49,5%	69,1%
12,5	55,1%	44,8%	43,2%	50,3%	41,0%	61,6%	47,5%	42,3%	61,9%
9,5	48,2%	37,7%	37,9%	43,3%	34,6%	57,4%	43,8%	38,3%	58,1%
4,75	32,8%	24,5%	26,9%	29,0%	22,0%	49,7%	38,0%	30,5%	50,5%
2	18,7%	16,6%	20,3%	16,7%	12,9%	41,6%	33,5%	24,2%	41,0%
0,42	3,8%	6,3%	8,2%	5,1%	3,0%	20,3%	10,1%	9,0%	24,2%
0,075	0,1%	0,3%	0,2%	0,1%	0,1%	1,0%	0,1%	0,2%	0,3%

Tamices IRAM	mezcla6	cal7	cal8	mezcla8	cal9	mezcla9	cal11	mezcla11	cal12	mezcla12
	Pasante	Pasante	Pasante	Pasante	Pasante	Pasante	Pasante	Pasante	Pasante	Pasante
	%pasa	[%]	[%]	%pasa	[%]	%pasa	%	%pasa	%	%pasa
101,6	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
76,2	84,5%	86,5%	94,9%	90,1%	90,0%	94,8%	100,0%	98,1%	93,5%	95,6%
63,5	80,3%	80,4%	87,8%	84,8%	87,6%	92,5%	97,8%	95,1%	90,6%	93,0%
50,8	75,0%	75,6%	82,5%	81,0%	84,4%	89,2%	94,7%	92,5%	84,8%	89,0%
38,1	68,5%	71,3%	77,6%	75,9%	79,5%	84,8%	89,8%	88,6%	81,1%	85,4%
25,4	60,8%	62,0%	67,3%	65,7%	67,9%	75,4%	84,4%	82,5%	72,2%	77,8%
19,05	55,7%	57,8%	63,1%	60,4%	62,6%	70,2%	73,8%	74,7%	68,2%	73,8%
12,5	49,1%	50,2%	53,5%	51,2%	52,1%	60,0%	67,2%	66,1%	63,0%	66,1%
9,5	44,2%	45,9%	48,5%	46,0%	46,3%	54,3%	46,2%	53,0%	59,7%	62,3%
4,75	38,5%	39,2%	38,1%	36,0%	35,7%	43,0%	39,8%	43,8%	53,8%	55,1%
2	29,2%	31,8%	31,2%	30,0%	28,5%	36,9%	34,6%	37,1%	48,9%	51,4%
0,42	11,5%	25,9%	7,6%	8,5%	7,1%	15,6%	15,6%	13,8%	33,4%	34,1%
0,075	0,2%	11,5%	0,2%	0,2%	0,3%	3,8%	0,2%	0,4%	0,5%	3,3%



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS		Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 132 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC		Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

**Tabla 7.7: Datos estadísticos de las muestras ponderadas de las calicatas de la Campaña 2015 en el Canal de Aducción**

Tamices IRAM	Promedio General	Promedio Mezclas ponderadas	Desv. Stand	Mínimo	Máximo
101,6	100,0%	100,0%	0,000%	100,0%	100,000%
76,2	93,0%	92,4%	4,131%	88,9%	97,117%
63,5	88,7%	88,3%	4,730%	84,0%	93,440%
50,8	83,9%	83,7%	5,580%	78,3%	89,479%
38,1	78,3%	78,2%	6,065%	72,2%	84,365%
25,4	68,9%	69,0%	6,899%	62,0%	75,798%
19,05	62,8%	63,1%	6,683%	56,1%	69,504%
12,5	54,0%	54,7%	7,258%	46,8%	61,278%
9,5	47,7%	48,8%	6,340%	41,3%	54,010%
4,75	38,3%	39,8%	7,276%	31,0%	45,531%
2	30,8%	32,9%	8,429%	22,4%	39,226%
0,42	13,8%	14,4%	7,599%	6,2%	21,437%
0,075	1,2%	1,2%	1,575%	-0,4%	2,795%



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 133 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

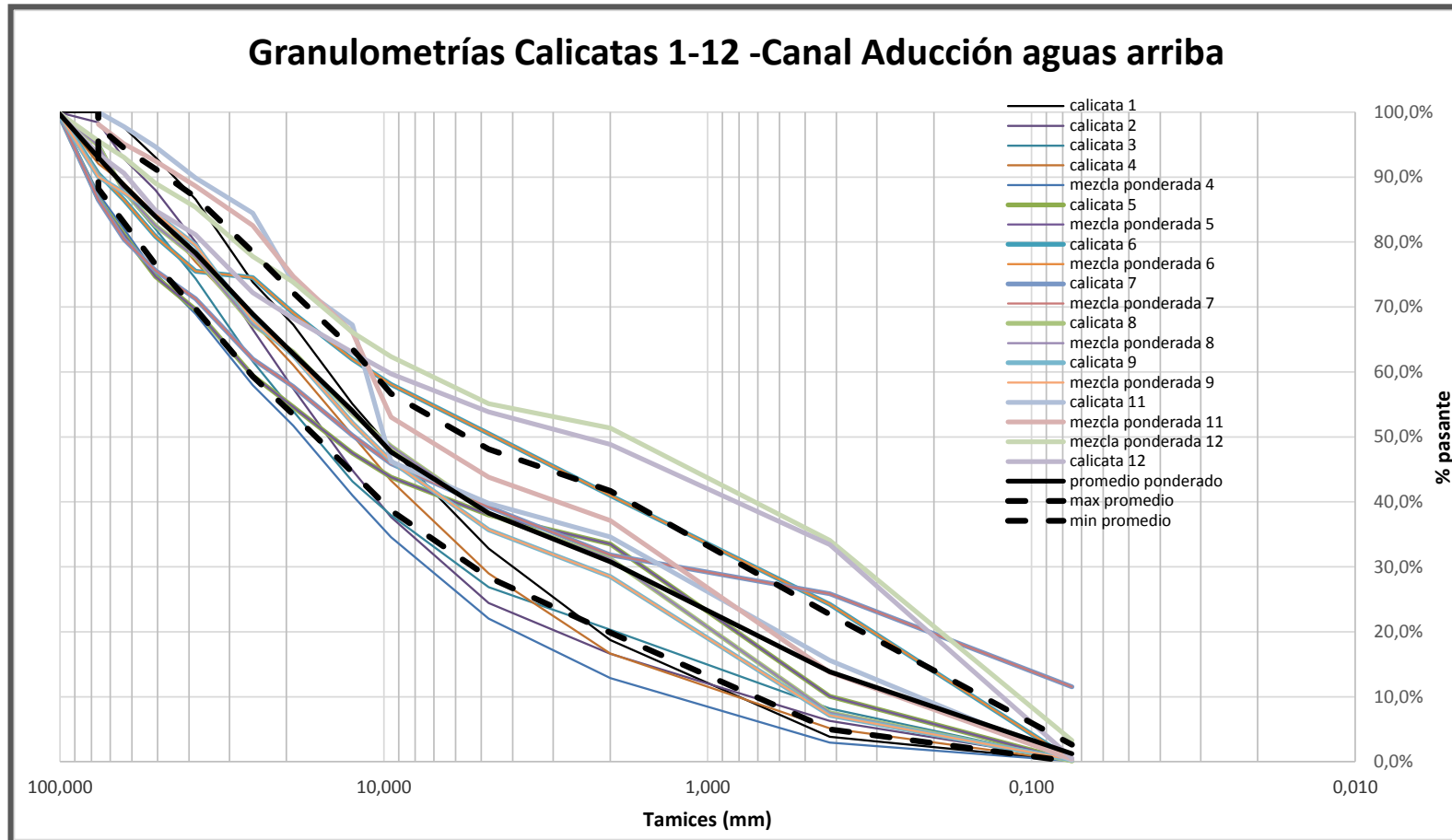


Figura 7.19: Curvas granulométricas de las 11 calicatas de investigación en el Canal de Aducción superpuestas con las fajas de referencia del Material 3B



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 134 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

### Granulometrías Promedio Ay EE e Investigación 2015 con franjas de 3B y 2B

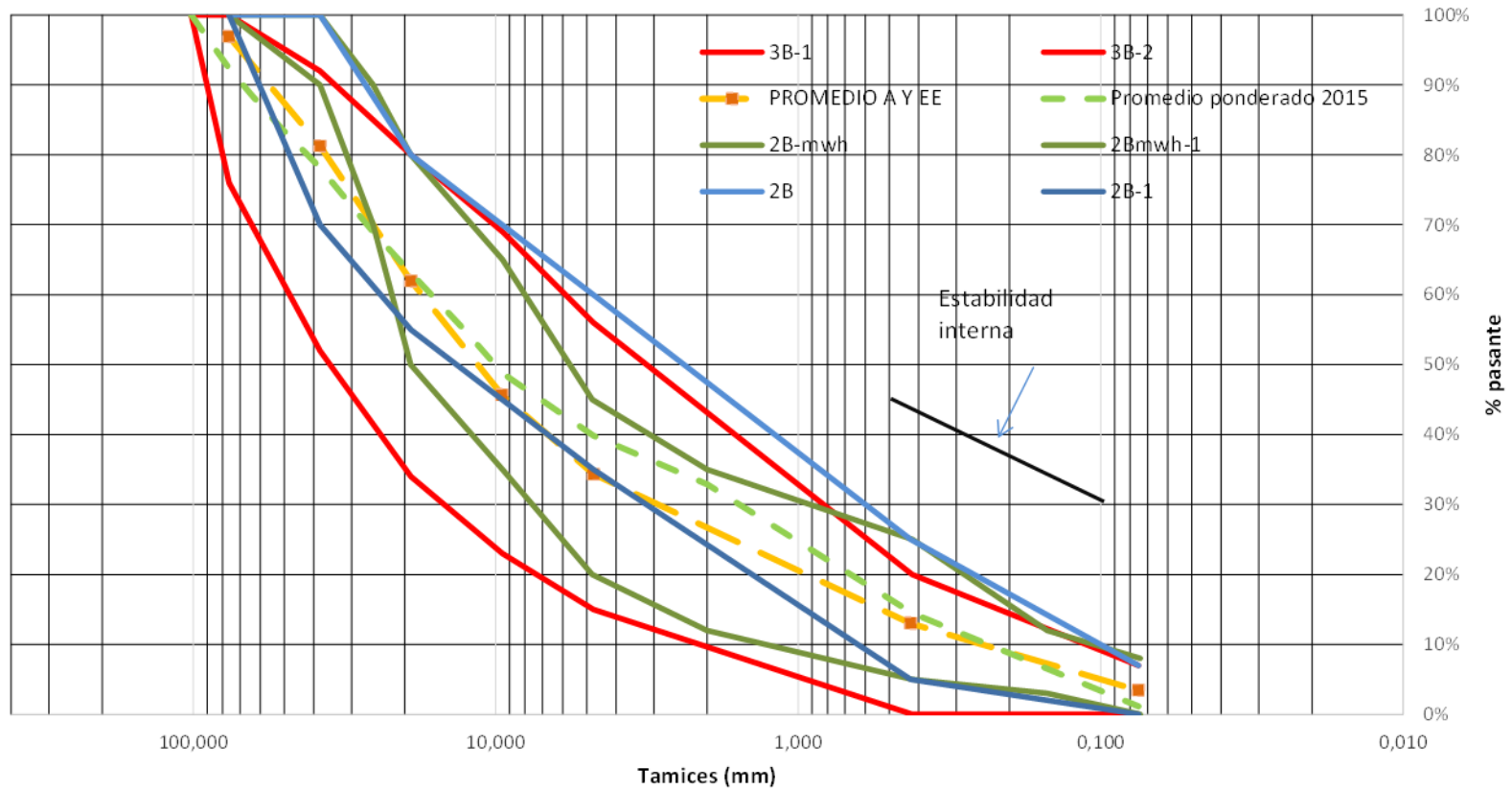


Figura 7.20: Curvas granulométricas promedio de AyEE de las 11 calicatas de investigación en el Canal de Aducción superpuestas con las fajas de referencia del Material 3B-2B



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 135 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

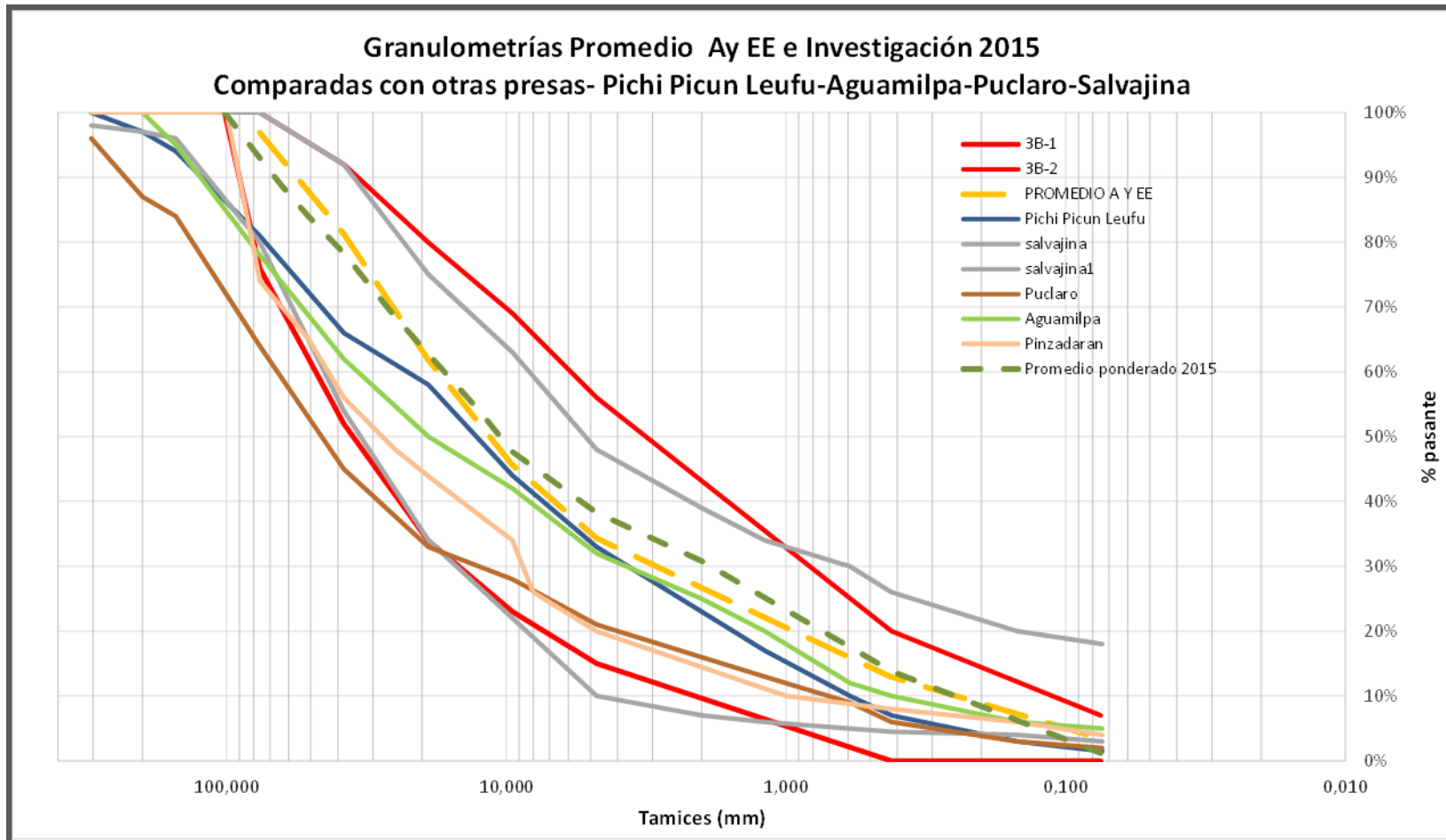



Figura 7.21: Curvas granulométricas promedio de la investigación actual y de AyEE de las 11 comparadas con otras presas de gravas compactadas

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 136 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900


**Tabla 7.8: Parámetros de la curva promedio general incluyendo la clasificación SUCS para las muestras de AyEE y de la campaña 2015.**

PROM Ponderado A yEE		PROM Ponderado 2015	
<b>Cu</b>	68	<b>Cu</b>	68
<b>CC</b>	2,12	<b>CC</b>	0,76
<b>%finos</b>	1,2%	<b>%finos</b>	1,2%
<b>%arena</b>	37,0%	<b>%arena</b>	37,0%
<b>%grava</b>	61,7%	<b>%grava</b>	61,7%
D10	0,25	D10	0,25
D30	3,0	D30	1,8
D60	17,0	D60	17,0
<b>Clasif sucs</b>	GW	<b>Clasif sucs</b>	GP

**Tabla 7.9: Coeficientes de Uniformidad  $C_u$  y coeficiente de curvatura  $C_c$  de las calicatas analizadas de la Campaña 2015 en Canal de Aducción.**

Tamices IRAM	cal1	cal2	cal 3	cal 4	mezcla 4	mezcla 2	cal 5	mezcla 5	cal 6	mezcla 6
	Pasante [%]	Pasante [%]	Pasante [%]	Pasante [%]	Pasante [%]	Pasante [%]	Pasante [%]	Pasante % pasa	Pasante [%]	Pasante % pasa
<b>Cu</b>	14,05	21,12	36,74	16,96	18,04	48,12	62,7	58,04	51,16	65,25
<b>CC</b>	1,08	2,2	2,35	1,29	1,42	0,49	0,29	1,29	0,39	0,56

Tamices IRAM	mezcla 6	cal 7	cal 8	mezcla 8	cal 9	mezcla 9	cal 11	mezcla 11	cal 12	mezcla 12	Promedio General
	Pasante % pasa	Pasante [%]	Pasante [%]	Pasante % pasa	Pasante [%]	Pasante % pasa	Pasante %	Pasante % pasa	Pasante %	Pasante % pasa	
<b>Cu</b>	65,25		29,15	35,41	27,49	48,83	38,88	34,48	55,85	53,22	<b>39,7</b>
<b>CC</b>	0,56	1,58	0,37	0,4	0,6	0,69	0,77	0,65	0,1	0,12	<b>0,88</b>

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 137 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

## 7.4. Calicatas Campaña 2014

Las muestras de varias calicatas excavadas en la campaña de mayo de 2014, tanto para agregados de hormigones como para materiales de la presa, fueron enviadas para su análisis al laboratorio de la Universidad de La Plata.

Por la cercanía al área de colocación en la presa, se han rescatado los resultados de las calicatas siguientes: Cal 4 (22S-3b) y Cal 5 (29F-1e). La primera localizada en el extremo suroeste del área de explotación del yacimiento B1 y la siguiente calicata aguas arriba del tramo medio del canal de aducción. (Figura 7.22)

En la Tabla 7.10 se muestran las granulometrías por profundidad y el promedio ponderado por espesor.

En la Figura 7.23 se muestran las dos curvas granulométricas ponderadas de ambas calicatas en relación a las curvas de las 11 calicatas investigadas en el canal de aducción durante 2015. Ambas curvas (marcadas en bermellón), como se muestra, se sitúan del lado grueso del promedio + desv. standard.

**Tabla 7.10: Datos granulometrías por profundidad y promedio ponderado por espesor. Diám característicos y coeficientes Cu y Cc**

Tamices IRAM (mm)	Cal 4			Cal 5		
	0,5-2,2	2,2-4,5	Promedio ponderado	1,20-3	3-4,50	Promedio ponderado
	Pasante [%]	Pasante [%]		Pasante % pasa	Pasante % pasa	
101,600	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
76,200	91,0%	95,7%	93,4%	97,7%	88,8%	93,7%
63,500	89,9%	92,4%	91,2%	96,4%	84,7%	91,1%
50,800	86,1%	88,3%	87,2%	91,9%	75,2%	84,3%
38,100	77,8%	82,9%	80,4%	85,9%	64,4%	76,1%
25,400	70,3%	76,0%	73,2%	76,1%	51,2%	64,8%
19,050	60,9%	66,7%	63,8%	66,6%	42,0%	55,4%
12,500	48,8%	50,7%	49,8%	54,6%	33,0%	44,8%
9,500	42,0%	41,3%	41,7%	48,6%	29,3%	39,8%
8,000	37,5%	36,7%	37,1%	44,8%	27,5%	36,9%
6,250	33,5%	32,4%	33,0%	39,8%	24,0%	32,6%
4,750	28,5%	27,4%	28,0%	34,6%	21,0%	28,4%
2,380	16,2%	16,0%	16,1%	26,3%	15,7%	21,5%
1,190	11,5%	9,0%	10,3%	19,3%	10,4%	15,3%
0,600	7,7%	5,0%	6,4%	8,5%	5,2%	7,0%
0,300	2,60%	2,00%	2,30%	2,70%	1,80%	2,29%
0,150	1,50%	0,70%	1,10%	0,70%	0,80%	0,75%
0,075	0,60%	0,30%	0,45%	0,20%	0,40%	0,29%
D10			1,19			0,80
D30			5,30			5,30
D60			17,00			23,00
Cu			14,29			28,75
Cc			1,39			1,53
Clasif SUCS			GW			GW



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 138 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

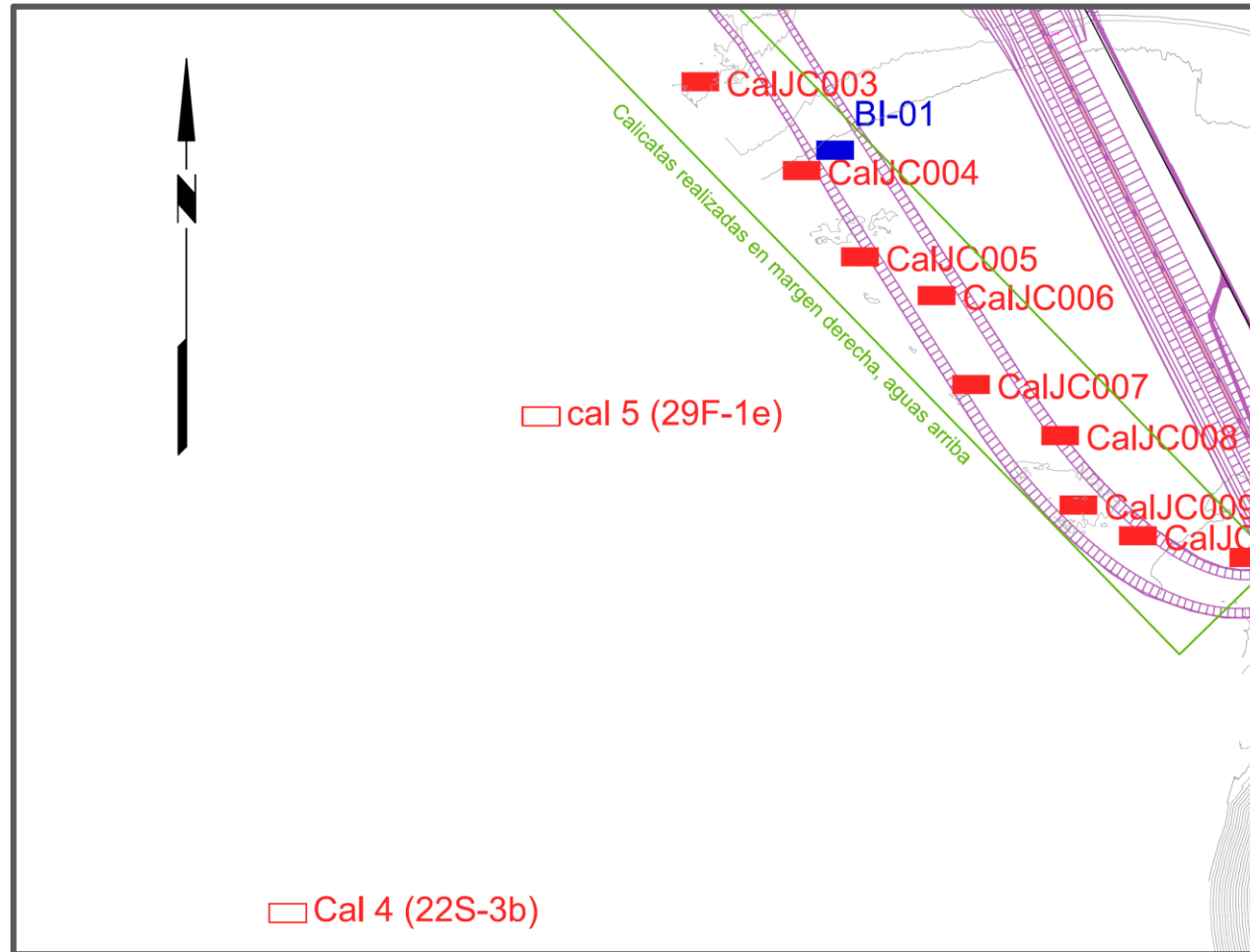


Figura 7.22: Ubicación de las calicatas Cal 4 y Cal 5 de la campaña de muestreo 2014



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 139 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

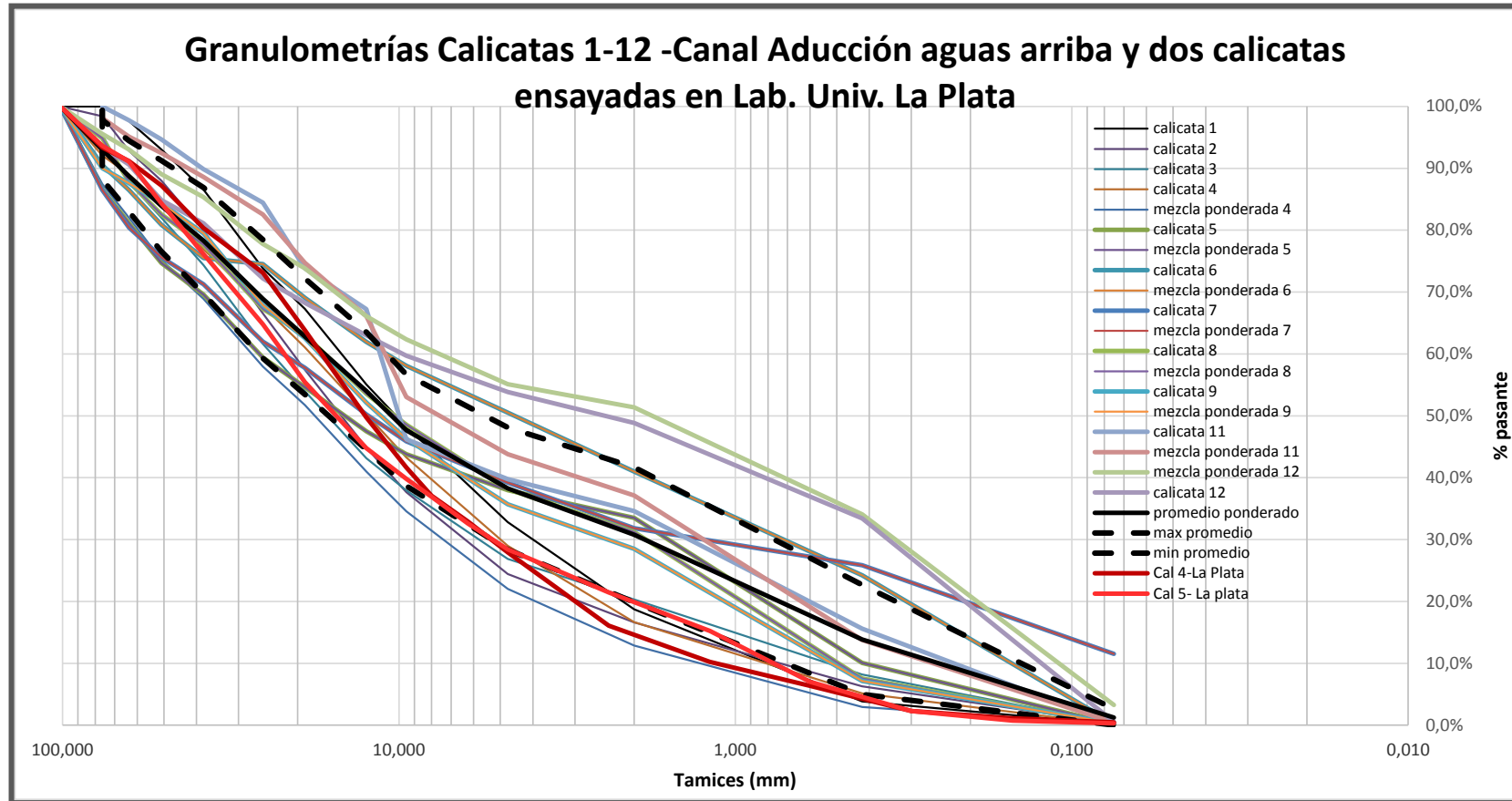



Figura 7.23: Curvas granulométricas promedio dedos calicatas Univ. La Plata junto con la investigación año 2015 en el canal de aducción



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 140 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900


## 7.5. Conclusiones Preliminares

Con la información disponible a enero de 2016, las conclusiones preliminares son las siguientes:

- a. Tal como ya se había adelantado en informes de proyecto, los materiales de la terraza aluvial de los yacimientos B1 aguas arriba, suministrarán gravas arenosas entre bien graduadas GW a pobremente graduadas GP de buena calidad para la construcción de la presa de cierre.
- b. El material del yacimiento Bb estudiado por AyEE también presenta buenas propiedades para ser usado en la presa, pero se espera estudiar el sector más cercano a la presa en la misma margen, Esta última fuente de materiales acortará la distancia de transporte para el sector de la presa en esa margen y lo hace más atractivo que el mismo yacimiento Bb mencionado.
- c. En el año 2015 se localizó la investigación en el sector de excavaciones obligatorias del canal de aducción del desvío, presentada en el capítulo 4. Falta aún completar las investigaciones en el sector de excavaciones del Vertedero y Central así como en la margen izquierda aguas abajo, en sector más cercano a la presa que el yacimiento Bb.
- d. Para el estudio del año 2015 del canal de aducción del desvío aguas arriba, se adoptó el método de la mezcla ponderada como representativa de la explotación que se llevara a cabo en la realidad. Esta fue hecha tomando como altura total la suma de los espesores de cada estrato y calculando un porcentaje en base a esa altura total. Se descartó el espesor de destape, que está en el orden de los 30 cm.
- e. Se ha mostrado la similitud de las granulometrías promedio de la actual investigación 2015 con las obtenidas en el estudio de Ay EE del yacimiento B1, representadas por las curvas promedio de mezclas ponderadas. De todos modos hay que tener en cuenta que el área de investigación de AyEE es largamente más amplia que la actual investigación circunscripta a la traza del canal de aducción. No obstante, la similitud confirma las características homogéneas de estas gravas.
- f. Comparadas ambas curvas promedio del yacimiento B1 con las de proyectos de gravas compactadas como Pichi Picun Leufu (PPL) (Argentina), Aguamilpa (México), Puclaro (Chile), Pinzadaran (México) y la banda de aceptación de Salvajina (Colombia), se ha observado en todos los casos que el tamaño máximo de estas presas es ostensiblemente mayor que el de Cepernic. La curva promedio de PPL es la que se aprecia similar separándose en los tamaños mayores.
- g. Teniendo en cuenta lo indicado en el punto anterior, se sugiere tener particular cuidado con el aumento del porcentaje de arena en la granulometría promedio y la localización de los sectores de bancos arenosos que pueden “contaminar” la mezcla, obteniéndose una matriz excesiva arenosa fina que separa los bloques o rodados de las gravas influyendo en su comportamiento al corte.
- h. Completada la investigación y ajustada en su relevamiento, se delimitarán, con precisión, los sectores de bancos de arenas que deben ser evitados en la explotación pero que podrán servir, según el caso, para el suministro a la planta de hormigones. De todos modos se tendrá en cuenta la presencia de arenas limosas para la utilización como material 1A aguas arriba colocado sobre la losa.
- i. Del mismo modo se completará la localización de los sectores con material arcilloso, que ya se ha observado en derredor de las excavaciones de Central y vertedero, para separar y generar un acopio para utilización de ataguías o impermeabilizaciones.
- j. El Contratista elaborará un informe final con todas las investigaciones que será una revisión del presente documento, incorporando, además, los procesos de mezclas y cortes que se propondrán para preparar los materiales restantes de la presa, como el 2A que se coloca debajo de los sellos, los ajustes para el material 2B de apoyo de losa, y el material D que actúa como dren.

## 7.6. Investigación futura

Queda por llevar a cabo las calicatas previstas en la margen derecha del proyecto, tal como se muestra en la Figura 7.24, Figura 7.27, y Figura 7.28 y en la margen izquierda, como se puede ver en la Figura 7.25 y Figura 7.26. Se ha emitido el plano JC-A.CV-PL.GT-(PR-00-00)-P001-0B junto con la revisión de las especificaciones técnicas respectivas JC-A.CV-ET.GT-(PR-00-00)-P001-0B para completar las investigaciones de materiales en ambas márgenes. Tanto el plano como las especificaciones técnicas se encuentran en el [ANEXO 23](#): “Plano se

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 141 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

yacimientos del cuerpo de presa” y [ANEXO 24](#): “Especificaciones técnicas para yacimientos del cuerpo de presa”.

Estos materiales investigados serán usados en el tramo de la presa en esas márgenes. Una vez concluida la realización de todas las calicatas se hará una zonificación a fines de aprovechar las áreas cuyas curvas granulométricas se encuentren lo más cercanas posible a las recomendadas para cada zona de la presa.

Se zonificarán las áreas con presencia importante de bancos de arena, para dedicarlos al estudio de agregados para el hormigón.

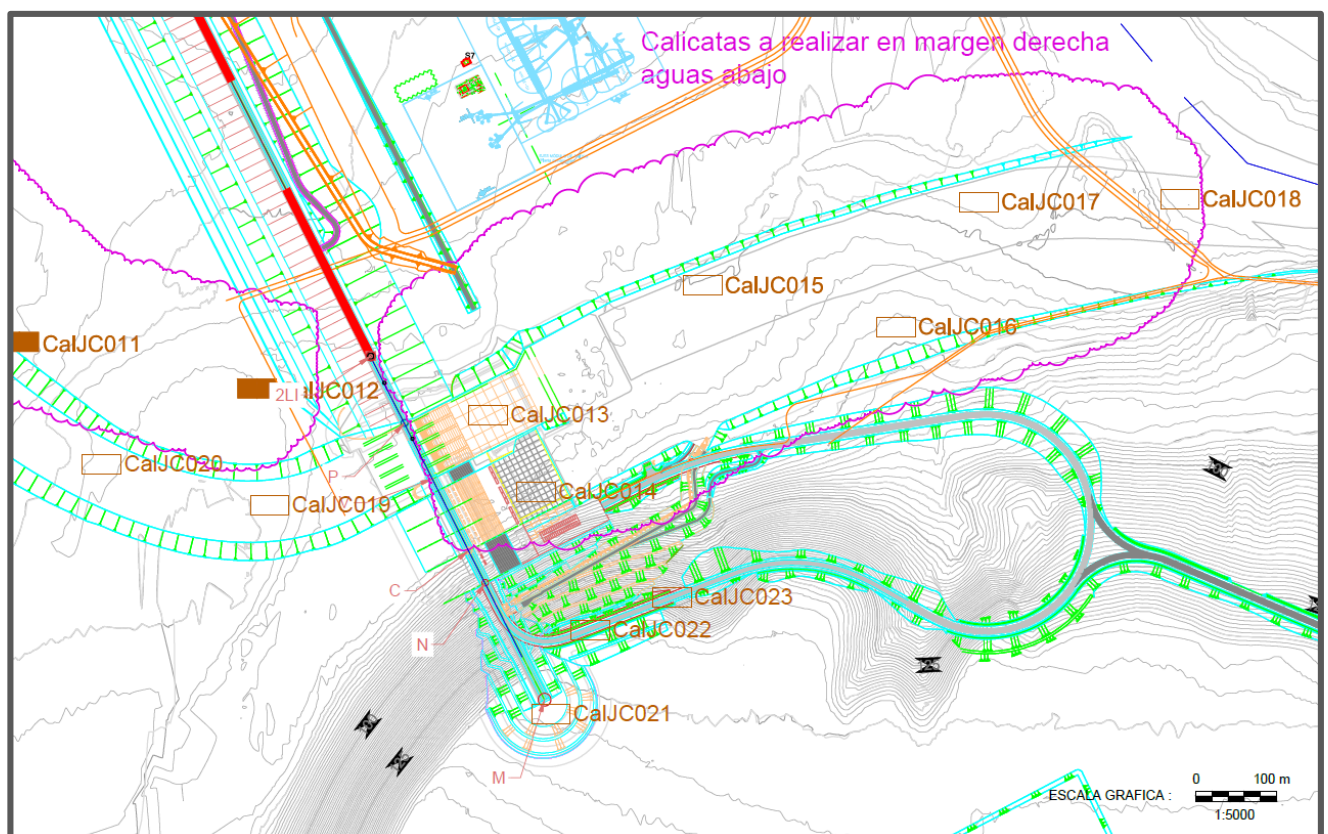
Asimismo queda pendiente de efectuar estudios granulométricos de los materiales de:

- Excavación del área de la Central y Vertedero, y aguas abajo de los canales de restitución de ambas estructuras
- Excavaciones en la traza de la presa misma
- Excavaciones en el sector de implantación de la presa en margen derecha y del camino de acceso
- Completamiento del sector de Canal de aducción aguas arriba de la Central y Vertedero

El conocimiento de los materiales en los canales de aducción y de restitución del Vertedero y Central apunta también a la definición de los enrocados de protección a colocar y las capas de transición con las gravas naturales. En la Figura 7.29 se muestra la zonificación diseñada hasta el presente con los enrocados de protección previstos definidos por el D50 y el espesor de la capa de protección. No se hace mención en este caso a las capas de transición.

Las tres calicatas propuestas para la margen derecha, apuntan a estudiar este material para incorporar a la presa y a la vez definir los materiales en que se implantará el camino de acceso.

En el [ANEXO 23](#): “Curvas granulométricas Calicatas de canal de desvío 2015”, [ANEXO 24](#): “Especificaciones técnicas para yacimientos del cuerpo de presa” y [ANEXO 25](#): “Plano de yacimientos del cuerpo de presa”, se encuentran los archivos de detalle de estudio de los Yacimientos, para tener el panorama completo de estudio de la terraza aluvial de ambas márgenes, ya efectuada hasta el presente.



**Figura 7.24: Investigación futura en margen derecha, aguas abajo, en excavación vertedero y canal de salida**

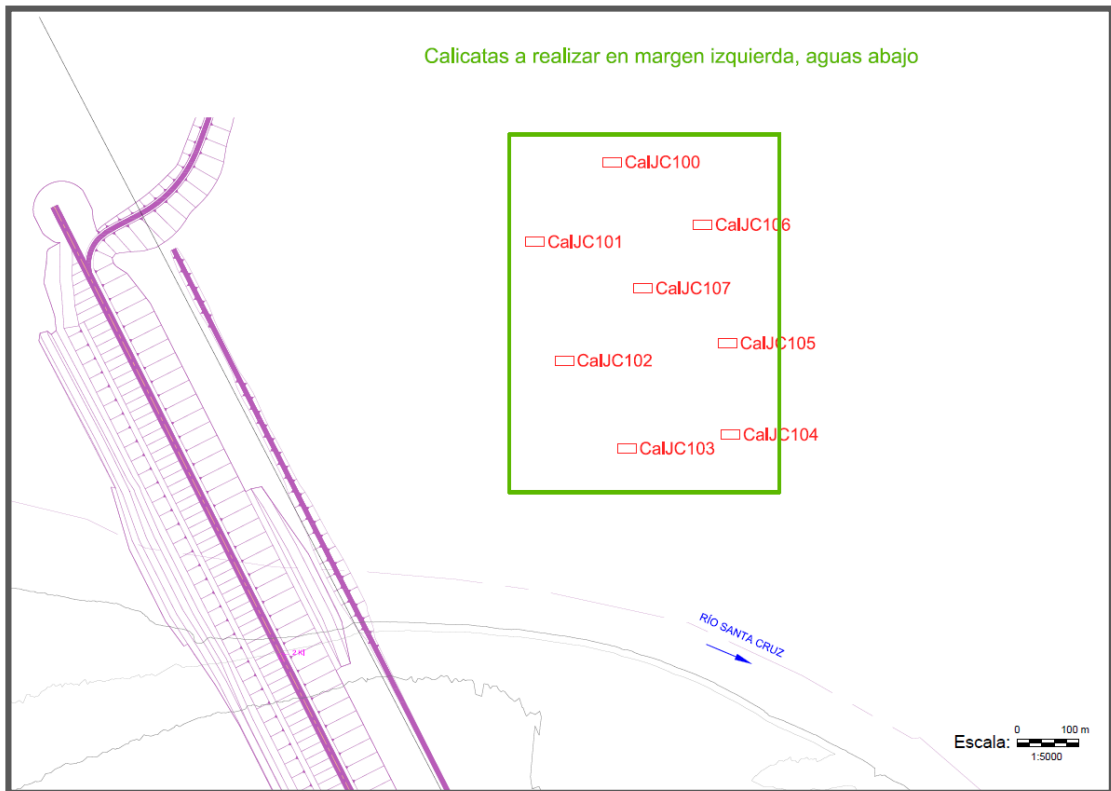


Figura 7.25: Investigación futura en margen izquierda, aguas abajo

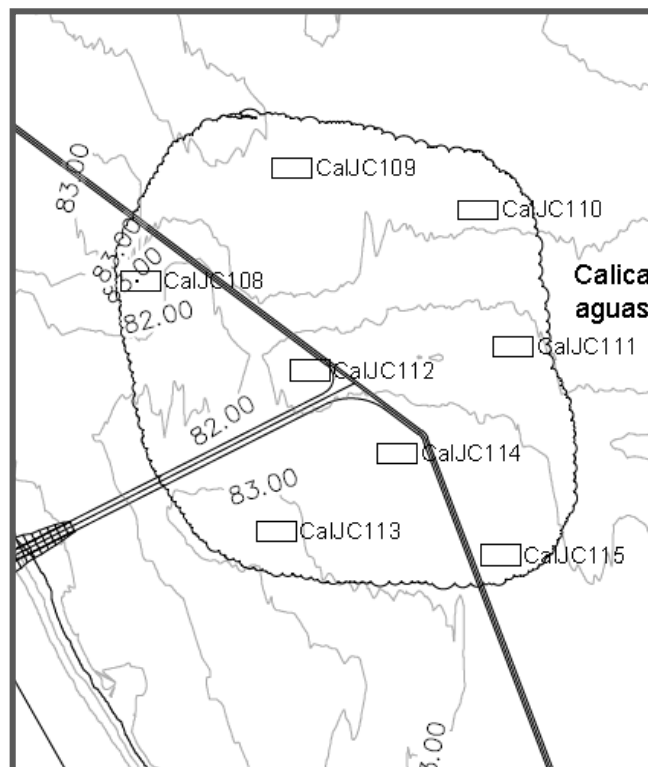


Figura 7.26: Investigación futura en margen izquierda, aguas abajo

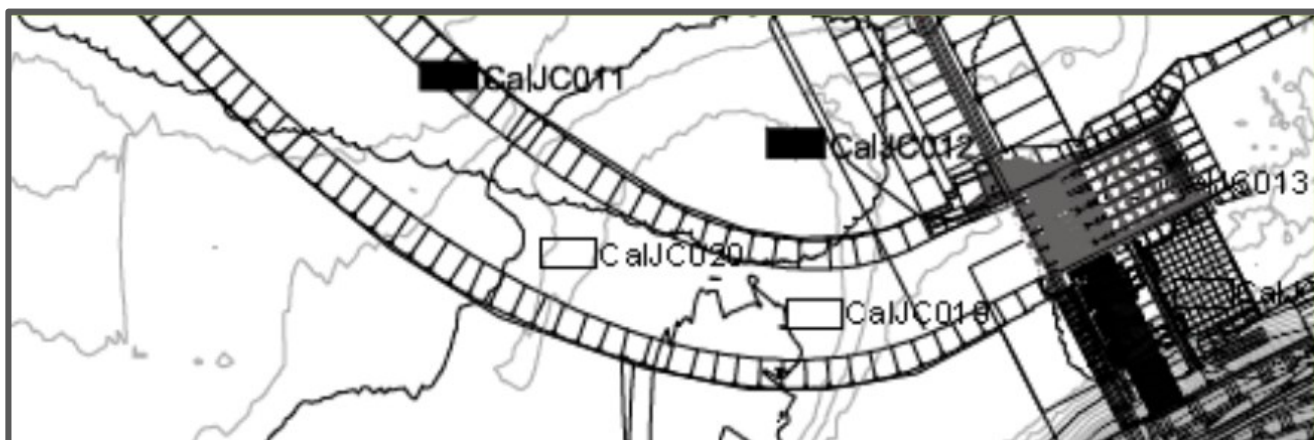


Figura 7.27: Investigación futura en margen derecha, aguas arriba faltante

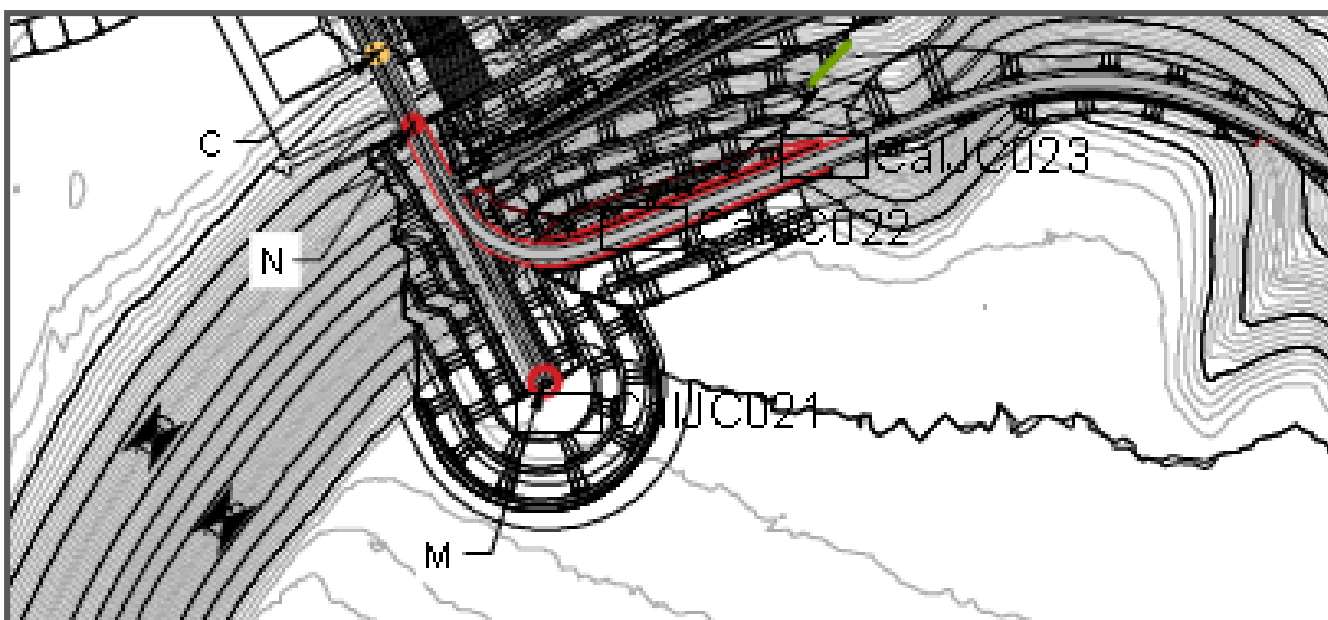


Figura 7.28: Investigación futura en margen derecha, sector implantación presa y muro de cierre



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS  
SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A  
Fecha: 25-08-16  
Página: 144 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

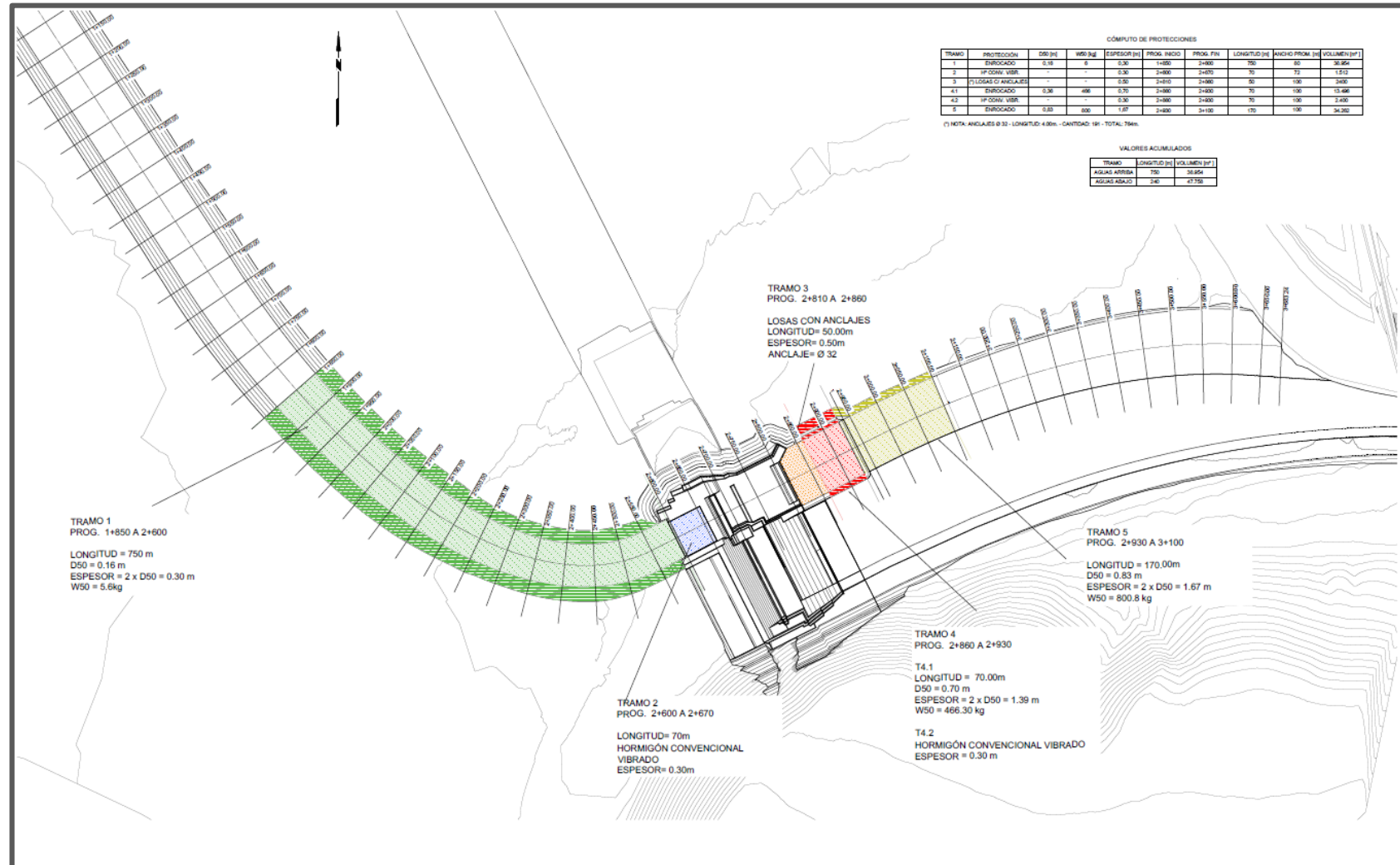



Figura 7.29: Diseño de enrocados de protección aguas arriba y abajo del Vertedero (plano JC-A.CV-PL.MS-(DD-00-00)-P001-0B)

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 145 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

## 8. ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS

### 8.1. General

Con la finalidad de conocer la calidad geotécnica de las rocas se efectuaron ensayos de laboratorio para determinar las propiedades mecánicas de las diferentes unidades litológicas.

Las pruebas se realizaron a partir de los núcleos de roca extraídos de las distintas unidades litológicas en los sondeos exploratorios de la presente etapa de estudios.

Las pruebas mecánicas que se llevaron a cabo en los diferentes tipos de rocas fueron las siguientes:

- Resistencia a la compresión simple y cálculo de los módulos de elasticidad.
- Resistencia a la tensión indirecta tipo “brasileña”
- Resistencia a la compresión triaxial escalonados, consolidados y drenados, con muestras saturadas. Las presiones de confinamiento serán de 5, 10 y 15 kg/cm<sup>2</sup>.
- Velocidades sísmicas y cálculo de módulos de elasticidad dinámicos
- Peso volumétrico y absorción
- Slake durability,
- Análisis petrográficos,
- Difractometría de rayos X de arcillas


Los ensayos fueron realizados siguiendo las directrices de las normas IRAM principalmente y teniendo también como antecedente las siguientes que son de aplicación:

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS – ASTM (1969). D2845: Standard method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rock.
- INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS - ISRM (1981). Rock Characterization. ISRM suggested methods. Brow, E.T. Ed. Commission on Testing and Monitoring. International Society for Rock Mechanics. Pergamon Press.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2002). ASTM D 2938-95. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens (CD ROM).
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1995). ASTM D 2664-95a. Standard Test Method for Triaxial Compressive Strength of Undrained Rock Core Specimens Without Pore Pressure Measurements.

Para la preparación de los cuerpos de prueba se tomaron en cuenta las normas IRAM como las tolerancias sugeridas por la norma ASTM D4583-85 re-aprobada en 1991 “*Standard Practice for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances*”, con relación a las dimensiones de cuerpos de prueba cilíndricos, a la forma, rugosidad de las superficies, paralelismo de las extremidades y perpendicularidad entre estas y el eje de los cuerpos de prueba. Como indicado en esta norma, se utilizaron cuerpos de prueba cilíndricos de relación aproximada altura / diámetro 1:2.

Con relación a la metodología de ejecución de los ensayos, puede citarse lo siguiente:

- a. Las probetas fueron preparadas tratando de atender las recomendaciones emanadas de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (*ISRM*) en sus llamados “*Suggested Methods*”. No se cumplió con el requisito de tiempo de estacionamiento, pues el envío de las muestras por parte del Consorcio IECI se realizó sin fecha de perforación.
- b. La relación largo-diámetro de las probetas para los ensayos de compresión uniaxial y triaxial se fijó entre 2 y 2,5. La saturación de las muestras se realizó sumergiendo las probetas en agua destilada durante 72 hs. La mayoría de las muestras no se preservaron intactas por el efecto de desleimiento que afecta a estas rocas; el diámetro de las probetas ensayadas por AyEE fue de aproximadamente 55 mm;

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 146 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

- c. Los ensayos de compresión simple y triaxiales se ejecutaron con sucesivos ciclos de carga y descarga hasta alcanzar la carga máxima de ruptura.
- d. Los equipos consistieron en prensas de 200 tn de capacidad, con accionadores eléctricos. El control de carga se realizó mediante aros dinamométricos con capacidad de 5 y 10 tn.
- e. La probeta se lleva a la ruptura después del último ciclo de descarga a velocidad de carga constante, con lectura de las deformaciones.
- f. El módulo de deformación se refiere al módulo secante obtenido con la tensión máxima del ciclo sobre las deformaciones longitudinales unitarias totales para esa carga
- g. El módulo de elasticidad se refiere al valor obtenido de considerar la carga máxima de un ciclo sobre la deformación elástica experimentada la cual se determina en el proceso de descarga del ciclo.
- h. Para los ensayos triaxiales se empleó una prensa de 80 tn de capacidad para la aplicación de la carga axial ( $\sigma_1$ ), con accionamiento manual y control de carga mediante manóm. Para aplicar la tensión confinante ( $\sigma_2 = \sigma_3$ ) se utilizó una cámara triaxial de 150 tn de capacidad, hidráulica con control de carga mediante manóm. Las deformaciones longitudinales fueron medidas con dos comparadores centesimales colocados a 180° entre sí.
- i. La ejecución del ensayo triaxial con ciclos de carga y descarga, se realizó aplicando un cierto confinamiento biaxial, solicitando luego la probeta con ciclos de carga en escalones hasta alcanzar la carga máxima del ciclo y procediendo luego a la descarga siguiendo el mismo criterio. Al finalizar el último ciclo de descarga, se lleva la probeta a rotura con velocidad de carga constante.
- j. No se midieron las deformaciones radiales.
- k. Los ensayos de compresión diametral según el método brasileiro se realizaron con los mismos equipos que los ensayos de compresión uniaxial.

## 8.2. Programa de Ensayos Campaña A y EE y Consorcio ESIN - IATASA

En las campañas de investigaciones de AyEE y consorcio ESIN-IATASA se ejecutaron ensayos de mecánica de rocas, tracción indirecta, compresión uniaxial y compresión triaxial, además de los índices físicos como peso específico natural y % de humedad.

Los ensayos fueron agrupados por tipo litológico en muestras de arcilitas (Tabla 8.1 y Tabla 8.2), limolitas (Tabla 8.3 y Tabla 8.4) y areniscas (Tabla 8.6 y Tabla 8.7).

Las muestras se separaron para su análisis, de acuerdo con la tipificación litológica presentada en los documentos de AyEE consultados. Se ha observado una discordancia entre la tipificación de las muestras y la descripción presentada en los logs de sondeos.

Como se ve se crearon 2 grandes grupos de rocas: Areniscas y Pelitas, pero manteniendo también la diferenciación de análisis que ya se había hecho para Arcilitas y Limolitas.

En las primeras se incluyeron las areniscas gris oscuras a negras y las areniscas con matriz limo-arcillosa de color gris verdoso. En el 2° grupo se agruparon las muestras descriptas como limolitas y arcilitas con la denominación genérica de pelitas.

## 8.2.1. Arcilitas

Tabla 8.1: Campaña de AyEE-Ensayos de mecánica de rocas sobre muestras de arcilita


Roca	Sondeo	Resistencia a la compresión uniaxial	Resistencia a tracción
		$\sigma_c$ MPa	$\sigma_t$ MPa
Arcilitas	B 1	6	
		8	
		4	
		4	0,9
		5	
	B 4	8	0,5
			1,4
		8	
		6	0,8
	B 8	7	
			0,5
			0,1
			0,0
		6	
		4	
Promedio		6	0,6

Tabla 8.2: Campaña ESIN-IATASA-Ensayos de mecánica de rocas sobre muestras de arcilita

Sondeo	Profundidad de los tramos ensayados m	Peso específico $\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	Ensayos de resistencia			Litología
			Compresión uniaxial $\sigma_c$ MPa	Compresión triaxial		
				Cohesión $c$ MPa	Ángulo de fricción $\phi$ °	
BDC A	19.60-19.88	18	9			Cto transic. arcillita/limolita
	49.79-50.01	17	9			Arcillita GV, masiva
	55.68-55.92	18	6			Arcillita GV
BDC B	46.96-47.20	18	7			Arcilita verde
BDC C	21.50-21.76	18	11			Arcillita GV - Masiva
BDC D	20.49-20.67	17	6			Arcillita GV - Masiva
BDC E	19.50-19.76	18	9			Arcillita GV - limolita negra
	43.87-44.08	18	8			Arcillita GV - Brechada
BDC H	27.30-27.50	18	6			Arcilita GV - Brechada
	56.84-57.46		0	3	40	Arcilita GV - limosa
BDC 16	21.54-21.75	18	6			Arcilita GV, brechada
BDC 18	24.56-24.90		0	3	45	Arcillita GV - masiva
	24.90-25.13	19	7			Arcillita GV - masiva
BDC 20	12.43-12.64	18	6			Arcillita GV - masiva
BDC 21	20.40-20.63	18	4			Arcillita GV, brechada
BI 01	21.85-22.04	17	9			Arcilita gris - Limolita gris
BI 03	45.21-45.45	17	8			Arcillitas gris - Limolitas gris
BD 15	36.57-36.80	17	8			Arcillita GV, brechada
BD 16	56.34-56.58	18	6			Arcillita GV, brechada
BDC 15	12.93-13.37	18	8			Arcilita GV, brechada a
BDC17	35.82-35.53	18	8			Arcilita GV, masiva
BDC18	41.80-42.10	18	11			Arcillita GV, masiva a
Promedio		18	7	3	43	

## 8.2.2. Limolitas



	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 148 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

**Tabla 8.3: Campaña de AyEE-1970-1980-Ensayos de mecánica de rocas sobre muestras de limolita**


Roca	Sondeo	Resistencia a la compresión uniaxial	Resistencia a tracción
		$\sigma_c$	$\sigma_t$
		MPa	MPa
Limolita	B 1	5	0,2
	B 4	8	
	B 8		0,5
	B 8		0,7
	Promedio	6	0.5

**Tabla 8.4: Campaña ESIN-IATASA-2006-Ensayos de mecánica de rocas sobre muestras de limolita**

Sondeo	Profundidad de los tramos ensayados	Peso específico	Ensayos de resistencia			Litología
			Compresión uniaxial	Compresión triaxial		
				Cohesión	Ángulo de fricción	
					$c$	
m	$\gamma$	$\sigma_c$	MPa	MPa	°	
BDC A	16.95-18.00			1	43	limolita gris masiva
	66.02-66.25	18	9			limolitas G-arcillitas limosas
BDC B	44.63-44.87	17	3			limolita arenosa fina, negra
BDC C	39.61-39.85	18	9			Limolita GV - Masiva
BDC D	25.51-25.76	17	10			Limolita areniscosa, fina, gris
BDC E	32.45-32.49	18	3			Limolita gris, masiva
	59.40-59.65	17	7			Limolita GV - Tobácea
BDC H	34.25-34.90			2	30	Limolita gris - masivo
	40.70-40.91	17	2			Limolita/arenisca fina, negra
	46.30-46.51	17	5			Limolita - arenisca fina
	49.59-49.85	19	15			Limolita - arenisca fina
BDC J	59.51-59.71	15	5			Limolita GV?
BDC 01	13.10-13.50			2	42	Limolita gris c/arcilla
	15.05-15.29	17	6			Limolita - Arenisca
	24.75-24.95			1	50	Limolita GV c/arenas
	25.45-25.67	17	11			Limolita GV c/arenas
BDC 02	16.96-16.72	18	13			Limolit intercaladas c/arcillitas
BDC 05	25.37-25.64	18	10			Limolita GV, masiva
BDC 08	19.52-19.76	18	5			
BDC 13	23.23-24.00			2	41	Limolita arenosa - Arenisca
BDC 25	18.49-18.72	18	4			Limolita gris masiva
BI 01	61.64-61.87	18	3			Limolita GV, brechada
	67.94-68.20	19	7			Limolita gris com arcilla
BD 12	20.03-20.24	18	9			Limolita gris claro, masiva
	20.75-22.10			3	38	Limolita masiva c/algo de arenas
	31.89-32.1	18	5			Limolita GV masiva
BDC 15	57.15-57.43	17	10			Limolita gris oscura, verdosa
	59.18-59.62			2	42	Limolita gris oscura, verdosa
	Promedio	18	7	2	41	

### 8.2.3. Pelitas

Las limolitas y arcillitas gris verdosas fueron ensayadas, en general, en estado natural no saturado. No se ejecutaron ensayos triaxiales. Las muestras no saturadas presentaron los siguientes valores de resistencia a la tracción indirecta y resistencia a la compresión simple (Tabla 8.5):

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 149 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

**Tabla 8.5: Resultados de ensayos de mecánica de rocas de la campaña 1977-1978 sobre muestras de pelitas en estado natural no saturadas (Consortio IECI para AyEE)**

	Resistencia a tracción	Resistencia a la compresión uniaxial	Módulo Secante		Módulo tangente	
			Tensión principal			
	$\sigma_t$	$\sigma_c$	$\sigma_1$			
	MPa	MPa	MPa			
			3	4	2	2,5
Promedio	0.6	6.2	1089	1008	1309	1383
Desv. estándar	0.2	1.5	334	341	399	456
Mínimo	0.2	3.8	764	662	823	833
Máximo	0.8	8.4	1901	1764	2244	2313

Los resultados muestran que las rocas de grano fino, arcilitas y limolitas (agrupadas como pelitas en el último cuadro), poseen peso específico natural que varía entre 15 kN/m<sup>3</sup> a 19 kN/m<sup>3</sup>. Con estos valores de peso específico se estima que la porosidad de la roca variaría entre 25% y 40%.

Los ensayos de resistencia a la compresión simple indican que se trata de rocas blandas variando entre 2 MPa y 15 MPa.

#### 8.2.4. Areniscas

Las areniscas fueron ensayadas, en general, en estado natural no saturado. Las muestras no saturadas presentaron los siguientes valores de resistencia a la tracción indirecta y resistencia a la compresión simple (Tabla 8.6):

**Tabla 8.6: Resultados de ensayos de mecánica de rocas de la campaña 1977-1978 sobre muestras de areniscas arcillo limosas en estado natural no saturadas (Consortio IECI para AyEE)**

	Resistencia a tracción	Resistencia a la compresión uniaxial	Módulo Secante		Módulo tangente	
			Tensión principal			
	$\sigma_t$	$\sigma_c$	$\sigma_1$			
	MPa	MPa	MPa			
			4	6	4	6
Promedio	0.6	5.2	914	1111	1127	1156
Des. estándar	0.4	1.4	289	667	485	711
Mínimo	0.0	3.3	764	588	784	608
Máximo	0.9	7.2	1431	1862	1470	1960

Integrando la información de la Tabla 8.6 con el único resultado del ensayo triaxial se construyó un gráfico de tensiones principales que se presenta en la Figura 8.1 y Figura 8.2.

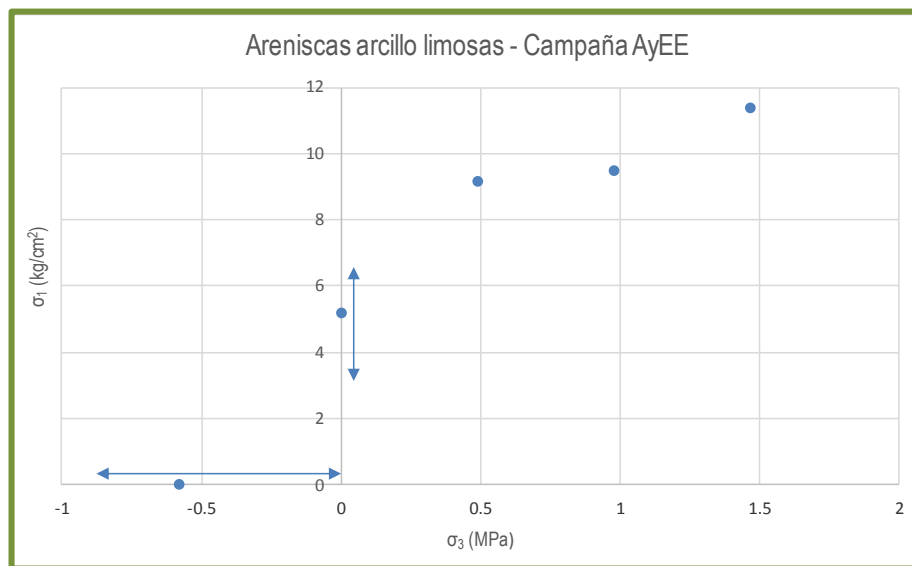


Figura 8.1: Diagrama de tensiones principales con los resultados de los ensayos de mecánica de rocas en muestras de areniscas en la campaña 1977-1978 (AyEE)

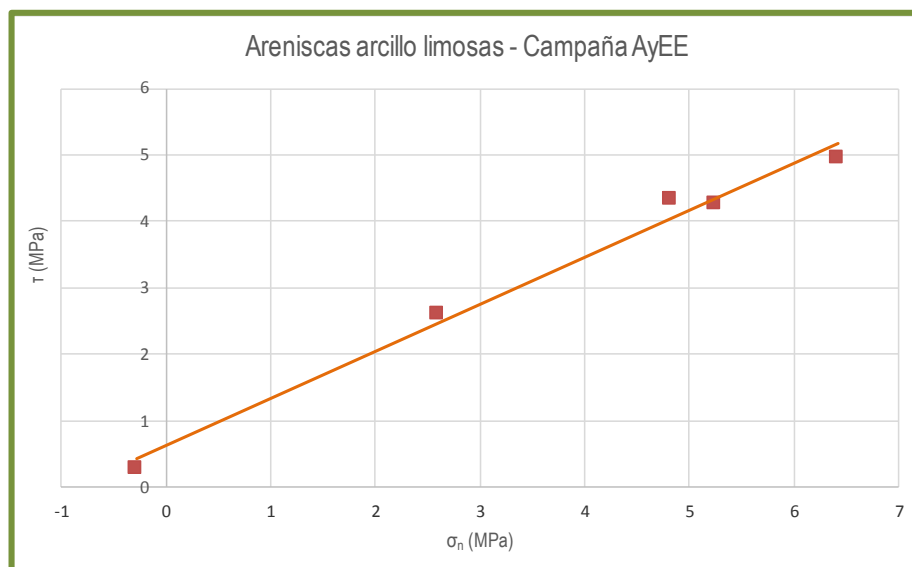



Figura 8.2: Diagrama de camino de tensiones p y q con los resultados de los ensayos de mecánica de rocas en muestras de areniscas en la campaña 1977-1978 (AyEE)

Se observa que en general las areniscas presentan menores resistencias que las pelitas y son levemente más deformables.

Tabla 8.7: Campaña de AyEE: Ensayos de mecánica de rocas sobre muestras de arenisca

Roca	Sondeo	Resistencia a la compresión uniaxial	Resistencia a tracción
		$\sigma_c$ MPa	$\sigma_t$ MPa
Arenisca	B 4		0,6
	B 4	3	0,6
	B 8	4	0,8
	B 8	7	0,5
	Promedio	5	0,7

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 151 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

**Tabla 8.8: Campaña ESIN-IATASA: Ensayos de mecánica de rocas sobre muestras de arenisca**

Sondeo	Profundidad de los tramos ensayados m	Peso específico $\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	Ensayos de resistencia			Litología
			Compresión uniaxial $\sigma_c$ MPa	Compresión triaxial		
				Cohesión c MPa	Ángulo de $\phi$ °	
			BDC A	33.05-33.94		
BDC 05	27.30-27.50	17	4			Arenisca fina, limosa
BDC 06	31.5-31.82	17	2			Arenisca fina gris oscura
BDC 13	17.50-17.77	17	3			Arenisca fina, negruzca
BI 01	27.15-27.37	17	4			Arenisca fina gris oscura
BDC 15	17.52-17.62	17	4			Arenisca fina, negra, tobacea
Promedio		17	3	4	39	

### 8.3. Actual programa de ensayos

En la campaña de investigaciones 2015 se realizaron ensayos de compresión triaxial, escalonados, consolidados y no drenados, con muestras saturadas. Las presiones de confinamiento fueron de 5, 10 y 15 kg/cm<sup>2</sup>. Los ensayos se desarrollaron, principalmente, en el IDIA Laboratorio de Mecánica de Suelos del Instituto de Investigaciones Antisísmicas "Ing. Aldo Bruschi" y también en el laboratorio del IMS Instituto de Materiales y de Suelos, ambos pertenecientes a la Universidad nacional de San Juan. También se realizaron ensayos de compresión uniaxial con determinación de módulo de deformación, resistencia al corte, compresión diametral, peso específico, entre los principales.

El Laboratorio IDIA cuenta con un equipo triaxial de la marca ELE (Figura 8.3), servo controlado en la aplicación de la carga axial y aplicación manual de la presión confinante.

La cámara triaxial mostrada en la Figura 8.3 es la cámara convencional del equipo que permite la aplicación de tensiones confinantes hasta 5 kg/cm<sup>2</sup> y probetas de máximo 40 mm de diámetro. El Laboratorio desarrolló una cámara especial para la ejecución de ensayos con tensiones confinantes de hasta 15 kg/cm<sup>2</sup> y para ensayar probetas de 56 mm de diámetro conforme salen de las perforaciones.



**Figura 8.3: Equipo de ensayo triaxial**

Las especificaciones de los ensayos son las siguientes:

- Se aplicaron las normas sugeridas por la ISRM y/o ASTM para la ejecución de los ensayos de compresión diametral por el método brasileiro, compresión uniaxial y compresión triaxial;
- Todos los ensayos se realizaron a la humedad natural, aunque también se ensayaron algunas muestras con saturación;
- En todos los testigos se realizó una determinación de humedad posterior al ensayo mecánico y el peso unitario aparente seco (método de la parafina), con el objeto de determinar la porosidad y el grado de saturación de la roca ensayada;
- Para cada tipo de roca se determinó también la densidad de sólidos (4 determinaciones por tipo de roca) mediante el método del picnómetro
- Los testigos de roca a ensayar fueron de 56 mm de diámetro protegidas con un embalaje para evitar la pérdida de humedad. Las muestras se acondicionaron en campo con protección inicial de papel film y posterior cubierta con parafina (Figura 8.4);



Figura 8.4: Preparación de las muestras

- f. Los ensayos triaxiales se realizaron en forma escalonada, aplicando a la misma probeta tres presiones de confinamiento (5, 10 y 15 kg/cm<sup>2</sup>) en tres etapas sucesivas, siempre que el testigo no halla fallado de manera frágil. Se siguieron las recomendaciones del “*Suggested Methods for Determining The Strength of rock materials in triaxial compression: revised versión*” publicado por la ISRM en 1983.
- g. Las variables a medir durante los ensayos fueron la carga aplicada y el desplazamiento debido a la deformación axial de la probeta.

A continuación se resumen, en la Tabla 8.9, Tabla 8.10, Tabla 8.11 y Tabla 8.12, los ensayos realizados sobre muestras obtenidas de los sondeos BP 01, BP 02, BP 16 y BP 17 de la campaña 2015, ordenados por litología.



**Tabla 8.9: Resultados de los ensayos realizados en Tobas**

Muestra	ID	Ensayo	Profundidad del tramo ensayado	Densidad de sólidos	Ensayos de resistencia		Módulo de deformación	Ángulo de fricción	Cohesión
					Compresión uniaxial	Tracción			
					$\rho$ Kg/m <sup>3</sup>	$\sigma$ MPa			
1	BP 17	E1	32.5-34	2 556	5				
		E2		2 510	5				
		E3		2 510	5				
		E1t		2 590		0.7			
		E2t		2 590		0.7			
2	BP 16	E1	31.16-32	2 584	6				
		E2		2 510	6				
		E1t		2 580		0.8			
		E1tri		2 510			-	-	
		E2tri		2 510			-	-	
		E3tri		2 510			-	-	
8	BP 17	E1t	38.36-39.3	2 700		0.3			
4	BP 02	E1	22.15-22.8		5		878		
		E1t				0.5			
		Etri					46	0.6	
12	BP 16	E1	33.09-33.5		6		1758		
		E1t				0.9			
		Etri					41	0.6	
7	BP 01	E1	26.78-27.7	2 637	5				
		E1tri		2 510			-	-	
9	BP 01	E1	31.9-32.35	2 408	7				
		E1t		2 700		0.9			
10	BP 01	E1	34-34.7	2 387	2				
		E1		2 700		0.8			
Promedio				2 560	5	0.7	1 318	44	0.6



**Tabla 8.10: Resultados de los ensayos realizados en Arenisca arcillosa**

Muestra	ID	Ensayo	Profundidad del tramo ensayado	Densidad de sólidos	Ensayos de resistencia		Módulo de deformación	Ángulo de fricción	Cohesión
				$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Compresión uniaxial	Tracción			
					$\sigma_c$ MPa	$\sigma_t$ MPa			
				$E$ MPa			$\phi$	$c$ MPa	
2	BP 02	E1 E1tri	16.35-16.6			0.6		41	0.4
3	BP 17	E1	29-29.5	2 648	8				
		E1t		2 650	0.8				
		E1tri		2 580			-	-	
6	BP 17	E1	24.7-25	2 580	6				
		E2tri					-	-	
10	BP 17	E1	27.5-27.95	2 679	6				
		E2		2 680					
		Et		2 680	0.8				
6	BP 02	E1	39-40.3		5				
		Etri					46	1	
9	BP 16	E1	25.22-25.49		7		858		
		E1t				1			
13	BP 16	E1	35.66-36.04		6		808		
		E1t				0.5			
		Etri					48	0.6	
3	BP 01	E1	15.9-16.3	2 573	6				
		E1t		2 700	0.4				
6	BP 01	E1	22.3-22.96	2 580	1.5				
		E1t		2 700	0.6				
		E1tri		2 580					
		E2tri		2 580			-	-	
8	BP 01	E1	29.72-30	2 626					
11	BP 01	E1	37.46-37.86	2 579	5				
		E1t		2 700	0.5				
		E1tri		2 579			-	-	
Promedio				2 620	5	0.6	833	45	0.7




**Tabla 8.11: Resultados de los ensayos realizados en Arenisca gris oscura**

Muestra	ID	Ensayo	Profundidad del tramo ensayado	Densidad de sólidos $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Ensayos de resistencia		Módulo de deformación $E$ MPa	Ángulo de fricción $\phi$	Cohesión $c$ MPa
					Compresión uniaxial $\sigma_c$ MPa	Tracción $\sigma_t$ MPa			
4	BP 16	E1	50.76-51	2 599	2	0.1			
		E1t		2 600					
5	BP 16	E1	52.8-53	2 646	2	0.2			
		E1t		2 650					
7	BP 17	E1	40.4-40.7	2 652	2	0.5			
		E1t		2 650					
		E1tri		2 652					
11	BP 17	E1	22.35-22.9	2 723	5	1			
		E1t		2 720					
7	BP 02	E1	40-40.28		2	288	35	0.3	
		E1tri							
2	BP 01	E1	13.9-14.3	2 613	3	0.2			
		E1t		2 700					
			Promedio	2 700	3	0.4	288	35	0.3

**Tabla 8.12: Resultados de los ensayos realizados en Pelitas**

Muestra	ID	Ensayo	Profundidad del tramo ensayado	Densidad de sólidos	Ensayos de resistencia		Módulo de deformación	Ángulo de fricción	Cohesión
				$\rho$	Compresión uniaxial	Tracción			
				Kg/m <sup>3</sup>	MPa	MPa			
9	BP 17	E1	41.5-41.69	2 545					
		E2t		2 700		0.6			
1	BP 02	E1t	14.63-14.93						
3	BP 02	Etri	20.65-20.9					39	0.6
5	BP 02	E1	32.97-33.6		8		1 001		
		E1t				0.8			
		Etri						29	0.3
8	BP 02	E1	43.55-43.9		5		815		
10	BP 16	E1	25.41-25.75		6		855		
		Etri						26	2
11	BP 16	E1	26.10-26.69		5		1116		
		E1tri							
		E2tri						37	1.4
15	BP 16	Etri	38.66-38.8					28	0.4
16	BP 16	E1t	55.75-56			1.1			
		Etri						39	0.7
17	BP 16	E1t	55.16-55.55			0.6			
1	BP 01	E1	12.86-13.1	2 533	5				
		E2		2 419					
		E3		2 432					
		E1t		2 530		0.8			
4	BP 01	E1	16.87-17.4	2 592	5				
		E1t		2 700		0.7			
		E1tri		2 500				-	-
Promedio				2 600	6	0.7	947	33	0.9

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 158 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

### 8.3.1. Integración de resultados y correlaciones

Los resultados de las campañas previas se integraran con los obtenidos en la actual campaña 2015 de modo de tener una mayor población estadística y extensión areal.

Además de la información de los resultados de los propios ensayos, normalmente se llevan a cabo algunas correlaciones de interés para todas las litologías y utilizando otros parámetros medidos además de los antes citados en puntos anteriores, tales como:

- Peso específico-Humedad
- Peso específico-Absorción
- Características Físicas (Peso específico)-Velocidad sónica y Módulo dinámico
- Resistencia a tracción-Peso específico
- Resistencia a tracción-Humedad
- Resistencia a compresión simple-Modulo elasticidad , Modulo al 50% y módulo secante (aplicación clasificación de D. Deere)
- Resistencia a compresión simple-Peso específico
- Resistencia a compresión simple- Humedad
- Resistencia a compresión triaxial-Modulo elasticidad al 50%

Si bien no se han completado varios de los ensayos, se incluyen algunas correlaciones de interés.

En la Tabla 8.13, Tabla 8.14 y Tabla 8.15 se presentan un resumen estadístico de los índices físicos y propiedades mecánicas de los tres principales tipos de roca ensayados hasta el presente:

- Areniscas gris oscuro, friables, estratificadas
- Pelitas gris verdosas, con estructura masiva a brechoide
- Tobas y areniscas tobáceas, grises, estructura masiva

**Tabla 8.13: Resultados preliminares de los ensayos realizados sobre muestras de areniscas grises oscuro de la Presa J. Cepernic (Campaña 2015)**

Arenisca gris oscura, friable							
	Densidad		Densidad de sólidos	Índice de vacíos	Grado de saturación	Resistencia Compresión uniaxial	Resistencia Tracción indirecta
	$\rho$	$\rho_d$	$\rho_s$	$e$	$S$	$\sigma_c$	$\sigma_t$
	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>			MPa	MPa
Promedio	1 940	1 640	2 670	0,66	0,83	3	0,4
Desv. Est.	190	230	36	0,20	0,11	1	0,3
Mínimo	1 550	1 230	2 652	0,45	0,68	2	0,1
Máximo	2 290	2 020	2 723	0,87	0,92	5	1

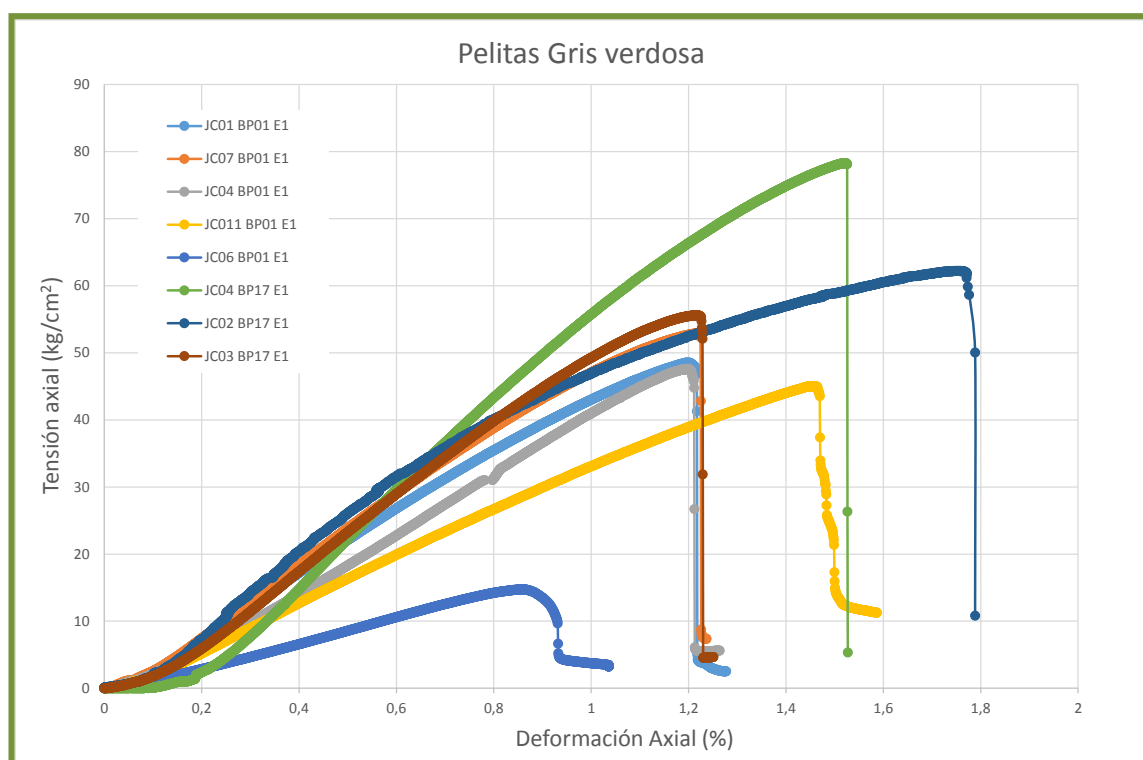
**Tabla 8.14: Resultados preliminares de los ensayos realizados sobre muestras de pelitas gris verdosas de la Presa J. Cepernic (Campaña 2015)**

Pelita gris verdosa, masiva a brechoide							
	Densidad		Densidad de sólidos	Índice de vacíos	Grado de saturación	Resistencia Compresión uniaxial	Resistencia Tracción indirecta
	$\rho$	$\rho_d$	$\rho_s$	$e$	$S$	$\sigma_c$	$\sigma_t$
	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>			MPa	MPa
Promedio	2 040	1 710	2 637	0,51	0,93	5	0,6
Desv. Est.	30	50	73	0,02	0,11	2	0,1
Mínimo	1 990	1 600	2 552	0,50	0,86	1	0,4
Máximo	2 110	1 820	2 679	0,53	1,05	8	0,8

**Tabla 8.15: Resultados preliminares de los ensayos realizados sobre muestras de tobas y areniscas tobáceas grises de la Presa J. Cepernic (Campaña 2015)**

Toba y arenisca tobácea, gris, masiva							
	Densidad		Densidad de sólidos	Índice de vacíos	Grado de saturación	Resistencia Compresión uniaxial	Resistencia Tracción indirecta
	$\rho$	$\rho_d$	$\rho_s$	$e$	$S$	$\sigma_c$	$\sigma_t$
	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>			MPa	MPa
Promedio	1 720	1 310	2 592	1,14	0,83	5	0,7
Desv. Est.	160	200	1	0,03	0,07	1	0,2
Mínimo	1 580	1 170	2 591	1,11	0,77	2	0,3
Máximo	2 070	1 820	2 593	1,18	0,92	7	0,8

La Figura 8.5, Figura 8.6 y Figura 8.7 muestran las curvas Tensión (compresión) Axial vs. Deformación axial de los tres tipos de roca reportados.



**Figura 8.5: Curvas Tensión axial vs Deformación Axial en muestras de pelitas GV de la Presa J. Cepernic (Campaña 2015)**

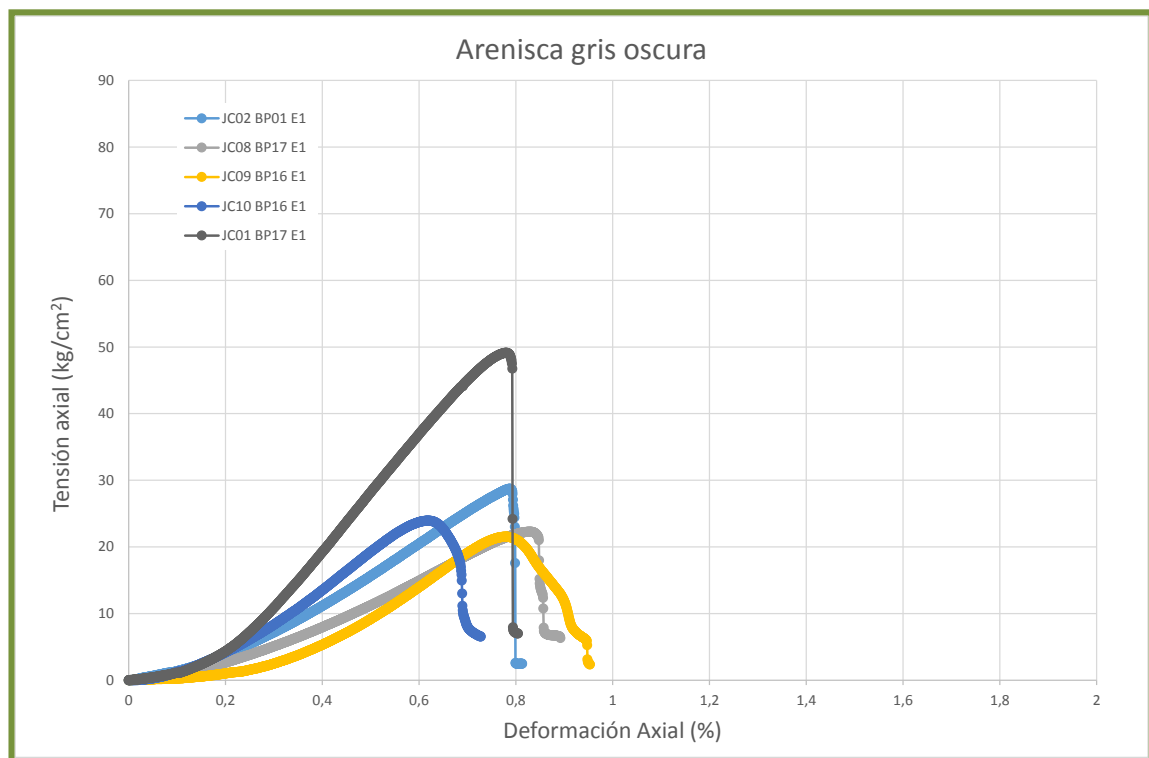


Figura 8.6: Curvas Tensión axial vs Deformación Axial en muestras de areniscas gris oscura de la Presa J. Cepernic (Campaña 2015)

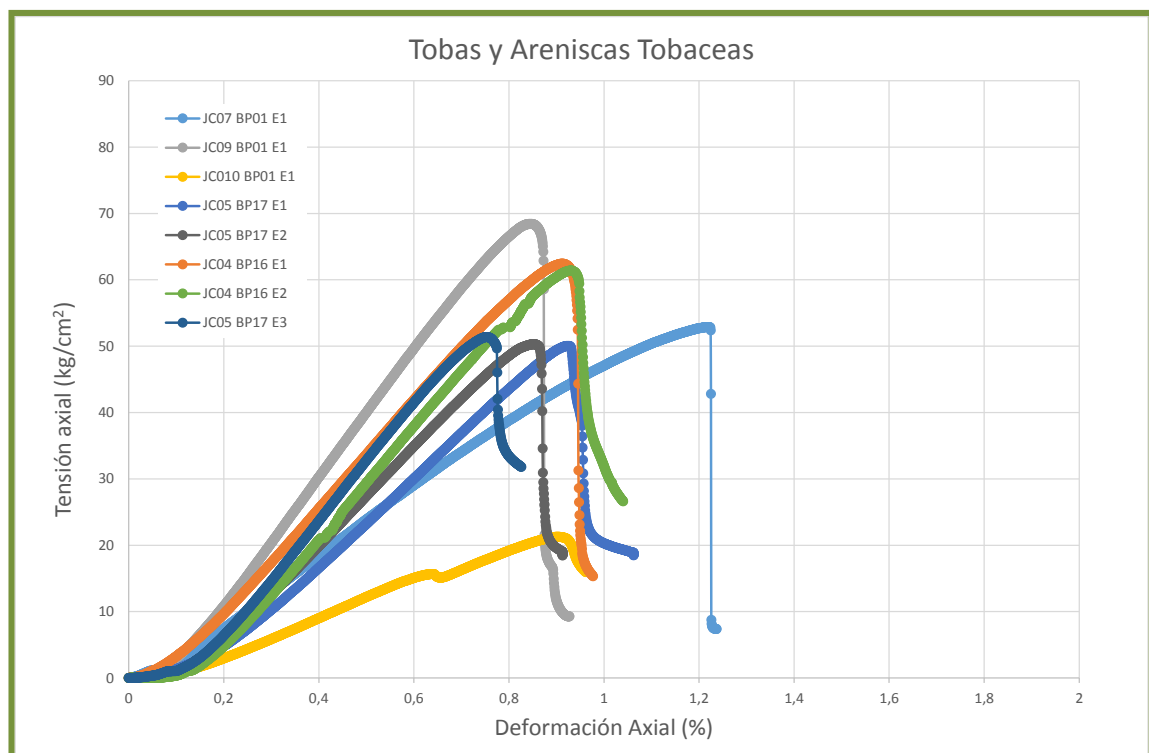



Figura 8.7: Curvas Tensión axial vs Deformación Axial en muestras de tobas y areniscas tobaceas de la Presa J. Cepernic (Campaña 2015)

Con relación a los **Módulos de elasticidad** tangente de la roca intacta de muestras de sondeos ubicados en la margen derecha, los rangos de valores han resultado:

- en las tobas grises entre 896 MPa y 1 793 MPa,

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 161 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

- en las pelitas entre 832 MPa y 1 139 MPa y
- en las areniscas gris oscuras un único valor de 294 MPa.
- en las areniscas arcillosas entre 824 MPa y 886 MPa

De la campaña de A y EE del año 1978 se han obtenido, de los sondeos B 1 y B 4 ubicados en el valle del río, muestras para ensayos de compresión triaxial resultando valores del módulo de deformación promedio los siguientes:

- en Pelitas de 1 029 MPa
- en las Areniscas de 785 MPa

Estos valores de módulo de elasticidad de Laboratorio son menores a los estimados a partir de los estudios sísmicos. En el informe específico sobre deformabilidad del macizo rocoso en la margen derecha, se hace un análisis sobre todos estos datos, alcanzando un valor que varía entre los 1 300 a 1 500 MPa global, incluyendo tobas, areniscas y pelitas para la zona de las estructuras de Central y vertedero.

Los resultados de **Densidad aparente natural y seca** y la densidad de sólidos son compatibles con las presentadas para los ensayos de las anteriores campañas.

Los resultados de los ensayos de **Resistencia a la compresión uniaxial** muestran valores dentro de las fajas de variación mostrados en las campañas anteriores.

- Se destaca la menor resistencia presentada por las areniscas gris oscuras coincidentes con la mayor friabilidad mostrada por la roca durante las perforaciones.
- Las Tobas y Pelitas presentan resistencia a la compresión simple promedio muy similares, en el entorno de los 5 MPa (50 kg/cm<sup>2</sup>).

Con relación al grado de saturación, considerando las muestras en donde se determinó la densidad de sólidos, las mismas presentan un grado de saturación alto, entre 68% y 100%.

La Figura 8.8, muestra la relación entre resistencia a la compresión uniaxial y resistencia a la tracción de muestras gemelas.

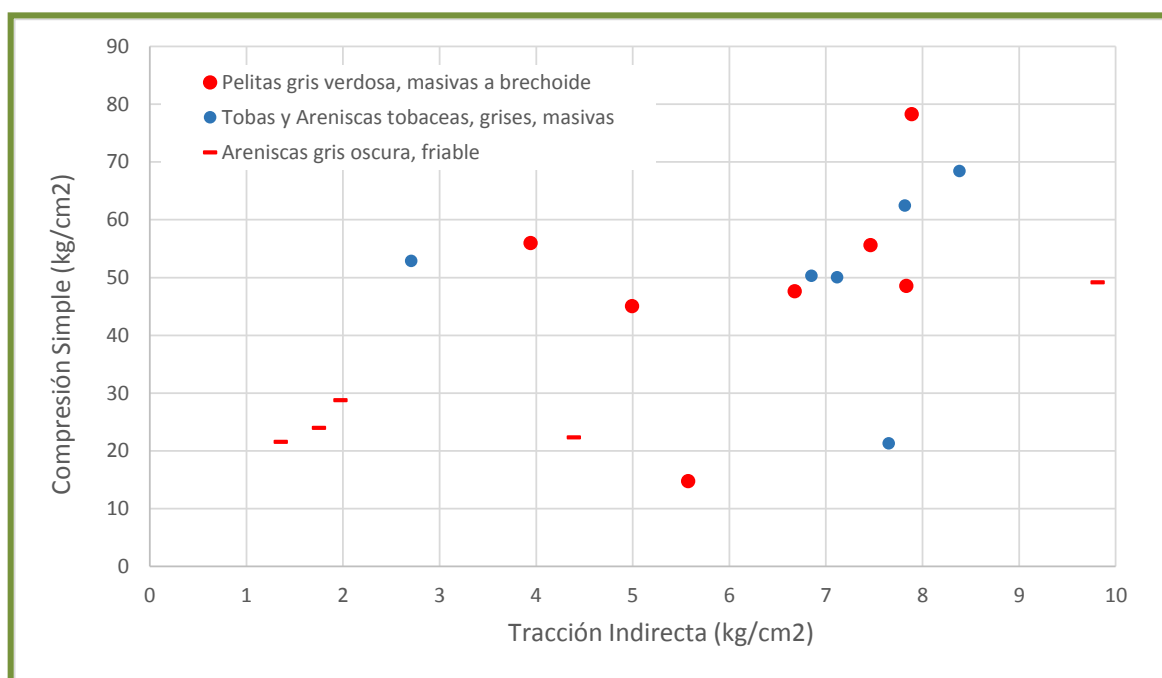



Figura 8.8: Relación entre resistencia a la compresión uniaxial y resistencia a la tracción de los 3 tipos de rocas ensayadas de la Presa J. Cepernic (Campaña 2015)

### 8.3.2. Parámetros de roca intacta y macizos rocosos

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 162 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

Con los resultados de los ensayos de tracción (método brasileño), de compresión uniaxial y compresión triaxial se definirán los parámetros de los criterios de resistencia de *Mohr-Coulomb* y *Hoek-Brown*. Para ello se emplea el programa ROCLAB, que utiliza los resultados de los ensayos triaxiales para definir los parámetros del criterio Hoek-Brown:

- para la roca intacta ( $m_i$ ,  $\sigma_{ci}$ ,  $s$  y  $a$ ) y
- para los macizos rocosos de las distintas litologías, a partir de los valores de *GSI* (*Geological Strength Index*) definidos para el macizo.

Este programa permite además calcular los parámetros del criterio de resistencia Mohr-Coulomb ( $c$  y  $\phi$ ) definiendo una envolvente lineal como siendo tangente a la envolvente no lineal de Hoek-Brown para la tensión normal ( $\sigma_n$ ) definida está según el nivel de tensión confinante máxima esperada en la fundación de la presa y las estructuras.

En informes específicos que son presentados en el capítulo correspondiente del modelo geotécnico, se informan los parámetros de la roca intacta y los criterios de resistencia y de ruptura del macizo rocoso para distintos valores de *GSI* y las correspondientes envolventes de ruptura de ambos criterios de resistencia.

#### 8.4. Ensayos de velocidad de ondas de compresión en testigos de roca

Se determinó experimentalmente la velocidad de ondas de compresión  $V_p$  de los testigos de roca extraídos en el sitio del proyecto. Ver [ANEXO 28](#): “Resultados Pulso ECO-ENDEIC”.


El procedimiento de ensayos consiste en la emisión de una perturbación por impacto con martillo sobre un extremo del testigo y en el registro de la respuesta del mismo con un acelerómetro en las proximidades del punto de impacto. Se aprecia con suficiente precisión el período fundamental de la señal esperada. Dicho período fundamental está directamente relacionado con la velocidad de propagación de las ondas longitudinales,  $V_p$ , en la roca y con la longitud del testigo. La velocidad de propagación de las ondas es obtenida por la relación entre el espacio ( $L$ ) recorrido por la onda mecánica y el tiempo ( $t$ ) que demora en recorrer esa distancia:  $V=L/t$ .

Los ensayos se encuadran en el procedimiento de la norma ASTM C-1383-98.

Las características físicas de una roca pueden estar relacionadas con la rigidez elástica de la misma. Los ensayos de velocidad sónica o de propagación de un pulso ultrasónico permiten evaluar las propiedades elásticas dinámicas de los materiales e indicar indirectamente su calidad.

La velocidad de propagación de ondas tanto primarias como secundarias en rocas es medida a diversas escalas, desde la escala de laboratorio (cuerpos de pruebas cilíndricos) hasta la escala de miles de metros cúbicos de macizo rocoso. En laboratorio se mide esta propiedad para la roca intacta en tanto que a mayores escalas se mide esta propiedad de un macizo rocoso fracturado. Ambas informaciones pueden ser integradas e indicar, por ejemplo, el grado de fracturamiento de un macizo rocoso, entre otros aspectos. Es una medida indirecta de la “calidad” de los macizos rocosos.

En la Tabla 8.16 se muestran los resultados para los testigos obtenidos en sondeos de este proyecto.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS		Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 163 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC		Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

**Tabla 8.16: Resultados de velocidad de ondas de compresión  $V_p$  y cálculo de  $V_s$  con dos valores del coeficiente de Poisson**

Perforación	Caja	Característica testigo	Desde	Hasta	$V_p$ [m/s]	$V_s$ [m/s] para poisson 0.2	Para [m/s] para poisson 0.3
BP2	1 DE 7	Arenisca negra	12.77	12.87	2247	1404	1202
BP2	1 DE 7	Arenisca pelítica	14.70	14.20	2797	1748	1496
BP2	2 DE 7	Arenisca pelítica	16.60	16.70	2153	1345	1151
BP2	2 DE 7	Pelita laminada	17.76	17.96	920	575	492
BP2	2 DE 7	Pelita masiva	20.81	21.05	776	485	415
BP2	3 DE 7	Arenisca mediana fina limosa	21.75	22.16	803	502	429
BP2	3 DE 7	Pelita masivo gris con poco de arena	26.30	26.52	855	535	457
BP2	4 DE 7	Arenisca mediana limosa	31.87	32.22	1570	981	840
BP2	5 DE 7	Pelita masiva verdosa	39.00	39.32	1018	636	544
BP2	6 DE 7	Arenisca media gris oscura	40.00	40.26	1198	749	641
BP16	3 DE 9	Arenisca media friable	17.00	17.18	662	414	354
BP16	3 DE 9	Arenisca pelítica verdosa	20.48	20.79	1276	798	682
BP16	4 DE 9	Pelita masiva verdosa	25.22	27.49	984	615	526
BP16	5 DE 9	Pelita masiva verdosa	28.75	29.00	1311	819	701
BP16	5 DE 9	Pelita masiva verdosa	33.09	33.50	1569	981	839
BP16	6 DE 9	Pelita arenosa tobaceo	37.69	38.00	873	546	467
BP16	7 DE 9	Pelita verdosa limosa	43.78	44.00	744	465	398
BP16	8 DE 9	Arenisca pelítica verde	41.08	49.31	1033	646	552
BP16	9 DE 9	Arenisca media negra	51.16	51.29	1479	925	791
BP16	9 DE 9	Arenisca fina pelítica	54.30	54.50	1451	907	776





REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 164 de 268


APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Doc. N°

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

## **PARTE II: MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DEL ALUVIÓN Y MACIZO ROCOSO PARA LA FUNDACIÓN DE LA PRESA**

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 165 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

## 9. MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE LA ZONA DE EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA JORGE CEPERNIC

### 9.1. Aspectos generales

Los resultados y conclusiones más importantes de las investigaciones geotécnicas descritas y analizadas en el Capítulo 6: "Investigaciones realizadas e interpretación de resultados" serán tratadas en manera tal que queden definidas cuales son las condiciones de permeabilidad, deformabilidad, parámetros de resistencia y capacidad de carga del macizo rocoso, así como las condiciones que deben reunir los sedimentos aluvionales sobre los que se fundará la presa propiamente dicha.

La evaluación de estas condiciones se realizará teniendo en cuenta dos zonas que quedan definidas a partir de las obras civiles que constituyen el proyecto y donde cada una tendrá un modelo geológico-geotécnico acorde a los requerimientos de las obras. Los dos modelos resultantes son los siguientes:

- Modelo geológico-geotécnico de la fundación de las estructuras de hormigón en margen derecha:** el modelo comprende la zona donde se encuentran las estructuras de hormigón correspondientes al vertedero, central y muro de cierre, el canal de restitución de la central y el canal de restitución del vertedero junto con su cuenco dissipador de energía. Acá se hará hincapié a los parámetros de resistencia y deformabilidad del macizo rocoso que interviene en la fundación de estas estructuras a partir del desarrollo de diferentes modelos luego de definir los parámetros de resistencia de la roca de fundación.
- Modelo geológico-geotécnico del cuerpo de la presa y su fundación:** el modelo comprende la zona donde se hará la fundación de la *presa de enrocado* y el *plinto flotante* y los sedimentos aluvionales juegan un papel protagónico a la hora de evaluar posibles asentamientos o peligros de licuefacción de los materiales granulares finos y sueltos como limos y arenas con baja permeabilidad durante algún sismo. En esta zona se encuentra el *muro colado* que atravesará los materiales aluvionales y será fundado en el macizo rocoso. Acá es importante definir, además de la capacidad estructural de la roca para la cimentación del muro colado, las condiciones de permeabilidad del macizo rocoso y así evaluar el escurrimiento por debajo del muro de manera que el mismo sea aceptable y garantice un cierre efectivo.


Antes de comenzar con el planteo de los modelos que definan las condiciones geológico-geotécnicas del macizo rocoso y material aluvional para cada zona, se discutirán los criterios adoptados para la caracterización geológica de la roca de fundación.

A través del programa de investigaciones en la zona de emplazamiento de la presa se ha obtenido información sobre el espesor del material aluvional, el contacto roca-aluvión y el estado de la roca en profundidad. Es oportuno comenzar explicando que para este tipo de rocas de baja resistencia no son aplicables las clasificaciones geomecánicas tradicionales como el *RQD* de Deere, el *RMR* de Bieniawski/*CSIR*, *índice Q de Barton/NGI* y parcialmente el sistema *GSI* de Hoek. Todas ellas están basadas fundamentalmente en el grado de fracturamiento del macizo y en las características de las discontinuidades. En menor medida son considerados la resistencia a la compresión simple de la matriz, presencia de agua y estado de tensiones. Además está claro que estos sistemas fueron desarrollados y aplicados en macizos rocosos de rocas duras y no para rocas blandas con excepción del sistema *GSI* el cual ha avanzado recientemente en clasificaciones para rocas de baja resistencia (molasas). En este sentido, cuando la Resistencia de las rocas es baja y cuando la roca no presenta fracturamiento o él es muy bajo, estos sistemas son difíciles de aplicar y por tanto difícil obtener parámetros confiables para el diseño. Esto está en sintonía con las directrices de la Comisión de Rocas blandas de la *ISRM* en el sentido de concebir alguna clasificación aplicable a los problemas geotécnicos de estos macizos.

Una vez planteada la problemática, en este trabajo se presentan las pautas que hay que tener en cuenta para, más adelante, clasificar las rocas de la Fm. Santa Cruz de forma que su uso permita resolver los problemas de ingeniería tales como la fundación de las estructuras de hormigón, taludes de excavación y muro colado.

Estas pautas deben partir de la base de que la Fm. Santa Cruz tiene las siguientes características:

- litologías de nulo a muy bajo fracturamiento,
- fuerte anisotropía vertical debido a la sucesión de estratos con diferentes propiedades geomecánicas (arcilitas, limolitas y areniscas, competentes y friables),

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 166 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

- rocas muy susceptibles a la intemperización por la presencia de arcillas esmectíticas,
- baja resistencia de la matriz.

Las perforaciones exploratorias ejecutadas tanto en la campaña de la década del ochenta, como en la siguiente (2006-2007) y la actual (2015), han mostrado que, utilizando el mismo sistema wireline con barril triple y diámetro HQ3, los testigos presentan una fuerte tendencia a partirse, generando en algunos tramos, una alta densidad de fracturas inducidas y trabajo de abrasión de los fragmentos de testigo entre sí. Sin embargo, se ha observado que este efecto perjudicial de la perforación es más fuerte en algunos tramos que en otros, lo cual induce a pensar que la friabilidad del material favorecería la mayor fragmentación de los testigos. Esta fragmentación sería, en principio, indicativa de una menor resistencia de la roca debido a alteración y/o fracturamiento. De todos modos en observaciones de la roca in situ en labores de campo (taludes y excavaciones de pique) puede encontrarse una mayor resistencia y/o competencia de la roca respecto de lo observado y medido en los testigos de perforación. Con este término de roca competente se busca realizar una primera caracterización geotécnica de la roca de fundación para las estructuras, al no poder clasificarla por los métodos tradicionales.

## 9.2. Descripción de contactos

A partir de la información obtenida de los sondeos y las pautas antes mencionadas se definen los contactos de interés geotécnico aplicado a los diferentes modelos:

- Contacto aluvión-roca denominado CAR
- Contacto roca competente denominado CRC

En primer lugar se halla presente el material aluvional por encima de la Fm. Santa Cruz. La superficie entre estos dos materiales define el contacto aluvión-roca (CAR).

El macizo rocoso, a su vez, se encuentra afectado por diferentes grados de alteración hasta llegar a la roca inalterada la cual se reconoce por la mayor competencia del material, con indicadores tales como la presencia clara de las estructuras primarias sedimentarias, colores originales, discontinuidades bien definidas y recuperación alta, con fragmentos largos de testigos.

El contacto entre la unidad inferior (roca sana) y la unidad superior (roca alterada y/o suelo), define la superficie de roca sana o roca competente. Teniendo en cuenta la información geotécnica obtenida a partir de los sondeos realizados, tanto históricos como actuales, se adoptó la definición de roca competente según los siguientes criterios:

- Comportamiento no plástico.
- Ausencia de brechas.
- Ausencia de diaclasas y espejos de fricción.
- Comportamiento no friable.

A continuación se describe el contacto roca competente (CRC) a través de los siguientes ejemplos:

### a. Debajo de areniscas friables cuando las hubiere.

Ejemplo: Sondeos BD 02, BD 15, B 2, B 6, BDC 05, BDC 19, BDC 26, entre otros.

*Ejemplo 1:* en el sondeo geotécnico BDC 05, la profundidad de comienzo de roca competente se estableció a los 18,10 m, al finalizar el tramo de arenisca friable. Ver Figura 9.1: Sondeo BDC 05 con un tramo de arenisca friable


 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 167 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900




Figura 9.1: Sondeo BDC 05 con un tramo de arenisca friable

*Ejemplo 2:* La profundidad de comienzo de roca competente se estableció a los 9 m de profundidad, cota 72,37 m, al final del tramo de arenisca friable. En la fotografía de la Figura 9.2 se puede observar el detalle del paso de litologías, de una arenisca tobácea muy fina friable en contacto neto con una arcillita gris verdosa masiva.



Figura 9.2: Sondeo BDC 26 con un tramo de arenisca friable

b. Debajo de litologías muy fracturadas.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 168 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

*Ejemplo:* Sondeos B 7, BD 11, BI 07, BI 11, BP 12, entre otros. En la Figura 9.3 se puede ver el detalle de un tramo muy fracturado en el sondeo BP 12, debajo del cual se establece el comienzo de la roca competente a los 19.20 m



**Figura 9.3: Sondeo BP 12 con tramos fracturados**

**c. Debajo de rocas plásticas, blandas, poco consistentes o muy alteradas.**


*Ejemplos:* Sondeos BP 08, BP 09, BP 13, BP 20, entre otros.

*Ejemplo 1:* sondeo geotécnicos con tramos de roca extremadamente alterada presentes antes de los 12 m, profundidad en la cual se estableció el comienzo de la roca competente. Ver Figura 9.4.



**Figura 9.4: Sondeo BP 09 con roca alterada antes de los 12 m**

*Ejemplo 2:* sondeo geotécnico con tramo de roca plástica y blanda. Luego de este tramo poco consistente se estableció el comienzo de roca competente a una profundidad de 10.50 m. Ver Figura 9.5.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 169 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

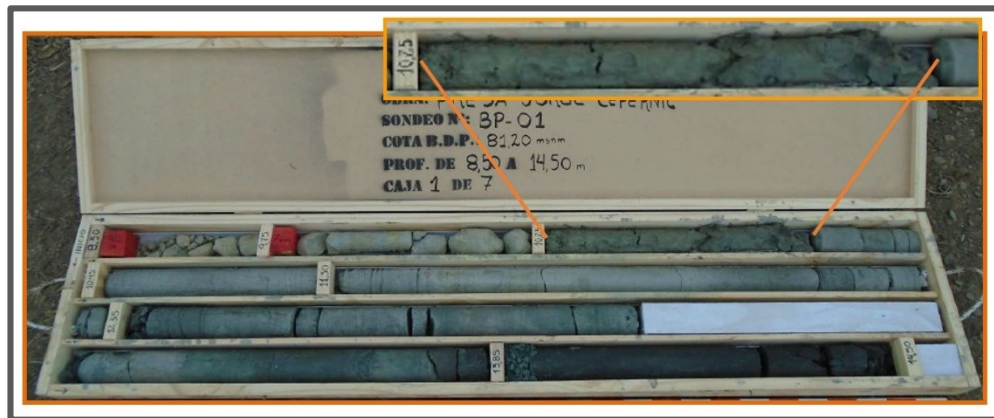


Figura 9.5: Sondeo BP 01 con roca plástica y blanda antes de los 10,5 m

**d. Luego de tramos sin recuperación, teniendo en cuenta las características de las rocas de su entorno**

*Ejemplos:* Sondeos BDC 01, BP 11 y BP 04. Entre otros.

Al encontrarse con un tramo de recuperación, antes del cual las rocas tenían malas características geotécnicas, y luego del cual las rocas adoptaban buenas propiedades, se ubicó el contacto roca competente luego de este tramo sin recuperación.



Figura 9.6: Sondeo BP 11 con tramos sin recuperación en tacos de madera roja

En este caso el contacto roca competente se ubicó a los 15.5 m, luego del tramo sin recuperación de 18 cm. En la imagen de la Figura 9.6 se observa que previo a este tramo las rocas se encuentran muy fracturadas y muy alteradas. Luego de este tramo la roca tiene una consistencia mayor y se encuentra débilmente alterada.

Modelo geológico con CAR y CRC

En forma esquemática, el modelo geológico estaría formado por:


- Acumulaciones glaciales que aparecen como una serie de terrazas escalonadas expuestas en una gran superficie, fluviales y las derivadas de movimientos de remoción en masa. En forma subordinada, acumulaciones eólicas y lacustres.

**Contacto roca-aluvi3n: CAR**

- Fm. Santa Cruz, a su vez, dividida en dos unidades geomecánicas:
  - Unidad superior: macizo de suelos cohesivos plásticos y/o arenosos friables, roca alterada y mayor fragmentación de los testigos por su menor competencia,

**Contacto roca competente: CRC**

- Unidad Inferior: arcilitas, limolitas y areniscas grises oscuras a claras, alta recuperación y bajo fracturamiento. Roca sana y competente

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS		Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 170 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC		Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

En la Tabla 9.1, Tabla 9.2 y Tabla 9.3 se presentan la cotas del contacto aluvión-roca, CAR y contacto roca competente, CRC de los sondeos de todas las campañas, acordada con la inspección. Los planos de la superficie CAR se encuentran en el [ANEXO 30](#): "Superficie CAR" y la superficie CRC en el [ANEXO 31](#): "Superficie CRC".

**Tabla 9.1: Profundidades y cotas del contacto aluvión-roca y contacto roca competente. Campaña 2015**

Sondeos	Sondeos exploratorios Campaña 2015							
	Coordenadas			Prof.	Prof. de CAR	Cota de CAR	Prof. de CRC	Cota de CRC
	Este	Norte	CBP*					
			m	m	m	m	m	
BP 01	30473	68968	81.3	45.4	9.3	72.0	10.5	70.8
BP 02	30407	69096	82.5	46.0	9.0	73.5	10.9	71.6
BP 03	30310	69148	82.9	36.5	6.7	76.2	9.3	73.6
BP 04	30181	69402	86.3	36.0	12.5	73.8	19.5	66.8
BP 05	30051	69657	86.2	35.0	19.2	67.0	25.2	61.0
BP 06	29930	69900	85.9	40.5	16.2	69.7	21.5	64.4
BP 07	29816	70127	86.2	40.0	16.5	69.7	22.2	64.0
BP 08	29683	70391	85.6	40.5	16.4	69.2	21.8	63.8
BP 09	29581	70583	78.6	35.0	7.0	71.6	12.0	66.6
BP 11	30494	69139	82.7	45.3	8.0	74.7	15.5	67.2
BP 12	30421	69064	81.7	38.0	8.2	73.5	19.2	62.5
BP 13	30459	69115	82.4	55.0	9.5	72.9	12.6	69.8
BP 14	30482	69070	81.5	55.3	4.8	76.7	10.2	71.3
BP 15	30600	69159	81.5	38.0	7.5	74.0	12.0	69.5
BP 16	30487	69011	81.4	56.0	6.0	75.4	19.7	61.7
BP 17	30536	68999	81.3	43.5	7.0	74.3	11.0	70.3
BP 18	30599	69031	81.1	17.0	8.0	73.1	15.6	65.5
BP 19	30521	68942	81.2	42.5	9.6	71.6	23	58.2
BP 20	30554	68877	90.7	50.5	7.5	83.2	14.8	75.9
BP 22	31940	69319	81.1	8.0	5	76.1	?	0


**Tabla 9.2: Profundidades y cotas del contacto aluvión-roca y contacto roca competente. Campaña 1970-80**

Sondeos	Sondeos exploratorios Campaña 1970-1980							
	Coordenadas			Prof.	Prof. de CAR	Cota de CAR	Prof. de CRC	Cota de CRC
	Este	Norte	CBP*					
			m	m	m	m	m	
B 1	29448	71227	116.0	36.7	7.0	109.0	24.8	91.2
B 2	29605	70949	83.9	38.7	11.0	72.9	13.0	70.9
B 3	29857	70510	84.2	77.0	14.8	69.4	25.0	59.2
B 4	30108	70071	85.9	75.0	15.0	70.9	22.5	63.4
B 5	30317	69703	85.4	75.0	18.7	66.7	25.0	60.4
B 6	30565	69267	81.8	75.0	8.7	73.1	15.5	66.3
B 7	30643	68763	139.1	66.0	15.2	123.9	20.6	118.5
B 8	30689	68466	143.4	66.2	21.3	122.1	24.7	118.7

Tabla 9.3: Profundidades y cotas del contacto aluvión-roca y contacto roca competente. Campaña 2006-07

Sondeos	Sondeos exploratorios Campaña 2015							
	Coordenadas			Prof.	Prof. de CAR	Cota de CAR	Prof. de CRC	Cota de CRC
	Este	Norte	CBP*					
			m	m	m	m	m	
BDC 01	29690	70514	80.7	26.3	10.2	70.5	13.1	67.6
BDC 02	29600	70506	80.5	25.2	9.1	71.4	10.0	70.5
BDC 03	29984	70040	86.3	32.5	16.1	70.2	20.0	66.3
BDC 05	30270	69585	86.5	31.4	15.4	71.1	18.1	68.4
BDC 06	30280	69123	83.0	33.0	7.4	75.6	8.3	74.7
BDC 07	30324	69034	82.8	26.3	6.3	76.5	6.6	76.3
BDC 08	30370	68945	81.6	30.2	4.6	77.0	5.3	76.3
BDC 09	30415	68854	81.2	31.0	6.0	75.2	8.5	72.7
BDC 13	30524	69080	81.4	28.0	8.4	73.0	10.2	71.2
BDC 14	30737	69186	80.7	25.0	7.0	73.7	13.2	67.5
BDC 15	30546	68813	108.5	65.0	2.0	106.5	12.6	95.9
BDC 16	30458	69213	83.6	29.1	9.0	74.6	18.1	65.6
BDC 17	30735	69298	80.9	25.0	5.3	75.6	13.0	67.9
BDC 18	30781	69158	81.0	25.3	5.0	76.0	10.3	70.7
BDC 19	30593	68944	82.9	52.0	5.0	77.9	6.0	76.9
BDC 20	30644	69247	81.4	28.1	6.3	75.1	8.3	73.1
BDC 21	30635	69134	81.1	27.1	4.5	76.6	15.0	66.1
BDC 24	30369	69168	83.4	34.3	9.3	74.1	11.4	72.0
BDC 25*	30676	68959	84.6	25.0	9.5	75.1	10.6	74.0
BDC 26	30503	68901	81.4	31.0	5.3	76.1	9.0	72.4
BDC A	30180	69540	86.3	66.3	13.1	73.2	15.4	70.9
BDC B	30046	69472	86.5	50.2	15.4	71.1	19.2	67.3
BDC C	29800	69960	86.7	50.0	17.9	68.8	24.2	62.5
BDC D	30030	70060	86.4	31.0	16.0	70.4	20.4	66.0
BDC E	29813	70266	86.5	66.0	14.5	72.0	17.6	68.9
BDC F	29679	70198	86.9	50.0	15.0	71.9	18.0	68.9
BDC G	29902	70312	86.3	31.2	16.0	70.3	16.2	70.1
BDC H	30436	69034	81.6	62.0	6.2	75.4	13.2	68.4
BDC J	30058	69782	86.2	31.6	19.5	66.7	21.4	64.8
BD 01	31460	67012	144.9	39.0	22.0	122.9	24.2	120.7
BD 02	31785	66368	146.1	37.2	20.8	125.3	24.6	121.6
BD 03	32110	65726	157.1	48.2	31.7	125.4	34.0	123.1
BD 04	32272	65405	161.4	48.7	32.5	128.9	36.0	125.4
BD 05 bis	32589	64774	189.9	25.2	13.0	176.9	15.0	174.9
BD 11	32307	64968	180.3	15.9	2.9	177.4	10.1	170.2
BD 12	30593	68726	140.4	87.1	15.5	124.9	19.3	121.1
BD 14	30813	68297	144.4	51.1	21.0	123.4	22.5	121.9
BD 15	30972	67974	146.3	36.5	21.0	125.3	27.3	119.0
BD 16	31163	67616	143.3	51.5	21.2	122.1	22.1	121.2
BD 17	31297	67332	144.9	34.7	19.0	125.9	29.2	115.7
BD 18	31622	66689	144.3	37.7	22.4	121.9	31.0	113.3
BD 19	31947	66047	150.6	38.9	25.3	125.3	28.3	122.3
BC 1	29565	70761	80.8	34.7	13.0	67.8	15.7	65.1
BI 01	29465	70963	84.7	68.9	10.0	74.7	11.5	73.2
BI 03	29315	71035	82.5	25.0	4.0	78.5	9.0	73.5
BI 04	29405	71070	82.8	50.0	4.2	78.6	11.1	71.8
BI 05	29489	71105	82.4	25.7	4.0	78.4	7.5	74.9
BI 06	29259	71139	120.2	42.7	8.4	111.8	35.4	84.8
BI 07	29355	71168	119.5	50.1	8.1	111.4	36.1	83.4
BI 08	29425	71208	115.8	28.4	4.0	111.8	27.0	88.8
BI 09	29329	70888	83.4	50.1	12.0	71.4	15.3	55.0
BI 10	29552	71002	84.8	40.9	10.0	74.8	11.3	73.5
BI 11	29686	71070	82.9	24.2	8.0	74.9	14.0	68.9
BI 12	29733	70922	81.7	28.5	12.0	69.7	15.0	66.7
BI 13	29864	70897	82.7	29.6	13.0	69.7	15.8	67.0
BI 14	29273	71332	172.5	95.0	8.1	164.3	29.4	143.1



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 172 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

## 10. MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE LA FUNDACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN EN MARGEN DERECHA

Los estudios en esta margen apuntan a definir las condiciones de excavación y fundación para las importantes estructuras de Casa de Máquinas y Aliviadero, el muro de gravedad entre ambas estructuras y éstas con la presa, los canales de restitución de central y vertedero y el cuenco disipador de energía del vertedero.

### 10.1. Condiciones generales de resistencia y deformabilidad. Vertedero, Central y Muro de cierre de margen derecha

#### 10.1.1. Aspectos generales y antecedentes

La definición de los parámetros geotécnicos de la roca de fundación es uno de los puntos cruciales que definen la estabilidad del conjunto de las estructuras de hormigón.

En los estudios previos se consideraba la hipótesis de la presencia de un plano débil con una resistencia determinada por la combinación de  $\phi = 25^\circ$  y cohesión nula. La evolución del conocimiento del modelo geológico, con la incorporación de la información de la campaña 2015, permitió descartar la presencia de los llamados *planos débiles* en la fundación de la estructura. Sin embargo, se detectó que las capas de areniscas negras friables presentan una profusa distribución en el macizo de fundación. Ante la posibilidad de que las estructuras pudieran estar fundadas en este estrato de baja resistencia, se optó por considerar, en los análisis de estabilidad, un estrato débil con las propiedades de resistencia de la arenisca friable.

Por su parte, la resistencia transversal de los estratos definidos por el modelo de *Hoek Brown* presenta rangos de valores que dependen de los niveles tensionales calculados por la interacción entre la estructura y el terreno para los diferentes escenarios.

Por otra parte, en el análisis de la resistencia pasiva de las cuñas situadas aguas abajo de las fundaciones, la superficie de corte atraviesa transversalmente la estratificación subhorizontal. Cuando se considera la resistencia de los planos de ruptura potencial que se generan, se asume que el macizo rocoso es un sólido continuo con propiedades ponderadas de los parámetros de resistencia.

Con los datos de laboratorio de la campaña 2015-2016 y de las campañas precedentes, se han hecho nuevas estimaciones de los parámetros de resistencia al corte y deformabilidad para ser consideradas en los análisis de estabilidad y de tensiones y deformaciones.

Era necesario completar los ensayos en muestras representativas de los macizos donde se implantarán las obras para poder comprobar debidamente el modelo *Hoek-Brown* en el tramo inclinado del macizo rocoso.


#### 10.1.2. Evaluación actualizada de la resistencia del macizo rocoso

En el documento técnico JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001-0D incluido en el [ANEXO 38](#): "Parámetros de resistencia Geotecnia de fundación", se presenta la última evaluación de los antecedentes disponibles, análisis y conclusiones para la caracterización de los parámetros de corte para utilizar en el diseño de las estructuras de hormigón del Vertedero y de la Central como así también aplicables al diseño del Muro del vertedero y la central y el cierre de margen derecha.

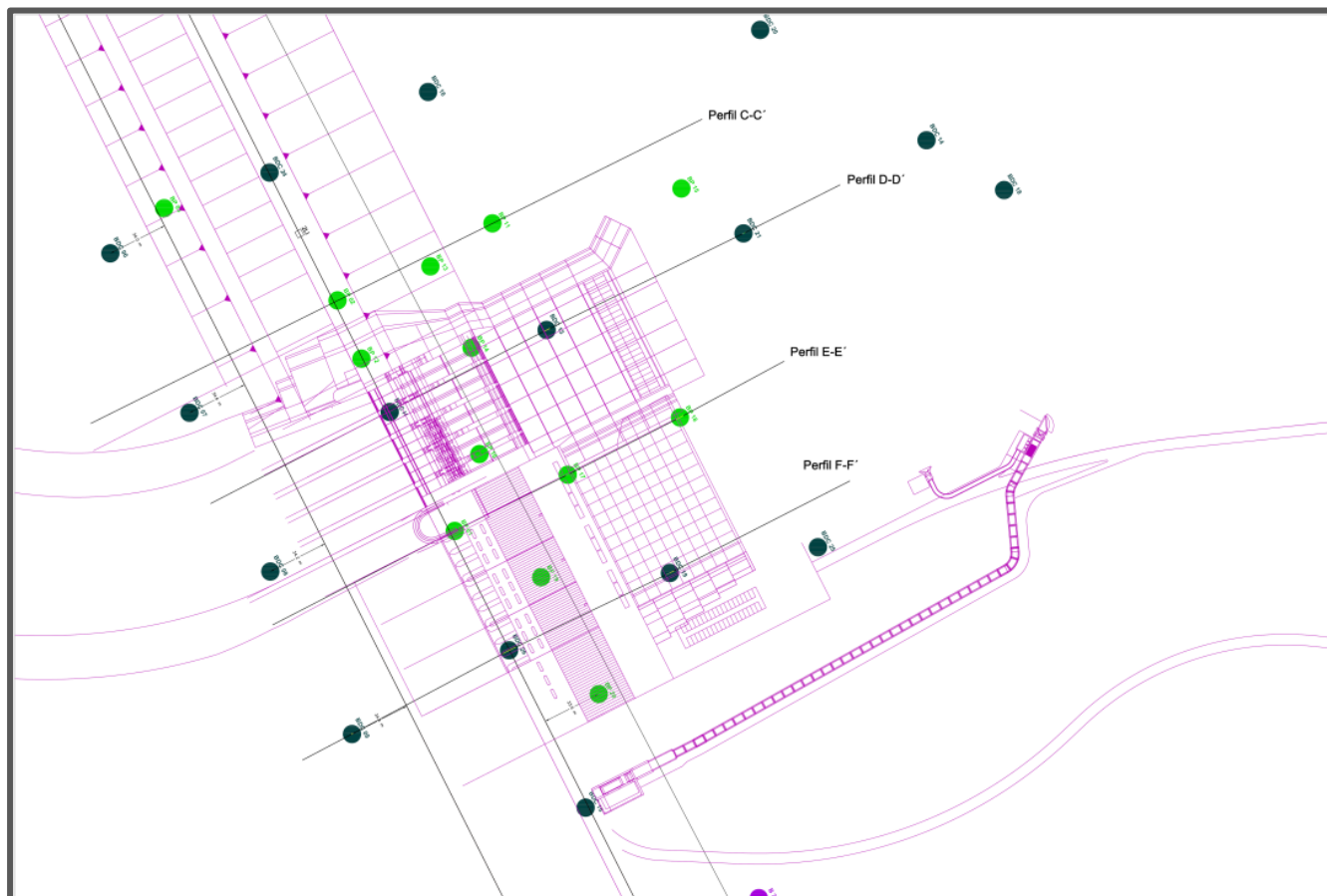
La Figura 10.1 es una vista en planta de la zona del vertedero y central donde se muestran las perforaciones realizadas en el área y la ubicación del perfil D-D' en el vertedero (Ver Figura 10.4) y perfil E-E' en la central (Ver Figura 10.3). Las referencias de ambos perfiles se encuentran en la Figura 10.2.

Se han tenido en cuenta los antecedentes de informes previos tales como:

- GE-A.CV-IV.GT-(OG-00-00)-P001-0A. Parámetros geotécnicos de Diseño.
- JC-A.CV-IV.GT-(OG-00-00)-P001. Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Rocas
- GE-A.CV-IV.GT-(OG-00-00)-P002-0B. Deformabilidad de macizos rocosos.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 173 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

En la Figura 10.1 se resumen las perforaciones llevadas a cabo en el sector de las estructuras. Las perforaciones denominadas Bx y BDCxx corresponden a las campañas anteriores del proyecto. Las perforaciones en BPxx corresponden a la campaña de prospección 2015-2016.



**Figura 10.1: Ubicación de las perforaciones realizadas para la central y vertedero**

Las perforaciones de todas las campañas fueron empleadas para definir un modelo geológico que permitiera definir la estratigrafía de la fundación de las estructuras. Los perfiles generados se encuentran en los perfiles de investigaciones geotécnicas. De todos modos a continuación en la Figura 10.2, Figura 10.3 y Figura 10.4 se muestran los perfiles en el eje de la Central y en el eje del Vertedero.

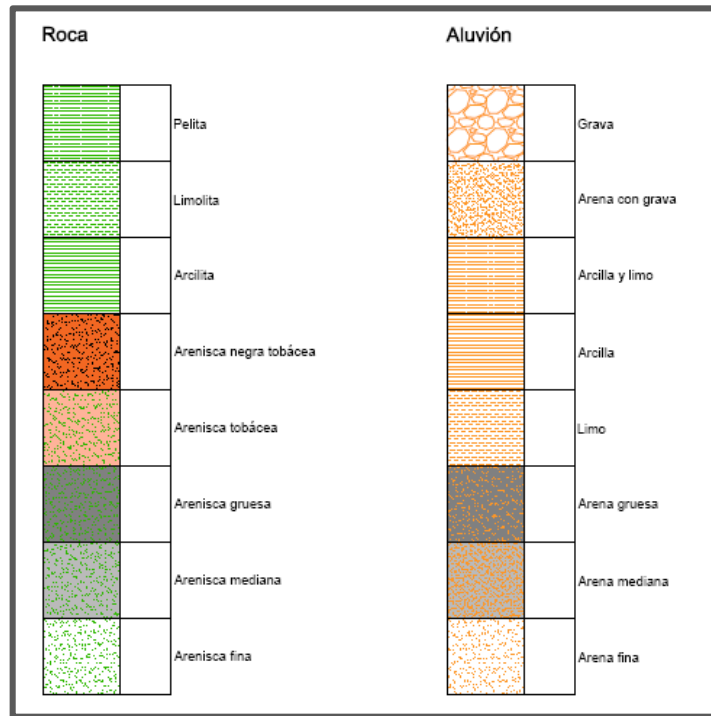


Figura 10.2: Referencias de los perfiles geológico-geotécnicos



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 175 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

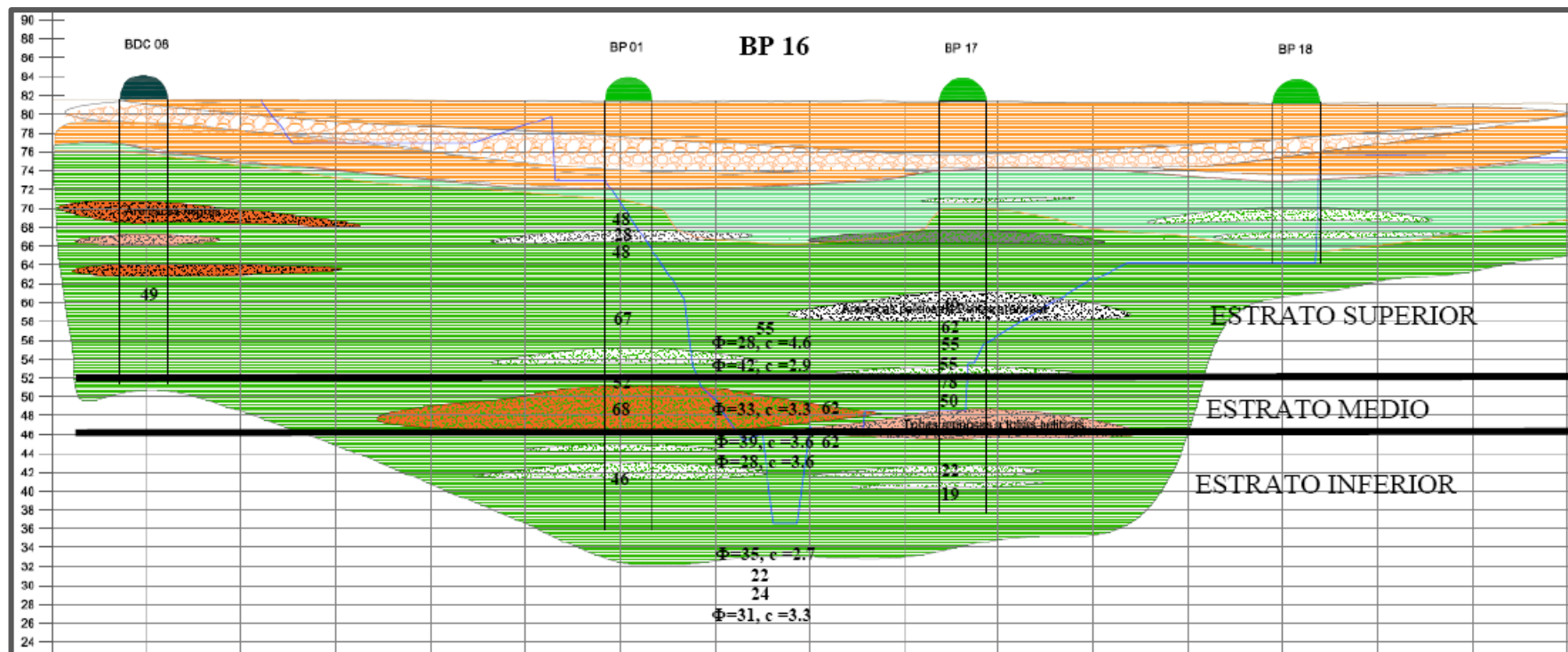


Figura 10.3: Perfil en la Central



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 176 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

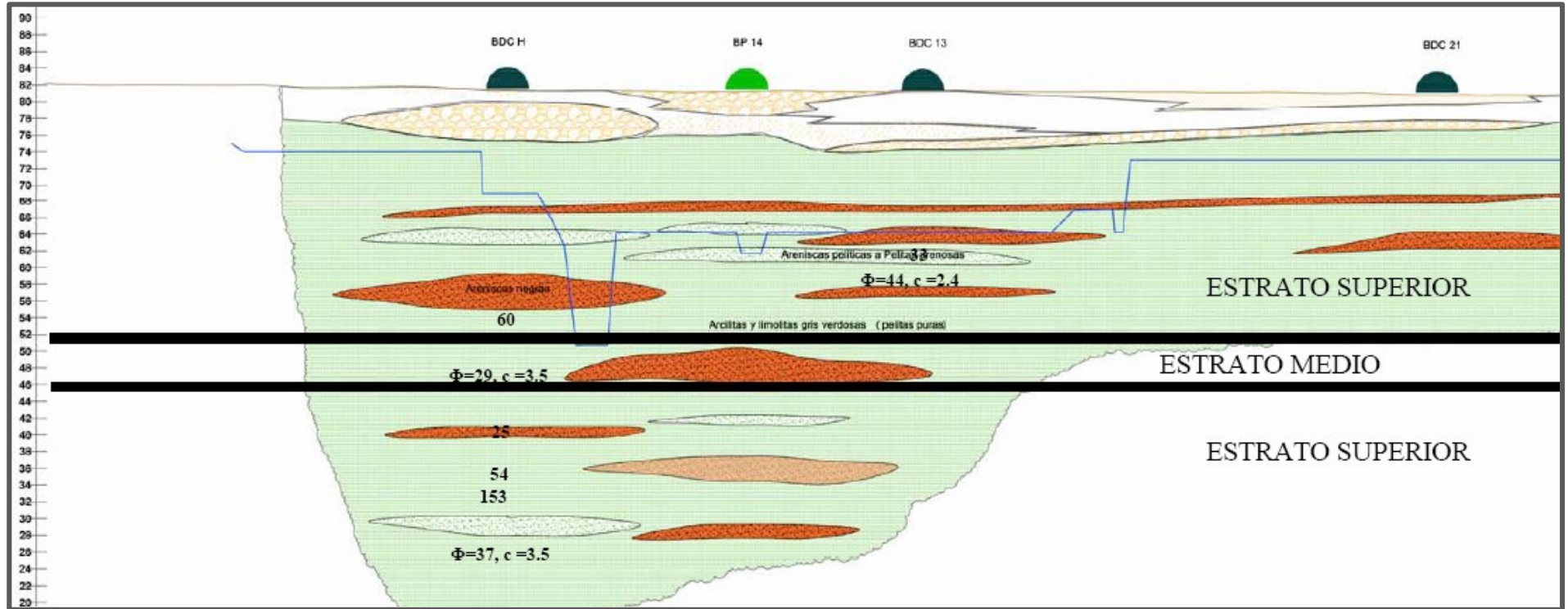



Figura 10.4: Perfil en el Vertedero

 REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 177 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

Los resultados de algunos ensayos de laboratorio han sido compilados en el informe JC-A.CV-IL.GT-(OG-00-00)-P001 que se encuentra en el [ANEXO 29](#): "Informe Ensayos de Laboratorio de mecánica de rocas". Todas las campañas. En la clasificación de los tipos litológicos presentes se distinguen:

- Areniscas finas a medias, gris oscuro a amarronado cuando presentan alteración limonita, cementadas a friables, grano fino a medio, estratificadas.
- Areniscas pelíticas a pelitas arenosas masivas, color gris verdoso.
- Pelitas arcillosas y limosas, masivas, color gris verdosa a parda clara.
- Pelitas estructura brechosa.
- Tobas y areniscas tobáceas, gris claro a oscuro, masivas.

En forma complementaria se ejecutaron algunos ensayos geofísicos del tipo *MASW*, como se ha descrito más arriba, con el objeto de caracterizar, mediante el empleo de la velocidad de onda de corte  $V_s$ , los sedimentos superficiales y los macizos rocosos subyacentes. Algunos resultados referidos a la obtención de módulos de deformación, se encuentran en el informe JC-A.CV-IV.GT-(OG-00-00)-P001-0A ubicado en el [ANEXO 40](#): "Módulo de deformabilidad", que se desarrolla en apartado 10.1.4: Evaluación de la deformabilidad en macizos rocosos.

#### 10.1.2.1. Criterios aplicados

Los criterios aplicados al análisis que definen los parámetros de resistencia al corte se resumen en los siguientes puntos:

- Se empleó el modelo de *Hoek-Brown* (programa Rocdata) para estimar parámetros del macizo rocoso a partir de ensayos de laboratorio y de la degradación a partir del *GSI*. Los valores de este último parámetro varían de acuerdo con la rigidez inicial de las probetas y tipos de rocas.
- Se consideró un valor de validación del módulo de deformación del macizo obtenido a partir de los resultados de la velocidad de onda de corte  $V_s$ . Como las mediciones corresponden al macizo saturado y la  $V_s$  no es afectada por la presencia de agua, se considera que se alcanza una deformabilidad similar a la observada en el macizo in situ.
- El ajuste de los resultados de laboratorio se realizó en base a disminuir el *GSI* del modelo de Hoek Brown hasta alcanzar valores de módulo de deformación similares a los medidos in situ con velocidad de ondas de corte  $V_s$ .
- Se adaptaron las determinaciones de *Hoek-Brown* de la resistencia intrínseca no lineal a determinaciones de *Mohr-Coulomb*, por exigencias del *software* estructural, leída como tangente a la curva con valores de ángulo de fricción interna y cohesión.
- Para evitar errores se tomaron valores de tensiones normales de **0.5 y 1.2 MPa** en correspondencia con estratos superficiales y estratos profundos. Estos niveles se fijaron de acuerdo al análisis tenso-deformacional realizado para las fundaciones de las estructuras. Ver Figura 10.5

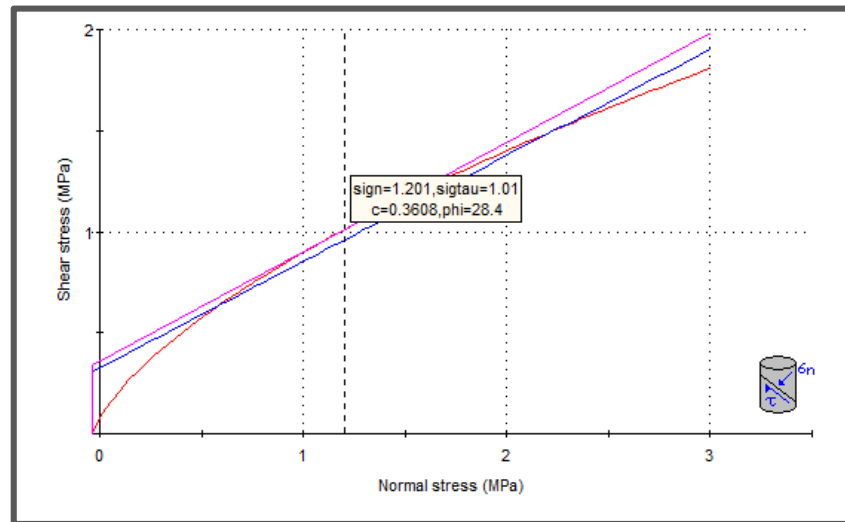


Figura 10.5: Criterio de aplicación de tensiones normales a 0,5 y 1,2 MPa.

- f. Los valores, finalmente empleados en los análisis, corresponden a ensayos de perforaciones próximas a las obras de vertedero y central.
- g. **Posición de los estratos.** Se definieron las siguientes cotas para los estratos identificados:
- **Superficiales** a los ubicados arriba de la cota 52 con un confinamiento promedio de 0,5 MPa
  - **Medios**, a los ubicados entre cotas 52 y 46 con un confinamiento promedio de 1,2 MPa
  - **Profundos** a los que están por debajo de la cota 46,
- h. **Ponderación según tipo litológico.** Para determinar las propiedades geotécnicas de los tres estratos, se analizó la distribución de cada tipo litológico y la participación porcentual de ellos en los espesores. Los valores promedios de los ensayos determinados previamente se ponderaron en base a su espesor. En Figura 10.6 se muestra el parámetro de ángulo de fricción y cohesión estimado según la ponderación de litologías en cada nivel de estratos. En la Figura 10.8 se muestra una típica de los valores de ángulo de fricción y cohesión del estrato superior según litología.

PONDERACIÓN POR ESPESOR DE ESTRATOS DE DISTINTA LITOLOGÍA		
SUPERIOR		Esesor = 20 m
	Pelitas	12 m
	Areniscas verdes	6 m
	Tobas	2 m
Cota base	52 m	

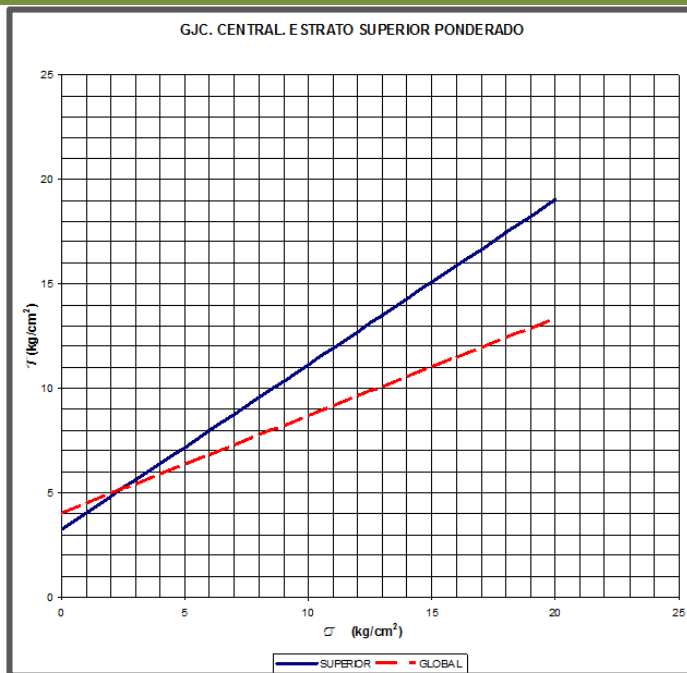


Figura 10.6: Estimación típica según Mohr Coulomb de ángulo de fricción y cohesión según ponderación de litologías para uno de los niveles.

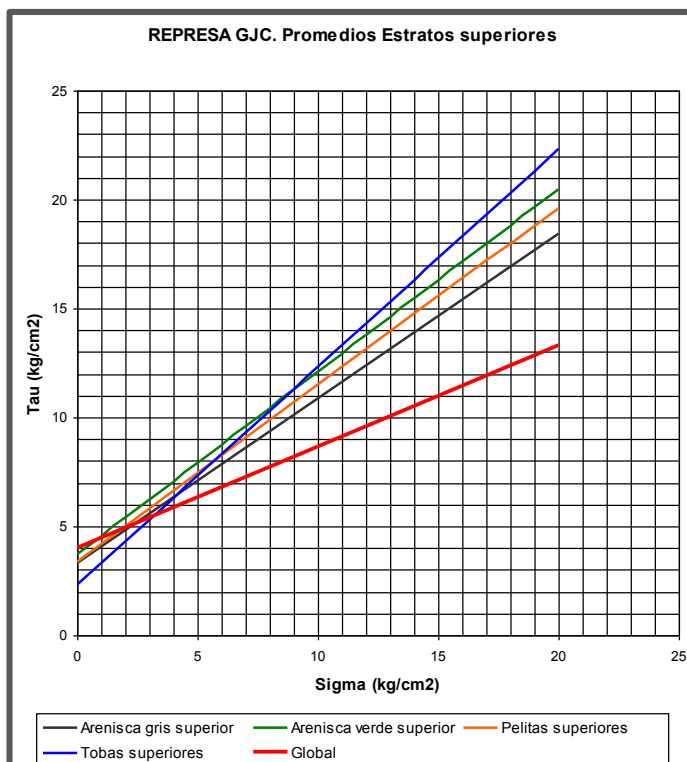



Figura 10.7: Típica de Promedios de estrato superiores según litología.



	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 180 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

### 10.1.2.2. Resumen de resultados

En resumen, los parámetros propuestos y aplicados en los modelos de estabilidad y tensiones-deformaciones se resumen en la Tabla 10.1, Tabla 10.2 y Tabla 10.3.

Tabla 10.1: Parámetros propuestos para la Central

CENTRAL	SUPERIOR	MEDIO	INFERIOR	DÉBIL	GLOBAL
$\phi$ [°]	38.3	32.7	33.6	37	25
c [MPa]	0,32	0,34	0,36	0	0,4

Tabla 10.2: Parámetros propuestos para el vertedero

VERTEDERO	SUPERIOR	MEDIO	INFERIOR	DÉBIL	GLOBAL
$\phi$ [°]	38.4	31.4	33.3	37	25
c [MPa]	0,31	0,36	0,35	0	0,4

Tabla 10.3: Parámetros propuestos para el Muro de cierre

MURO CENTRAL-VERTEDRO	SUPERIOR	MEDIO	INFERIOR	DÉBIL	GLOBAL
$\phi$ [°]	38.4	31.9	32.7	37	25
c [MPa]	0,3	0,35	0,35	0	0,4

### 10.1.2.3. Conclusiones

Cuando se comparan los rangos de valores de  $c$  y  $\phi$  recomendados en 2006 con los resultados de los ensayos de laboratorio, se observa que son conservativos, aun teniendo en cuenta que los parámetros del macizo no son equivalentes a los obtenidos en los ensayos de laboratorio, por efectos de los distintos tipos de discontinuidades.

La primera estimación de valores realizada en octubre de 2015 también es algo conservadora, salvo para confinamientos pequeños. La hipótesis inicial de una discontinuidad en el macizo ha sido reemplazada por un "estrato débil" de areniscas grises, con cohesión nula.

La diferencia de los parámetros de resistencia,  $c$  y  $\phi$  para cada una de las estructuras consideradas se debe esencialmente a la distribución de las distintas litologías reconocidas.

### 10.1.3. Evaluación de la Capacidad de Carga del macizo rocoso de fundación de las estructuras

Para poder evaluar las condiciones de la capacidad de carga admisible del macizo rocoso de fundación de las estructuras de la Central, Vertedero y Muro de cierre, se prepararon tres memorias de cálculo:

- JC-A-CV-MT.FE.(CH-00-00)-P001-0A: Fundación de la Central
- JC-A-CV-MT.FE.(DD-03-00)-P001-0A: Fundación O. Desvío y Descargador de Fondo
- JC-A-CV-MT.FE.(PR-07-00)-P001-0A: Fundación Muro de Cierre Margen Derecha

El alcance de estas memorias se limita a presentar los resultados de tensiones admisibles en función de la excentricidad y su comparación con las tensiones resultantes de los análisis de estabilidad.

Los criterios tomados en cuenta para este análisis son los siguientes:

- a. La capacidad de carga de las fundaciones de las estructuras de hormigón depende de su forma, de las propiedades del suelo o el macizo de fundación y de la inclinación de la carga resultante aplicada.
- b. En este análisis se evalúa la capacidad de carga última y se considera un factor de seguridad de 3 para cargas permanentes y 2 para cargas transitorias o inusuales para obtener la capacidad de carga admisible.

- c. La capacidad de carga última se obtiene aplicando la ecuación de Terzaghi asumiendo una falla general por corte con factores de capacidad de carga como se presenta en la referencia USACE EM1110-1-2908. Rock Foundations.
- d. Se acepta que este método es aplicable a la Fm. Santa Cruz, la cual es un macizo rocoso débil caracterizado principalmente por la resistencia de su matriz.
- e. La capacidad de carga admisible es estimada usando el criterio general de falla por corte de Mohr-Coulomb y descrito por la ecuación de Terzaghi, incorporando los factores de corrección como se muestra a continuación. Este ha sido el criterio único exigido por las Especificaciones del proyecto.
- f. Se adoptó un ángulo de fricción para el análisis de 25° y una cohesión de 4 Kg/cm<sup>2</sup>, para una resistencia a la compresión simple promedio de 4,9 MPa.

La fórmula de Terzagui es la siguiente:

$$q_a = \frac{C_c c N_c + C_\gamma 0,5 \gamma' X_2 N_\gamma + \gamma' D N_q}{F}$$

donde

$q_a$  = capacidad de carga admisible

$F$  = factor de seguridad = 3

$c$  = cohesión aparente del macizo rocoso

$\gamma'$  = peso unitario sumergido del macizo rocoso

$X_2$  = dimensión del módulo medida en dirección perpendicular al eje de la presa

$D$  = profundidad desde la fundación a la superficie del terreno

$C_c, C_\gamma$  = factores de corrección por forma. En caso de que la relación  $L/B$  (largo/ancho) sea menor a 10 se deben aplicar los coeficientes definidos por la Tabla 10.4.

**Tabla 10.4: Factores de corrección por forma**

<b>Table 6-1 Correction factors (after Sowers 1979)</b>		
Foundation Shape	$C_c$ $N_c$ Correction	$C_\gamma$ $N_\gamma$ Correction
Circular	1.2	0.70
Square	1.25	0.85
Rectangular		
L/B = 2	1.12	0.90
L/B = 5	1.05	0.95
L/B = 10	1.00	1.00

$N_c, N_\gamma, N_q$  = factores de capacidad de carga, definidos por:


$$N_c = 2 N_\phi^{1/2} (N_\phi + 1)$$

$$N_\gamma = N_\phi^{1/2} (N_\phi^2 + 1)$$

$$N_q = N_\phi^2$$

$$N_\phi = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

En todos los casos se debe verificar que la tensión admisible obtenida no supere la resistencia a compresión simple de la roca, que en promedio es de 4.9 MPa.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 182 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

Para condiciones de carga extremas, como puede ser el SMD, la capacidad de carga admisible puede ser aumentada un 33%.

En la Tabla 10.5, Tabla 10.6 y Tabla 10.7 se resumen los resultados.

**Tabla 10.5: resumen de resultados de la Central**

N° combinación de carga	Tipo de combinación	$\sigma_{m\acute{a}x}$ [MPa]	% base comprimida	Excentricidad [m]	$\sigma_{adm}$ [MPa]
1	Normal	0.656	100.0	0.91	3.61*
3	Excepcional	0.640	100.0	0.00	4.90**
9	Extrema (SMD)	0.767	100.0	11.81	4.90***

**Tabla 10.6: resumen de resultados de Desvío y Descargador**

N° combinación de carga	Tipo de combinación	$\sigma_{m\acute{a}x}$ [MPa]	% base comprimida	Excentricidad [m]	$\sigma_{adm}$ [MPa]
2	Normal	0.696	100.0	9.80	2.65*
6	Excepcional	0.752	100.0	11.17	3.89**
8	Extrema (SMD)	1.195	64.0	19.42	4.47***

**Tabla 10.7: resumen de resultados de Vertedero**

N° combinación de carga	Tipo de combinación	$\sigma_{m\acute{a}x}$ [MPa]	% base comprimida	Excentricidad [m]	$\sigma_{adm}$ [MPa]
2	Normal	0.592	100.0	1.83	2.20*
5	Excepcional	0.550	100.0	2.15	3.29**
8	Extrema (SMD)	0.824	96.5	3.72	4.24***

### 10.1.3.1. Conclusiones


La comparación de los valores de tensiones resultantes de los cálculos de estabilidad con las tensiones admisibles calculadas por los análisis de estabilidad de las tres estructuras analizadas, concluye que las tensiones resultantes son muy inferiores a las tensiones admisibles.

### 10.1.4. Evaluación de la deformabilidad en macizos rocosos

En el documento JC-A.CV-IV.GT-(OG-00-00)-P001-0A titulado “Deformabilidad de macizos rocosos” junto con sus Anexos (Ver [ANEXO 40](#): “Módulo de deformabilidad”) se trata el tema de la deformabilidad aplicado al macizo rocoso para conocer el comportamiento deformacional de las presas y estructuras conexas. Los principales parámetros a investigar son el módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson.

En los macizos rocosos, los parámetros geomecánicos son dependientes de la escala, debido a que no es posible extrapolar resultados de una pequeña muestra a toda la masa. A medida que aumenta el tamaño, aparecen distintas singularidades, tales como discontinuidades, diaclasas y fallas, estratificación, anisotropía, etc. que modifican la deformabilidad del macizo. De allí que se use el módulo de deformabilidad en lugar del convencional  $E$ , conocido como módulo de Young en Teoría de Elasticidad.

En masas rocosas muy fracturadas o alteradas el módulo de elasticidad puede exceder varias veces al módulo de deformación, mientras que en rocas masivas pueden ser aproximadamente similares.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 183 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

En este documento se ha tenido en cuenta los resultados obtenidos de ensayos Cross-Hole y la determinación experimental del perfil de ondas de corte del suelo con el método *MASW*. Ambos métodos se llevaron a cabo en las campañas 2006 y 2016.

Ya se ha tratado en capítulos anteriores los principios de estos ensayos y las fórmulas de aplicación. Solo para recordar incluimos aquella del módulo dinámico basado en la velocidad de onda de corte  $V_s$  y el coeficiente de poisson.

$$E_d = 2 (1 + \nu) \rho (V_s)^2$$

$$G_d = V_s^2 \cdot \rho$$

donde

- $E_d$ : módulo de elasticidad dinámico,
- $G_d$ : módulo transversal dinámico,
- $\nu$ : coeficiente de Poisson.

El agua influye sobre los valores de las  $V_p$  pero no sobre las  $V_s$  ya que en este caso, la onda de corte sólo se transmite por materiales resistentes al corte, como son los sólidos.

Es de destacar que los valores de los módulos  $E_d$  y  $G_d$  no son similares a los obtenidos estáticamente ya que son obtenidos a deformaciones extremadamente bajas. En general, son más altos que los estáticos.

Una aclaración de conceptos se refiere en la Figura 10.8 en la cual se marca la diferencia entre los módulos estáticos y dinámicos. El módulo calculado a partir de medidas sísmicas  $E_d$  equivale al módulo tangente observado en el ciclo de descarga  $E_t$ , de un ensayo de placa de carga, mientras que el módulo estático  $E$ , equivale al módulo secante  $E_s$  (Serafim, citado por Ambraseys & Hendron).

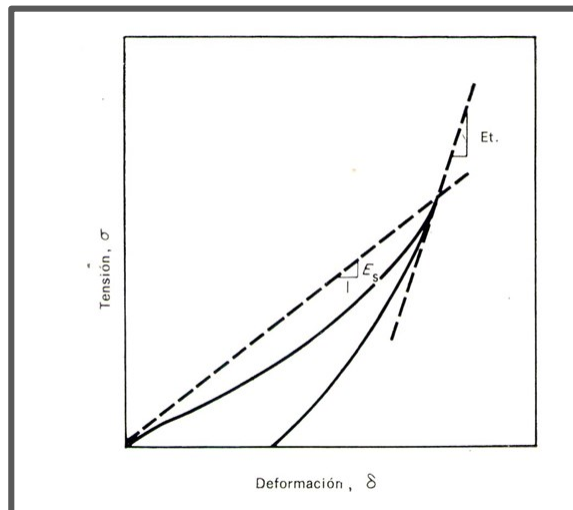


Figura 10.8: Relación tensión-deformación para un macizo rocoso.  $E_t$ : módulo tangente,  $E_s$ : módulo secante. (Ambraseys & Hendron, en Stagg-Zienkiewicz, 1970)

#### 10.1.4.1. Correlaciones empíricas basadas en ensayos in-situ

Existen algunos ensayos in situ estáticos en donde también se ha medido velocidad de ondas. Este tema está tratado exhaustivamente por un libro de Barton N (2007) titulado "*Rock quality, seismic velocity, attenuation, and anisotropy*". Allí se tienen en cuenta las siguientes correlaciones:

$E_{mass} = 10 Qc^{1/3}$ , con la expresión que relaciona la velocidad con la calidad de la roca,

$$V_p = 3.5 + \log Qc$$

Esto concluye en la formula empírica:

$$E_{mass} = 10^{(V_p - 0,5)/3} (GPa)$$

En este caso, el módulo  $E_{mass}$  que se determina es el que corresponde al macizo rocoso.

Esta fórmula es similar a la desarrollada previamente por Ribacchi, basados en ensayos que correlacionan ambos tipos de ensayos en rocas variadas (calcáreas, esquistos, gneisses, granodioritas, milonitas, dolomita, calcarenitas, y areniscas intercaladas con fangolitas). Los mejores resultados provienen de calcáreos y dolomitas.

#### 10.1.4.2. Ensayos en el sitio de la presa Jorge cepernic

En los sitios de las presas del río Santa Cruz existen ensayos de medición de módulos basados en probetas de laboratorio de las campañas de las décadas de 1980 y 2000. No existen ensayos in situ de tipo estático, pero si mediciones geofísicas.

Ambos métodos tienen ventajas y limitaciones. En el caso de los ensayos de laboratorio, las probetas no son representativas del macizo rocoso por efecto escala. Esto es válido tanto para los ensayos existentes como para los que se han ejecutado en la campaña 2015. Por su parte, las mediciones geofísicas, tiene que transformar los valores dinámicos en valores estáticos, necesarios para algunas modelaciones. No obstante ello, algunas mediciones ejecutadas son importantes, como las realizadas bajo el nivel freático, que están en condiciones ambientales similares a las que habrá luego de llenar el embalse.

En el caso de la presa J. Cepernic existen ensayos *MASW* en margen derecha realizados en 2015-2016. Además existen tres *Cross-Hole* (*CH*), esencialmente en sedimentos de la campaña de 2006 y cuatro *CH* de la campaña 2016. En concordancia con los *CH* se han realizado *MASW*.

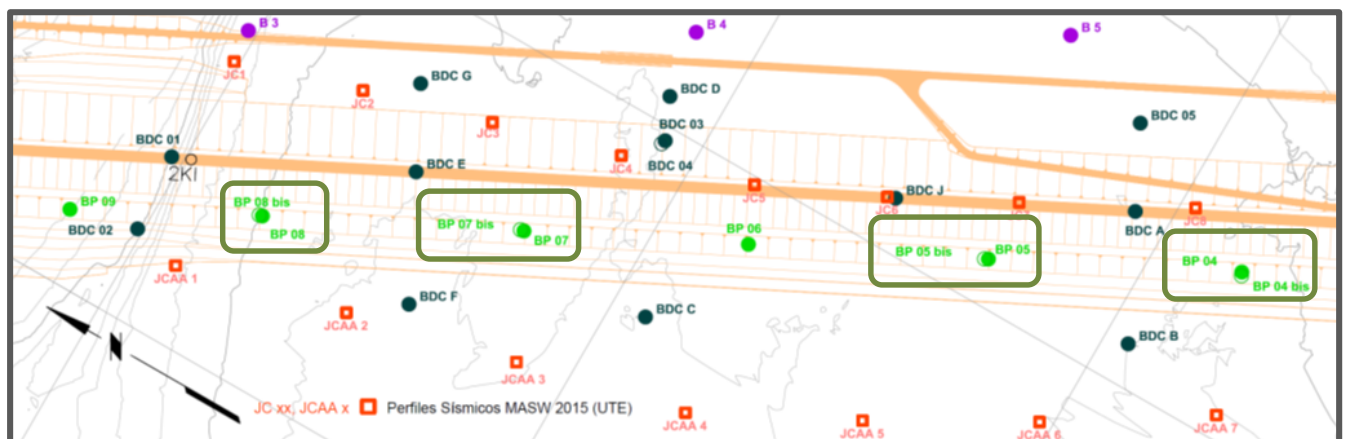


Figura 10.9: Ubicación de ensayos *MASW* (cuadrados rojos) realizados en el año 2015 y *Cross-Hole* (rectángulos verdes) realizados en el año 2016 en presa Jorge Cepernic.

#### 10.1.4.3. Interpretación de ensayos

##### ENSAYOS CROSS HOLE

La campaña realizada durante la campaña 2006 en la presa Jorge Cépernic (Proingeo 2006) no se ha evaluado debido a que se ejecutaron superficialmente, involucrando a los sedimentos sueltos.

En la campaña 2016 se efectuaron mediciones en tres ensayos que involucraron el macizo rocoso cuyos resultados se ven en la Tabla 10.8.

Tabla 10.8: Determinación de módulos [ MPa] a partir de ensayos *Cross-Hole* (Proingeo 2015)

Sector	Cross Hole	Cota aproximada	$V_s$ (m/s)	$G_d$ ( MPa)	$E_d$ ( MPa)	$E/E_d = 0.8$	$E/E_d = 0.6$
Norte	BP08-08bis	68	653	842	2 189	1 751	1 313
Centro	BP05-05bis	66	678	908	2 360	1 888	1 416
Sur	BP04-04bis	72	489	472	1 227	982	736

Las cotas de las mediciones varían, siendo la correspondiente a BP 04 más superficial.



Para transformar estos parámetros dinámicos en estáticos, se pueden considerar rangos de variación entre  $E/E_d$ , al no conocer con certeza el valor real. Esto se refleja en las dos últimas columnas. En las tablas se han computado dos casos, que se consideran razonables, si se comparan las muestras con similares al hormigón.

Si se considera como probable el valor del peso unitario de  $1\ 900\ \text{kg/m}^3$ , los valores de  $E_d$  están en el rango de  $1\ 000$  a  $1\ 800\ \text{MPa}$ .

### ENSAYOS MASW

En el sitio de la presa de Jorge Cepernic se han ejecutado ensayos en la zona cubierta por la presa. La Tabla 10.9 presenta los valores medidos para el sector Norte, la Tabla 10.10 para el sector Central y la Tabla 10.11 el sector Sur.

Tabla 10.9: Sector Norte. Determinación de módulos [MPa] a partir de ensayos MASW de la presa J. Cepernic

Cross-Hole	Cota aproximada	$V_s$ (m/s)	$G_d$ (MPa)	$E_d$ (MPa)	$E/E_d = 0.8$	$E/E_d = 0.6$
JCAA 1	63	850	1426	3709	2967	2225
JC 2	63	1100	2 389	6211	4969	3727
BP 08-08 bis	68	441	384	998	799	599
BP 08	64	548	593	1542	1233	925
BP08	56	548	593	1542	1233	925
M25	68	620	759	1973	1579	1184
M25	61	520	534	1388	1110	833
M26	66	410	332	863	690	518
M26	61	340	228	593	475	356
M28	68	660	860	2236	1789	1342
M28	61	550	597	1553	1242	932
M30	68	660	860	2236	1789	1342
M30	61	600	711	1848	1478	1109
<b>PROMEDIO</b>		<b>604</b>	<b>790</b>	<b>2053</b>	<b>1643</b>	<b>1232</b>

Tabla 10.10: Sector Central. Determinación de módulos [MPa] a partir de ensayos MASW de la presa J. Cepernic

Cross-Hole	Cota aproximada	$V_s$ (m/s)	$G_d$ (MPa)	$E_d$ (MPa)	$E/E_d = 0.8$	$E/E_d = 0.6$
JC 3	64	1150	2611	6789	5431	4073
JC 4	66	1150	2611	6789	5431	4073
JC 5	65	1210	2891	7516	6012	4509
BP05	66	451	402	1044	835	626
BP05	61	573	648	1685	1348	1011
BP07	66	503	500	1299	1039	779
BP07	61	503	500	1299	1039	779
M09	68	550	597	1553	1242	932
M09	66	680	913	2374	1899	1424
M09	61	650	834	2169	1735	1301
M11	68	520	534	1388	1110	833
M11	61	600	711	1848	1478	1109
M12	66	355	249	647	518	388
M12	61	355	249	647	518	388
M13	68	450	400	1039	832	624
M13	61	430	365	949	759	569
M15	66	550	597	1553	1242	932
M15	61	480	455	1183	946	710
M19	68	540	576	1497	1197	898

Cross-Hole	Cota aproximada	V <sub>s</sub> (m/s)	G <sub>d</sub> (MPa)	E <sub>d</sub> (MPa)	E/E <sub>d</sub> = 0.8	E/E <sub>d</sub> = 0.6
M19	61	450	400	1039	832	624
M20	68	520	534	1388	1110	833
M21	68	580	664	1727	1381	1036
M21	61	680	913	2374	1899	1424
M22	68	650	834	2169	1735	1301
M22	61	650	834	2169	1735	1301
M24	68	650	834	2169	1735	1301
M24	61	500	494	1283	1027	770
<b>PROMEDIOS</b>		<b>607</b>	<b>820</b>	<b>2133</b>	<b>1706</b>	<b>1280</b>

Tabla 10.11: Sector Sur. Determinación de módulos [MPa] a partir de ensayos MASW de la presa J. Cepernic

Cross-Hole	Cota aproximada	V <sub>s</sub> (m/s)	G <sub>d</sub> (MPa)	E <sub>d</sub> (MPa)	E/E <sub>d</sub> = 0.8	E/E <sub>d</sub> = 0.6
JC 7	63	650	834	2169	1735	1301
JC 8	68	750	1111	2887	2310	1732
BP04	71	345	235	611	489	367
BP04	68	345	235	611	489	367
BP04	64	493	480	1248	998	749
M02	68	580	664	1727	1381	1036
M02	61	650	834	2169	1735	1301
M03	69	550	597	1553	1242	932
M03	62	450	400	1039	832	624
M04	69	430	365	949	759	569
M04	62	480	455	1183	946	710
M05	69	520	534	1388	1110	833
M05	62	650	834	2169	1735	1301
M06	69	540	576	1497	1197	898
M06	62	480	455	1183	946	710
M07	68	500	494	1283	1027	770
M07	61	650	834	2169	1735	1301
M08	69	700	967	2515	2012	1509
<b>PROMEDIOS</b>		<b>542</b>	<b>606</b>	<b>1575</b>	<b>1260</b>	<b>945</b>

#### 10.1.4.4. Empleo de correlaciones empíricas

La correlación empírica propuesta por Barton se basa en  $V_p$ , aunque es más conveniente usar las  $V_s$  que son insensibles a la presencia de agua.

Por esa razón se ha graficado la expresión del  $E_{mass}$  colocando además de las  $V_p$ , distintos valores de  $V_s$  que se obtienen de acuerdo a la relación de Poisson (Figura 10.10).

Se toma en cuenta la fórmula de relacionamiento entre  $V_p$  y  $V_s$  según el coeficiente de Poisson.

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{2-2\nu}{1-2\nu}}$$

Si se toma como válido un  $\nu = 0,30$  y se considera que el entorno de  $V_s$  se encuentra entre 490 y 680 m/s, los valores que se obtienen del  $E_{mass}$  están en el rango de 1 400 MPa para las estructuras y de 1 700 MPa para la presa. Estos valores son ligeramente superiores a los obtenidos con los métodos planteados previamente.

### 10.1.4.5. Conclusiones

Los ensayos estáticos de carga permiten determinar los parámetros de deformación de los macizos rocosos, si se respeta la ejecución fuera de la EDZ (zona dañada por la excavación) y si se dan las condiciones ambientales. En el caso de las presas, es difícil cumplir con la condición de saturación.

Los ensayos geofísicos pueden cumplir con esas condiciones si se emplea la  $V_s$  que es insensible a la presencia de agua.

Los resultados obtenidos con medición de velocidad de ondas son parámetros dinámicos que deben ser convertidos en estáticos usando relaciones generadas por la teoría de elasticidad.

Asimismo, existen fórmulas de correlación empíricas para ensayos in situ basadas en usar directamente  $V_p$  para obtener  $E_{mass}$ . Han sido generadas midiendo velocidades en macizos donde se han realizado ensayos de carga.

En el sitio de la presa J. cepernic, los resultados obtenidos tanto con los ensayos CH como por los MASW permiten cubrir gran parte de los sectores de obra.

Se puede diferenciar la zona de la presa de la zona donde se implantara el vertedero y la central.

1. Para el caso de la Presa, se puede usar un nivel de módulo de deformación  $E_{mass} = 1\ 500$  a  $1\ 900$  MPa.
2. Para el caso del Vertedero y la Central, el nivel baja a un entorno de  $E_{mass} = 1\ 300$  a  $1\ 500$  MPa.

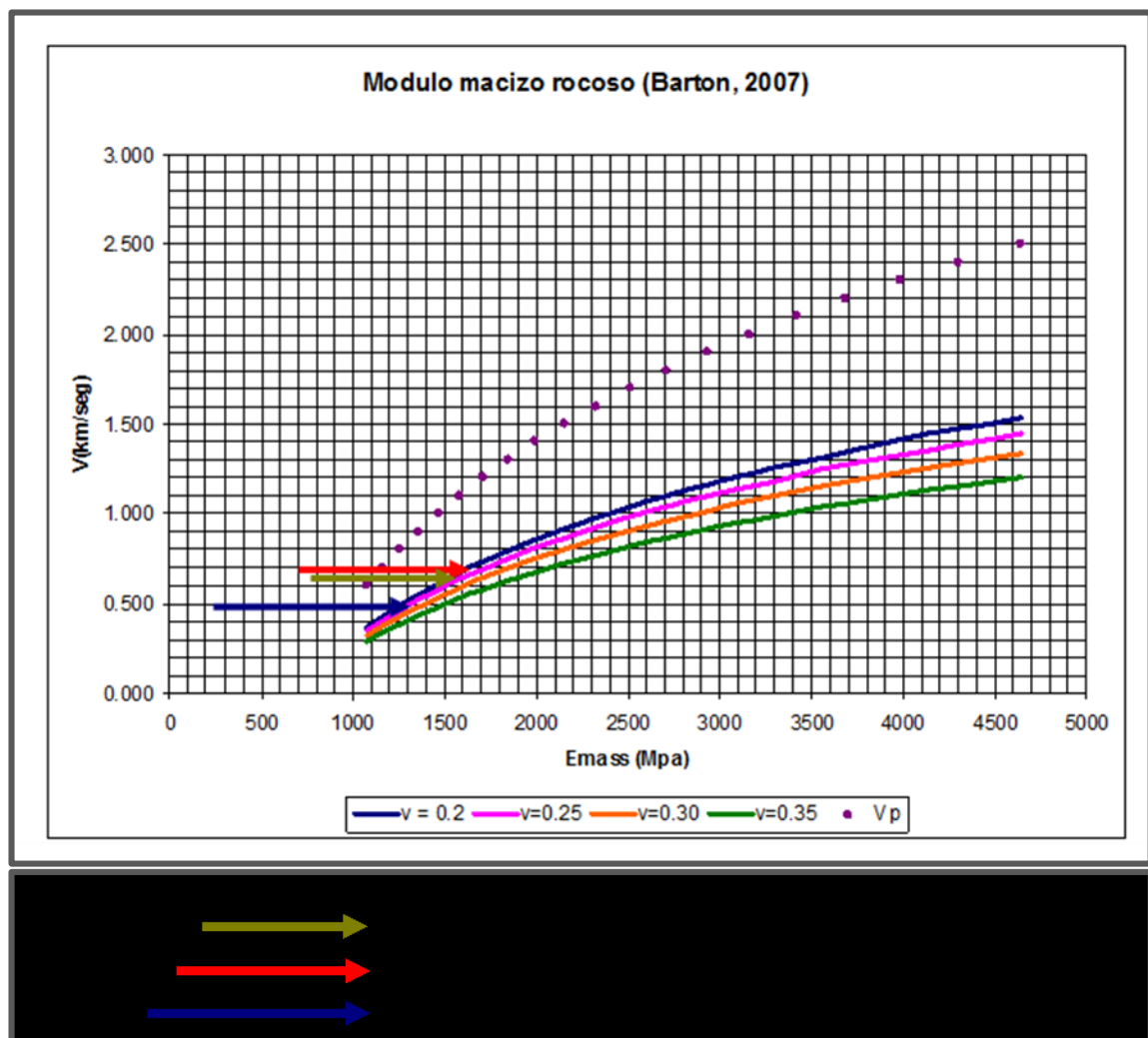


Figura 10.10: Correlación de  $E_{mass}$  con  $V_p$  y  $V_s$ . (según Barton 2007)



## 10.2. Condiciones generales de permeabilidad

En este apartado se presentan los datos de los sondeos llevados a cabo en dos campañas que cuentan con datos de permeabilidad Lugeon para evaluación.


En la Figura 10.12 y la Figura 10.13 se incluyen los perfiles en el sector de las estructuras de la Central y Vertedero y en el sector del Muro de cierre en margen derecha. En la Figura 10.11 tenemos una planta de los sondeos en esta zona. En los perfiles se muestran los tramos de Lugeon mayor a 8 en color azul. Estos perfiles están extractados de los planos incluidos en los perfiles de investigaciones geotécnicas). En el " [ANEXO 05](#): "Análisis de los ensayos Lugeon" se pueden consultar las curvas  $P_{efec}$  Vs. Absorción.

La Tabla 10.12 resume los datos principales de los sondeos situados en el eje de las estructuras de Central y Vertedero por un lado y de los sondeos situados entre las mismas y el estribo en margen derecha donde se implanta el Muro de Cierre en esa margen.

Tabla 10.12: Resumen de Lugeon de sondeos involucrados

Sondeo	Lugeon	Lugeon equivalente	Interpretación de la curva $P_{efec}$ - Absorción	$K_o$
<b>CENTRAL Y VERTEDERO</b>				
BP 02	18		Laminar a turbulento	1
	17		Laminar a turbulento	1
	16		Laminar	1
BP 12	1,1			0,9
BDC H	9,5		Dilatación o erosión	1,6
BP 01	12		Laminar a turbulento	1,5
	14		Dilatación o erosión	1,4
BDC 26	85	55	Colmatación	1,9
<b>MURO CIERRE MARGEN DERECHA</b>				
BDC 15	64	29	Leve dilatación o erosión	2,4
	147	57	Dilatación o erosión	1,9
	16	16	Colmatación	1,6
	10	10	Laminar a turbulento	1,4
	4	3	Laminar	1,3
	11	6	Dilatación o erosión	1,2
BD 12	50	13	Dilatación o erosión	1,6
	15	7	Laminar	1,1
	40	17	Dilatación o erosión	1,3
	37	34	Laminar a turbulento	1,2
	76	42	Laminar	0,9

En la Tabla 10.12 ya mencionada se muestran los tramos de Lugeon mayor a 8 marcando en recuadro azul sectores singulares en cuanto a permeabilidad (mayor a 8 UL) tanto sea en el tramo de posible penetración del muro colado como por debajo del mismo, donde será tratado mediante la cortina de inyecciones a ejecutarse desde galerías previstas en las estructuras de gravedad.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 189 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

En cada sondeo se informa el valor final de Lugeon calculado y del Lugeon equivalente lineal, y el valor de  $K_0$  que es la relación entre la presión efectiva de ensayo o también llamada presión crítica  $P_c$  en que ocurrió la abertura de fracturas o fisuras y la presión correspondiente al peso de la roca arriba del obturador. También se incluirá la designación FA indicando que la fractura ya estaba abierta al comenzar el ensayo y EL en que la abertura fue del tipo elástico, o sea que las fracturas se cerraron al final del ensayo.

En cuanto a la presión  $P_c$ , esta será indicada no sólo en los casos en que la gráfica puede mostrar claramente la expansión de la fractura o fractura hidráulica, sino en aquellos casos en que se produce un cambio de pendiente o incremento de la absorción. Este dato es de utilidad para estimar la presión máxima de inyección en el tramo considerado.

Se destaca la alta permeabilidad observada, sobre todo en el estribo de margen derecha donde se funda la estructura de gravedad del Muro de cierre. De acuerdo a la descripción litológica se presentan pelitas pero brechosas y areniscas friables. En sí, las pelitas presentan textura fina y baja permeabilidad pero la descripción de brechosa se debe a la presencia de discontinuidades y diaclasas, que pueden explicar la alta absorción medida. Las areniscas también presentan niveles frágiles y friables. El valor de  $K_0$  de los ensayos también podría explicar cierto incremento adicional de Lugeon.

En el sector de estructuras se observa la misma descripción litológica con las mismas implicancias.

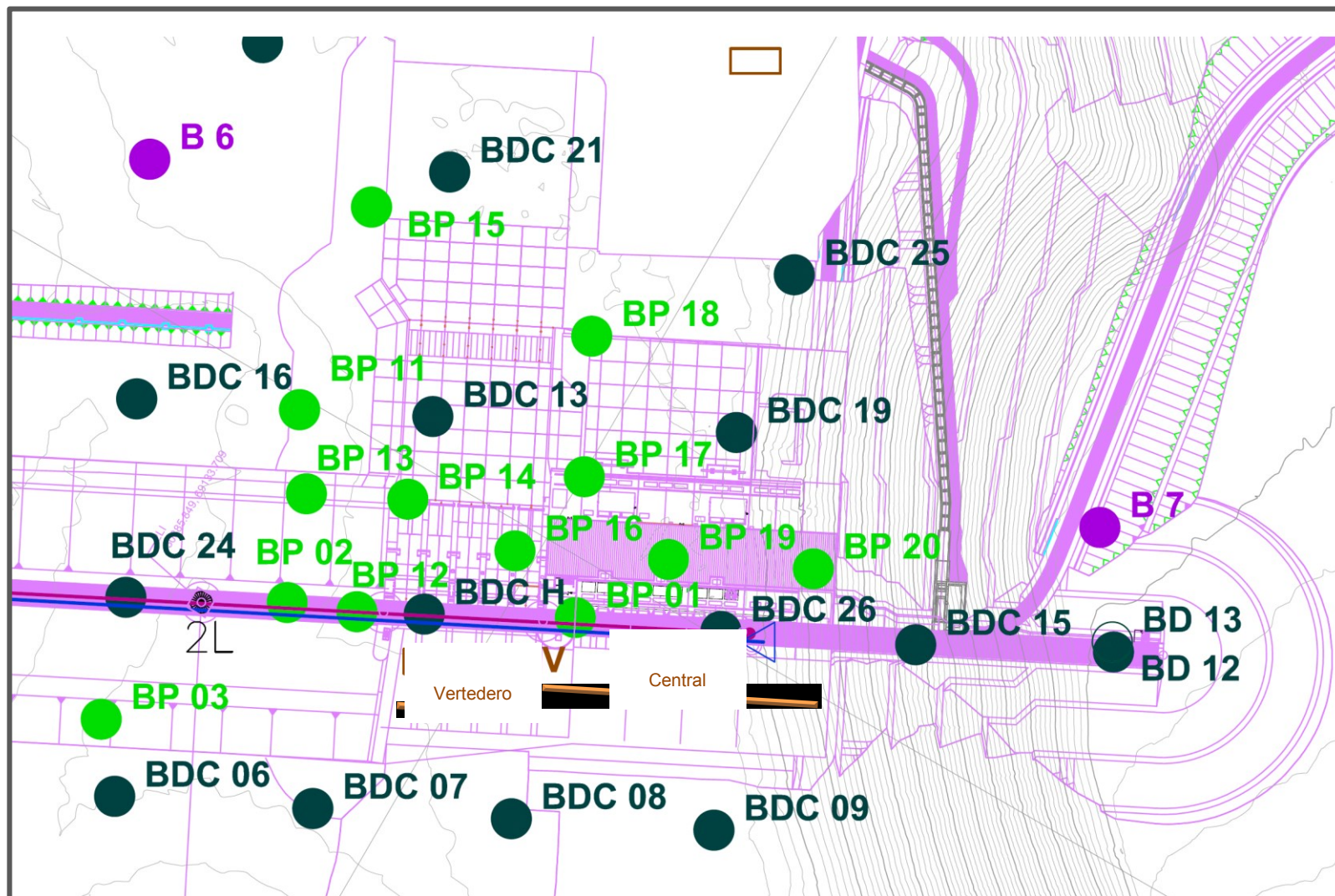


Figura 10.11: Planta mostrando Sondeos en sector de estructuras de Central y Vertedero de distintas campañas

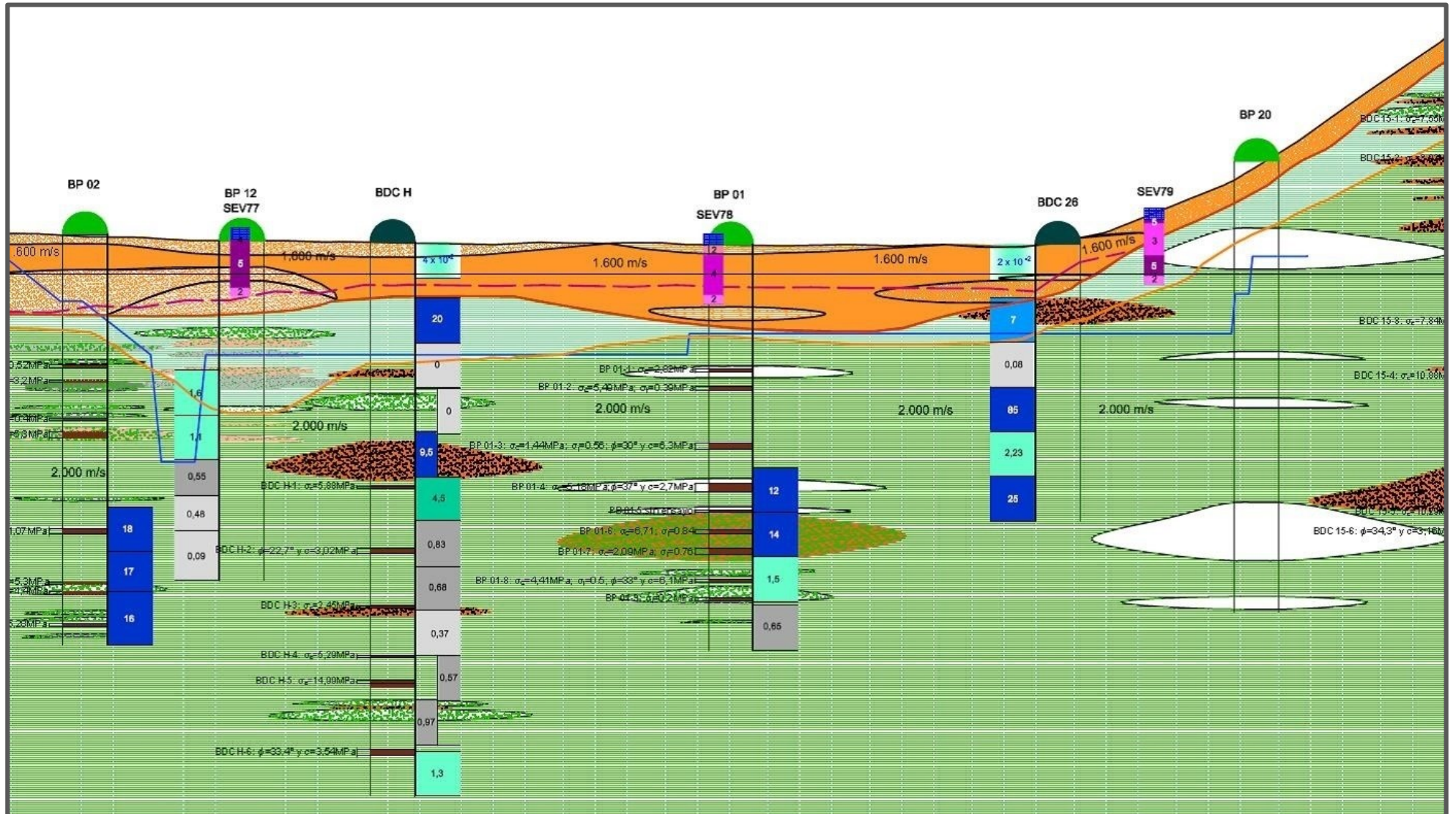



Figura 10.12: Sondeos en sector estructuras de Central y Vertedero



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-AA Página: 193 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

## 11. MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DEL CUERPO DE LA PRESA Y SU FUNDACIÓN

En este capítulo se presenta una descripción de las condiciones geológico-geotécnicas para las principales obras civiles correspondientes a la presa fundada sobre los aluviones del valle del río y las condiciones de ejecución y empotramiento de la pantalla del muro colado. Para ello serán de utilidad dos perfiles fundamentales, el perfil a lo largo del eje de la presa (Ver [ANEXO 32](#): “Investigaciones geológico-geotécnicas Perfil A-A’ Eje de la presa”), entre los sondeos BC 1 y BDC 24 y el perfil a lo largo del eje del muro (Ver [ANEXO 33](#): “Investigaciones geológico-geotécnicas Perfil B-B’ Eje del muro colado”), entre los sondeos BP 10 y BP 03.

En ambos perfiles se encuentran definidos los contactos roca-aluvión (CAR) y roca competente (CRC). El espesor promedio del material aluvional es de poco más de 10 m hasta los 18 aproximadamente (Cotas 67 m a 74 m). Luego se presenta un espesor de roca alterada de 4 m en promedio con un máximo de 7 m (Cotas 60 m a 70 m).

En cuanto a la litología, en general, se puede afirmar que hay un gran predominio de materiales finos, particularmente, pelitas. (Ver perfiles en el [ANEXO 32](#): “Investigaciones geológico-geotécnicas Perfil A-A’ Eje de la presa” y [ANEXO 33](#): “Investigaciones geológico-geotécnicas Perfil B-B’ Eje del muro colado”).

Respecto a la ladera izquierda, se encuentran numerosos niveles de areniscas friables, además se observa que el espesor de roca alterada es mucho mayor que en la margen derecha.

No se prevé la fundación de grandes estructuras para este sector pero interesa clasificar el macizo rocoso para diseñar el ancho del plinto con un gradiente hidráulico adecuado.

Debido a las dudas que surgen a partir de la información de los sondeos realizados en esta zona, en particular, la potencia, extensión y caracterización geotécnica de los estratos de areniscas friables, están previstos los sondeos BP 10, BP 23, BP 24 y BP 25 marcados en doble círculo verde y 3 tendidos sísmicos de refracción marcados con línea morada en la planicie, cuyos resultados deberán ser integrados para terminar de definir el modelo geotécnico en esta margen.

En la Figura 11.1 se muestra la investigación geotécnica pendiente de realizar.

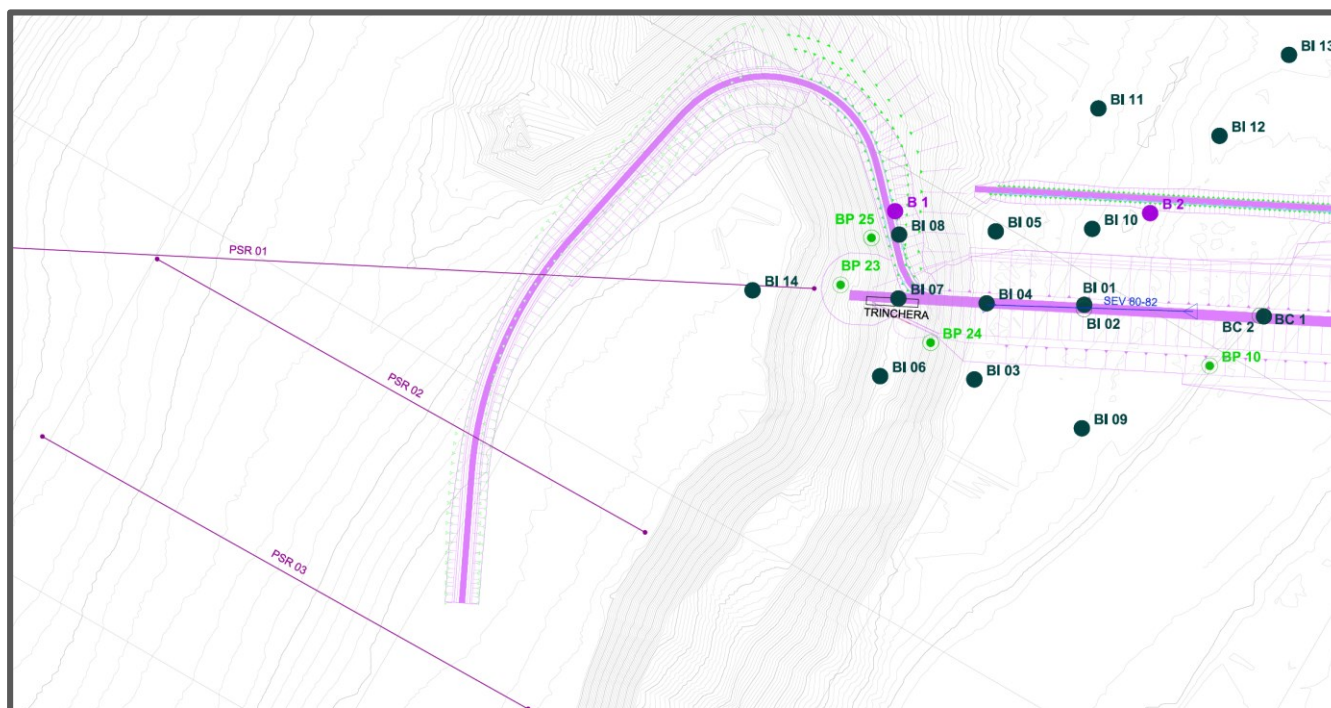



Figura 11.1: Investigaciones en margen izquierda

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-AA Página: 194 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

Una vez completada la investigación, a partir del sondeo BI 03, lugar en el que comienza el plinto en roca, se evaluará la calidad del macizo rocoso para ajustar el ancho del plinto y la profundidad del mismo una vez analizados los estratos de areniscas friables.

Las líneas sísmicas brindarán la información de los techos de roca que junto con la permeabilidad de la cobertura de la terraza completaran la información en esa margen para el análisis de percolación.

## 11.1. Condiciones generales de permeabilidad del macizo rocoso. Muro colado

### 11.1.1. Ensayos Lugeon

Con respecto a los ensayos Lugeon, con todos los datos trabajados y extrapolados a 10 bar, como ya se explicó en el Capítulo 6.1, se realizó un análisis para verificar cuáles son las litologías y/o estructuras relacionadas con las diferentes permeabilidades del macizo. En general se puede establecer una correlación entre la permeabilidad y la profundidad de los ensayos ejecutados advirtiendo que la permeabilidad disminuye con la profundidad de la roca. A continuación, se presentará la relación entre permeabilidades respecto a las diferentes litologías y estructuras en los dos perfiles planteados para esta zona.

#### 11.1.1.1. Perfil a lo largo del eje de la presa.

Existe una ligera correlación entre las permeabilidades más altas y la presencia de areniscas en los tramos ensayados a lo largo de este perfil. Las excepciones ocurren en los sondeos BD 12, BDC 26, BDC 24, BDC 03 y BDC 01. En ellos, los tramos más permeables se encuentran en materiales pelíticos con permeabilidades que oscilan en las 20 UL o más, por lo tanto, a continuación se analizará si existe alguna correlación con discontinuidades que justifiquen la elevada permeabilidad presente en este material poco permeable.

##### *Alta permeabilidad en pelitas y correlación con discontinuidades*

En el sondeo BD 12, los tramos altamente permeables tienen diaclasas, tramos con roca friable o brechada por lo que hay una coherencia respecto a estructuras presentes y permeabilidades altas. En el caso del sondeo BDC 26 el material pelítico se presenta sin fracturas, diaclasas u otro tipo de discontinuidad que justifique las altas permeabilidades de los tramos ensayados. El sondeo BDC 24 se encuentra en la misma situación (hay un pequeño tramo con diaclasas entre las cotas 70 y 72). El sondeo BDC 03 presenta algunos tramos con diaclasas y una limolita friable hacia el final del mismo. En el sondeo BDC 01, la limolita ensayada tiene intercalaciones de arenisca que podrían generar superficies de discontinuidad en los contactos y explicar, en cierta forma, la alta permeabilidad medida. Por lo tanto se concluye que la correlación entre las permeabilidades más altas y las discontinuidades presentes es también reducida.


##### *Baja permeabilidad en pelitas y areniscas y correlación con discontinuidades*

Los tramos impermeables se encuentran casi siempre asociados a material pelítico masivo. También existen algunas excepciones. En el Sondeo BDC 25, uno de los tramos ensayados con absorción nula abarca el espesor de una arenisca negra que, en este caso, no está descripta como friable. En el Sondeo BC 1 uno de los tramos impermeables presenta un nivel de arenisca negra tobácea masiva. En el Sondeo BD 12 se presentan numerosos niveles de poco espesor de areniscas negras, además se destacan numerosos niveles friables, con diaclasas o fracturas en los niveles pelíticos impermeables. Este sondeo no tiene resultados de permeabilidades coherentes con la realidad del macizo rocoso.

En el [ANEXO 32](#): "Investigaciones geológico-geotécnicas Perfil A-A' Eje de la presa", se puede ver el perfil con los sondeos de las diferentes campañas con los ensayos Lefranc y Lugeon realizados en cada uno. Se puede ver, también, la relación de las permeabilidades con el material aluvional y macizo rocoso de una manera global.

#### 11.1.1.2. Perfil a lo largo del muro colado

En el perfil del muro colado se presentará un examen más exhaustivo sobre las condiciones de permeabilidad del macizo rocoso de empotramiento y servirá para establecer, en caso necesario, algún tipo de control del caudal que se pueda llegar a infiltrar por debajo del muro colado. Para ello, como primera medida, se hará la identificación de los tramos con permeabilidades mayores a 8 UL que se encuentren, por lo menos, a tres

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-AA Página: 195 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

metros por debajo del contacto aluvión-roca. Una vez identificados los tramos, se establecerá la relación de su alta permeabilidad con la litología y estructuras presentes en el macizo. Finalmente se marcarán estas zonas singulares para realizar un análisis de sensibilidad en el estudio de las posibles filtraciones que puedan ocurrir durante la vida útil del proyecto.

En la Tabla 11.1 se expone un resumen de todos los tramos con permeabilidades mayores a 8 UL identificados. Como se puede observar, en todos los sondeos de la campaña 2006, el primer tramo ensayado se encuentra en el límite del contacto aluvión roca (Ver Tabla 11.1: celdas con relleno gris). En este caso es probable que haya habido pérdida de fluido a través del material aluvional.

Respecto a los tramos permeables más profundos, se espera que haya una litología o estructura asociada que justifique su permeabilidad más alta, pero se puede observar, a lo largo del perfil en el muro colado (Ver [ANEXO 08](#): "Permeabilidad Perfil B-B' Muro colado"), que muchos tramos con muy baja permeabilidad presentan una asociación litológica o estructural muy similar a los tramos con permeabilidades altas, como, por ejemplo, el sondeo BP 08 que tiene numerosos estratos de areniscas friables en tramos con permeabilidades menores a 1 UL. En definitiva, no hay un patrón de permeabilidad asociado a un tipo de litología y/o estructuras para este perfil.


Las curvas  $P_{efect.}$  vs. *Absorción* permiten estimar el estado de fisuración del macizo rocoso y la posible colmatación o lavado de las fisuras. En general se puede decir que las mayorías de las curvas de los tramos analizados tienen un escurrimiento laminar lo que podría indicar que la absorción en la roca se produce a través de una gran cantidad de fisuras de pequeña abertura. También se puede observar que, en casi todos los tramos, las fisuras tienden a ser colmatadas por materiales más finos a medida que la presión del ensayo va aumentando (Ver Tabla 11.1: celdas con relleno verde).





**Tabla 11.1: Tramos ensayados a lo largo del eje del muro colado con permeabilidades > 8 UL.**

Sondeo	UL	Profundidad del tramo ensayado en m	K <sub>0</sub>	Interpretación de la curva <i>P<sub>efec.</sub></i> -Absorción	Probable litología o estructura asociada a la alta permeabilidad	Observaciones
BI 09	42	18,1 a 23,1	1,8	Colmatación	Arenisca negra tobácea friable/Arcilita friable	
	30	23,1 a 28,1	1,5	Colmatación	Arcilita friable	
BDC F	14	14,8 a 19,8	1,7	Leve colmatación		Límite con el CAR
	8	19,8 a 24,8	1,7	Leve colmatación	Limolita frágil	
	14	24,8 a 29,85	1,5	Leve dilatación o erosión	Limolita frágil	
BP 07	20	20 a 24	0,9	Colmatación	Pelita arenosa fracturada/ Arenisca fina con aporte tobáceo	
	15	24 a 28	0,9	Colmatación	Arenisca fina a gruesa con aporte tobáceo/Pelita con intercalaciones arenosas	
BDC C	24	17,7 a 22,7	1,8	Leve dilatación o erosión	Pequeño nivel de limolita algo friable	Límite con el CAR
	13	22,7 a 27,75	1,6	Leve dilatación o erosión	Arenisca masiva	
BP 06	67	20 a 25,1	0,9	Ensayo realizado a muy bajas presiones	Arenisca fina a gruesa arcillosa friable/Arenisca fina a media arcillosa laminada	Extrapolación poco válida
	19	25,1 a 30,6	0,9	Colmatación	Dos tramos de arenisca media a gruesa arcillosa friable	
	12	30,5 a 35,5	1	Colmatación	Arenisca muy fina arcillosa/Arenisca media tobácea/Arenisca media a gruesa arcillosa/Arenisca media a gruesa arcillosa friable	
	17	35,5 a 40,5	1	Dilatación o erosión	Arenisca media a gruesa arcillosa friable/Toba arenosa gruesa	
BDC J	18	19,8 a 25,3	1,7	Dilatación o erosión		Límite con el CAR
BP 05	10	20 a 25	1,1	Colmatación	Arenisca fina arcillosa friable	
BDC B	8,6	14,4 a 19,45	2,1	Colmatación		Límite con el CAR
	29	19,7 a 24,7	1,7	Colmatación	Arcilita con niveles brechados	

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-2015 Página: 197 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001

### 11.1.2. Permeabilidad del macizo rocoso y zonas singulares detectadas

Luego de realizar la presentación de los datos en los apartados anteriores, se concluye que la permeabilidad del macizo rocoso es de moderadamente baja a baja excepto en las dos zonas singulares marcadas en recuadros azules en la Figura 11.2 (Para mayor detalle ver [ANEXO 08](#): “Permeabilidad Perfil B-B’ Muro colado” y [ANEXO 06](#): “Planilla de ensayos de permeabilidad”).

Los ensayos con permeabilidades altas se encuentran dentro del mismo orden de magnitud, es decir, de todos los ensayos que se encuentran por encima de las 8 UL, la mayoría están en el rango de  $k = 1 \times 10^{-4}$  a  $4 \times 10^{-4}$  cm/s.

A propósito de todo lo explicado anteriormente, se tomará, como referencia, el documento JC-A.CV-MC.FE-(PR-01-00)-P003 que realiza la verificación del diseño del cuerpo de la presa en relación al comportamiento frente a posibles filtraciones. En este documento se evaluaron los gradientes de infiltración en la zona de fundación del muro colado para diferentes valores de profundidad de empotramiento del mismo. Con una permeabilidad de  $k = 2 \times 10^{-4}$  cm/s y un empotramiento de 5 m en roca, el gradiente hidráulico es de 2,9.

Para evaluar estos resultados frente a los gradientes admisibles en la roca de fundación del muro colado, puede utilizarse como analogía el criterio desarrollado en el boletín 141 de ICOLD para la definición del ancho del plinto de una presa tipo CFRD sobre roca en función del gradiente. La Tabla 11.2 muestra el criterio utilizado en función del tipo de roca y diferentes propiedades de las mismas.

El macizo rocoso de fundación de la presa J. Cepernic puede clasificarse como una roca masiva con un alto RQD, con pocas discontinuidades y un cierto grado de alteración en los primeros metros desde el contacto aluvión-roca. El tipo de fundación para este tipo de roca estaría en el rango del tipo II a tipo IV (Columna A de la Tabla 11.2). Para este tipo de fundación se acepta una relación entre el empotramiento del muro y la profundidad del agua entre 1/3 a 1/6 (Columna C de la Tabla 11.2). Para esta etapa de proyecto ejecutivo, se adopta un gradiente admisible máximo de 4 como representativo de la zona de empotramiento del muro colado. Con esto se puede ver que 5 m de empotramiento en roca es suficiente para esta etapa del proyecto de modo de no superar los gradientes admisibles de la roca de fundación. Esta profundidad será determinada y ajustada con perforaciones de avance en las zonas donde se detectaron mayores admisiones en los ensayos Lugeon o donde se presente alguna duda sobre la calidad del macizo. Es probable que el resultado de estas investigaciones redunden en una mejoría del gradiente y menor empotramiento del muro.

**Tabla 11.2: Criterio de gradiente de Fundación de Plinto en roca- J. Sierra y B. P. Machado y P. Marques. (Bulletin ICOLD 141)**

A	B	C	D	E	F	G	H
I	Non-erodible	1/18	> 70	I to II	1 to 2	< 1	1
II	Slightly erodible	1/12	50 to 70	II to III	2 to 3	1 to 2	2
III	Erodible	1/6	30 to 50	III to IV	3 to 5	2 to 4	3
IV	Highly Erodible	1/3	0 to 30	IV to VI	5 to 6	> 4	4

A	Tipo de fundación	
B	Grado de erodabilidad	
C	Relación mínima entre el ancho del plinto (longitud de empotramiento) y la profundidad del agua	
D	RQD en %	
E	Grado de meteorización I: equivalente a roca fresca ; VI: Equivalente a suelo residual	
F	Grado de resistencia a compresión simple 1: Equivalente a roca muy dura; 6: equivalente a roca	
G	Macro discontinuidades alteradas cada 10 metros	
H	Clases de excavación:	
	1	Requiere voladuras
	2	Requiere una ripeadora pesada o algunas voladuras
	3	Puede ser excavada con ripeadoras livianas
	4	Puede ser excavada con bulldozer

Por último, se ha comentado que no existe una relación directa entre las altas absorciones de agua de algunos ensayos Lugeon con tramos mas fracturados y tipos litológicos, de manera que deberá verificarse la inyectabilidad del macizo con lechadas de cemento para confirmar la real posibilidad de controlar la permeabilidad del macizo. Dichas pruebas de inyectabilidad, que serán ejecutadas antes del inicio de las actividades del muro colado y de la cortina de impermeabilización, deberán resultar en la elaboración de una especificación técnica de inyecciones.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

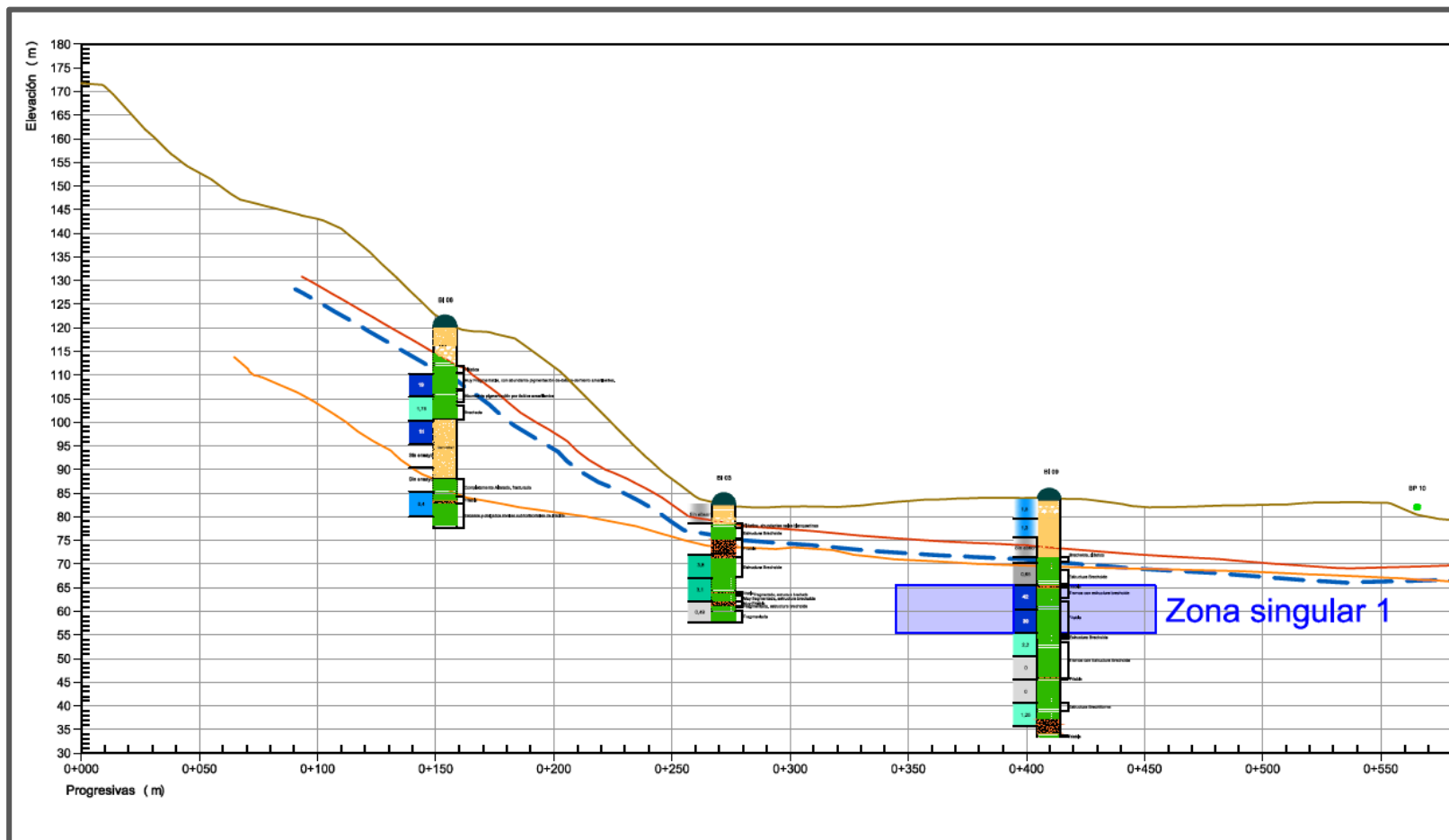
MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A  
Fecha: 25-08-2015  
Página: 198 de 268

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001



Referencias:

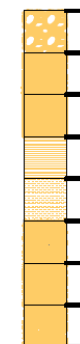
- TN Terreno natural
- CAR Contacto aluvión-roca
- CRC Contacto roca competente
- Perfil de excavación
- CAR - 3 metros
- BD xx y BDC xx Sondajes geotécnicos ( Campaña 2006-07)
- BP xx Sondaje geotécnicos ( Campaña 2019)

Litología

Roca



Aluvión



Ensayos Lugeon

Unidades Lugeon UL	TABLA DE COLORES	Permeabilidad
< 0.5		Muy baja
0.5 a 1		Baja
1 a 2		Moderadamente baja
3 a 5		Moderadamente alta
5 a 8		Alta
> 8		Muy alta

Ensayos Lefranc

Coefficiente de permeabilidad k (cm/s)	TABLA DE COLORES	Permeabilidad
< 10 <sup>-5</sup>		Poco permeable
10 <sup>-5</sup> a 10 <sup>-4</sup>		Moderadamente permeable
> 10 <sup>-4</sup>		Muy permeable

Figura 11.2: Ensayos Lugeon y Lefranc a lo largo del eje del muro colado y zona singular 1

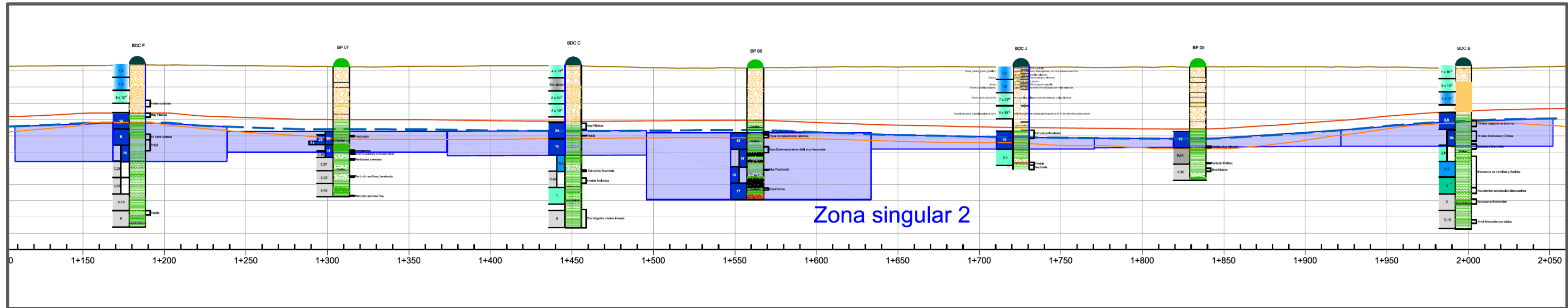


Figura 11.3: Ensayos Lugeon y LeFranc a lo largo del eje del muro colado y zona singular 2

## 11.2. Análisis de las condiciones del material aluvional. Criterio de fundación de la presa

En este punto se trata de precisar las condiciones que deben tener los sedimentos aluvionales sobre los que se fundará la presa. Se trata de ubicar los horizontes a partir de los cuales las deformaciones serán mínimas una vez que se apoye el cuerpo de la presa. El análisis en detalle de este punto se puede ver en el documento JC-A.CV-ET.FE-(PR-01-00)-P001.

Se llevaron a cabo dos campañas de estudios con el sistema *MASW* entre 2015 y 2016 y una campaña de determinaciones de Densidades *in situ* y determinación de la relación de vacíos en la fundación de la presa en el valle del río que permitirán caracterizar los materiales donde será fundada la presa.

### 11.2.1. Ensayos *MASW*

Uno de los criterios adoptados para el estudio de la fundación, ha sido definido de acuerdo las mediciones de Velocidad de onda de corte  $V_s$  medidas por medio del *MASW*. Este método permite definir ese parámetro mediante mediciones de ondas realizadas desde la superficie. Como principal característica de la  $V_s$  está el hecho de que solo se transmite por sólidos que tienen resistencia al corte y por lo tanto es insensible a la presencia del nivel freático. Asimismo, la  $V_s$  permite tener una medida de la compacidad del terreno.

En la primera campaña se han realizado un total de 15 determinaciones de  $V_s$  en margen derecha del valle del río, tal como se muestran en la Figura 11.4.

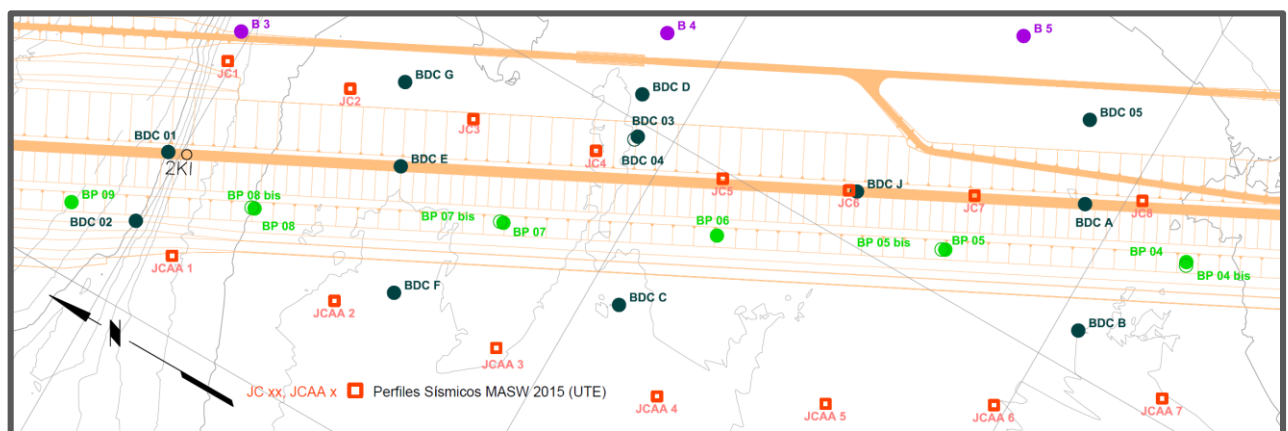


Figura 11.4: Ubicación de la investigación *MASW* 1ª Campaña

Para poder analizar la compacidad a lo largo de cada perfil, es necesario transformar las  $V_s$  en  $V_{s1}$ . Esto se logra mediante la normalización de la misma en función de la tapada, tal como se explica en Apartado 7.3 (Medición de la velocidad de onda de corte por los métodos *SAWS-MASW*) en la introducción sobre esta técnica.

Se considera que a partir de  $V_{s1} > 210$  m/s, el comportamiento es dilatante y por lo tanto es esperable asentamientos pequeños cuando se cargue con el terraplén o frente a acciones sísmicas.

La Tabla 11.3 muestra las profundidades a las cuales se alcanza una  $V_{s1} > 200$  m/s. Las determinaciones realizadas señalan que no se han ubicado estratos débiles superficiales.

**Tabla 11.3: Tabla de profundidades con  $V_{s1}$  mayor a 210 de 1° Campaña.**

Perfil	Profundidad para $V_{s1} > 200$ m/s	Ubicación
JC1	1	Eje presa
JC2	1	Eje presa
JC3	1	Eje presa
JC4	1	Eje presa
JC5	1	Eje presa
JC6	1	Eje presa
JC7	1	Eje presa
JC8	1	Eje presa
JCAA1	1	Aguas arriba eje
JCAA2	1	Aguas arriba eje
JCAA3	1	Aguas arriba eje
JCAA4	1	Aguas arriba eje
JCAA5	1	Aguas arriba eje
JCAA6	1	Aguas arriba eje
JCAA7	1	Aguas arriba eje

En la Tabla 11.3 se ha colocado 1 m para señalar la necesidad de controlar la presencia de suelo orgánico, el que debe ser retirado antes de apoyar el terraplén. Las observaciones para esta campaña son las siguientes:

- Las observaciones realizadas en las calicatas abiertas en margen derecha del valle del río, indican la existencia de suelos granulares, esencialmente gravas redondeadas con algo de matriz arenosa. Este material es apto para ser usado como nivel de fundación.
- Estas determinaciones son complementadas con determinaciones de densidades in situ previo a la ejecución del terraplén
- Las determinaciones de  $V_s$  realizadas mediante el *MASW* señalan la existencia de materiales lo suficientemente compactos bajo la planta de la presa.
- Las calicatas abiertas muestran la presencia de gravas y arenas, cuya densidad debe ser objeto de determinación en el nivel de fundación.
- El destape requerido para la fundación de la presa debe alcanzar niveles sin contenido orgánico, lo que se estima puede estar en el orden de 1 metro.
- De encontrarse otro tipo de sedimentos cuando se realice el destape, es necesario realizar ensayos para determinar sus características mediante identificación, como así también su densidad.

En los primeros meses de 2016 se llevó a cabo la 2da campaña de estudios de *MASW* en las dos zonas mostradas en la Figura 11.5.

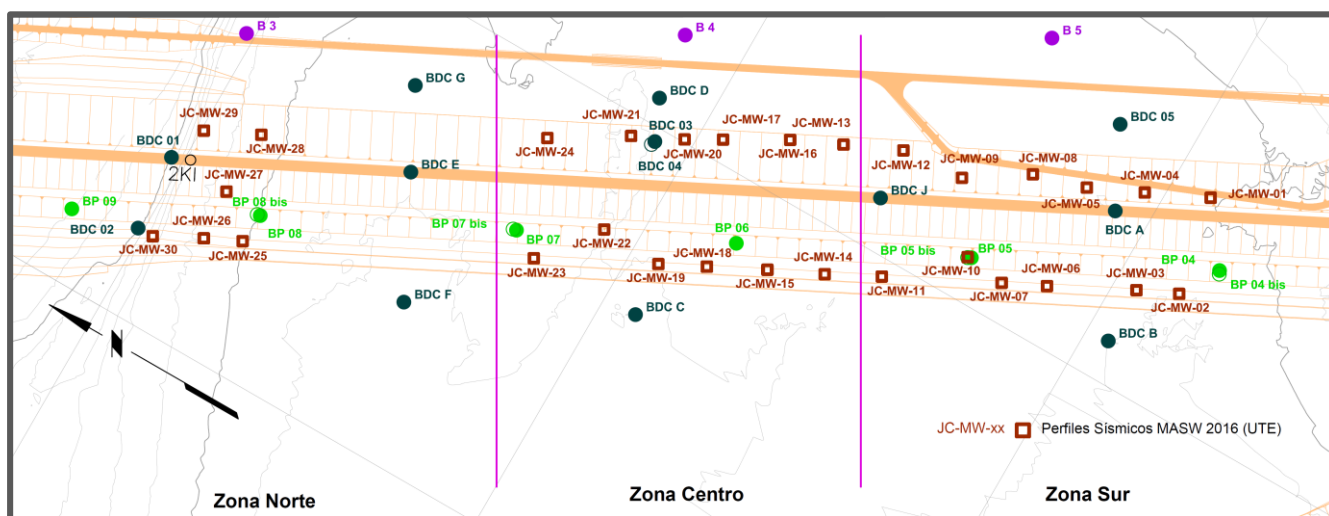


Figura 11.5: Ubicación de MASW de la 2da campaña

En la Tabla 11.4 se muestran resumidos los valores de la 2da Campaña (año 2016) en aquellos perfiles con menores velocidades de onda de corte  $V_s$ , que por su profundidad no resulta necesario efectuar la corrección de normalización. (Explicación en el apartado 6.3.3.1: “Normalización de la velocidad de onda de corte”).

Tabla 11.4: Tabla de profundidades menores a 5 m con  $V_{s1}$  menor a 210 de 1° Campaña.

Perfil	Profundidad	$V_{s1}$ (m/s)
JC-MW-02	0 a 2,5 m	180
JC-MW-03	0 a 2,5 m	177
JC-MW-06	0 a 2,5 m	245
	2,5 a 5 m	229
JC-MW-07	2,5 a 5 m	241
JC-MW-08	0 a 2,5 m	224
JC-MW-12	0 a 2,5 m	219
JC-MW-13	2,5 a 5 m	230

### 11.2.2. Ensayos de Densidad *in situ*

Por otra parte sobre la fundación de la presa se ha realizado una serie de ensayos de Densidad *In Situ*, en distintas progresivas y a distintas profundidades, obteniéndose los resultados que se muestran en la Tabla 11.5 (se reporta el valor de la densidad seca).

Al no contar a tiempo con el suministro de la mesa vibratoria para medir la  $D_{max}$ , se hizo la medición de la densidad de sólidos ponderada para tres fracciones tal como lo especifican las normas ASTM-C-127-68- “Specific gravity and absorption of coarse aggregate”, ASTM-D-854-92- “Standard test method for Specific gravity of soils” y USBR 5320-85- “Procedure for Determining Specific Gravity of soils”.

El grado de compactación en gravas y en enrocados se ha propuesto controlarlo por medio de la medición de la relación de vacíos total. El grado de compactación es un parámetro utilizado para inferir la deformabilidad de los espaldones y deformaciones de losas en presas de cara de concreto.

Midiendo la Densidad de sólidos ponderada  $S_s$  en tres fracciones del suelo, la relación de vacíos total resulta:


$$e = (\rho_s / \rho_d) - 1$$

donde

$\rho_s$  = densidad de sólidos

$\rho_d$  = densidad seca

Posteriormente, durante la construcción de la presa, el control de la compactación será realizado a través del número de pasadas que se determine a partir de los resultados del terraplén de prueba, previéndose la

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 203 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

ejecución de ensayos de Densidad In Situ, Densidad Máxima y Densidad Mínima, Peso específico seco ponderado, en forma puntual y no sistemática.

**Tabla 11.5: Resultados obtenidos en Ensayos Densidad In Situ, densidad de sólidos y relación de vacíos-1ra etapa y 2da etapa**

Etapas	Datos de la capa			Densidad <i>in situ</i> seca	Densidad de sólidos	Relación de vacíos
	Fecha	Progresiva m	Cota m	$\rho_d$ Kg/m <sup>3</sup>	$\rho_s$ Kg/m <sup>3</sup>	e
1° Etapa*	19/05/2016	1+200 Eje	Prof. 2,00m	2 288	2 658	0.162
	24/05/2016	1+200 Eje	Prof. 1,00m	2 261	2 663	0.178
	23/05/2016	1+600 Eje	Prof. 1,15m	2 013	2 666	0.324
	23/05/2016	1+600 Eje	Prof. 2,15m	2 259	2 664	0.179
	25/05/2016	1+900 Eje	Prof. 1,20m	2 060	2 666	0.294
	25/05/2016	1+900 Eje	Prof. 2,20m	2 005	2 666	0.330
	26/05/2016	2+200 Eje	Prof. 0,60m	2 217	2 680	0.209
	26/05/2016	2+200 Eje	Prof. 1,60m	2 195	2 676	0.219
2° Etapa**	24/06/2016	0+950 Aab	Prof. 0,70m	2 190	2 666	0.217
	24/06/2016	0+950 Aab	Prof. 1,70m	1 962	2 666	0.359
	25/06/2016	1+000 Aar	Prof. 2,50m	2 005	2 661	0.327
	25/06/2016	1+000 Aar	Prof. 1,50m	2 164	2 666	0.232
	27/06/2016	1+330 Aab	Prof. 2,60m	2 154	2 658	0.234
	27/06/2016	1+330 Aab	Prof. 1,60m	2 102	2 663	0.267
	28/06/2016	1+480 Aar	Prof. 1,90m	1 970	2 664	0.352
	28/06/2016	1+480 Aar	Prof. 0,90m	2 121	2 666	0.257
	30/06/2016	1+600 Aar	Prof. 2,20m	2 123	2 664	0.255
	30/06/2016	1+600 Aar	Prof. 1,20m	2 005	2 666	0.330
	02/07/2016	1+650 Aab	Prof. 1,00m	1 853	2 666	0.439
	02/07/2016	1+650 Aab	Prof. 2,00m	2 160	2 664	0.233
	05/07/2016	1+950 Aab	Prof. 2,40m	1 978	2 666	0.348
	05/07/2016	1+950 Aab	Prof. 1,40m	2 111	2 666	0.263
06/07/2016	2+050 Aar	Prof. 1,80m	2 148	2 666	0.241	
06/07/2016	2+050 Aar	Prof. 0,80m	2 117	2 666	0.260	

\*Los resultados obtenidos en la progresiva 900 fueron descartados por dudas en su realización

\*\*No se pudo completar la segunda etapa en su totalidad, quedando la progresiva 2+250 Aab sin realización

Los ensayos realizados alcanzan valores normales y hasta en algunos de los casos una relación de vacíos por demás baja para un material natural sin compactar.

Por otra parte han sido realizadas granulometrías de las muestras correspondientes a los ensayos de densidad, las cuales se presentan en la Figura 11.6 (1° etapa), conjuntamente con los límites establecidos para el material 3 B.



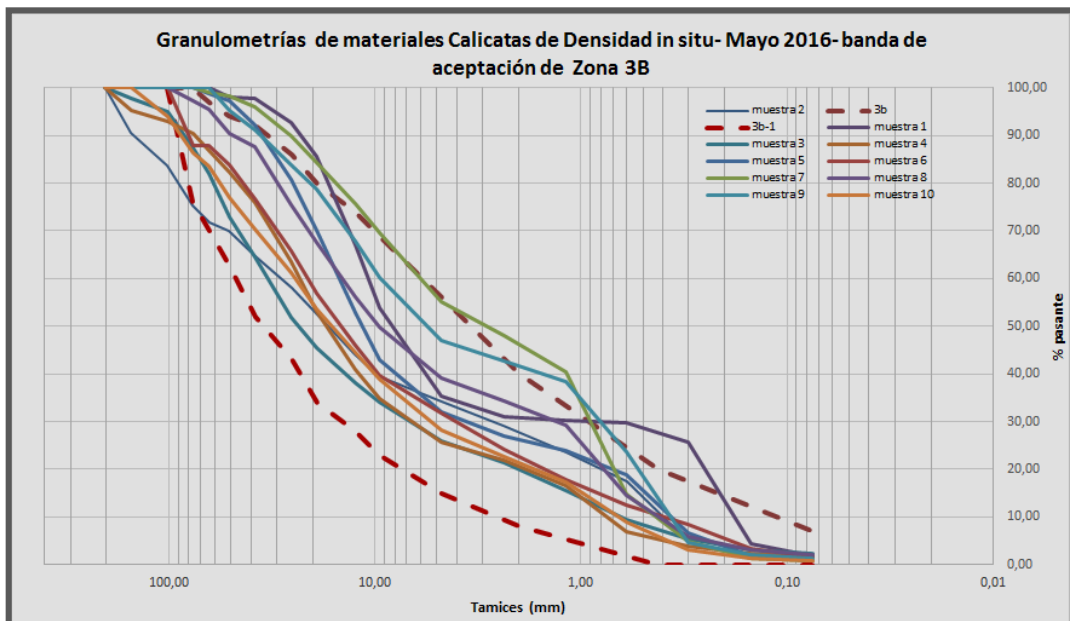


Figura 11.6: Granulometrías obtenidas en las calicatas 1° Etapa realizadas para evaluar densidades naturales

Por su parte, en la Figura 11.7 se muestra una fotografía de los trabajos realizados para evaluación de las densidades naturales.




Figura 11.7: Calicata para determinación de Densidad *In Situ*

### 11.2.3. Principales conclusiones de los trabajos realizados y preparación. Especificación

Resumimos a continuación las principales conclusiones de los trabajos realizados para investigación de la fundación de la Presa Jorge Cepernic.

- a. En los puntos estudiados el manto superior de suelos finos con presencia orgánica se presenta con un espesor relativamente reducido, del orden de 0,5 a 1 m. Esto deberá ser verificado a lo largo de la fundación de la presa.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 205 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

- b. Los ensayos de onda de corte han permitido verificar que los aluviones naturales presentan una buena densidad a una profundidad de 1 m aproximadamente.
- c. Los materiales aluvionales excavados para la realización de las densidades *in situ* son prácticamente similares a los definidos como material 3 B para construcción de la presa, excepto las muestras tomadas en la progresiva 900 donde se identifican granulometrías discontinuas.
- d. Las densidades naturales obtenidas son elevadas y sensiblemente por sobre 2 000 kg/m<sup>3</sup>.
- e. Considerando que este lugar se localiza en cercanías del cauce actual del río, podría asignarse dicha situación a su localización. No obstante esta posibilidad, este aspecto deberá ser estudiado y clarificado.
- f. Los taludes de las calicatas realizadas para la evaluación de las densidades, como se muestra en la Figura 11.7 indican que los materiales naturales presentan una buena densidad.

Atendiendo a las principales conclusiones obtenidas con los ensayos y observaciones realizadas, se ha emitido el documento JC-A.CV-ET.FE-(PR-01-00)-P001-0A: "ESPECIFICACIÓN TÉCNICA-PREPARACIÓN DE LA FUNDACIÓN DE LA PRESA", que reúne los criterios para definir la cota de fundación de la presa. Las condiciones de fundación para la Presa Jorge Cepernic deben considerar dos aspectos principales:

- a. Materiales naturales sobre los cuales se fundará el espaldón de la presa.
- b. Condiciones de densidad de los materiales naturales sobre los cuales se fundará el espaldón de la presa.

#### 11.2.4. Materiales Naturales para Fundación

Atendiendo a que los materiales aluvionales naturales, donde deberá ser fundada la presa Jorge Cepernic, son de similares características que los materiales que serán utilizados para su construcción, no será necesario adoptar una profundidad mínima de fundación que involucre estos materiales, sino que la profundidad podrá ser definida por sus características granulométricas y valores de densidad *in situ*.

En tal sentido, entendemos que las condiciones de los materiales de fundación deberían considerar principalmente el retiro del material fino que aflora en la superficie, con presencia de vegetación y materia orgánica.

Conjuntamente debe analizarse las características granulométricas de la fundación, entendiéndose que deben ser cumplidas dos condiciones:

- a. Que el contenido de material pasante tamiz 200 no sea superior al 8 %.
- b. Que la fracción arenas de los materiales naturales no supere el 50 %, midiendo la misma en el tamiz correspondiente a 2 mm. Corresponde a un valor entre 60-62 % del tamiz 4 (4,75 mm) de separación entre arenas y gravas.


La aplicación de los criterios mencionados implica una aceptación granulométrica más flexible que la adoptada para la definición del material 3 B con el cual se construirá la presa.

El criterio expresado resulta válido en la medida que dentro de la profundidad de excavación, aún por debajo de un nivel superior de gravas arenosas, puedan existir estratos arenosos continuos de materiales finos los cuales, de existir, deberán ser estudiados.

#### 11.3. Análisis de las condiciones de los mantos arenosos. Potencial de licuefacción

Las investigaciones desarrolladas en los materiales aluviales que cubren el valle del río en el eje, muestran la presencia de mantos de arena fina intercaladas en las gravas (En en [ANEXO 43](#) se pueden ver tres perfiles transversales desde el eje del muro colado hasta el eje de la presa). Debido a la preocupación por el potencial de licuefacción de estas arenas y su impacto en la estabilidad de la fundación de la presa, se ha ejecutado un estudio específico sobre este tema.

Durante la campaña de 2006 se realizaron ensayos de penetración Standard (SPT) en veinticuatro perforaciones algunas de las cuales están situadas en la planta de la presa. Además, se ejecutaron varias determinaciones de velocidad de ondas de corte mediante ensayos *Cross-Hole* (CH) (ESIN IATASA). En la

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 206 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

campaña 2015-2016 se realizaron prospecciones con ondas superficiales (*MASW*) en dos campañas y 4 ensayos *CH*.

Si bien los métodos tienen distintos principios, el desarrollo de la Ingeniería Geotécnica Sísmica en los últimos cincuenta años ha consolidado metodologías simplificadas basadas en *SPT*, *CPT* y  $V_s$  (*Youd et al 2001*).

En resumen para analizar los mantos arenosos detectados en el valle del río en cuanto a su compacidad y potencial de licuefacción se tomaron en cuenta los siguientes estudios:

- Estudios mediante *SPT* del año 2006
- Ensayos *MASW* 2015 y 2016
- Ensayos *Cross-Hole* 2006 y 2016

En el Informe JC-A.CV-MT.GT-(PR-00-00)-P002-0A se analiza este tema específico, el cual se encuentra en el [ANEXO 39](#): “Estudios de licuefacción”. En los siguientes puntos se analiza cada uno de los estudios emprendidos.

### 11.3.1. Estudios con *SPT*

Los ensayos de penetración Standard se han realizado en dos perforaciones situadas en margen izquierda y en ocho situadas en el valle del río en la margen derecha. En el ensayo se computa el número de golpes normalizado,  $N$  (*SPT*), para introducir 30 cm de un sacamuestras en el suelo. Si bien el sacamuestra tiene 45 cm de longitud, los primeros 15 cm se pueden contar pero no se tienen en cuenta para definir el  $N$  (*SPT*). Este ensayo es particularmente apto para arenas, mientras que en el caso de gravas no se emplea pues se producen distorsiones e incluso rotura del sacamuestra.

Es de destacar que cuando se realizan ensayos bajo el nivel freático se puede producir el sifonaje de la perforación, lo que genera un valor erróneo del ensayo.

Para el año 2016 se programó también realizar una campaña de estudios con estos ensayos, pero, a la luz de los resultados de los estudios de *MASW* y *Cross-Hole*, como de los resultados de la campaña 2016, se decidió cancelarlo. En el Informe antes citado se incluye también una justificación de esta cancelación.

En el cuadro siguiente las referencias son las siguientes:

- $N = 100$ : Rechazo
- $N$  (*SPT*): número de golpes

En la Tabla 11.6 se resumen los valores encontrados. Se remarcaron los estratos arenosos en naranja.

**Tabla 11.6: Resumen de ensayos de penetración Standard (SPT) de 2006**

Sondeo	Profundidad	Cota	NF	Descripción	N (SPT)
BDC-A	4	82.49	7.5	rodados	42
	8	78.49	7.5	arena fina	38
	12	74.49	7.5	arena parda	45
	13	73.49	7.5	rodados	45
BDC-B	4	82.70	4.9	grava	39
	5	81.70	4.9	rodados	45
	8	78.70	4.9	arena media	46
	9	77.70	4.9	arena c/ gravas	16
	12	74.70	4.9	arena pardo	42
	15.45	71.25	4.9	arena pardo	43
BDC-C	4	82.80	6.02	grava	41
	8	78.80	6.02	arena parda	43
	12	74.80	6.02	arena parda	30
	16	70.80	6.02	arena fina	49
	17.7	69.10	6.02	arena fina	20
BDC-D	4	78.00	5	gravas	22
	6	76.00	5	arenas gris	6
	8	74.00	5	arenas gris	18
	11	71.00	5	gravas	46
	16	66.00	5	gravas	36
BDC-E	4	82.65	9	rodados	41
	8	78.65	9	arena parda	31
	12	74.65	9	grava	42
	14	72.65	9	grava	23
BDC-F	4	83.09	6.1	rodados	41
	8	79.09	6.1	grava	35
	12	75.09	6.1	arena parda	48
	14.8	72.29	6.1	rodados	33
BDC-G	4	82.00	4.35	rodados	17
	8	78.00	4.35	arena fina	15
	11	75.00	4.35	arena c/gravas	40
BDC-16	4	79.89	2.05	arenas pardas	14
	9.1	74.79	2.05	arcilitas	100
BI-9	8	79.43	4.75	arena parda	10
	17	71.43	4.75	arena parda	35
BI-10	4	80.84	4.85	grava gruesa	100
	8	76.84	4.85	arena parda	18
	10.85	73.99	4.85	limolita	20

### 11.3.2. Prospección geofísica con ondas de corte (CH y MASW)

En la campaña de 2006 se realizaron 4 ensayos Cross-Hole (CH), dos en margen izquierda (Figura 11.8) y dos en margen derecha (Figura 11.9 y Figura 11.10). De manera complementaria, se realizaron 4 ensayos más en el año 2016.

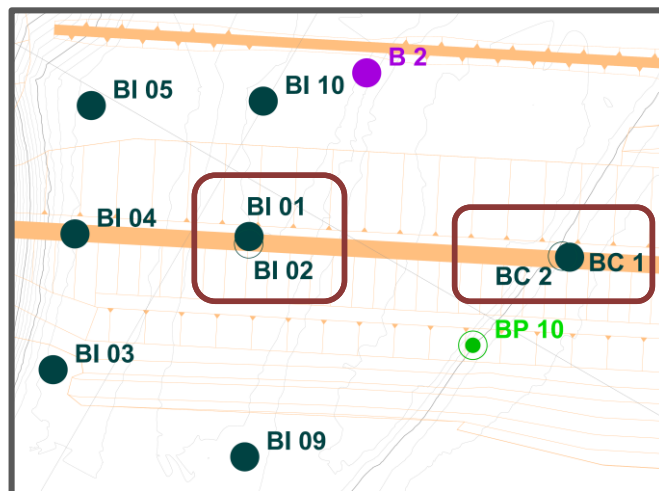


Figura 11.8: Ubicación de los ensayos *Cross-Hole* en la Margen Izquierda en los sondeos BI 01-02 y BC 1-2 de la campaña 2006

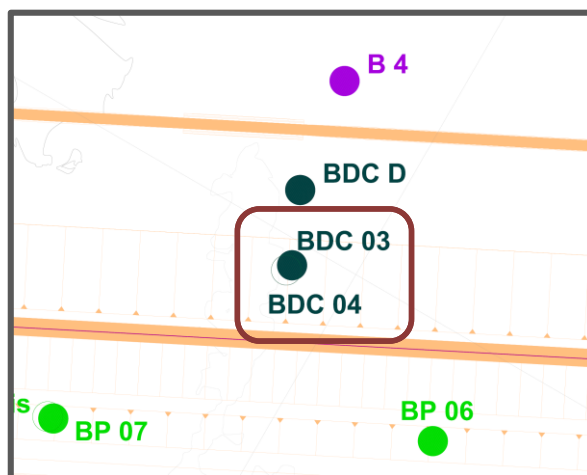


Figura 11.9: Ubicación del ensayo *Cross-Hole* en el sondeo BDC 03-04 de la campaña 2006 en la zona del valle del río

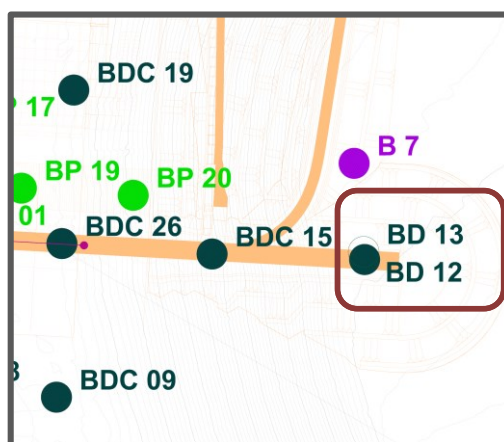


Figura 11.10: Ubicación del ensayo *Cross-Hole* en el sondeo BD 12-13 de la campaña 2006 en la margen derecha

En 2016 se han ejecutado varios ensayos de prospección empleando MASW (Ver [ANEXO 19](#): "Coordenadas y valores MASW" y [ANEXO 20](#): "Plano MASW"). Estos se realizaron en el valle en la margen derecha, tal como están señalados en la Figura 11.11.

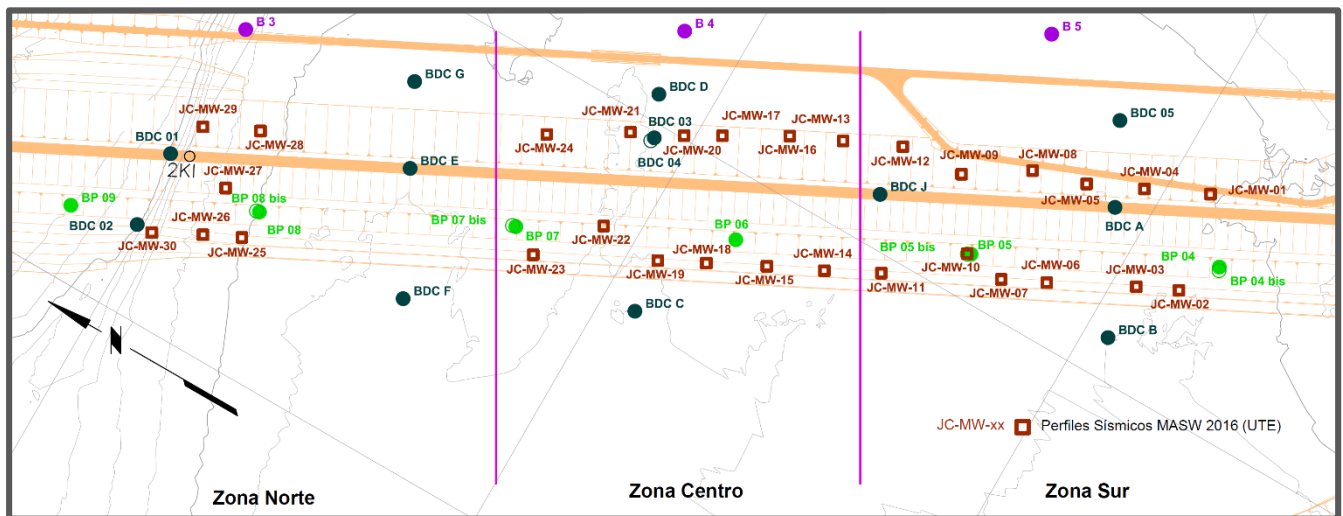


Figura 11.11: Ubicación de perfiles de MASW en Margen derecha Campaña 2015 (en cuadraditos marrones)


### 11.3.3. Análisis de los resultados con Ensayos de Penetración Standard

La metodología de evaluación de los ensayos SPT para evaluar el potencial de licuación requiere la normalización de los valores resultantes, y varias correcciones descritas en el Anexo 1 del informe JC-A.CV-MT.GT-(PR-00-00)-P002-0A: "Caracterización de Resistencia a Licuación" (este informe se encuentra en el [ANEXO 39](#): "Estudios de licuefacción").

Para determinar el Factor de Seguridad ( $F_s$ ) a la licuación se compara la demanda sísmica tanto del SBO, sismo básico de operación, como del SV, sismo de Seguridad con la resistencia cíclica determinada en el ensayo SPT. En la Tabla 11.7 se presentan los resultados de la valoración, mientras que en la Figura 11.14 se han graficado los ensayos que presentan menor resistencia ( $N_{1(60)cs} < 40$ ).

Tabla 11.7: Determinación del  $F_s$  a la licuación por medio de SPT

Sondeo	Profundidad m	Descripción	N	$N_{1(60)cs}$	$CRR_{7.5}$	SBO M=5.5		SV M=6.0	
						CSR	$F_s$	CSR	$F_s$
BDC-A	4	rodados	42	50		0.019		0.156	
	8	arena fina	38	33		0.020		0.161	
	12	arena parda	45	35		0.024		0.194	
	13	rodados	45	34		0.025		0.200	
BDC-B	4	grava	39	50		0.017		0.137	
	5	rodados	45	55		0.019		0.154	
	8	arena media	46	50		0.024		0.192	
	9	arena c/ gravas	16	17	0.178	0.025	12.11	0.20	1.31
	12	arena pardo	42	40		0.027		0.22	
	15.45	arena pardo	43	36		0.029		0.24	
BDC-C	4	grava	41	50		0.015		0.12	
	8	arena parda	43	45		0.022		0.18	
	12	arena parda	30	27	0.344	0.026	22.72	0.21	2.46
	16	arena fina	49	39		0.028		0.23	
	17.7	arena fina	20	15	0.164	0.029	9.59	0.23	1.04
BDC-D	4	gravas	22	25	0.291	0.017	28.62	0.14	3.13
	6	arenas gris	6	6	0.082	0.021	6.48	0.17	0.71
	8	arenas gris	18	17	0.185	0.024	12.90	0.19	1.41
	11	gravas	46	40		0.027		0.22	
	16	gravas	36	27	0.333	0.030	18.45	0.24	2.02
BDC-E	4	rodados	41	39		0.012		0.09	
	8	arena parda	31	26	0.306	0.018	28.36	0.15	3.10
	12	grava	42	31		0.022		0.18	
	14	grava	23	16	0.170	0.024	12.01	0.19	1.31

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 210 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

Sondeo	Profundidad m	Descripción	N	N <sub>1(60)cs</sub>	CRR <sub>7.5</sub>	SBO M=5.5		SV M=6.0	
						CSR	F <sub>s</sub>	CSR	F <sub>s</sub>
BDC-F	4	rodados	41	44		0.015		0.12	
	8	grava	35	32		0.022		0.18	
	12	arena parda	48	39		0.026		0.21	
	14.8	rodados	33	25	0.283	0.028	16.99	0.23	1.86
BDC-G	4	rodados	17	20	0.214	0.019	19.48	0.15	2.13
	8	arena fina	15	15	0.159	0.026	10.49	0.20	1.15
	11	arena c/gravas	40	36		0.028		0.23	
BDC-16	4	arenas pardas	14	19	0.198	0.026	12.78	0.21	1.40
	9.1	arcilitas	100	105		0.033		0.26	
BI-9	8	arena parda	10	10	0.111	0.025	7.58	0.20	0.83
	17	arena parda	35	26	0.303	0.031	16.32	0.25	1.79
BI-10	4	grava gruesa	100	114		0.017		0.14	
	8	arena parda	18	17	0.186	0.024	12.82	0.20	1.40
	10.85	limolita	20	18	0.187	0.027	11.52	0.22	1.26

#### Referencias:

- N: número de golpes original
- N<sub>1(60)cs</sub>: número de golpes normalizado por profundidad, energía, para arenas sin finos.
- CRR<sub>7.5</sub>: resistencia cíclica a la licuación para una arena bajo acción de sismo con Mw = 7.5
- FS: CRR/CSR Factor de Seguridad sin datos implica suelos dinámicamente estables, con N<sub>1(60)cs</sub> > 30

Si bien el Anexo 1 del documento JC-A.CV-MT.GT-(PR-00-00)-P002-0A: "Caracterización de Resistencia a Licuación", contiene el esquema de cálculo, a continuación exponemos los pasos principales del cálculo.

El potencial de licuación puede ser analizado mediante ensayos in situ. La metodología de evaluación ha evolucionado a partir de *Seed and Idriss (1971)* y ha sido consensuada por *Youd et al (2001)*. La última actualización es de *Boulanger and Idriss (2014)* que amplía a *Idriss and Boulanger (2010)*.

La metodología incluye la definición del umbral de la licuación y la estimación de las propiedades de los suelos licuados. Los pasos son los siguientes:

- a. Cálculo de la demanda sísmica materializada en la tensión de corte cíclica equivalente inducida por un sismo. Esto está definido por:

$$\tau_{cyc} = 0,65 \frac{a_{max}}{g} \sigma_v r_d = CSR \sigma'_{v0}$$

donde:

CSR: razón de tensiones cíclica,

$\sigma'_{v0}$ : tensión vertical efectiva inicial,

$a_{max}$ : aceleración máxima superficial,

g: aceleración de la gravedad,

$\sigma_v$ : tensión vertical total,

$r_d$ : factor de reducción tensional a la profundidad de estudio


- b. Cálculo de la tensión de corte cíclica requerida para causar licuación (capacidad)

$$\tau_{cyc,L} = CSR_L \sigma'_{v0}$$

donde:

$\sigma'_{v0}$ : tensión vertical efectiva inicial,

CSR<sub>L</sub> o CRR razón de tensiones cíclica, puede ser determinada por ensayo de penetración dinámica SPT o estática CPT.

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 211 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

También se puede determinar por medio de la Velocidad de ondas de corte (Andrus and Stokoe, 2000) y por la Intensidad de Arias (Kayen and Mitchell, 1997). En todos los casos se normalizan los valores obtenidos de N, número de golpes para penetrar 30 cm, en el caso del SPT.

- c. El valor N del ensayo SPT, obtenido en el campo, debe multiplicarse por una serie de factores de corrección, para encontrar el N 60%, también expresado  $N_{1(60)}$  Así pues se obtendrá un valor:

$$N_{1(60\%)} = N \times C_e \times C_n \times C_r \times C_s$$

donde

$N_{1(60\%)}$  = resultado del ensayo SPT normalizado,

N: número de golpes para penetrar 30 cm con el sacamuestra,

$C_e$ : corrección por energía,

$C_n$ : corrección por sobrecarga diferente de 100 kPa=1.0 Kg/cm<sup>2</sup>,

$C_r$ : corrección por variación en la longitud de las varillas,

$C_s$ : corrección por inexistencia de camisa interior.

Cuando la Magnitud es diferente a  $M = 7.5$  es necesario usar la corrección dada en el Anexo 1 del documento JC-A.CV-MT.GT-(PR-00-00)-P002-0A.

- d. El factor de seguridad contra la licuación está dado por la ecuación:

$$FS = \frac{CRR}{CSR}$$

donde

$$CRR = CRR_{7,5} K_\sigma K_a MSF$$

$$CSR = 0,65 A_s \left( \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) r_d$$

$$CRR_{7,5} = \text{resistencia cíclica para un sismo de } M = 7,5$$

- e. Experiencia empírica

La Figura 11.12 representa la experiencia empírica del análisis de casos de licuación basados en el procedimiento previamente desarrollado. En este caso se refiere al ensayo SPT. Existen gráficos similares para el CPT y  $V_s$ . Los límites determinadas por las curvas 1 y 2 son las que se consideran más ajustadas a los datos de campo. Difieren levemente de la postulada por Cetin et al (2004). Esto ha sido analizado por Idriss y Boulanger (2010).



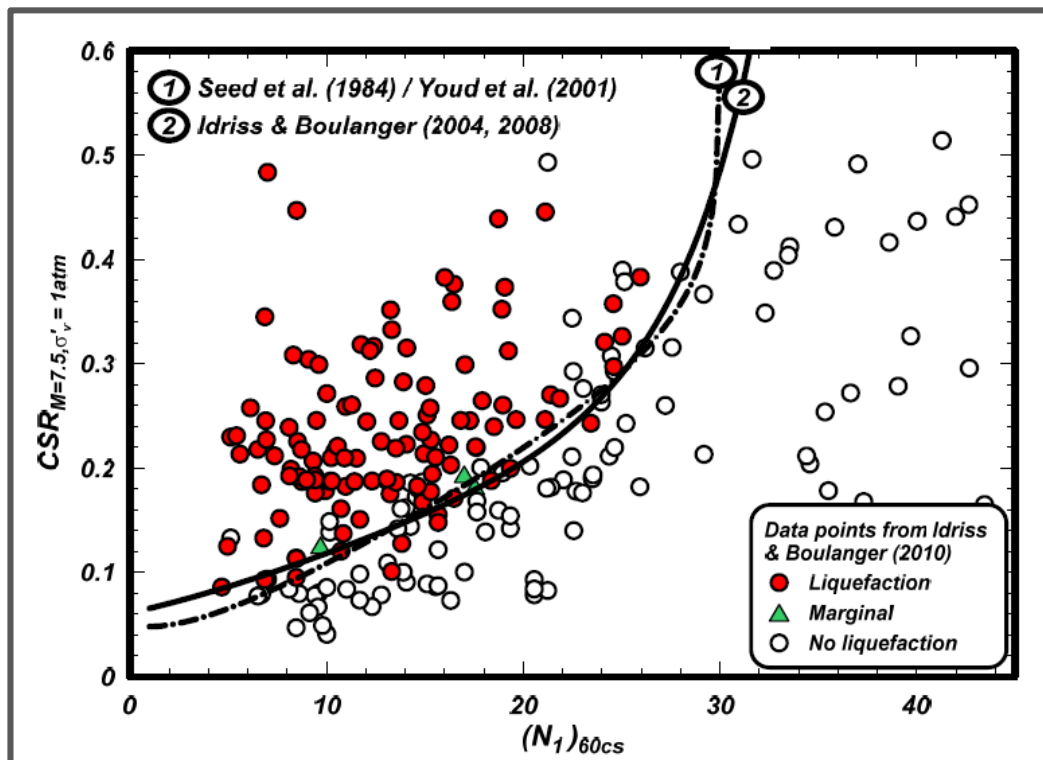


Figura 11.12: Experiencia recolectada por casos donde se ha producido licuación

Cuando  $(N_1)_{60cs}$  supera el valor de 30, no hay posibilidad de generar licuación y el  $F_s$  carece de significado en la evaluación.

f. Criterio para determinar tipo de comportamiento (Olson y Stark 2003)

Se puede determinar si el suelo tendrá un comportamiento contractivo o dilatante siguiendo el criterio de Olson y Stark. En caso de ser contractivo, lado izquierdo de la curva, en caso de licuación serán susceptible a fluir (flow failure).

Se puede emplear para el caso de contar con ensayos de SPT, la fórmula:

$$(\sigma'_{v0})_{SPT-Boundary} = 9,58 \times 10^{-4} (N'_{1,6})^{4,79}$$

donde:

$N'_{1,6}$  = resultado del ensayo SPT normalizado,

$\sigma'_{v0}$ : tensión vertical efectiva inicial

La Figura 11.13 representa la fórmula y la delimitación de las zonas contractiva y dilatante

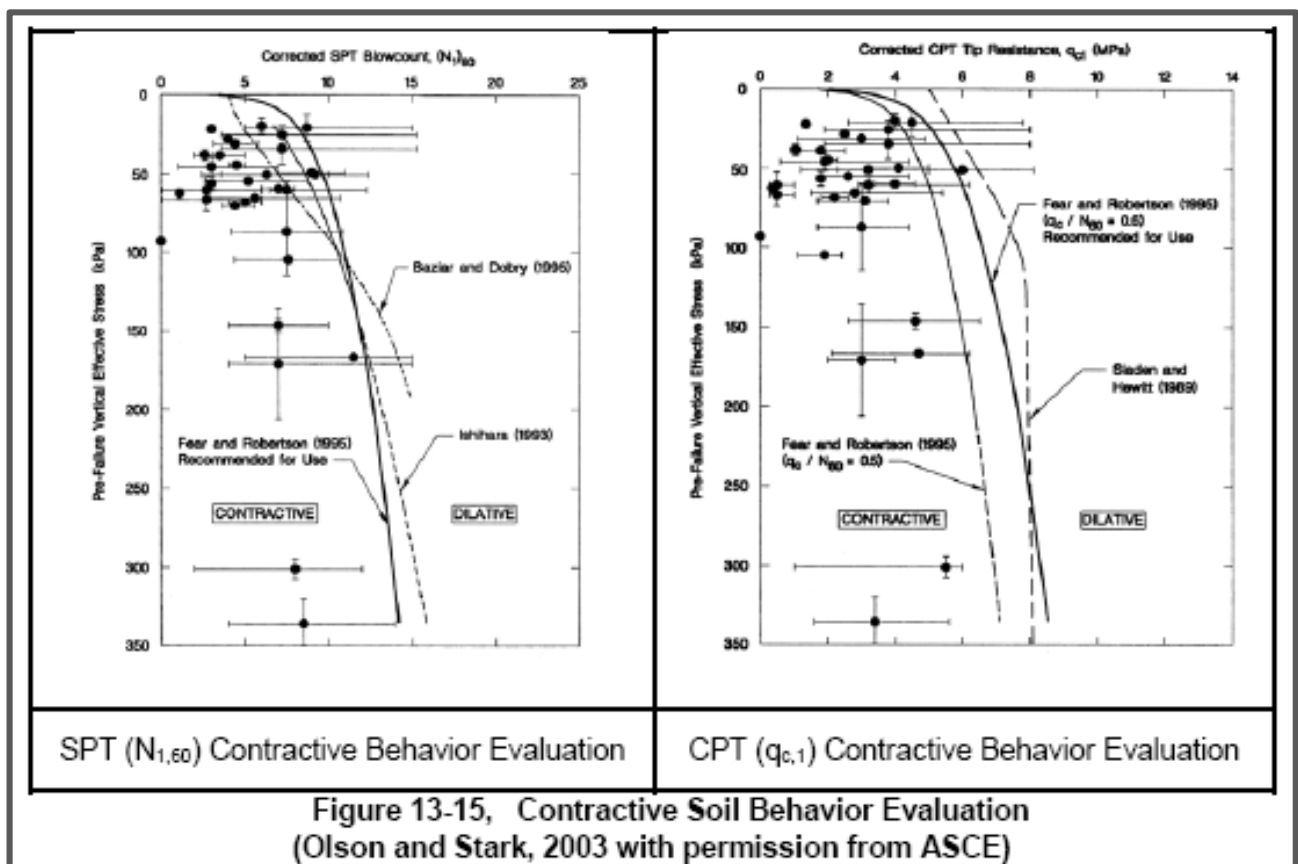


Figura 11.13: Límites de comportamiento contractivo

### 11.3.3.1. Conclusiones del estudio de SPT

Las conclusiones son las siguientes:

- En la determinación del potencial de licuación se han tenido en cuenta los pasos metodológicos antes enunciados y reconocidos técnicamente.
- Los ensayos de laboratorio no son completos en todas las perforaciones. En general, los valores de PT200 son menores a 5%, por lo que se trata de suelos sin finos.
- Las características particulares de los ensayos de penetración no son conocidas. Por esa razón se han tomados las correcciones usadas en otros proyectos por la misma subcontratista.
- El nivel freático adoptado es el que figura en los registros de perforación
- Las magnitudes de los sismos adoptados y las aceleraciones para SBO y SV fueron extraídos del informe de riesgo sísmico( A partir de de esas magnitudes se calcularon las correcciones de escalamiento por magnitud MSF siguiendo el criterio de Idriss y Boulanger cuya ecuación está en el Anexo 1 del documento JC-A.CV-MT.GT-(PR-00-00)-P002-0A (Figura A2).

Sismo	Mw	MSF	$\alpha_{max}$ (g)
SBO	5.5	1.686	0.03
SV	6.0	1.481	0.24

- Los resultados indican que para el SBO no hay ningún punto que refleje inestabilidad.
- En el caso de SV hay dos puntos. Uno corresponde a BDC D en margen derecha y el otro a BI 09 en margen izquierda. Al respecto, el punto de margen izquierda es marginal y si en lugar de haber usado la curva de *Youd et al 2001*, se hubiera empleado la de *Idriss y Boulanger 2014*, el FS sería más alto. (Ambos criterios se muestran en el Anexo 1 del documento JC-A.CV-MT.GT-(PR-00-00)-P002-0A)

- h. El punto de margen derecha no tiene registro de ensayos de laboratorio por lo que no se conoce si tiene contenido de finos que se han detectado en las perforaciones BDC B y BDC C.
- i. Todos los demás puntos indican que no hay problemas de inestabilidad por licuación.

En la Figura 11.14 se ha colocado como referencia la curva de CRR para sismo de Magnitud 7.5 que ha sido escalada para los sismos SBO y SV. Las mediciones para esas solicitaciones se deben comparar con las respectivas curvas (OBEs con SBO y SVs con SV).

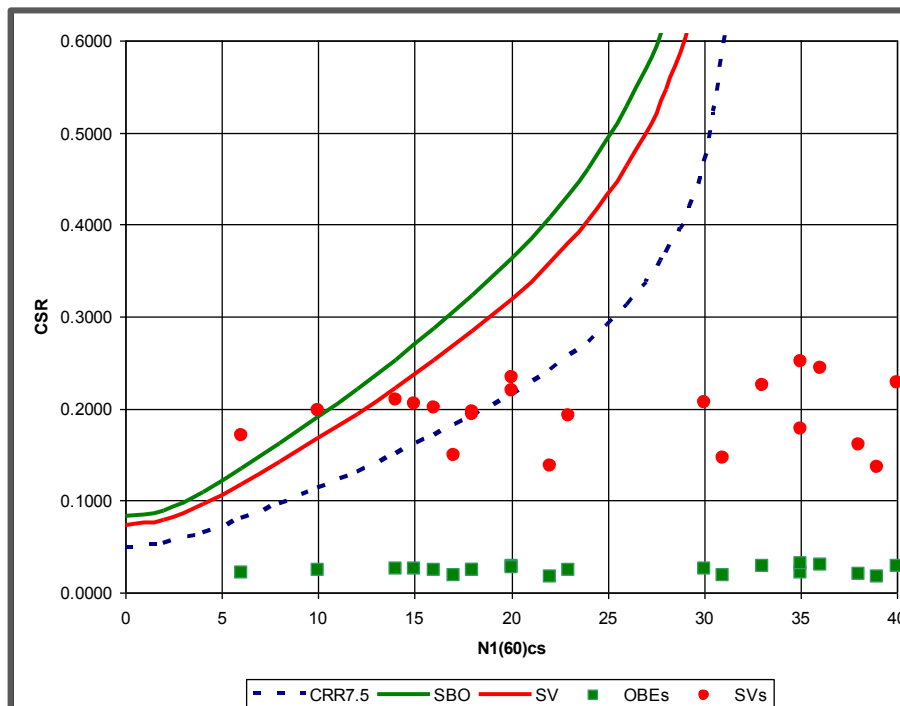


Figura 11.14: Potencial de licuación bajo la presa

### 11.3.4. Análisis de los resultados con Ensayos de *MASW* y *Cross-Hole*

Los pasos del análisis son los siguientes:

- a. Normalización de la velocidad de onda de corte de  $V_s$  a  $V_{s1}$  en función de la tapada.

$$V_{s1} = V_s \left( \frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0,25}$$

donde

$P_a$  = presión atmosférica

$\sigma'_{v0}$  = tensión vertical efectiva inicial.

- b. Comparación de los valores normalizados con la curva CCR para Magnitud de 7,5 y sismos SBO y SV.

En el caso de la curva Standard, es de  $V_s = 215$  m/s.

Para el SBO se ha tomado  $V_s = 180$  m/s y para el SV,  $V_s = 185$  m/s para los entornos calculados de CSR (Ver Figura 11.15).

La Tabla de cálculo se muestra en el Anexo correspondiente del documento JC-A.CV-MT.GT-(PR-00-00)-P002-0A), antes citado.

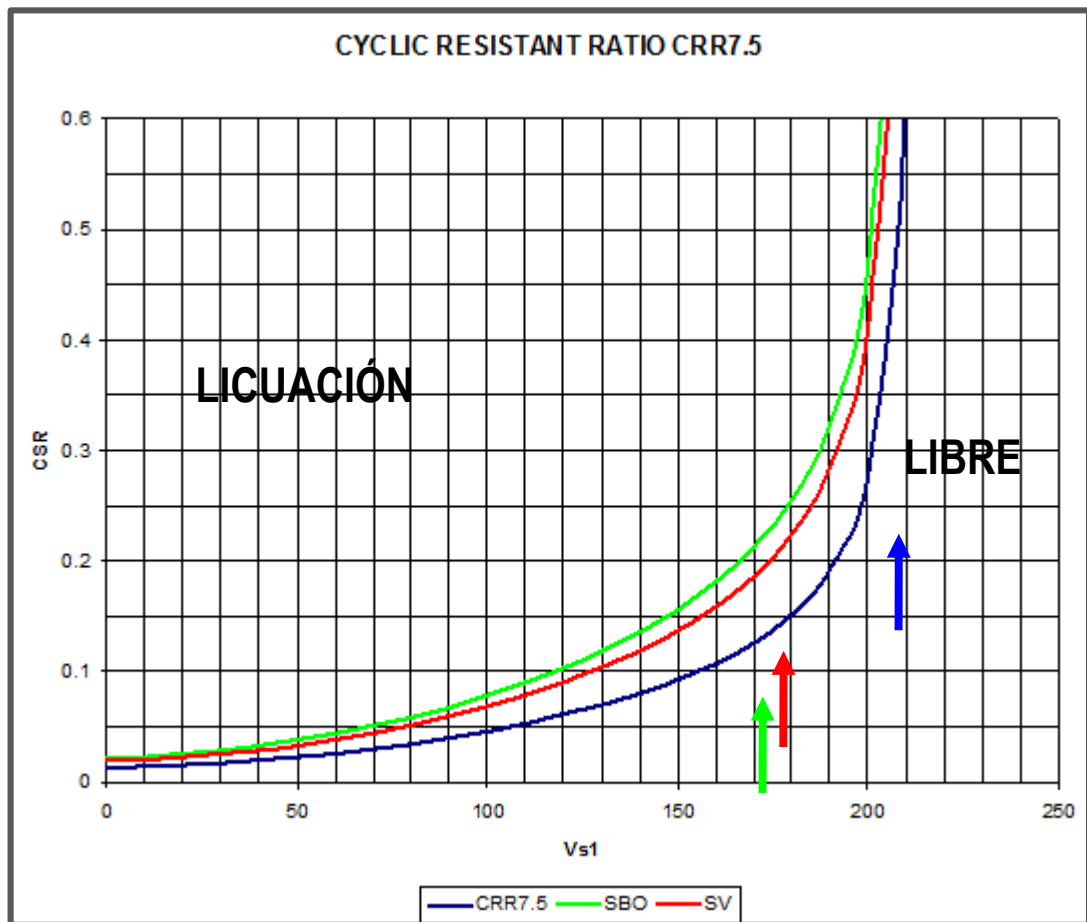


Figura 11.15: Método simplificado basado en ondas de corte con límites en función de  $M_w$  (Youd et al 2001)

En el análisis se han considerado tanto los ensayos  $CH$  de margen izquierda y derecha, y los ensayos  $MASW$  que únicamente se han determinado en el valle del río en la margen derecha.

#### 11.3.4.1. Margen izquierda

Los valores resultantes de la velocidad  $V_{s1}$  se comparan con los límites en la Figura 11.16. Se han incluido los límites de la curva Standard y del SV. Corresponde a los sondeos  $CH$ , siendo que uno de ellos ( $CH$  BC1-2) se encuentra sobre el cauce del río, mientras que el otro está en la planicie.

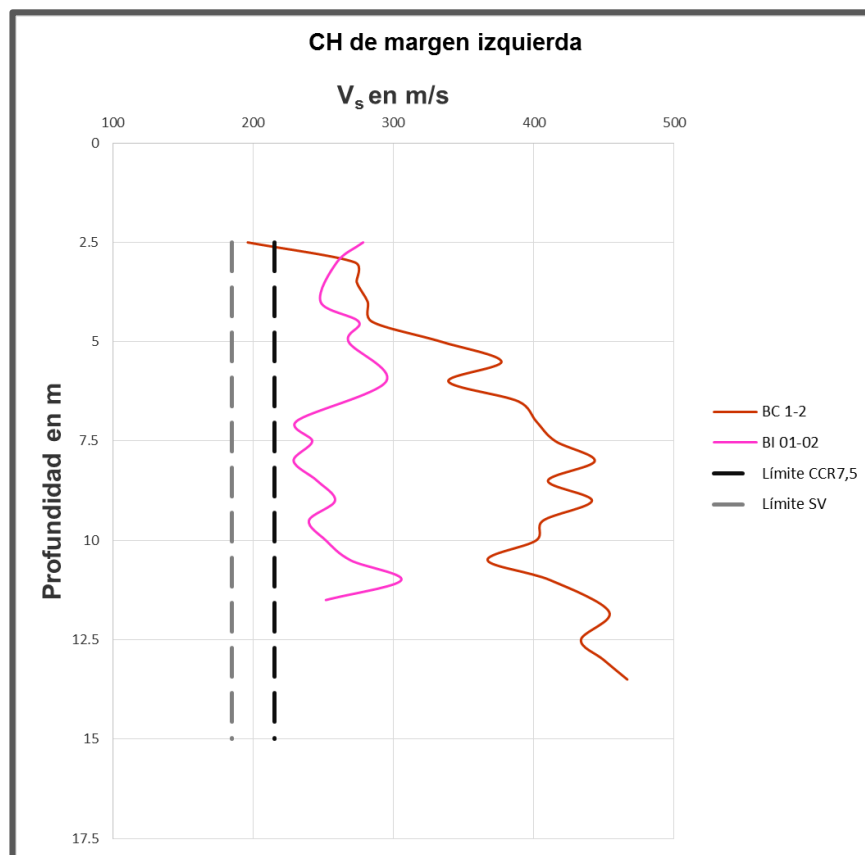


Figura 11.16: Variación de  $V_{s1}$  en profundidad en margen izquierda.

### 11.3.4.2. Margen derecha

La margen derecha es muy extensa en longitud por lo que se ha dividido en tres sectores, norte, central y sur. En las Figura 11.17, Figura 11.18 y Figura 11.19 se presentan los resultados, con los límites para el SV.

### Sector Norte

En este sector solamente existen ensayos MASW.

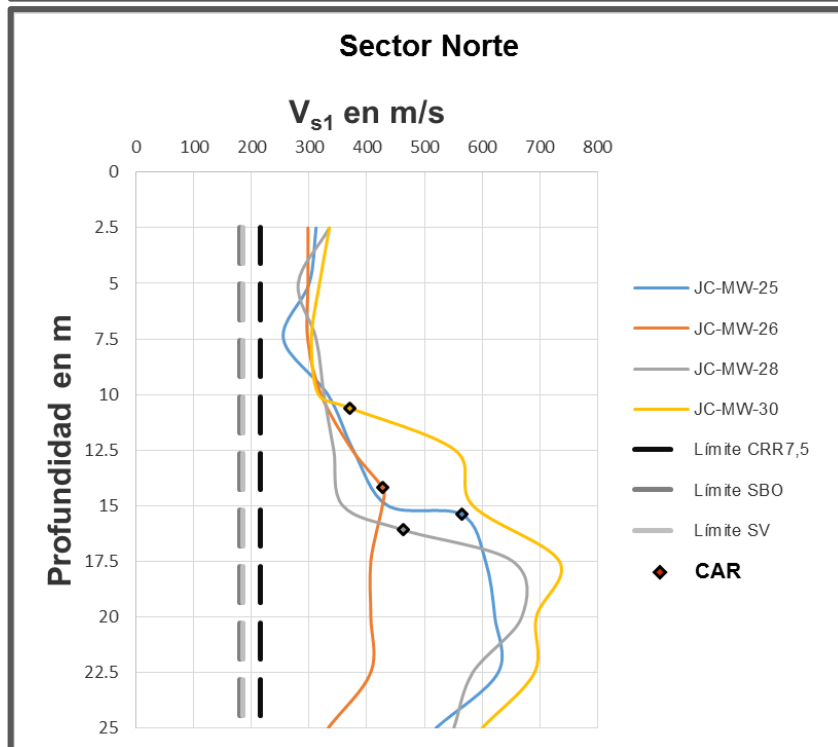
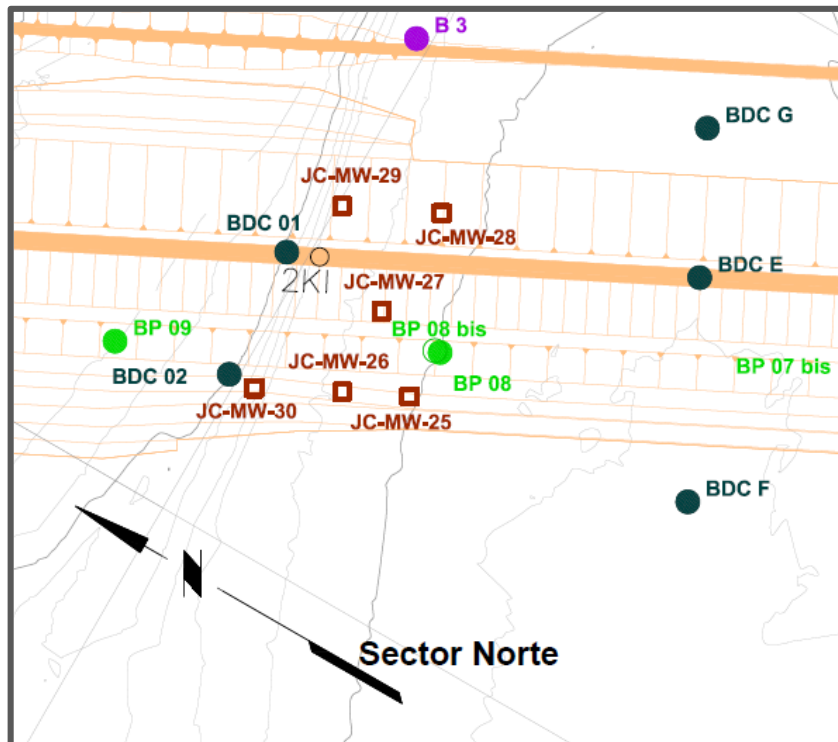


Figura 11.17: Variación de  $V_{s1}$  en profundidad en sector norte.

### Sector Central

En este sector, existen varios ensayos de MASW y un ensayo CH que se ubica en las proximidades de JCMW 21 y JCMW20 y cerca de la perforación BDC D. En esta perforación se realizaron ensayos de penetración y en uno de ellos, a 6 m, el FS es menor que 1.

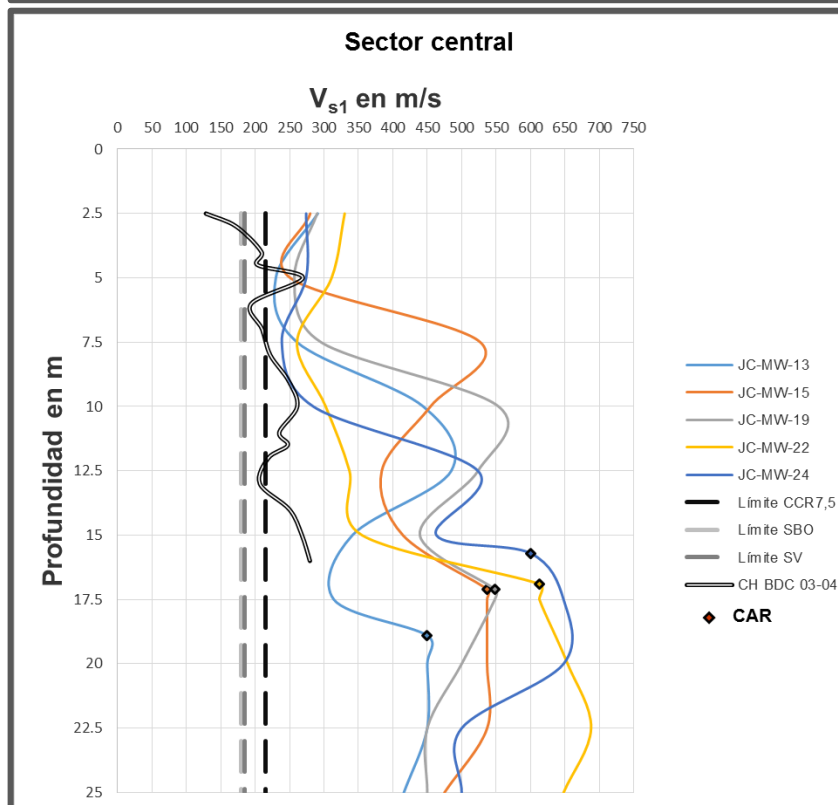
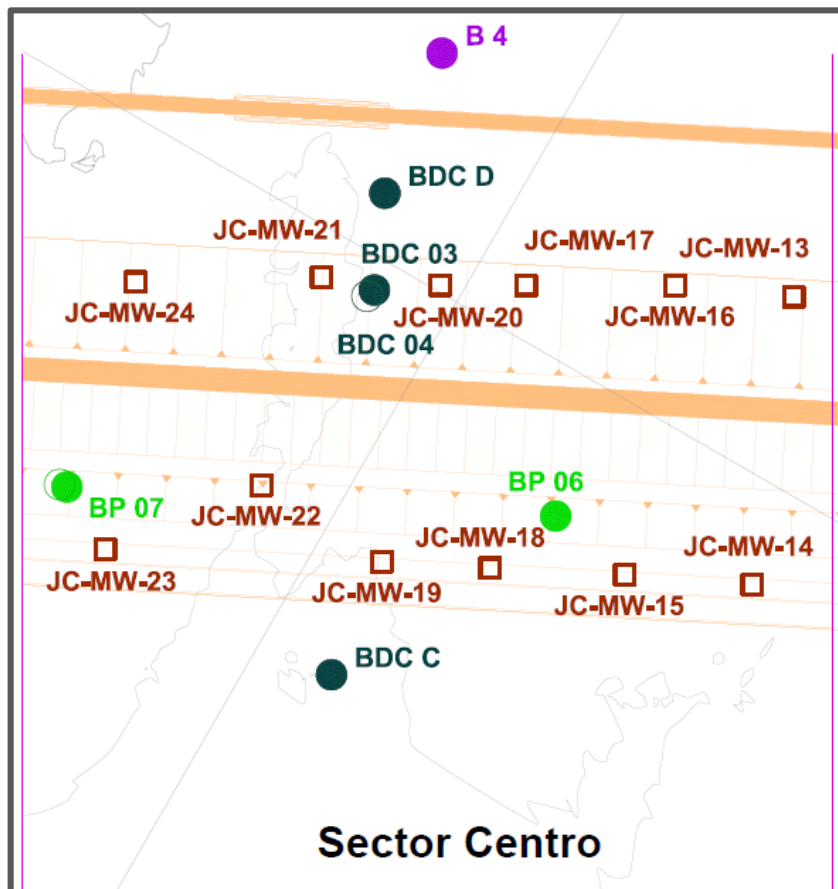


Figura 11.18: Variación de  $V_{s1}$  en profundidad en sector central.

### Sector Sur

En el sector Sur, solamente existen varios ensayos de MASW y un CH situados al sur de la central.

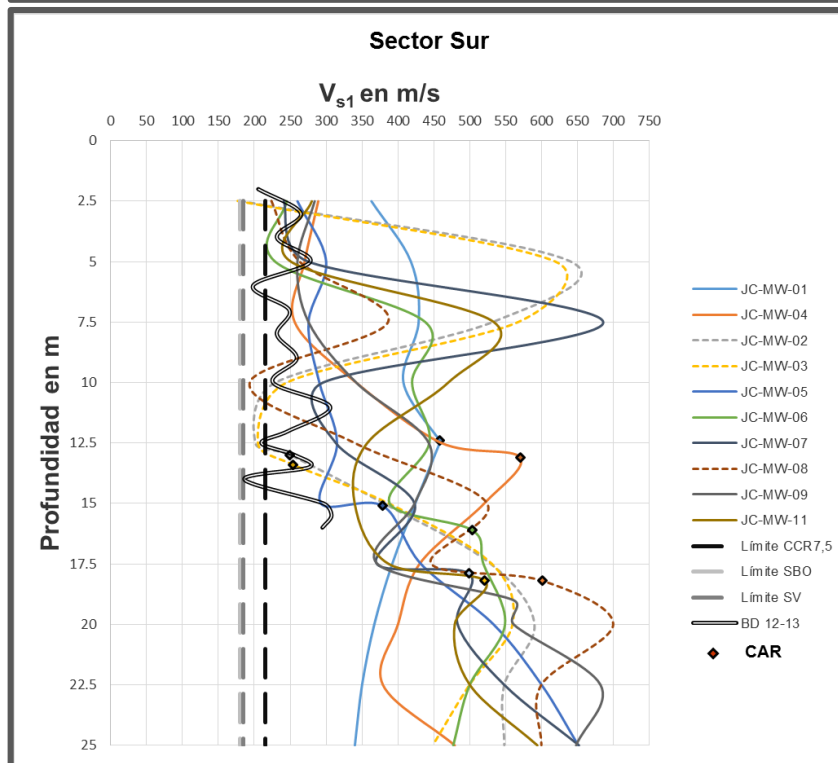
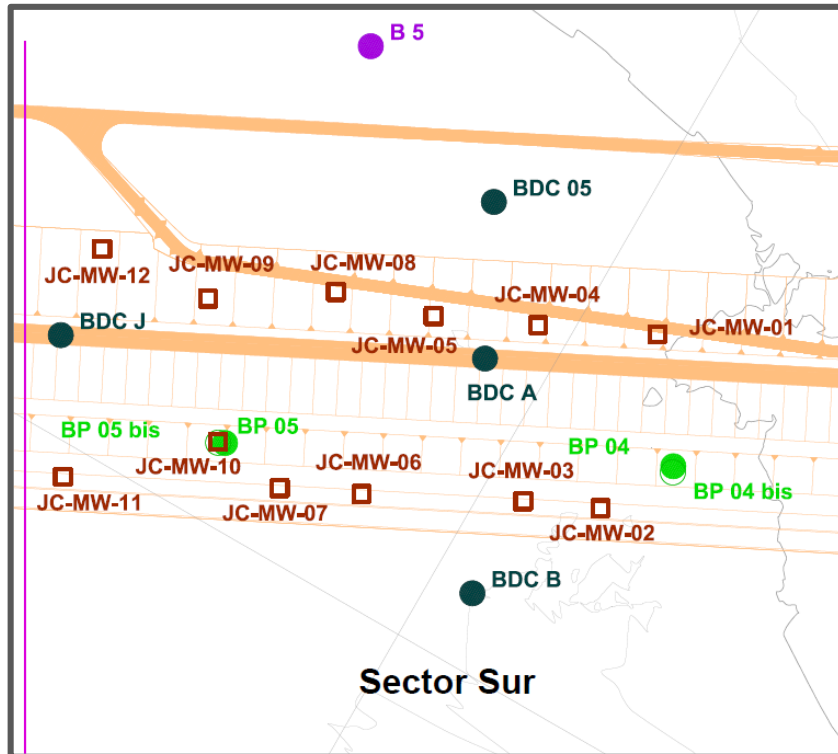


Figura 11.19: Variación de  $V_{s1}$  en profundidad en sector sur.



### 11.3.5. Conclusiones de estudios *MASW* y *CROSS-HOLE*

Los resultados de la evaluación del potencial de licuación basado en velocidad de ondas de corte indican que cuando se emplean *MASW*, los niveles de  $V_s$  están por encima de los límites. Existe solo un caso en los ensayos *CH* donde en una determinación se observa un  $F_s$  inferior a uno.

En el año 2016 se realizaron cuatro Cross-Hole, en los sondeos BP 04, BP 05, BP 07 y BP 08. Respecto a las velocidades de las ondas sísmicas, los valores son mayores a los de la campaña 2006. En la Figura 11.20 y Figura 11.21 se muestran los resultados de las velocidades  $V_s$  que son las que se usaron en todos los cálculos debido a que no sufren ninguna variación respecto a la presencia de agua.

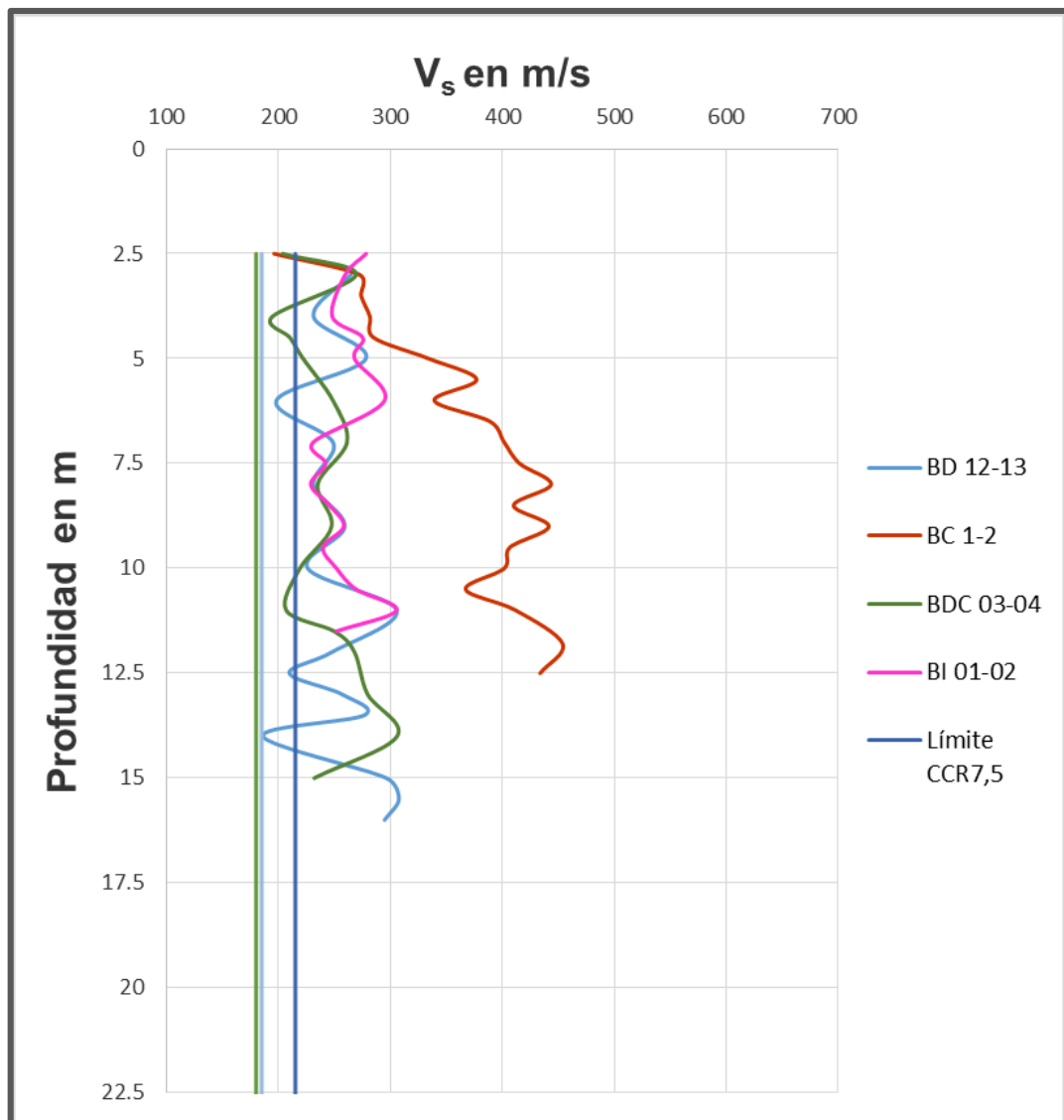


Figura 11.20: Valores de la onda  $V_s$  de la campaña 2006

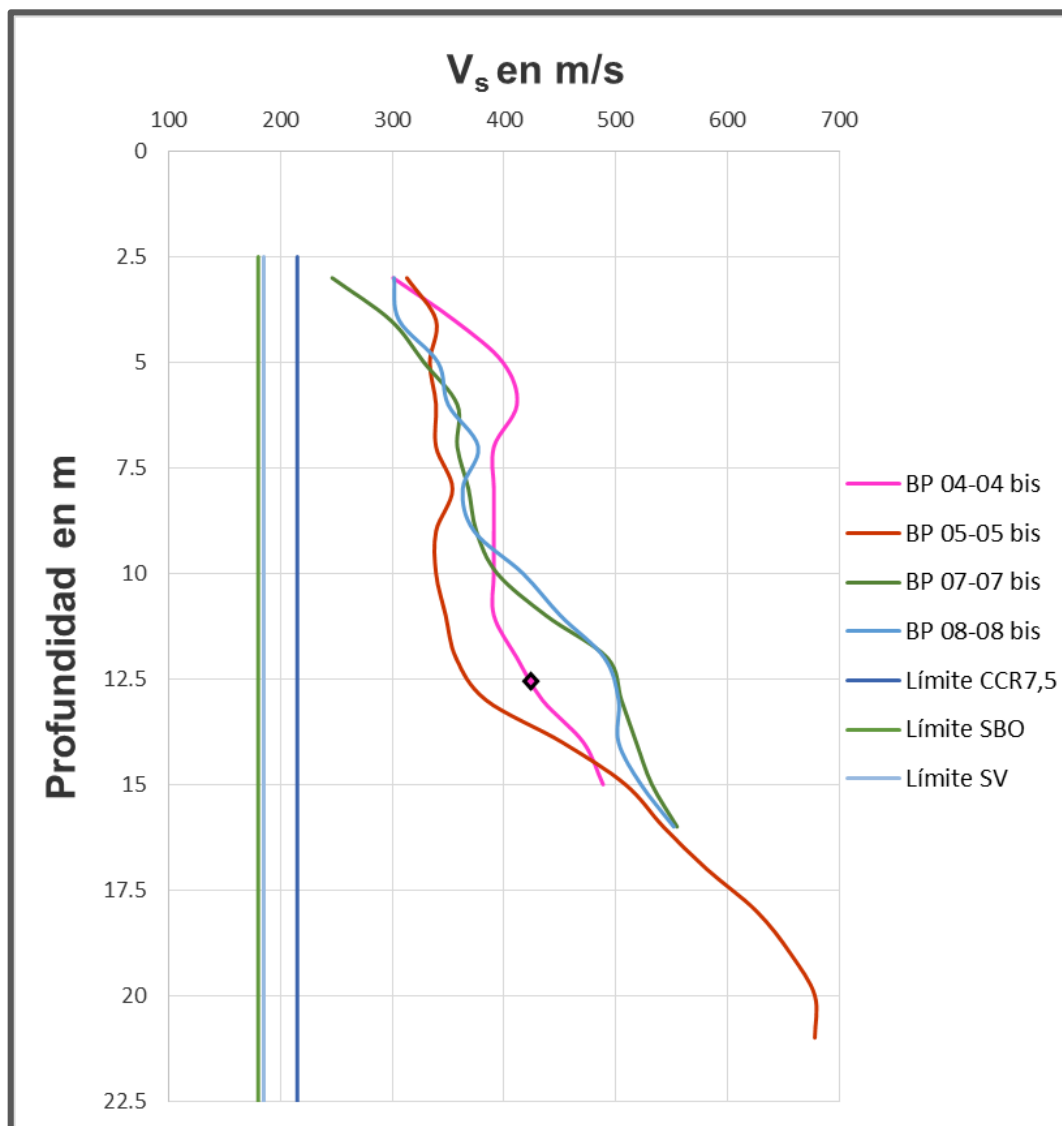


Figura 11.21: Valores de la onda  $V_s$  de la campaña 2006

Debido a un mejoramiento de las velocidades en esta última campaña, se utilizaron los resultados de la campaña anterior, 2006 para realizar los análisis ya descriptos para quedar del lado de la seguridad.

### 11.3.6. Conclusiones generales de ambos métodos

Se ha evaluado el potencial de licuación de los estratos sedimentarios bajo la planta de la represa GJC usando dos métodos recomendados por la actual práctica ingenieril.

Los ensayos de penetración Standard (SPT) muestran comportamiento dilatante en la mayoría de las determinaciones, con excepción de dos casos, uno de los cuales se encuentra en el límite del comportamiento contractivo-dilatantes.

Las evaluaciones basadas en velocidad de ondas de corte se han ejecutado usando métodos superficiales (MASW) y en perforaciones. Los resultados no han resultado comparables pero indican que no existen zonas contractivas, con excepción de un punto en uno de los ensayos CH.

La evaluación global señala que el comportamiento de los sedimentos frente a la acción sísmica es estable, sin que se esperen casos de licuación bajo la presa.

## 11.4. Parámetros geotécnicos del aluvión de fundación

### 11.4.1. Deformabilidad del aluvión de fundación

Para el análisis de tensiones y deformaciones estáticas y dinámicas que se llevan a cabo con el programa Abaqus se consideraron los siguientes parámetros de aplicación que se muestran en la Tabla 11.8.

Tabla 11.8: Parámetros de los materiales de la presa

	$\gamma$ [ Kg/cm <sup>3</sup> ]	$E_{Est}$ [ Mpa ]	$E_{Din}$ [ Mpa ]	$\mu$
<b>Relleno</b>	22	100	125	0,25
<b>S1A</b>	18	10	12,5	0,3
<b>S1B</b>	19	20	25	0,2
<b>S2A</b>	22	100	125	0,25
<b>S2B</b>	22	120	150	0,25
<b>S3B</b>	22	120	150	0,25
<b>S4</b>	19	25	31,25	0,2
<b>SD</b>	20	60	75	0,2

Para poder estimar los valores de módulo dinámico y estático de los aluviones de fundación se utilizaron los valores de módulo de rigidez al corte,  $G$ , y coeficiente de Poisson,  $\nu$ , obtenidos del análisis de deconvolución unidimensional (JC-A CV-MT FE-(OG-00-00)-P001-0A) realizado para la máxima profundidad de aluvión y sector del cauce.

Los acelerogramas corresponden a sismos para un período de recurrencia de 144 años (sismo básico de operación) y de 9 950 años. Para la determinación de  $G$  y  $\nu$  se tomó el promedio de los valores de cada uno de los tres sismos considerados para cada período de recurrencia.

Con los valores de  $G$  y  $\nu$  se calcularon los módulo de deformación dinámico y el estático, que resultan de multiplicar este valor por un coeficiente igual a 0,8. (Ver Tabla 11.9 y Tabla 11.10).

Tabla 11.9: Módulo dinámico y estático de aluviones de fundación en sector del cauce


Profundidad		Sismo de 144 años de recurrencia		Sismo de 9 950 años de recurrencia	
de	hasta	$E_{din}$	$E_{est(0,8)}$	$E_{din}$	$E_{est(0,8)}$
m	m	MPa	MPa	MPa	MPa
0	8	220 a 574	176 a 459	180 a 317	144 a 254

Tabla 11.10: Módulo dinámico y estático de aluviones de fundación en sector máximo aluvión

Profundidad		Sismo de 144 años de recurrencia		Sismo de 9 950 años de recurrencia	
de	hasta	$E_{din}$	$E_{est(0,8)}$	$E_{din}$	$E_{est(0,8)}$
m	m	MPa	MPa	MPa	MPa
0	17	302 a 706	242 a 565	219 a 348	175 a 279

### 11.4.2. Permeabilidad de los aluviones de fundación. Ensayos Lefranc


Los Ensayos Lefranc realizados en el eje de la presa y muro colado, presentan valores de permeabilidad que varían en función de la granulometría y de la densidad de los materiales. Esta última es función de la profundidad por lo que, en general, los estratos más profundos son menos permeables. Se puede decir que los estratos compuestos por bloques, cantos rodados, grava, gravilla con escasa o ninguna arena, son muy

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 223 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

permeables. Las excepciones se encuentran en los sondeos BDC H y BDC C. Los sondeos BI 09, BDC 02, BDC B, BDC 07, BDC 08, BDC 09 y BD 12 presentan una escasa matriz arenosa fina que le puede dar una permeabilidad más baja al material.

Las arenas medianas a finas presentan propiedades de permeabilidad que varía entre muy permeable a una permeabilidad media. Ver Tabla 6.3

Las arenas finas tienen permeabilidades de moderadas a bajas como se puede ver en el sondeo BC 1. Ver Tabla 6.3

	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 224 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

## 12. PRINCIPALES RESULTADOS Y COMENTARIOS FINALES

Luego de realizar una valoración de los principales parámetros que se obtienen luego del análisis de cada uno de los modelos geológico-geotécnicos, se presenta la Tabla 12.1 que resume los principales parámetros geotécnicos del macizo rocoso de fundación de las estructuras y del material aluvional presente en la zona de emplazamiento de la obra.

### COMENTARIOS FINALES

- ✓ Las condiciones geológicas y geotécnicas resultantes del análisis detallado de la información aquí presentada, permite confirmar la excelente aptitud del sitio para construir la presa JORGE CEPERNIC.
- ✓ No existen incertidumbres de magnitud que puedan cambiar el concepto definido en el proyecto civil.
- ✓ Quedan por resolver el nivel de fundación del plinto en roca de margen izquierda. Este tema es objeto de la campaña complementaria de investigaciones con sondeos exploratorios y sísmica.
- ✓ Queda por confirmar la extensión de zonas de alta permeabilidad en el muro colado, el cual será estudiado mediante las perforaciones de avance a su construcción, tal como está previsto en las especificaciones.
- ✓ La geometría, tipología y características de las inyecciones tanto en el trazado del muro colado como en las estructuras sobre roca será objeto de estudio en la siguiente etapa del proyecto.
- ✓ El modelo actual puede no contemplar imprevistos e incertidumbres inherentes a las características del medio geológico que puede surgir en la marcha de la obra, como por ejemplo, capas de menor resistencia que las definidas actualmente. Por ese motivo se instrumentarán las acciones necesarias para identificar posibles estratos débiles que puedan cambiar las hipótesis de diseño.”
- ✓ “La excavación de los dientes de la fundación de las obras de hormigón en JC nos permitirá apreciar sobre qué material efectivamente estaremos confiando para tomar empujes horizontales.”
- ✓ “El relevamiento geológico detallado será un hito de importancia a realizar cuando se lleven a cabo las excavaciones, y permitirá documentar efectivamente la fundación de estas estructuras acotando los riesgos o contingencias geológicas.”


	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 225 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

Tabla 12.1: Resumen de parámetros geotécnicos para aluvión y macizo rocoso

Presa Gobernador Jorge Cepernic									
Parámetros geotécnicos recomendados para el Aluvión									
Estructura	Ubicación	Material Aluvional	Ángulo de fricción interna	Cohesión	Módulo	Densidad in situ	Densidad de sólidos	Relación de vacíos	Ensayos Lefranc
			$\phi$	$c$	$E$	$\rho$	$\rho_s$	$e$	$k$
			(°)	MPa	MPa	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>		cm/s
Presa	Valle del río	GP-GW	40	0	144 A 585 (Según TR de los sismos y la profundidad)	2 100	2 670	0.3	1x10 <sup>-3</sup> a 1x10 <sup>-1</sup>
		SM	37						
		Documento de referencia para los parámetros	JC-A.CV-MC.GT-(DD-00-00)-P001-0C	JC-A.CV-MT.FE-(OG-00-00)-P001-0A	JC-A.CV-IL.GT-(PR-00-00)-P001-0A			JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P911 y P912-0A	
Presa Gobernador Jorge Cepernic									
Parámetros geotécnicos recomendados para el Macizo Rocos									
Estructura	Ubicación	Roca	Cota	Ángulo de fricción interna	Cohesión	Módulo	Peso específico	Permeabilidad Lugeon	
				$\phi$	$c$	$E$	$\gamma$	UL	
				(°)	MPa	MPa	kN/m <sup>3</sup>		
Central	Margen Derecha-Sur	Estrato Superior	> 52	38	0.31	1 300 a 1 500	19	Ver Perfiles	
		Estrato Medio	52 a 46	33	0.33				
		Estrato Inferior	46 a 24	34	0.35				
Vertedero	Margen Derecha-Sur	Estrato Superior	> 52	38	0.3	1 300 a 1 500	19	Ver perfiles	
		Estrato Medio	52 a 46	31	0.35				
		Estrato Inferior	46 a 24	33	0.34				
Muro de cierre	Margen Derecha-Sur	Estrato Superior	> 52	38	0.29	1 300 a 1 500	19	Ver Perfiles	
		Estrato Medio	52 a 46	32	0.34				
		Estrato Inferior	46 a 24	33	0.34				
		Documento de referencia para los parámetros	JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001-0D			JC-A.CV-IV.GT-(OG-00-00)-P001-0A		JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P913, P914, P915 y P916-0A	

Para las unidades se utiliza Sistema Métrico Legal Argentino (SIMELA)



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

Revisión: 0A

Fecha: 25-08-16

Página: 226 de 268


APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°


JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

## ANEXO 1: Informe final de CICTERRA


 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 227 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>

**ANEXO 2: Plano de investigaciones geotécnicas.**  
**Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P004-01**




 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 228 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>


**ANEXO 3: Sondeos geotécnicos Campaña 2015**

 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 229 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>


## ANEXO 4: Peligrosidad sísmica y vulcanismo

 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 230 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>


## ANEXO 5: Análisis de los Ensayos Lugeon

 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 231 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>


**ANEXO 6: Planilla de ensayos de permeabilidad**

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 232 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900


**ANEXO 7: Permeabilidad Perfil A-A´ Eje de la presa.  
 Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P900-0A**

 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 233 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>

**ANEXO 8: Permeabilidad. Perfil B-B´ Muro colado.**  
**Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P902-0A**


 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 234 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>

**ANEXO 9: Permeabilidad Perfil C-C´ Estructuras MD.**  
**Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P903-0A**


 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 235 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>

**ANEXO 10: Permeabilidad Perfil D-D' Estructuras MD.  
Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P904-0A**




 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 236 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>


**ANEXO 11: Permeabilidad Perfil E-E´ Estructuras MD.  
Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P905-0A**

 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 237 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>


**ANEXO 12: Permeabilidad Perfil F-F' Estructuras MD.  
Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P906-0A**

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 238 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900


**ANEXO 13: Permeabilidad. Vista en planta.**  
**Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P907-0A**

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS		Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 239 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900	


## ANEXO 14: Informe Ensayos MASW-ENDEIC-2015

 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 240 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>


**ANEXO 15: Informe Ensayos MASW-ENDEIC-2016**

 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 241 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>

**ANEXO 16: Informe Ensayos Crosshole-ENDEIC-2016**


 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 242 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>

## ANEXO 17: Coordenadas y Valores SEV


 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 243 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>

**ANEXO 18: Plano SEV.**  
**Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P908-0A**




 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 244 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>


## ANEXO 19: Coordenadas y valores MASW

 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 245 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>


**ANEXO 20: Plano MASW.**  
**Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P909-0A**

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS		Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 246 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900	


## ANEXO 21: Coordenadas y valores CH

 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 247 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>


**ANEXO 22: Plano CH.**  
**Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P910-0A**

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 248 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900


**ANEXO 23: Curvas granulométricas Calicatas de canal de desvío 2015**

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 249 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

**ANEXO 24: Especificaciones técnicas para yacimientos del cuerpo de presa.  
 Documento: JC-A CV-ET GT-(PR-00-00)-P001-0B**


 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 250 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>

**ANEXO 25: Plano de yacimientos del cuerpo de presa.  
Documento: JC-A.CV-PL.GT-(PR-00-00)-P001-0B**


 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 251 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>

## ANEXO 26: Resultados Laboratorio Mecánica de Rocas (2015)




 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 252 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>

**ANEXO 27-Informe Densidad de sólidos JC CAJAS 1 y 3**


 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 253 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>

## ANEXO 28: Resultados Pulso ECO-ENDEIC


 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 254 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>

**ANEXO 29: Informe Ensayos de Laboratorio de mecánica de rocas. Todas las campañas.**


**Documento: JC-A.CV-IL.GT-(OG-00-00)-P001-0A**

 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 255 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>


**ANEXO 30: Superficie CAR.**  
**Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P928-0B**

 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 256 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>


**ANEXO 31: Superficie CRC.**  
**Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P929-0B**

 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 257 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>

**ANEXO 32: Investigaciones geológico-geotécnicas Perfil A-A´ Eje de la presa.  
Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P911-0A**


 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 258 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

**ANEXO 33: Investigaciones geológico-geotécnicas Perfil B-B´ Eje del muro colado.  
 Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P912-0A**


 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS	Revisión: 0A Fecha: 25-08-16 Página: 259 de 268
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900

**ANEXO 34: Investigaciones geológico-geotécnicas. Perfil C-C' Estructuras MD.  
 Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P913-0A**




 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 260 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>


**ANEXO 35-Investigaciones geológico-geotécnicas. Perfil D-D' Estructuras MD.  
Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P914-0A**

 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 261 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>


**ANEXO 36: Investigaciones geológico-geotécnicas Perfil E-E´ Estructuras MD.  
Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P915-0A**

 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 262 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>


**ANEXO 37: Investigaciones geológico-geotécnicas. Perfil F-F' Estructuras MD.  
Documento: JC-A.CV-PL.GT-(OG-00-00)-P916-0A**

 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 263 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>


**ANEXO 38: Parámetros de resistencia Geotecnia de fundación.  
Documento: JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001-0D**

 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 264 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>


**ANEXO 39: Estudios de licuefacción.**  
**Documento: JC-A.CV-MT.GT-(PR-00-00)-P002-0A**

 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 265 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>

**ANEXO 40: Módulo de deformabilidad.**  
**Documento: JC-A.CV-IV.GT-(OG-00-00)-P001-0A**


 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 266 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>

**ANEXO 41: Ola Sísmica.**  
**Documento: GE-A.CV-ET.RS-(OG-00-00)-P900-0A**

 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 267 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>

**ANEXO 42: Ensayos de laboratorio de calicatas**



 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS</p> <p>SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS</p> <p>SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS</p>	<p>Revisión: 0A</p> <p>Fecha: 25-08-16</p> <p>Página: 268 de 268</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900</p>

**ANEXO 43: Perfiles litológicos transversales.**  
**Documentos: JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P917-0A y**  
**JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P918-0A**

NOTAS

--

REFERENCIA

--

NOTAS INSPECCIÓN

<p>.....</p> <p>.....</p>
---------------------------

QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN  
PREVIA AUTORIZACIÓN DE REPRESAS PATAGONIA UTE

0C	EMISIÓN PARA APROBACIÓN DE LA INSPECCIÓN	29-11-16	MAR	LF	JC	NB
0B	EMISIÓN PARA APROBACIÓN DE LA INSPECCIÓN	31-03-16	MAR	LF	JC	NB
0A	EMISIÓN ORIGINAL	31-01-16	MAR	LF	JC/CT	NB
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	PROYECTÓ	EJECUTÓ	REVISÓ	VERIFICÓ

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA  
SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA




APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

NOMBRE		FECHA
EJECUTÓ	LF	31-01-16
REPRES. TEC.		

**REPRESA GOB. JORGE CEPERNIC**  
  
OBRAS CIVILES - PRESA  
MURO DE CIERRE MARGEN DERECHA  
MC – GEOTECNIA – ESTABILIDAD DE TALUDES

Etapa Proyecto:	
PE	
Nivel desarrollo:	
200	

Pag.	Form.	Esc.	Doc. N°						Rev.
1/25	A4	s/e	JC-A.CV-MC.GT-(PR-07-00)-P001						0C

	<p>MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA</p> <p>SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA</p> <p>SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA</p>	<p>Revisión: 0C</p> <p>Fecha: 29-11-16</p> <p>Página: 2 de 25</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MC.GT-(PR-07-00)-P001</p>

## TABLA DE CONTENIDO

1. OBJETIVO .....	4
2. REFERENCIAS.....	5
2.1. Planos y documentos del proyecto.....	5
2.2. Publicaciones técnicas .....	5
3. MARCO GEOLÓGICO DEL ESTRIBO DERECHO.....	5
4. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....	7
5. FACTORES DE SEGURIDAD .....	8
6. SISMO DE DISEÑO .....	9
7. DEFINICIÓN DEL COEFICIENTE SEUDOESTÁTICO.....	9
8. SECCIONES DE ANÁLISIS.....	10
9. METODOLOGÍA DE CÁLCULO .....	12
10. RESULTADOS .....	12
10.1. Sección del eje de presa – Análisis estático.....	12
10.2. Sección del eje de presa – Análisis pseudoestático.....	13
10.3. Sección en la excavación de la central – Análisis estático.....	15
10.4. Sección en la excavación de la central – Análisis pseudoestático.....	16
10.5. Sección transversal – Talud temporal – Análisis estático .....	18
10.6. Sección transversal – Talud temporal – Análisis pseudoestático .....	20
11. DRENES.....	22
12. CONCLUSIONES.....	23

## FIGURAS

FIGURA 1 – PLANTA DE LA MARGEN DERECHA DE LA PRESA JC.....	4
FIGURA 2 – PERFIL GEOLÓGICO DE LA MARGEN DERECHA DE LA PRESA JC.....	6
FIGURA 3 – MODELO GEOTÉCNICO DEL ESTRIBO DERECHO EN EL ANFITEATRO .....	7
FIGURA 4 – MODELO DE LA SECCIÓN LONGITUDINAL .....	10
FIGURA 5 – DETALLE DE LOS TALUDES DEFINITIVOS – SECCIÓN LONGITUDINAL SOBRE COTA 119,5 M.....	11
FIGURA 6 – MODELO DE LA EXCAVACIÓN DE LA CENTRAL – SECCIÓN PARALELA AL EJE DE PRESA.....	11
FIGURA 7 – MODELO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL.....	12
FIGURA 8 – SECCIÓN DEL EJE DE PRESA – SUPERFICIE POTENCIAL DE DESLIZAMIENTO GLOBAL – ANÁLISIS ESTÁTICO ....	12
FIGURA 9 – SECCIÓN DEL EJE DE PRESA – SUPERFICIE POTENCIAL DE DESLIZAMIENTO DEL TALUD SUPERIOR – ANÁLISIS ESTÁTICO .....	13
FIGURA 10 – SECCIÓN DEL EJE DE PRESA – SUPERFICIE POTENCIAL DE DESLIZAMIENTO DEL TALUD INFERIOR – ANÁLISIS ESTÁTICO .....	13
FIGURA 11 – SECCIÓN DEL EJE DE PRESA – SUPERFICIE POTENCIAL DE DESLIZAMIENTO GLOBAL – ANÁLISIS SEUDOESTÁTICO .....	14
FIGURA 12 – SECCIÓN DEL EJE DE PRESA – SUPERFICIE POTENCIAL DE DESLIZAMIENTO DEL TALUD SUPERIOR – ANÁLISIS SEUDOESTÁTICO .....	14
FIGURA 13 – SECCIÓN DEL EJE DE PRESA – SUPERFICIE POTENCIAL DE DESLIZAMIENTO DEL TALUD INFERIOR – ANÁLISIS SEUDOESTÁTICO .....	14
FIGURA 14 – SECCIÓN DE LA CENTRAL – SUPERFICIE POTENCIAL DE DESLIZAMIENTO GLOBAL – ANÁLISIS ESTÁTICO .....	15
FIGURA 15 – SECCIÓN DE LA CENTRAL – SUPERFICIE POTENCIAL DE DESLIZAMIENTO DEL TALUD SUPERIOR – ANÁLISIS ESTÁTICO .....	16
FIGURA 16 – SECCIÓN DE LA CENTRAL – SUPERFICIE POTENCIAL DE DESLIZAMIENTO DEL TALUD INFERIOR – ANÁLISIS ESTÁTICO .....	16
FIGURA 17 – SECCIÓN DE LA CENTRAL – SUPERFICIE POTENCIAL DE DESLIZAMIENTO GLOBAL – ANÁLISIS SEUDOESTÁTICO .....	17


	<p>MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA</p>	<p>Revisión: 0C Fecha: 29-11-16 Página: 3 de 25</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N° JC-A.CV-MC.GT-(PR-07-00)-P001</p>


FIGURA 18 – SECCIÓN DE LA CENTRAL – SUPERFICIE POTENCIAL DE DESLIZAMIENTO DEL TALUD SUPERIOR – ANÁLISIS SEUDOESTÁTICO .....	17
FIGURA 19 – SECCIÓN DE LA CENTRAL – SUPERFICIE POTENCIAL DE DESLIZAMIENTO DEL TALUD INFERIOR – ANÁLISIS SEUDOESTÁTICO .....	18
FIGURA 20 – SECCIÓN TRANSVERSAL – SUPERFICIE POTENCIAL DE DESLIZAMIENTO GLOBAL – SALIDA TALUD INFERIOR – ANÁLISIS ESTÁTICO .....	19
FIGURA 21 – SECCIÓN TRANSVERSAL – SUPERFICIE POTENCIAL DE DESLIZAMIENTO GLOBAL – SALIDA DIENTE – ANÁLISIS ESTÁTICO .....	19
FIGURA 22 – SECCIÓN TRANSVERSAL – SUPERFICIE POTENCIAL DE DESLIZAMIENTO DEL TALUD SUPERIOR – ANÁLISIS ESTÁTICO .....	19
FIGURA 23 – SECCIÓN TRANSVERSAL – SUPERFICIE POTENCIAL DE DESLIZAMIENTO DEL TALUD INFERIOR – ANÁLISIS ESTÁTICO .....	20
FIGURA 24 – SUPERFICIE POTENCIAL DE DESLIZAMIENTO GLOBAL – SALIDA TALUD INFERIOR – ANÁLISIS SEUDOESTÁTICO .....	20
FIGURA 25 – SUPERFICIE POTENCIAL DE DESLIZAMIENTO GLOBAL – SALIDA DIENTE – ANÁLISIS SEUDOESTÁTICO .....	21
FIGURA 26 – SUPERFICIE POTENCIAL DE DESLIZAMIENTO DEL TALUD SUPERIOR – ANÁLISIS SEUDOESTÁTICO .....	21
FIGURA 27 – SUPERFICIE POTENCIAL DE DESLIZAMIENTO DEL TALUD INFERIOR – ANÁLISIS SEUDOESTÁTICO .....	21
FIGURA 28 – DISPOSICIÓN DE DRENES EN LA SECCIÓN LONGITUDINAL .....	22
FIGURA 29 – VISTA FRONTAL DE LA DISPOSICIÓN DE DRENES .....	23

## TABLAS

TABLA 1 – PARÁMETROS RECOMENDADOS PARA LA CUBIERTA SEDIMENTARIA DEL ESTRIBO DERECHO DE LA PRESA JC ....	7
TABLA 2 – FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS REQUERIDOS .....	8
TABLA 3 – VALORES DEL COEFICIENTE DE SEUDOACELERACIÓN, $K_H$ , TOMADOS DE LA REFERENCIA F .....	9
TABLA 4 – SECCIÓN DEL EJE DE PRESA – RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD OBTENIDOS .....	15
TABLA 5 – SECCIÓN EN LA EXCAVACIÓN DE LA CENTRAL – RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD OBTENIDOS .....	18
TABLA 6 – SECCIÓN TRANSVERSAL – RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD OBTENIDOS .....	22

## ANEXOS

ANEXO 1 – ENSAYO SÍSMICO CROSS-HOLE PC12-13

	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0C Fecha: 29-11-16 Página: 4 de 25
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MC.GT-(PR-07-00)-P001

## 1. OBJETIVO

Este informe tiene como objetivo presentar los resultados de los análisis de estabilidad estática y pseudoestática por equilibrio límite para los taludes temporales y definitivos de la margen derecha de la presa Gob. Jorge Cepernic (JC) en el sector del muro de hormigón que remata la presa sobre este estribo, donde se crea un anfiteatro por condiciones geométricas del muro de cierre de la presa y de la topografía del estribo. Este anfiteatro tendrá taludes temporales y definitivos. En términos generales, los taludes bajo la elevación 119,5 m se consideran temporales y sobre esta cota serán definitivos. Los rellenos se harán hasta la elevación 119,5 m una vez terminadas las excavaciones y la construcción del muro de remate de la presa en el estribo derecho, de manera tal que no se vea afectada la operación de la escala de peces. Todos los taludes deberán cumplir los requisitos de estabilidad según lo indicado en los criterios de diseño (Referencia d). Para el análisis de estabilidad de los taludes del estribo derecho de la presa JC se ha utilizado el programa SLOPE/W de GeoStudio (Referencia h). Se evaluará la seguridad de los mismos bajo las condiciones de operación normal y bajo las sollicitaciones del sismo máximo de diseño (SMD).

La presa JC se localizará sobre el río Santa Cruz, en la provincia homónima. El cierre proyectado de la presa JC está a 155 km al este de El Calafate y a 170 km al noroeste de la capital provincial, Río Gallegos. La Figura 1 presenta la planta de la margen derecha del proyecto con las obras más importantes como son la presa propiamente dicha, el canal de desvío y vertedero, la central, la escala de peces, el muro de cierre y parte del anfiteatro que se conforma en el estribo.

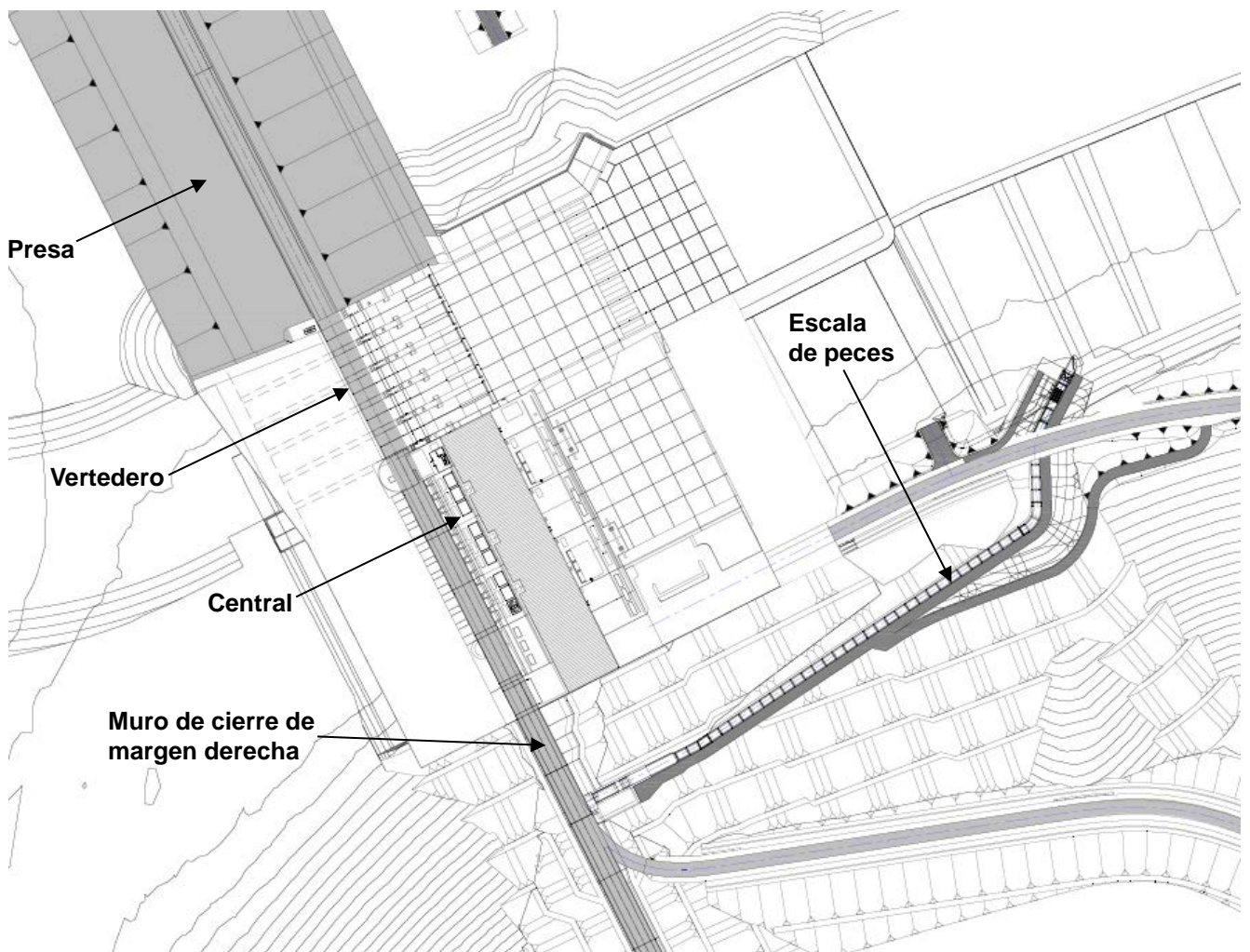



Figura 1 – Planta de la margen derecha de la presa JC

	<p>MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA</p> <p>SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA</p> <p>SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA</p>	<p>Revisión: 0C</p> <p>Fecha: 29-11-16</p> <p>Página: 5 de 25</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MC.GT-(PR-07-00)-P001</p>

## 2. REFERENCIAS

### 2.1. Planos y documentos del proyecto

- JC.A.CV-PL.EX-(PR-07-00)-P001. Represa Gob. Jorge Cepernic – Obra Civil – Presa – Muro de Cierre Margen Derecha – Excavación – Planta.
- JC.A.CV-PL.EX-(PR-07-00)-P005. Represa Gob. Jorge Cepernic – Obra Civil – Presa – Muro de Cierre Margen Derecha – Excavación – Secciones.
- JC.A.CV-PL.EN-(PR-07-00)-P001 a P005. Represa Gob. Jorge Cepernic – Obra Civil – Presa – Muro de Cierre Margen Derecha – Encofrado – Plantas, Vistas y Cortes.
- GE-A.CV-CD.CI-(OG-00-00)-P001. General – Obras Civiles – Obras Generales – Criterios de Diseño (Cap. V del Pliego).
- JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P900 – Represa Gob. Jorge Cepernic – Obras Civiles – Obras Generales – Memoria Técnica – Geotecnia – Informe Geológico y Geotécnico.

### 2.2. Publicaciones técnicas

- Melo, C. & Sharma, S. Seismic Coefficients for Pseudostatic Slope Analysis (2004). 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, Canada, August 1-6, 2004. Paper No. 369.
- Day, Robert (2002). Geotechnical Earthquake Engineering Handbook, McGraw-Hill.
- SLOPE/W Slope Stability Analysis, GeoStudio 2012. Geo-Slope International. Calgary, Alberta, Canada.

## 3. MARCO GEOLÓGICO DEL ESTRIBO DERECHO

El proyecto cuenta con la información geológica-geotécnica contenida en los documentos de licitación correspondientes al aprovechamiento hidroeléctrico del río Santa Cruz mediante la construcción de dos centrales. Estos documentos indican que para la presa JC se han realizado investigaciones durante dos campañas previas a la actual. En los años 70-80, AyEE adelantó una campaña de investigación de 8 perforaciones a lo ancho del valle. Luego procedió la campaña del 2006-2007 que incluyó un total de 56 perforaciones, 13 en margen izquierda (BI), 13 en margen derecha (BD), una en el cauce (BC) y 29 ubicadas en el valle (BDC), una trinchera exploratoria en margen izquierda y 5 calicatas.

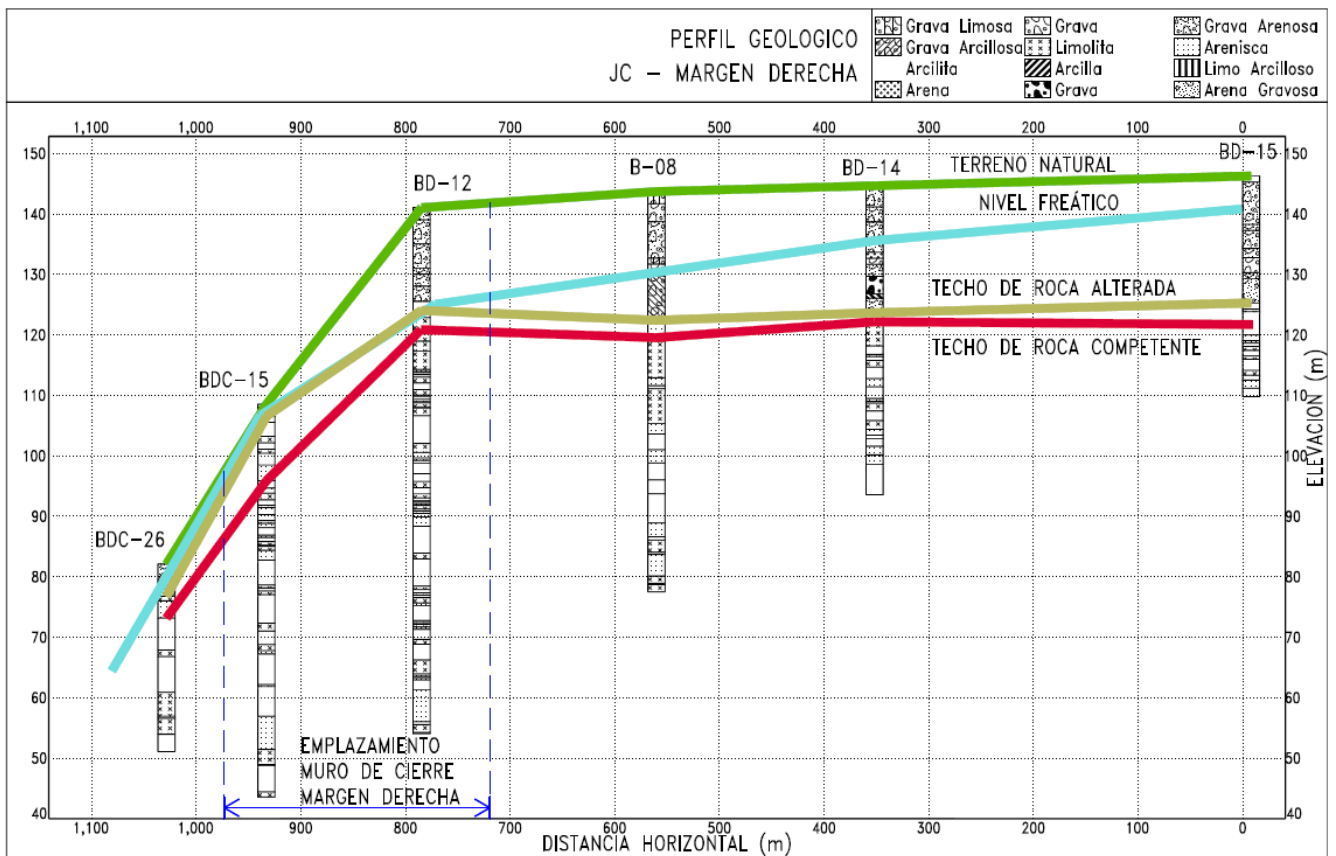
A su vez, durante la campaña del 2006-2007, se realizaron estudios geofísicos tanto sísmicos de refracción (aproximadamente 3.000 m) como geoelectrónicos. Estos últimos incluyeron 82 sondeos eléctricos verticales (SEV) a una distancia aproximada de 100 m el uno del otro, acomodados a lo largo de 4 líneas. Dos de ellas se ubicaron sobre la parte más alta de la barda sur, una coincidente con el eje de la futura presa y la otra paralela 100 m hacia el oeste. Las otras dos en el valle a lo largo del eje, una sobre margen derecha y otra corta sobre la margen izquierda. A este plan de SEV acompañaron 3 grupos de ensayos cross-hole, 2 en margen derecha (incluyendo uno en la barda y otro en el valle) y uno en margen izquierda, con 20 determinaciones de ondas P de compresión y S de corte por grupo de ensayo.

De acuerdo a los estudios previos, se tiene que la presa JC se localiza sobre rocas de la formación Santa Cruz, compuesta por arcillitas, limolitas y arcilolimolitas, con niveles de tobas y tobas arcillosas, lentes de areniscas de muy finas a medias con contactos transicionales. Se trata de una formación sedimentaria típicamente marina. Esta formación se encuentra en el estribo derecho, en el valle del río Santa Cruz y en gran parte del estribo izquierdo. En la parte alta de este último estribo se encuentran rocas de la formación Cóndor Cliff, compuesta por basaltos de espesores bajos.

Adicionalmente a rocas en el área del proyecto, se tienen depósitos de suelos tanto en el valle del río como en las laderas y planicies que conforman el sitio de construcción de la presa JC. En las laderas se presentan detritos de faldeos de poco espesor constituidos por bloques de basalto, cantos rodados, arenas friables o tobáceas. Estos depósitos no tienen ninguna injerencia en la estabilidad de las obras a construir pues todos se deben remover porque sus espesores son menores.


En la planicie de la margen derecha se presenta un material aluvional (QB1), grueso, compuesto por cantos subredondeados achatados de basalto y bloques de hasta 20 cm en matriz arenosa de fina a gruesa, mal gradada y relativamente compactada, con escasos finos limo-arcillosos. En el cauce se presenta un material aluvional (QB2) de características similares al anterior.

Con base en la información geológica disponible y en los sondeos del sector de interés se ha desarrollado un perfil geológico del área en cuestión que se presenta en la Figura 2. Este perfil muestra los resultados de las perforaciones BDC-26, BDC-15, BD-12, B-08, BD-14 y BD-15. Se tiene que este sector se puede considerar como material aluvional, con cantos redondeados, gravas arenosas (GW/GP). Así mismo, la información geológica indica el nivel freático a lo largo del perfil mencionado, pero sólo se tienen datos puntuales en las perforaciones, por lo cual con los pocos datos reales se ha considerado que hay un nivel freático que fluye hacia el río. Se han tomado como datos fijos los niveles reportados en las perforaciones BDC-26 (elevación 78 m), BD-12 (elevación 121 m) y BD-15 (elevación 141 m). En la Figura 2 se presenta también el nivel freático estimado con base en los datos puntuales.



**Figura 2 – Perfil geológico de la margen derecha de la presa JC**

Finalmente, con base en las perforaciones realizadas se determinó que la roca se presenta en dos condiciones: una denominada alterada de un espesor promedio de 2 m en el sector del cauce o valle del río, de casi 8 m en la ladera y del orden de 3 m a 4 m en la planicie del estibo derecho y, subyaciendo a ésta, otra denominada competente. Cabe aclarar que la información entregada en los documentos de licitación no presenta datos suficientes para desarrollar un análisis de discontinuidades y por ende desarrollar un estudio de cuñas potencialmente inestables. Los datos que se encuentran en los documentos indican que la roca tiene rumbo y buzamiento, datos obvios teniendo en cuenta que la roca es sedimentaria. En la información suministrada se menciona la presencia eventual de alguna diaclasa vertical, limpia y sin alteración. Durante la excavación de los taludes, tanto temporales como permanentes, debe realizarse un seguimiento de discontinuidades para hacer un análisis de las cuñas críticas potencialmente inestables y sus respectivas medidas de soporte. En la Figura 2 se presentan los niveles de roca alterada y el techo de roca competente, asociado a la interpretación de los resultados de los registros de perforación entregados.

	<p>MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA</p> <p>SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA</p> <p>SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA</p>	<p>Revisión: 0C</p> <p>Fecha: 29-11-16</p> <p>Página: 7 de 25</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ</p> <p>Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N°</p> <p>JC-A.CV-MC.GT-(PR-07-00)-P001</p>

#### 4. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Con base en la información disponible, se tiene que los taludes permanentes en el anfiteatro serán excavados en material aluvial, caracterizado principalmente por gravas, que yacen sobre un estrato de roca alterada de unos 3,5 m de espesor que está sobre roca competente. Todo este sistema tiene un nivel freático alto en la parte superior de la planicie que fluye hacia el cauce del río. Hay evidencias claras de agua fluyendo en el contacto roca-suelo a la elevación 120 m (techo de la roca alterada, base del material aluvial). La Figura 3 presenta el modelo geotécnico desarrollado para calcular la estabilidad estática y pseudoestática de los cortes temporales y permanentes de este sector.

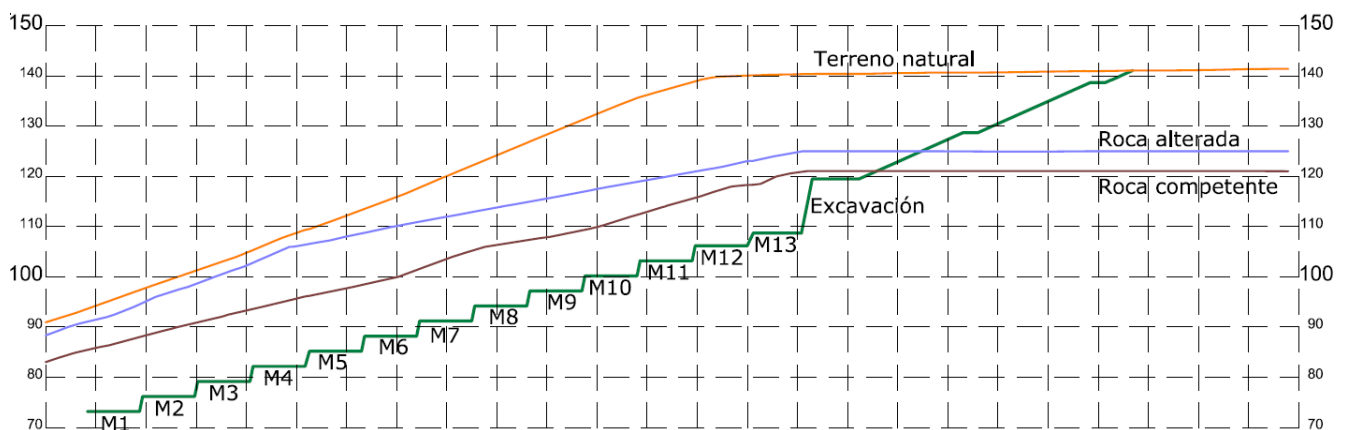


Figura 3 – Modelo geotécnico del estribo derecho en el anfiteatro

El modelo geotécnico indica que se tendrá un suelo compuesto por gravas GW/GP. Para los efectos de la modelación, se han adoptado las propiedades geomecánicas presentadas en la Tabla 1, tomadas de los documentos de licitación (Referencia d), usados en los criterios de diseño y discutidas con la UTE.

Tabla 1 – Parámetros recomendados para la cubierta sedimentaria del estribo derecho de la presa JC

ESTRIBO DERECHO - CUBIERTA SEDIMENTARIA - Parámetros recomendados									
Descripción	Unidad Geológica	Clasific. SUCS	Peso Unitario Húmedo $\gamma_h$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Peso Unitario Seco $\gamma_d$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Peso Específico PE	Ángulo de fricción interna $\phi_u$ [°]	Cohesión Cu [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Velocidad de Onda de Corte Vs [m/s]	Permeab. Lefranc k [cm/s]
Gravas	QB1	GW / GP	2,00	1,95	2,63	33	0,0	Entre 200 y 400	Entre $7 \times 10^{-1}$ y $1 \times 10^{-2}$
Arenas	QB1	SW / SP	1,80	1,73	2,63	30	0,0		Entre $4 \times 10^{-2}$
Finos (limos/arcillas)	QB1	CL / CH	1,70	1,50	2,68	15	0,3		Entre $1 \times 10^{-4}$ y $1 \times 10^{-5}$

En el ensayo cross-hole realizado entre las perforaciones BD-12 y BD-13, se nota claramente que no hay un incremento de la velocidad de onda P ni de la de corte S con relación a la profundidad. El rango de velocidades en el espesor de suelo estudiado varía entre 186 m/s y 307 m/s, entre los 2 m y los 16 m de profundidad, donde se encontró el techo de roca. En el Anexo 1 se presentan los resultados de dicho ensayo.

Los análisis de estabilidad se han realizado usando las siguientes propiedades para el suelo:

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$


$$\phi = 33^\circ$$

$$c = 0 \text{ kPa}$$

Para la roca alterada y para la roca competente se tiene que en el sector se podrían encontrar rocas como limolitas, areniscas y tobas. Los parámetros geomecánicos adoptados para la roca alterada también se han tomado de la información de referencia de la licitación y de lo indicado en reuniones con la UTE. En cambio, los de la roca competente se tomaron del informe geológico-geotécnico (Referencia e).

Entonces en los análisis de estabilidad se han usado las siguientes propiedades:



	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0C Fecha: 29-11-16 Página: 8 de 25
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MC.GT-(PR-07-00)-P001

a. Roca alterada:

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 15^\circ$$

$$c = 50 \text{ kPa}$$

b. Roca competente:

$$\gamma = 19,5 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 38,3^\circ$$

$$c = 320 \text{ kPa}$$

Es importante durante las excavaciones de los taludes permanentes en el anfiteatro y en el sector de los taludes temporales mantener una supervisión constante para confirmar las características de los materiales que fueron asumidos en este análisis, y en caso de encontrar mayores diferencias en sus características geomecánicas, verificar la estabilidad de los taludes de excavación en el anfiteatro.

## 5. FACTORES DE SEGURIDAD


En este análisis se deben tener en cuenta que se presenta el diseño de taludes temporales y de taludes permanentes o definitivos. Por sus condiciones de operación, hay diferentes factores de seguridad (FS) que se han definido en el informe de criterios de diseño (Referencia d). La Tabla 2 presenta un resumen de estas condiciones mínimas a cumplir.

**Tabla 2 – Factores de seguridad mínimos requeridos**

	FACTOR DE SEGURIDAD			
	Estático		Seudoestático	
	Condición Nivel Agua Normal	Condición Nivel Agua Extraordinario	SBO	SMD
Taludes Permanentes	1.5	1.2	1.1	1.0
Taludes Temporales	1.2			
SBO = Sismo Básico de Operación		Taludes o cortes en suelo y/o roca		
SMD = Sismo Máximo de Diseño		Taludes de obras críticas		

En términos generales, los taludes temporales son aquellos que se encuentran por debajo de la cota 119,5 m, en coincidencia con la cota de coronamiento del proyecto. Estos taludes son considerados temporales ya que el espacio entre estructura de hormigón y talud de excavación será luego rellenado con suelos compactados, de manera tal que no se vea afectada la operación de la escala de peces. Los taludes permanentes son los que se desarrollan por encima de la cota 119,5 m, que quedarán expuestos, y los debidos tanto a la escala de peces como a la central, que quedarán parcial o totalmente sumergidos.

Los taludes permanentes por sobre la cota 119,5 m se diseñarán para la condición de nivel de agua normal, pues están por encima del nivel de agua máximo del embalse, y para una condición sísmica SMD. Los taludes permanentes que quedarán parcial o totalmente sumergidos también se verificarán con el SMD. Los taludes temporales se diseñarán teniendo en cuenta la condición de nivel normal de agua actual antes de operación de la central hidroeléctrica y se revisará su condición seudoestática para la condición del SBO, que no se requiere por criterio de diseño.

	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0C Fecha: 29-11-16 Página: 9 de 25
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MC.GT-(PR-07-00)-P001

## 6. SISMO DE DISEÑO

De acuerdo con los resultados del estudio de amenaza sísmica, presentados en el informe geológico-geotécnico (Referencia e) del proyecto JC, los sismos de diseño se indican a continuación.

a. Sismo básico de operación (SBO)

PGA = 0,027 g a nivel de roca

M ≈ 6,3

b. Sismo máximo de diseño (SMD)

PGA = 0,24 g

M ≈ 7,0

Los taludes definitivos se verificarán sólo para el sismo máximo de diseño (SMD), mientras que los taludes temporales se verificarán con el sismo básico de operación (SBO).

## 7. DEFINICIÓN DEL COEFICIENTE SEUDOESTÁTICO

El método de análisis de estabilidad pseudoestático para el diseño de taludes utiliza una fuerza horizontal producto del peso de la masa a deslizarse y una aceleración (reflejo del entorno sísmico y condiciones geotécnicas del sitio), para simular la fuerza de inercia ( $F_h$ ) generada por el sismo. Este método se utiliza tanto para analizar la estabilidad de taludes de presas como los de laderas naturales y los de excavaciones. Esta aceleración, llamada comúnmente coeficiente sísmico ( $k_h$ ), deberá ser una fracción de la aceleración pico en roca (PGA) correspondiente a la sollicitación dinámica de diseño en el sitio, ya que el método simula con una fuerza permanente, constante y en la dirección del deslizamiento los efectos de la fuerza de inercia real producida por el sismo que es transitoria, alternante, y aleatoria en magnitud y dirección. Así,  $F_h = k_h * P$ , siendo P el peso de la masa a deslizarse.


En general, la definición del coeficiente  $k_h$  para los análisis de estabilidad pseudoestáticos ha sido discutida por diversos autores, pero más profusamente para presas que para taludes naturales. En la Tabla 3 a continuación se presenta un compendio de valores tomados de la Referencia f.

**Tabla 3 – Valores del coeficiente de pseudoaceleración,  $k_h$ , tomados de la Referencia f**

Horizontal Seismic Coefficient, $k_h$	Description
0.05 - 0.15	In the United States
0.12 - 0.25	In Japan
0.1	“severe” earthquakes
0.2	“violent, destructive” earthquakes
0.5	“catastrophic” earthquakes
0.1 - 0.2	Seed [2], FOS ≥ 1.15
0.10	Major Earthquake, FOS > 1.0
0.15	Great Earthquake, FOS > 1.0
½ to ⅓ of PHA	Marcuson [6], FOS >1.0
½ of PHA	Hynes-Griffin [7], FOS > 1.0

FOS = Factor of Safety. PHA = Peak Horizontal Acceleration, in g's.

En comentarios recogidos de la Referencia g, para la definición del coeficiente  $k_h$  se recomienda considerar además la magnitud del sismo; para mayor magnitud, más alto el valor para este coeficiente. También se menciona que para mayor valor de la PGA mayor sería el coeficiente  $k_h$ , pero no indica valores precisos. Algunos otros autores y entidades recomiendan un coeficiente de 2/3. Sin embargo, como se indicó, las discusiones

	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0C Fecha: 29-11-16 Página: 10 de 25
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MC.GT-(PR-07-00)-P001

anteriores se dieron más alrededor de presas que de taludes de excavación; en general, el comportamiento en la cresta de una presa es diferente al de la excavación de una ladera natural donde la amplificación de la aceleración es menor que en la presa porque en la ladera se involucra solo una cara libre y un gran volumen hacia el interior del talud.

La definición del valor del coeficiente es más subjetiva y dependerá de las condiciones propias del sitio, de las sollicitaciones sísmicas y del buen juicio del ingeniero. Luego de analizar y comparar los valores recomendados en la literatura para la determinación del coeficiente  $k_h$  y al considerar que los taludes permanentes no sobrepasan de 10 m de altura, para los análisis de estabilidad seudoestáticos se optó por utilizar un valor de  $k_h$  de  $PGA/2g$ .

## 8. SECCIONES DE ANÁLISIS

Para el análisis de estabilidad de taludes permanentes y temporales se han estudiado las condiciones más críticas de estos. Las secciones estudiadas son: una longitudinal en la dirección del eje de la presa y otra aguas arriba paralela al eje de la presa correspondiente a la excavación de la central, ambas para analizar los taludes permanentes, y la sección de máxima altura de bancos temporales perpendicular al eje de la presa.

Antes de presentar los resultados de los análisis y sus condiciones geotécnicas, se considera pertinente indicar que se ha definido que los taludes tendrán una altura máxima de bancos de 10 m con bermas de entre 3 m y 5 m de ancho. La pendiente del talud entre bermas se definirá en base a los resultados de los análisis de estabilidad y deberán cumplir con los factores de seguridad indicados anteriormente, según el tipo de talud.

Para los taludes definitivos se realizaron análisis con taludes que variaron desde  $1V:1,5H$  a  $1V:2,5H$ . Estos últimos taludes cumplieron con los factores de seguridad requeridos tanto para la estabilidad global como para la local para anchos de berma de 3 m y de 5 m. Con el objeto de definir los taludes permanentes se presentan los resultados para taludes  $1V:2,25H$  con altura máxima de bancos de 10 m y bermas de 3 m de ancho.

La Figura 4 presenta el corte longitudinal detallado con la interpretación geológica del estribo derecho. Se presenta un suelo en la parte superior de la planicie que yace sobre la roca alterada, de espesor promedio entre 3 m y 4 m, que a su vez yace sobre la roca competente que se encontrará en la mayor parte de la excavación del estribo derecho donde se construirá el muro de hormigón. Cabe resaltar que el nivel freático se presenta actualmente a la elevación 126 m, aflorando en la interfaz roca alterada/competente alrededor de la elevación 120 m.

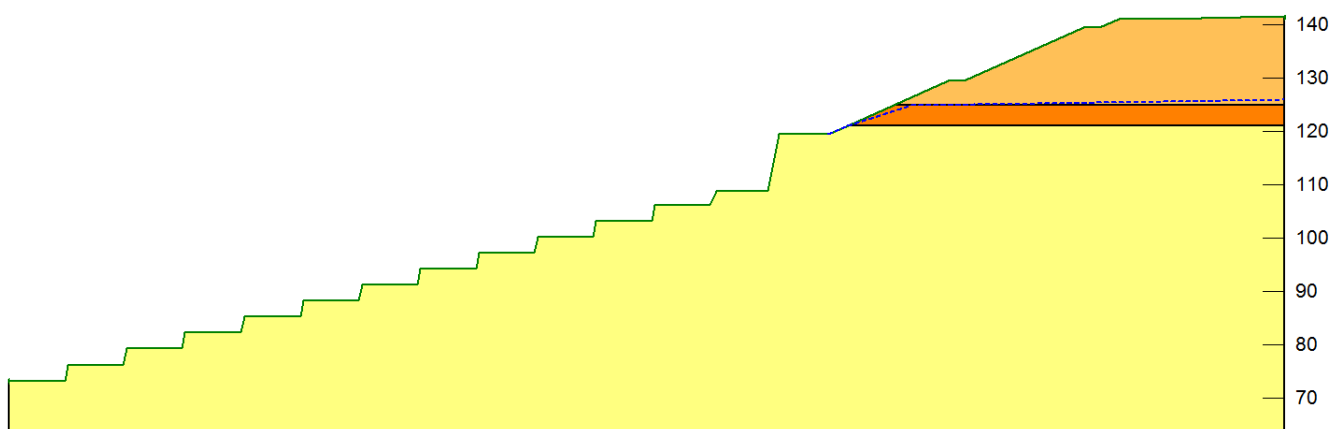



Figura 4 – Modelo de la sección longitudinal

La Figura 5 presenta en detalle la parte superior del diseño de los taludes permanentes sobre la elevación 119,5 m. En dicha figura se detalla la pendiente definitiva de los taludes analizados,  $1V:2,25H$ , las bermas de 3 m de ancho y las características geológicas de este sector, con la condición estimada del nivel freático.

	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0C Fecha: 29-11-16 Página: 11 de 25
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MC.GT-(PR-07-00)-P001

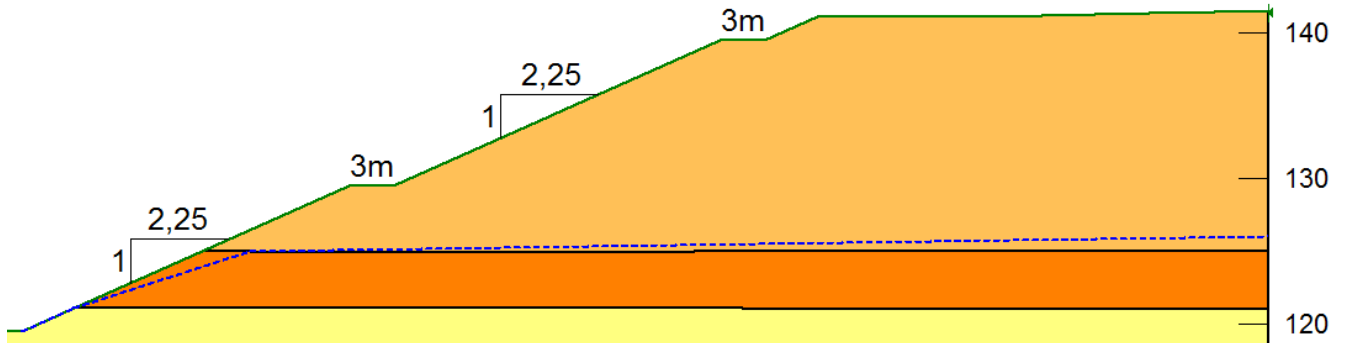


Figura 5 – Detalle de los taludes definitivos – Sección longitudinal sobre cota 119,5 m

La Figura 6 muestra el modelo de la sección de taludes permanentes analizada aguas arriba de la presa en la excavación de la central. Los taludes propuestos son 2,5V:1H con bancos de 10 m de altura máxima y bermas de 3 m de ancho.

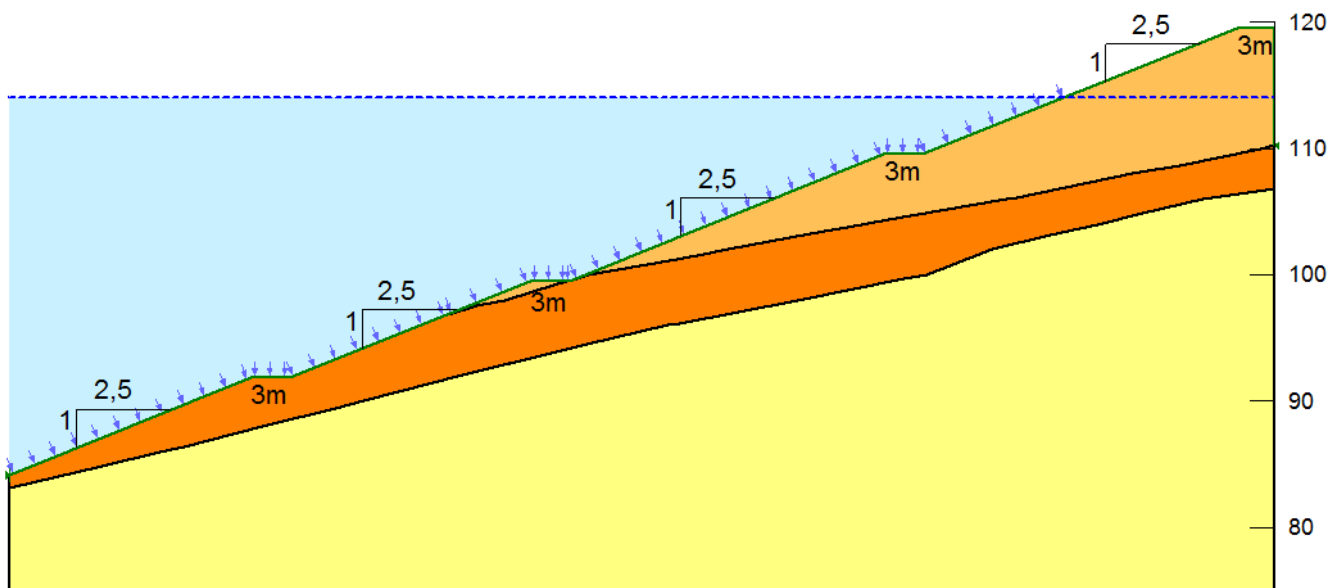



Figura 6 – Modelo de la excavación de la central – Sección paralela al eje de presa

La Figura 7 muestra la sección transversal, correspondiente al lado de aguas arriba, donde se presentarán los taludes temporales más altos durante la fase de construcción del muro de hormigón en el estribo derecho. Estos taludes se han analizado con altura máxima de bancos de 10 m, bermas de 3 m de ancho y con dos pendientes: talud en roca alterada o talud inferior 1V:1,5H y talud en suelo o talud superior 1V:1,75H. Se consideró que el nivel freático aflora en el contacto entre el suelo y la roca alterada.

	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0C Fecha: 29-11-16 Página: 12 de 25
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MC.GT-(PR-07-00)-P001

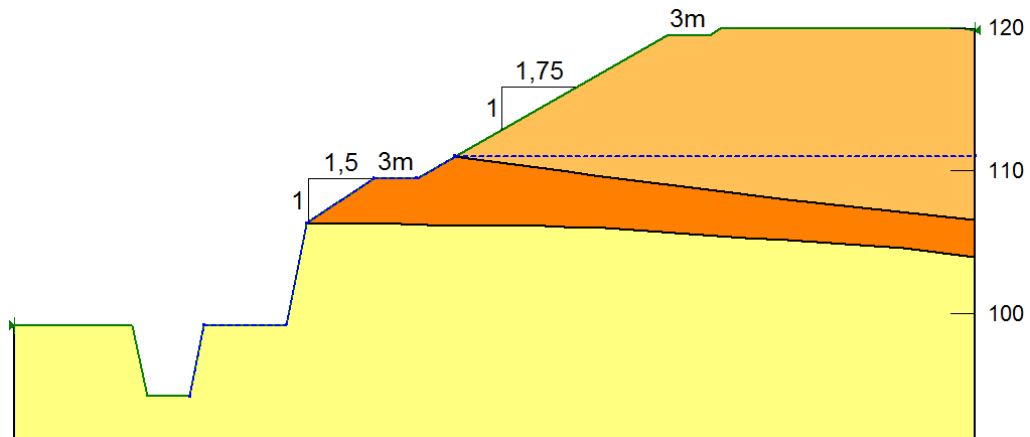


Figura 7 – Modelo de la sección transversal

## 9. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

En los análisis de estabilidad de los taludes de excavación definitivos y temporales en el anfiteatro, se evalúa la estabilidad estática y pseudoestática bajo el efecto del sismo indicado anteriormente, utilizando el programa SLOPE/W.

## 10. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de los modelos para cada una de las situaciones anteriormente descritas. Se muestra la superficie potencial de deslizamiento para el menor valor del factor de seguridad en cada caso.

### 10.1. Sección del eje de presa – Análisis estático

Para esta condición estática se analizaron tres posibles condiciones: una falla global que involucre al menos a dos bancos (Figura 8), una falla del talud superior (Figura 9) y una falla del talud inferior (Figura 10). Todas ellas consideraron el nivel freático. La superficie crítica para la falla global tiene un factor de seguridad de 1,75, y para las fallas de los taludes superior e inferior los factores de seguridad obtenidos son 1,55 y 1,95, respectivamente. Puede observarse que estos tres casos cumplen satisfactoriamente con el factor de seguridad mínimo solicitado de 1,50.

1.75

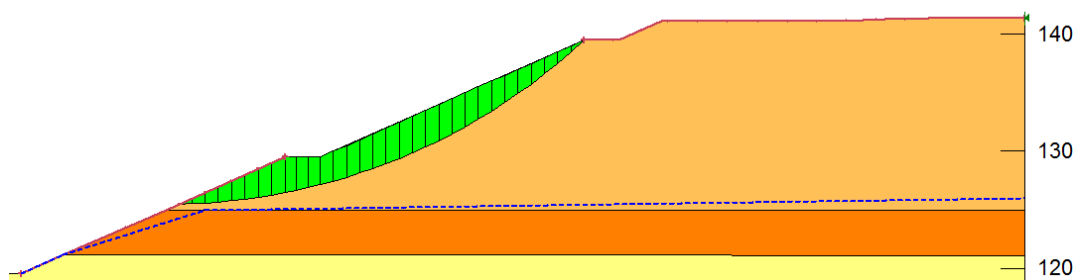



Figura 8 – Sección del eje de presa – Superficie potencial de deslizamiento global – Análisis estático

	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0C Fecha: 29-11-16 Página: 13 de 25
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MC.GT-(PR-07-00)-P001

1.55

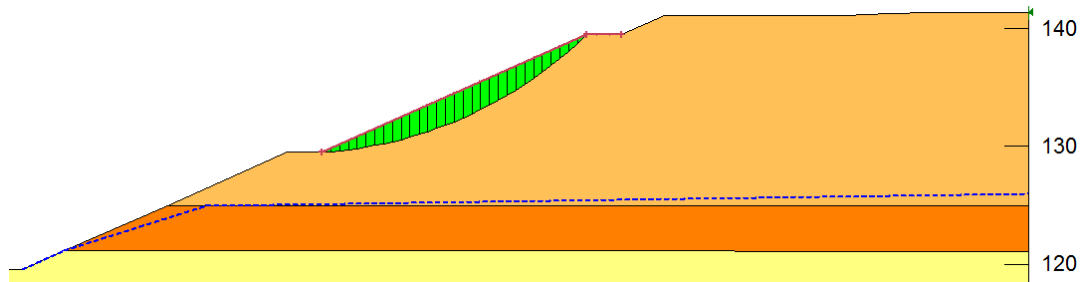


Figura 9 – Sección del eje de presa – Superficie potencial de deslizamiento del talud superior – Análisis estático

1.95

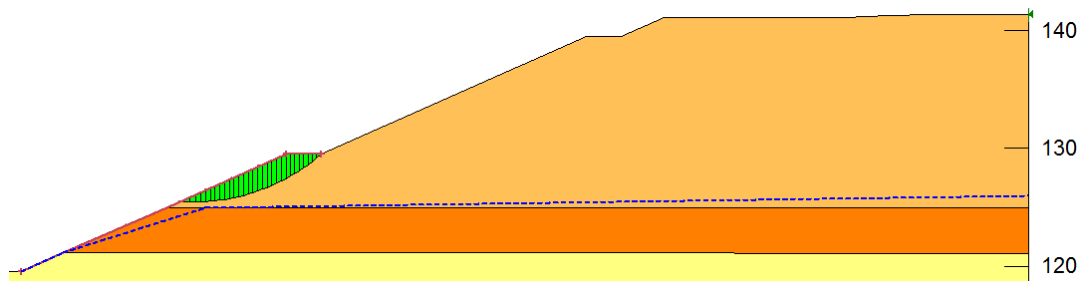


Figura 10 – Sección del eje de presa – Superficie potencial de deslizamiento del talud inferior – Análisis estático

## 10.2. Sección del eje de presa – Análisis pseudoestático

Se analizaron las mismas tres condiciones que en el caso estático: la falla global (Figura 11), la del talud superior (Figura 12) y la del talud inferior (Figura 13). Para los tres análisis se utilizó un coeficiente pseudoestático  $k_h = PGA/2g = 0,24g/2g = 0,12$ . Todos los análisis consideraron también el nivel freático. La superficie crítica tiene un factor de seguridad de 1,28 para la falla global, de 1,17 para el talud superior y de 1,42 para el talud inferior. Puede observarse que estos tres casos cumplen satisfactoriamente con el factor de seguridad mínimo requerido de 1,0.

1.28

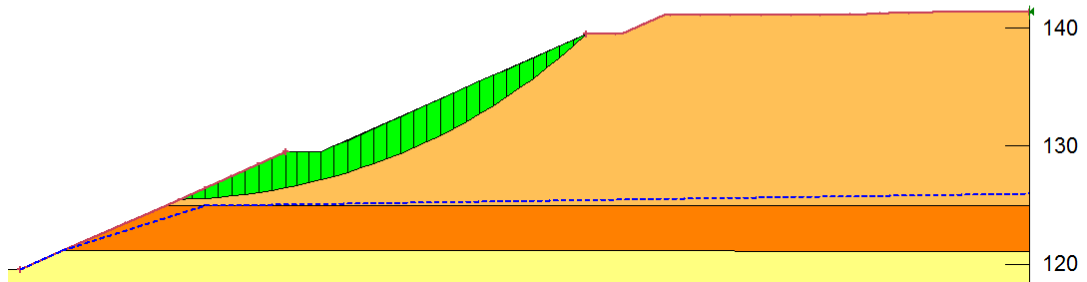


Figura 11 – Sección del eje de presa – Superficie potencial de deslizamiento global – Análisis pseudoestático

1.17

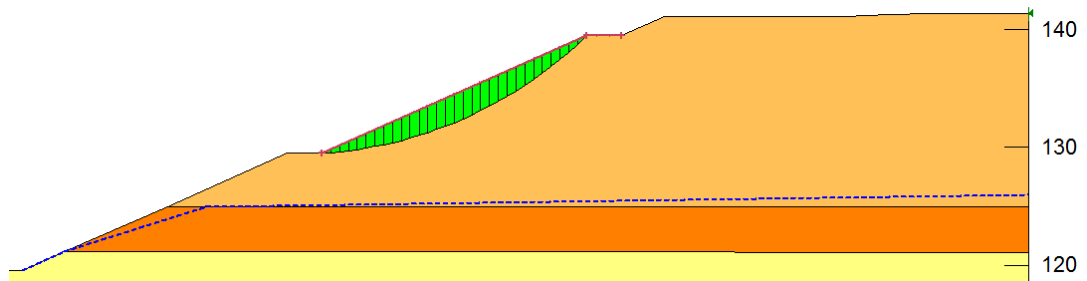


Figura 12 – Sección del eje de presa – Superficie potencial de deslizamiento del talud superior – Análisis pseudoestático

1.42

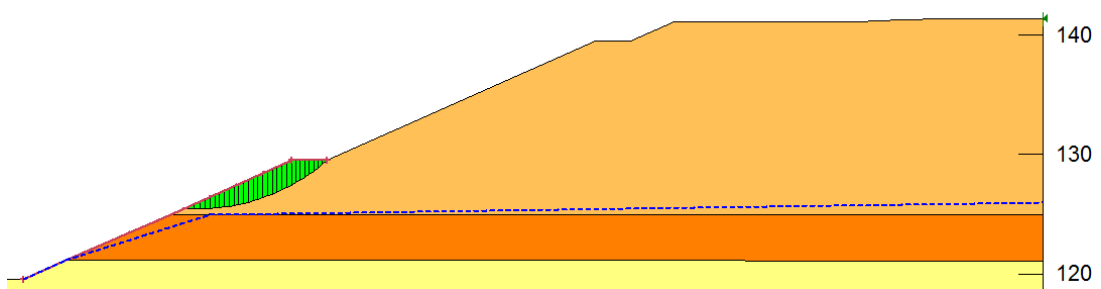


Figura 13 – Sección del eje de presa – Superficie potencial de deslizamiento del talud inferior – Análisis pseudoestático

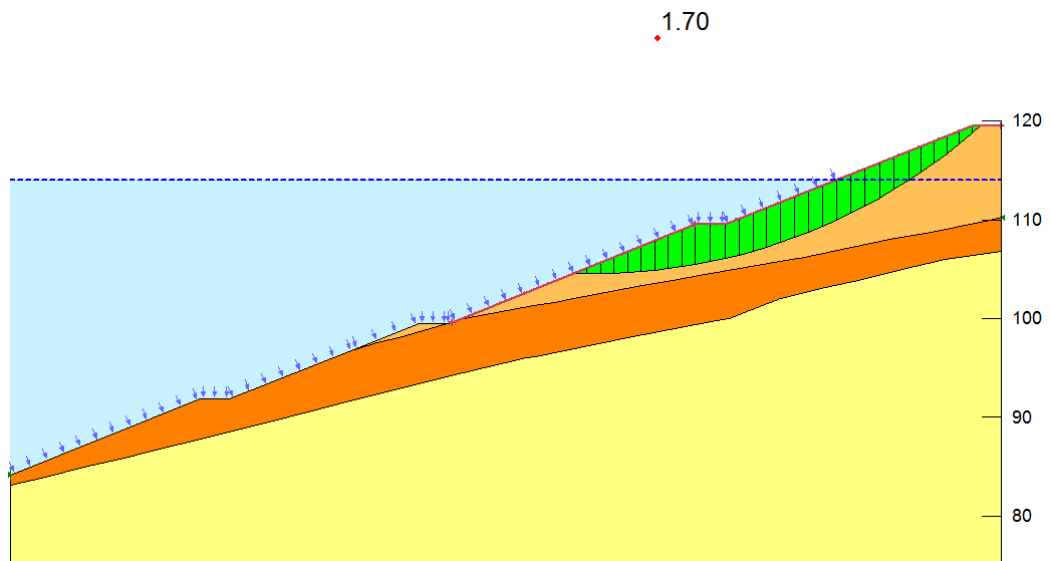
La Tabla 4 presenta el resumen de los factores de seguridad estáticos y pseudoestáticos obtenidos al buscar las superficies críticas de los taludes definitivos de la sección del eje de presa para las condiciones geométricas consideradas.

**Tabla 4 – Sección del eje de presa – Resumen de los factores de seguridad obtenidos**

FS Taludes definitivos Sección eje de presa		Falla		
		Global	Talud superior	Talud inferior
Análisis	Estático	1,75	1,55	1,95
	Seudoestático	1,28	1,17	1,42

### 10.3. Sección en la excavación de la central – Análisis estático

Para esta condición estática se analizaron tres posibles condiciones: una falla global que involucre al menos a dos bancos (Figura 14), una falla del talud superior (Figura 15) y una falla del talud inferior (Figura 16). Los taludes permanentes de esta sección se analizaron únicamente para la etapa de operación, por ser la que presenta los menores factores de seguridad. La superficie crítica para la falla global tiene un factor de seguridad de 1,70, y para las fallas de los taludes superior e inferior los factores de seguridad obtenidos son 1,50 y 1,76, respectivamente. Puede observarse que estos tres casos cumplen satisfactoriamente con el factor de seguridad mínimo solicitado de 1,50.



**Figura 14 – Sección de la central – Superficie potencial de deslizamiento global – Análisis estático**



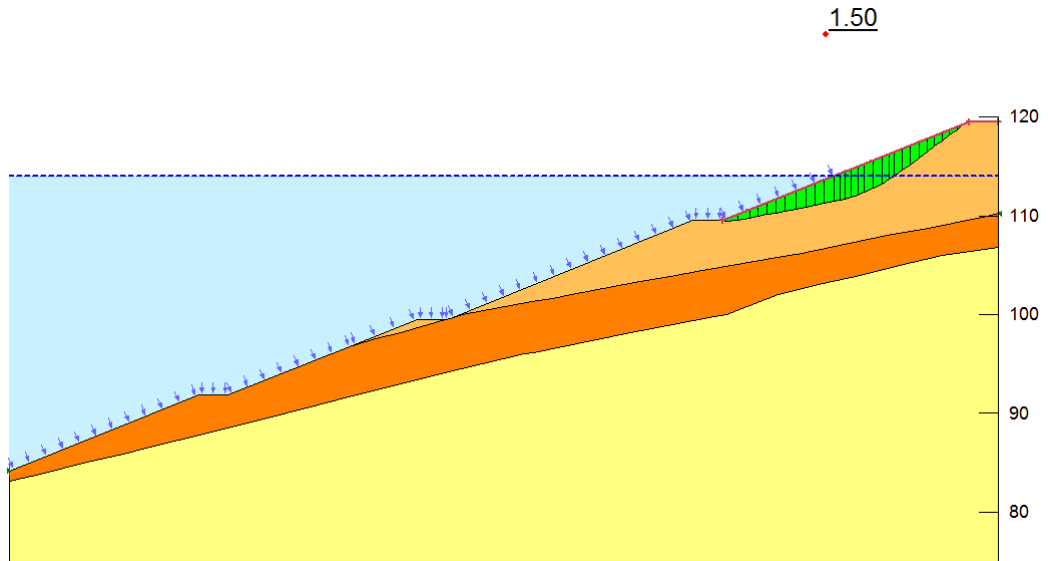


Figura 15 – Sección de la central – Superficie potencial de deslizamiento del talud superior – Análisis estático

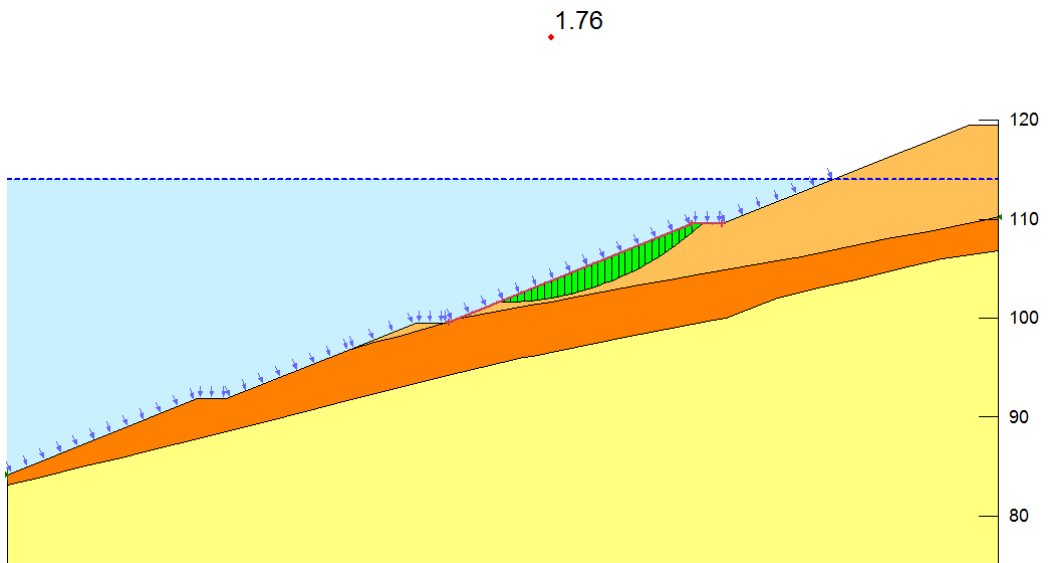


Figura 16 – Sección de la central – Superficie potencial de deslizamiento del talud inferior – Análisis estático

#### 10.4. Sección en la excavación de la central – Análisis pseudoestático

Se analizaron las mismas tres condiciones que en el caso estático: la falla global (Figura 17), la del talud superior (Figura 18) y la del talud inferior (Figura 19). Para los tres análisis se utilizó un coeficiente pseudoestático  $k_h = PGA/2g = 0,24g/2g = 0,12$ . Todos los análisis consideraron también el embalse. La superficie crítica tiene un factor de seguridad de 1,02 para la falla global, de 1,02 para el talud superior y de 1,00 para el talud inferior. Puede observarse que estos tres casos cumplen satisfactoriamente con el factor de seguridad mínimo requerido de 1,0.

1.02

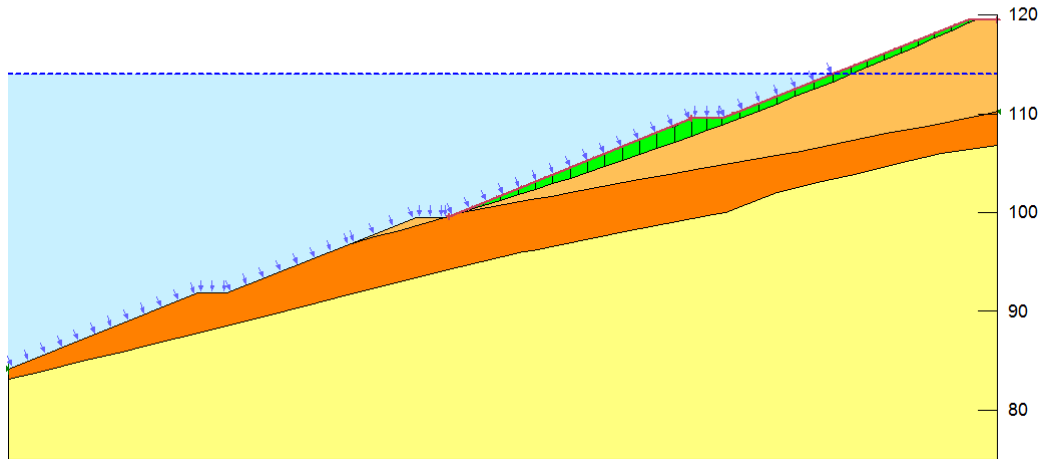


Figura 17 – Sección de la central – Superficie potencial de deslizamiento global – Análisis seudoestático

1.02

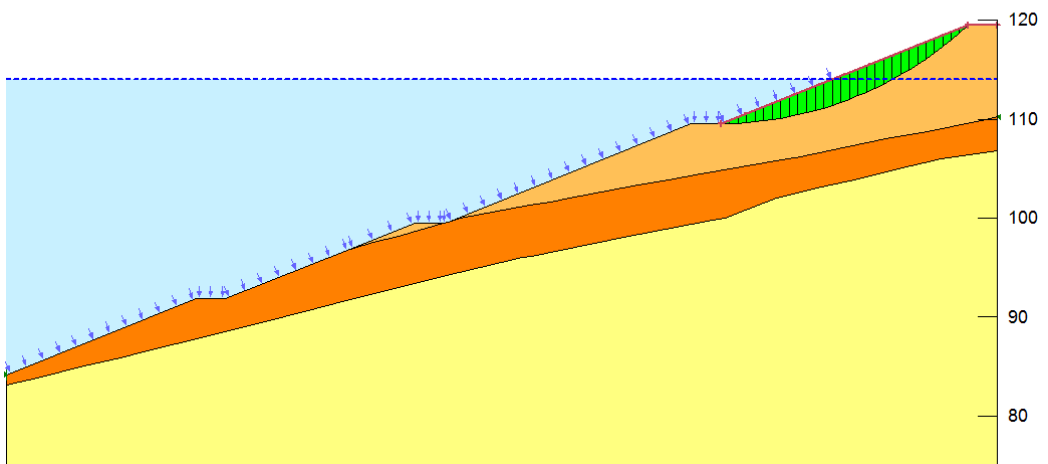
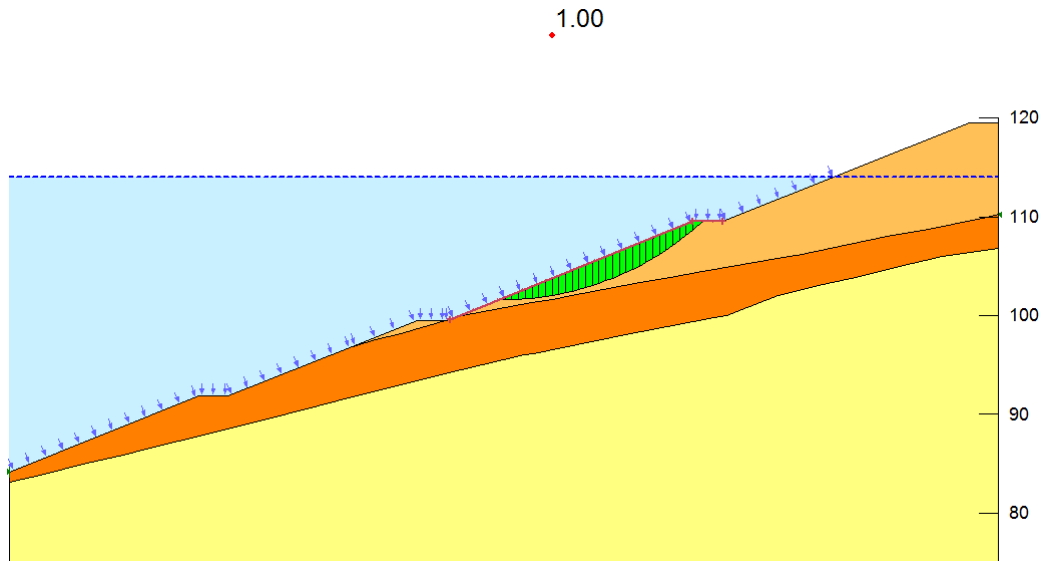


Figura 18 – Sección de la central – Superficie potencial de deslizamiento del talud superior – Análisis seudoestático



**Figura 19 – Sección de la central – Superficie potencial de deslizamiento del talud inferior – Análisis seudoestático**

La Tabla 5 presenta el resumen de los factores de seguridad estáticos y seudoestáticos obtenidos al buscar las superficies críticas de los taludes definitivos de la sección en la excavación de la central para las condiciones geométricas consideradas.

**Tabla 5 – Sección en la excavación de la central – Resumen de los factores de seguridad obtenidos**

FS Taludes definitivos Sección de la central		Falla		
		Global	Talud superior	Talud inferior
Análisis	Estático	1,70	1,50	1,76
	Seudoestático	1,02	1,02	1,00

### 10.5. Sección transversal – Talud temporal – Análisis estático

Para esta condición estática se analizaron cuatro posibles condiciones: dos fallas globales que involucran al menos a dos bancos, una de las cuales sale en el talud inferior (Figura 20) y la otra en la excavación para el diente del muro de cierre (Figura 21), una falla del talud superior (Figura 22) y una falla en el talud inferior (Figura 23). Todas ellas consideraron el nivel freático. La superficie crítica tiene un factor de seguridad de 1,87 para la falla global que sale en el talud inferior, de 3,69 para la que sale en la excavación para el diente, de 1,20 para la falla del talud superior y de 5,95 para la falla del talud inferior. Puede observarse que estos cuatro casos cumplen satisfactoriamente con el factor de seguridad mínimo solicitado de 1,2.

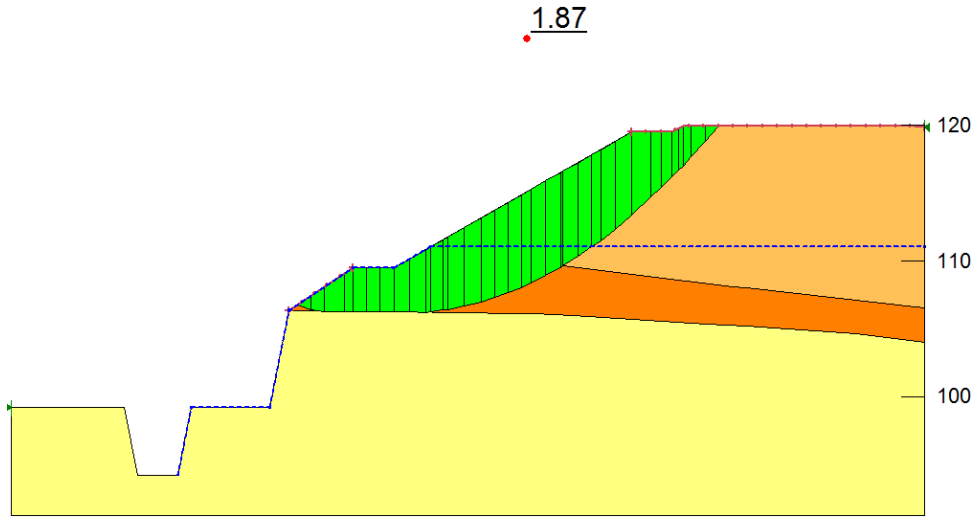


Figura 20 – Sección transversal – Superficie potencial de deslizamiento global – Salida talud inferior – Análisis estático

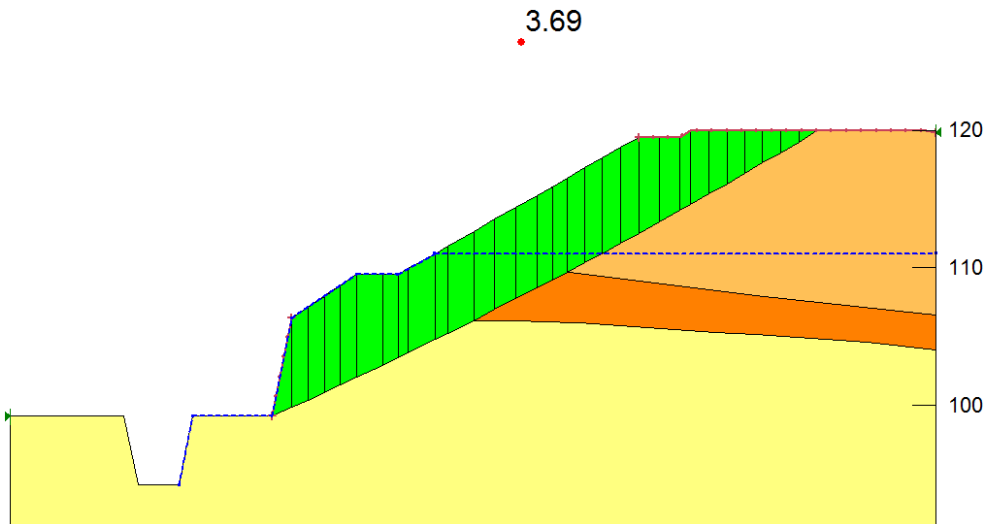


Figura 21 – Sección transversal – Superficie potencial de deslizamiento global – Salida diente – Análisis estático

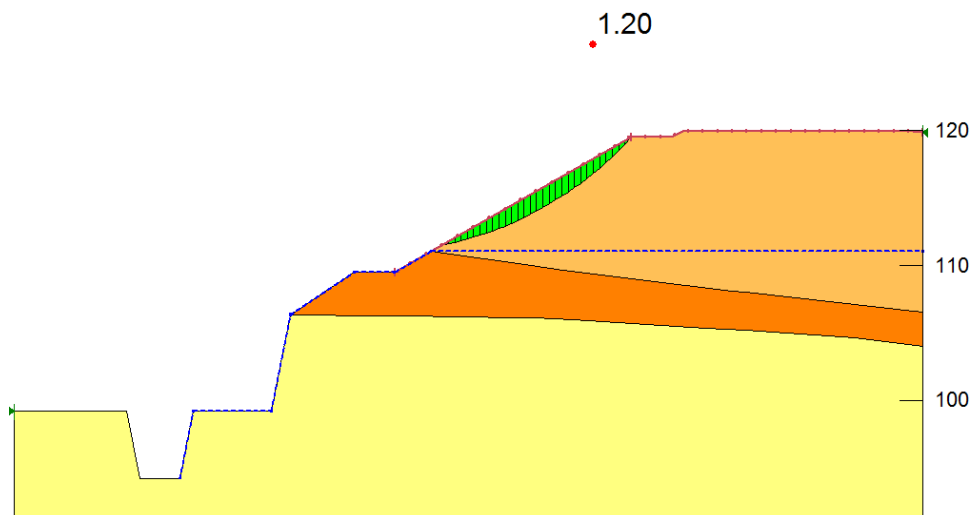


Figura 22 – Sección transversal – Superficie potencial de deslizamiento del talud superior – Análisis estático

5.95

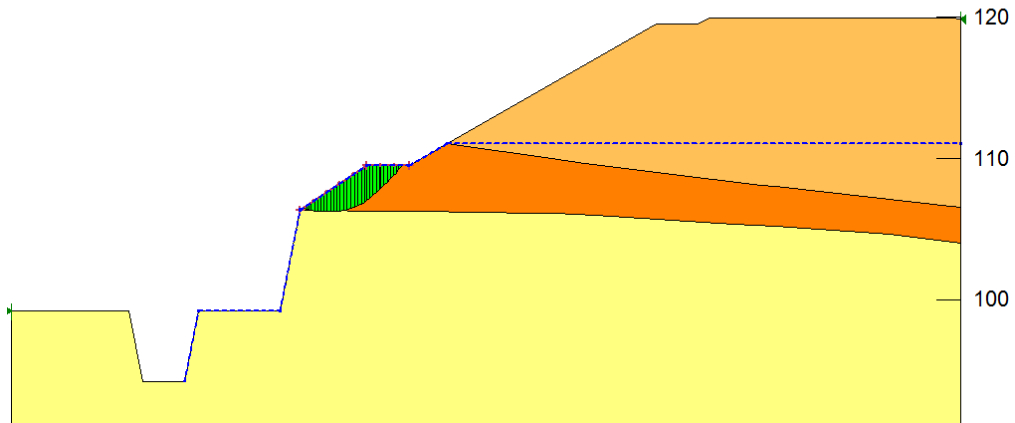


Figura 23 – Sección transversal – Superficie potencial de deslizamiento del talud inferior – Análisis estático

### 10.6. Sección transversal – Talud temporal – Análisis pseudoestático

Se analizaron las mismas cuatro condiciones que en el caso estático: la falla global que sale en el talud inferior (Figura 24), la que sale en el diente (Figura 25), la del talud superior (Figura 26) y la del talud inferior (Figura 27). Para los cuatro análisis se utilizó un coeficiente pseudoestático  $k_n = PGA/2g = 0,027g/2g = 0,014$ . Todos los análisis consideraron también nivel freático. La superficie crítica tiene un factor de seguridad de 1,81 para la falla global que sale en el talud inferior, de 3,59 para la que sale en la excavación para el diente, de 1,16 para la falla del talud superior y de 5,79 para la falla del talud inferior. Puede observarse que estos cuatro casos cumplen satisfactoriamente con el factor de seguridad considerado por el diseñador de ser igual o mayor a 1,1. De todas maneras, cabe aclarar que esta verificación no es requerida en los criterios de diseño, como se indica en el numeral 5.

1.81

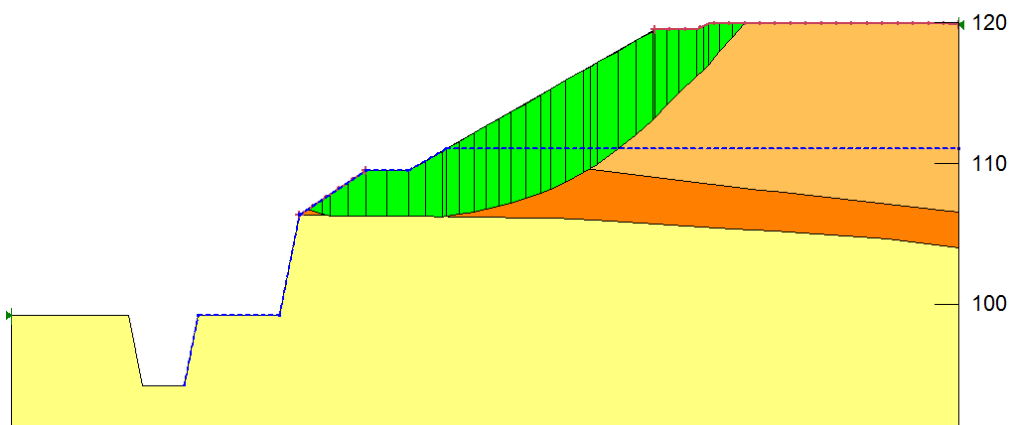


Figura 24 – Superficie potencial de deslizamiento global – Salida talud inferior – Análisis pseudoestático

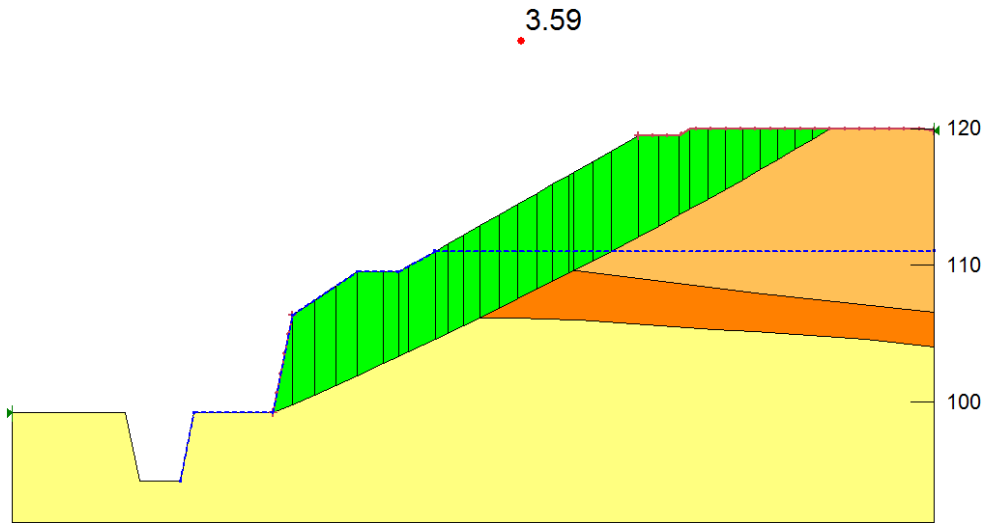


Figura 25 – Superficie potencial de deslizamiento global – Salida diente – Análisis pseudoestático

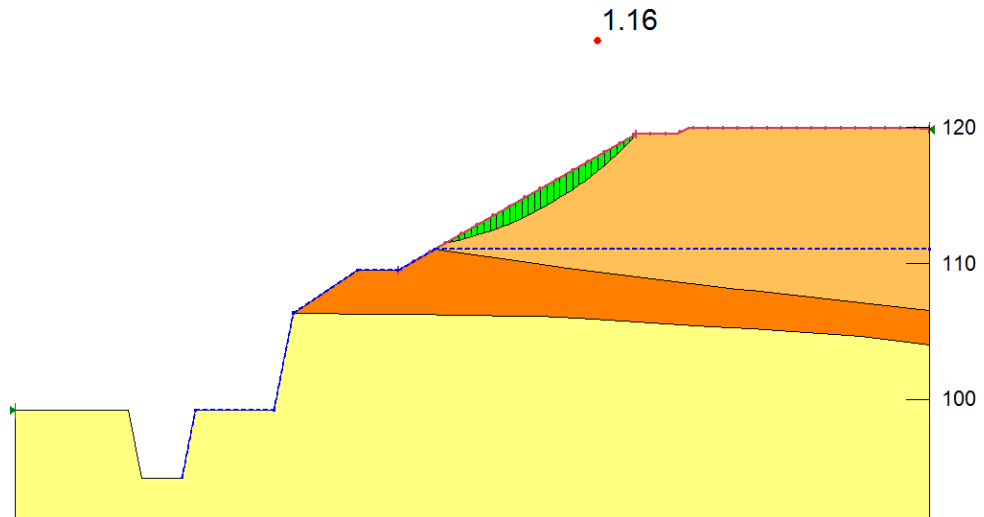


Figura 26 – Superficie potencial de deslizamiento del talud superior – Análisis pseudoestático

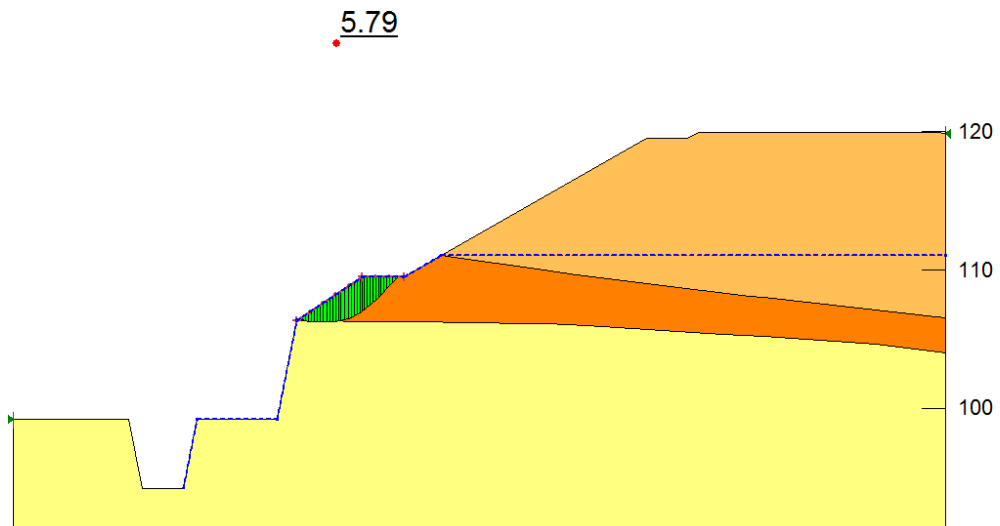


Figura 27 – Superficie potencial de deslizamiento del talud inferior – Análisis pseudoestático

La Tabla 6 presenta el resumen de los factores de seguridad estáticos y pseudoestáticos obtenidos al buscar las superficies críticas de los taludes temporales de la sección transversal para las condiciones geométricas consideradas.

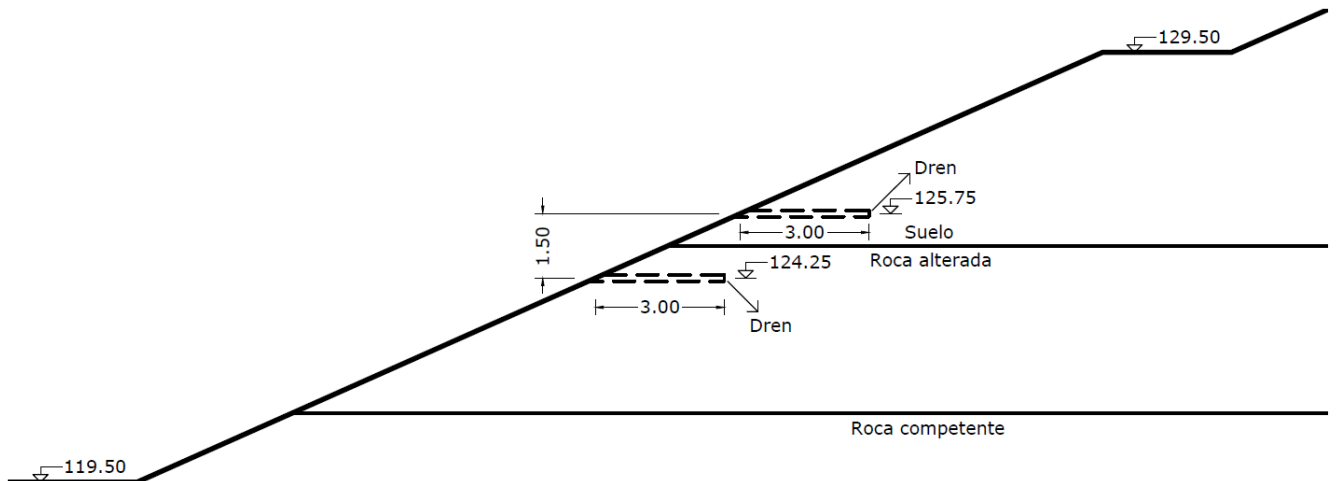
**Tabla 6 – Sección transversal – Resumen de los factores de seguridad obtenidos**

FS Taludes temporales Sección transversal		Falla			
		Global talud inferior	Global diente	Talud superior	Talud inferior
Análisis	Estático	1,87	3,69	1,20	5,95
	Seudoestático	1,81	3,59	1,16	5,79


## 11. DRENES

Dada la permeabilidad tanto del suelo como del estrato de roca alterada, es de esperar que a medida que se excave el estribo se produzca un retroceso gradual del nivel freático. En la Figura 5 se aprecia que la línea de saturación adoptada en el análisis de los taludes permanentes de la sección del eje de presa no aflora sino hasta alcanzar la roca competente a la cota 121,1 m. Es probable que este retroceso del nivel freático suceda al menos en el largo plazo, por lo que suponer que la línea de saturación aflora a un nivel superior sería demasiado exigente. Solo en el caso en el que se detecte que el nivel freático supera al adoptado o si se evidenciara afloramientos de agua en la superficie del talud, se justificaría implementar un sistema de drenaje como el descrito a continuación.

Para deprimir el nivel freático se podrían disponer drenes de PVC con su media caña superior cribada recubiertos de geotextil. Los mismos tendrían una profundidad mínima de 3 m y estarían separados 3 m en horizontal y dispuestos a trespelillo en 2 niveles separados 1,5 m: el nivel inferior en roca alterada y el superior en suelo. En la Figura 28 se muestra la disposición de drenes en la sección longitudinal y en la Figura 29 se presenta una vista frontal.



**Figura 28 – Disposición de drenes en la sección longitudinal**

	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0C Fecha: 29-11-16 Página: 23 de 25
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MC.GT-(PR-07-00)-P001

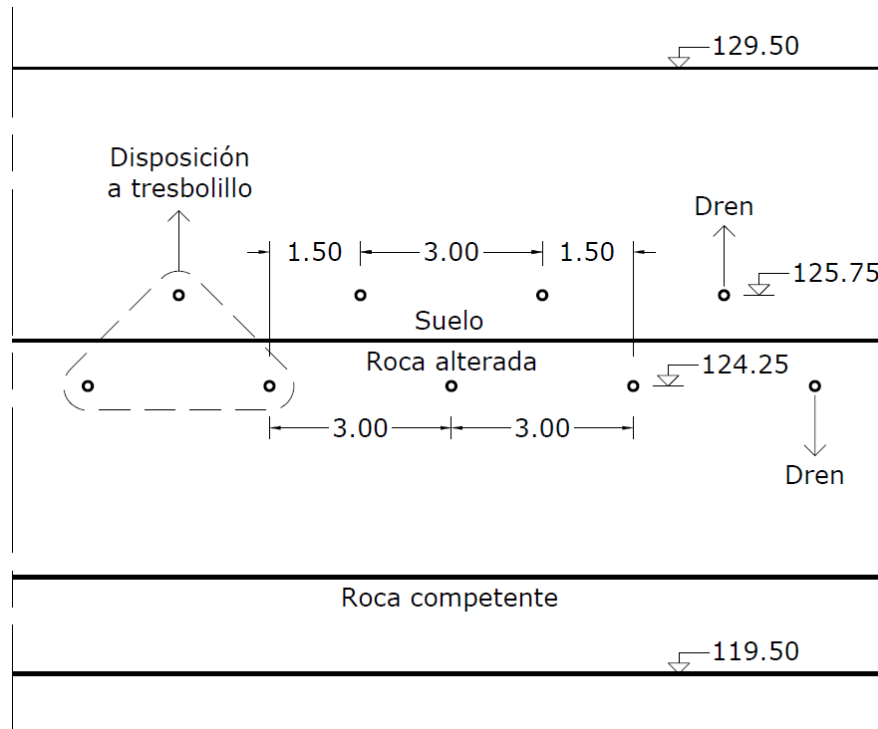


Figura 29 – Vista frontal de la disposición de drenes

## 12. CONCLUSIONES

A partir de los resultados presentados anteriormente, puede concluirse que tanto los taludes definitivos como los temporales adoptados para las excavaciones en el estribo derecho para la construcción del muro de hormigón remate de la presa, teniendo como base los parámetros geotécnicos entregados, resultan adecuados y satisfacen los requerimientos de seguridad.

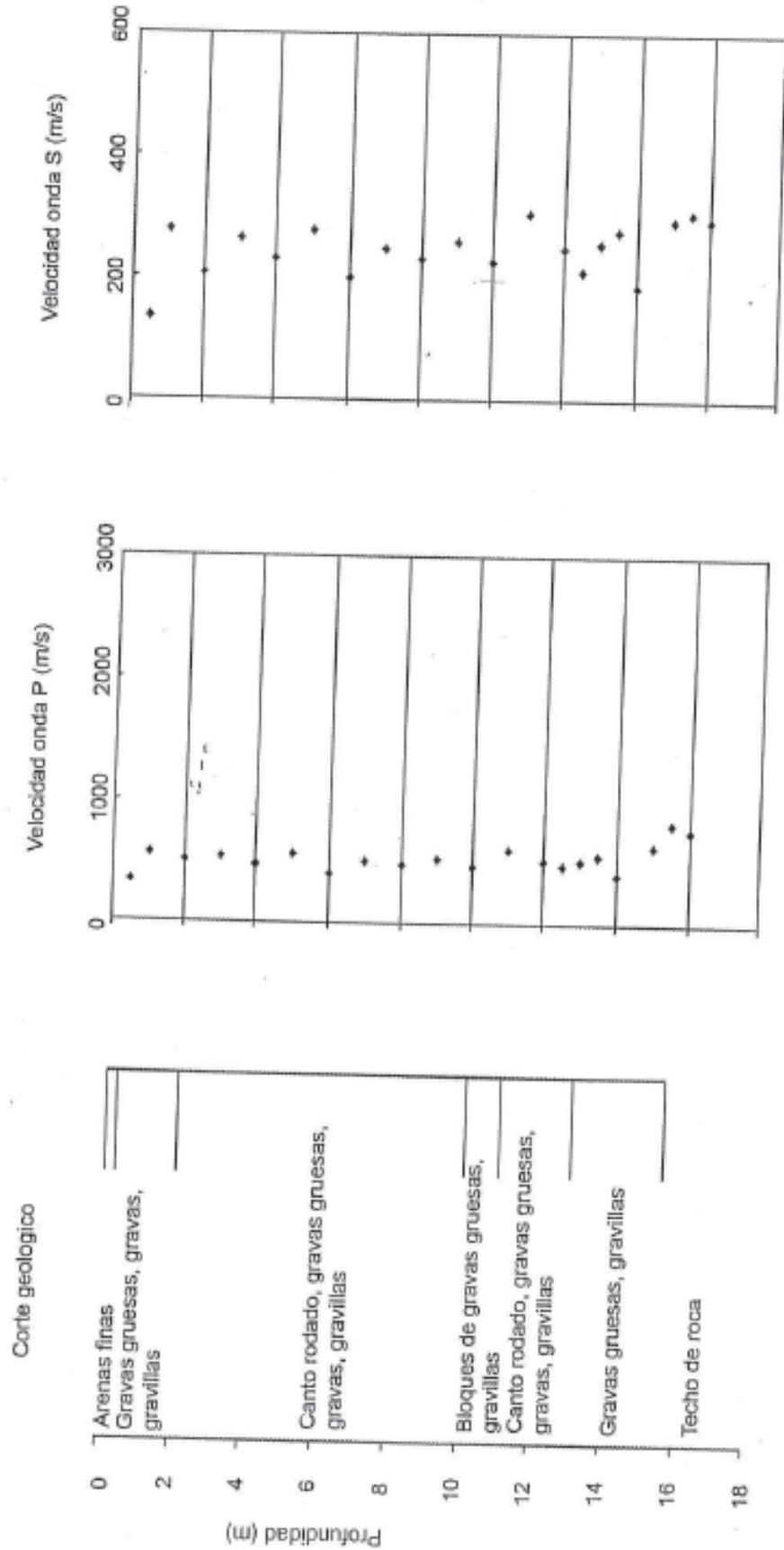
Es importante durante las excavaciones a realizar en el talud derecho mantener una supervisión permanente para confirmar las características de los materiales que fueron utilizadas en estos análisis, y en caso de encontrar mayores diferencias en sus características geomecánicas, verificar la estabilidad de los taludes de excavación, y si es del caso tomar decisiones sobre modificaciones en la geometría de excavación. Además, se debe hacer un relevamiento sobre las características de las discontinuidades como son estratificación y diaclasas para analizar posibles cuñas que puedan conformarse por las excavaciones para prever el soporte necesario para su estabilidad, en especial de las cuñas críticas. Finalmente se debe mantener un control de los niveles freáticos en las diferentes perforaciones y verificar que no se superen los niveles considerados pues esto influiría negativamente en la estabilidad de los taludes pudiendo requerir en algún momento la implementación del sistema de drenaje descrito.



## ANEXO 1 – ENSAYO SÍSMICO CROSS-HOLE PC12-13

Margen Derecha - Cross-Hole Perforaciones 12 - 13												
Martillo en Pozo 12 - Buzo en Pozo 13												
Prof (m)	Dist (m)	Tp (seg)	Ts(seg)	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	Vp (m/s)	Vs (m/s)	$\nu$	E (kg/cm <sup>2</sup> )	G (kg/cm <sup>2</sup> )	M (kg/cm <sup>2</sup> )	K (kg/cm <sup>2</sup> )	
0.5	4.95	0.0149	0.0375	2000	332	132	0.406	999	355	2250	1776	
1	4.95	0.0088	0.0178	2000	563	278	0.338	4220	1577	6451	4349	
2	4.95	0.0089	0.0241	2000	500	205	0.398	2406	860	5097	3950	
3	4.95	0.0081	0.0187	2000	544	265	0.345	3842	1429	6032	4128	
4	4.95	0.0104	0.0214	2000	476	231	0.345	2835	1091	4619	3164	
5	4.95	0.0089	0.0178	2000	556	278	0.333	4204	1577	6307	4204	
6	4.95	0.0123	0.025	2000	402	198	0.340	2143	799	3302	2236	
7	4.95	0.0098	0.0199	2000	505	249	0.340	3380	1261	5201	3519	
8	4.95	0.0103	0.0214	2000	481	231	0.349	2944	1091	4709	3254	
9	4.95	0.0094	0.0191	2000	527	259	0.340	3670	1369	5653	3828	
10	4.95	0.0105	0.0219	2000	471	226	0.351	2814	1042	4531	3142	
11	4.95	0.0082	0.0162	2000	604	306	0.328	5055	1903	7429	4891	
12	4.95	0.0096	0.02	2000	516	248	0.350	3373	1249	5420	3755	
12.5	4.95	0.0102	0.0236	2000	485	210	0.385	2485	897	4801	3606	
13	4.95	0.0095	0.0183	2000	521	256	0.340	3594	1341	5535	3747	
13.5	4.95	0.0089	0.0179	2000	556	277	0.336	4165	1559	6307	4228	
14	4.95	0.0124	0.0286	2000	399	186	0.361	1922	706	3249	2307	
15	4.95	0.0077	0.0167	2000	643	296	0.365	4890	1791	8425	6037	
15.5	4.95	0.006	0.0161	2000	825	307	0.419	5471	1927	13876	11307	
16	4.95	0.0065	0.0168	2000	762	295	0.412	4998	1770	11823	9464	

# CROSS HOLE P12-13



NOTAS

--

REFERENCIA

--

NOTAS INSPECCION

<p>.....</p> <p>.....</p>
---------------------------

QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL SIN PREVIA AUTORIZACION DE REPRESAS PATAGONIA UTE

0H	REVISIÓN DEL NIVEL DE FUNDACIÓN	15-09-16	AV	FJ	JA	NB
0G	REVISIÓN PARÁMETROS GEOTÉCNICOS	12-07-16	AV	AG	JA	NB
0F	EMISIÓN PARA REVISIÓN DE INSPECCIÓN	17-11-15	AV	FF	JA	NB
0E	EMISIÓN PARA REVISIÓN DE INSPECCIÓN	15-10-15	AV	GL	JA	NB
0D	EMISIÓN PARA REVISIÓN DE INSPECCIÓN	20-07-15	AV	GL	JA	NB
0C	EMISIÓN PARA REVISIÓN DE INSPECCIÓN	25-06-15	AV	GL	JA	NB
0B	EMISIÓN PARA REVISIÓN DE INSPECCIÓN	29-05-15	AV	GL	JA	NB
0A	EMISIÓN ORIGINAL	14-05-15	AV	GL	JA	NB
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	PROYECTÓ	EJECUTÓ	REVISÓ	VERIFICÓ

**MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA**  
**SECRETARIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA**  
**SUBSECRETARIA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA**



**REPRESAS PATAGONIA**  
**ELING-CGGC-HCSA-UTE**


APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

NOMBRE		FECHA
EJECUTÓ	GL	14-04-15
REPRES. TEC.		
		Etapa Proyecto:
		PE
		Nivel desarrollo:
		200
Pag.	Form.	Esc.
1/64	A4	s/e

**REPRESA GOB. JORGE CEPERNIC**  
**OB. CIVILES – PRESA**  
**MURO DE CIERRE MARGEN DERECHA**  
**MEMORIA DE CÁLCULO – FUNDACIONES Y**  
**ESTRUCTURAS – ESTABILIDAD GLOBAL**

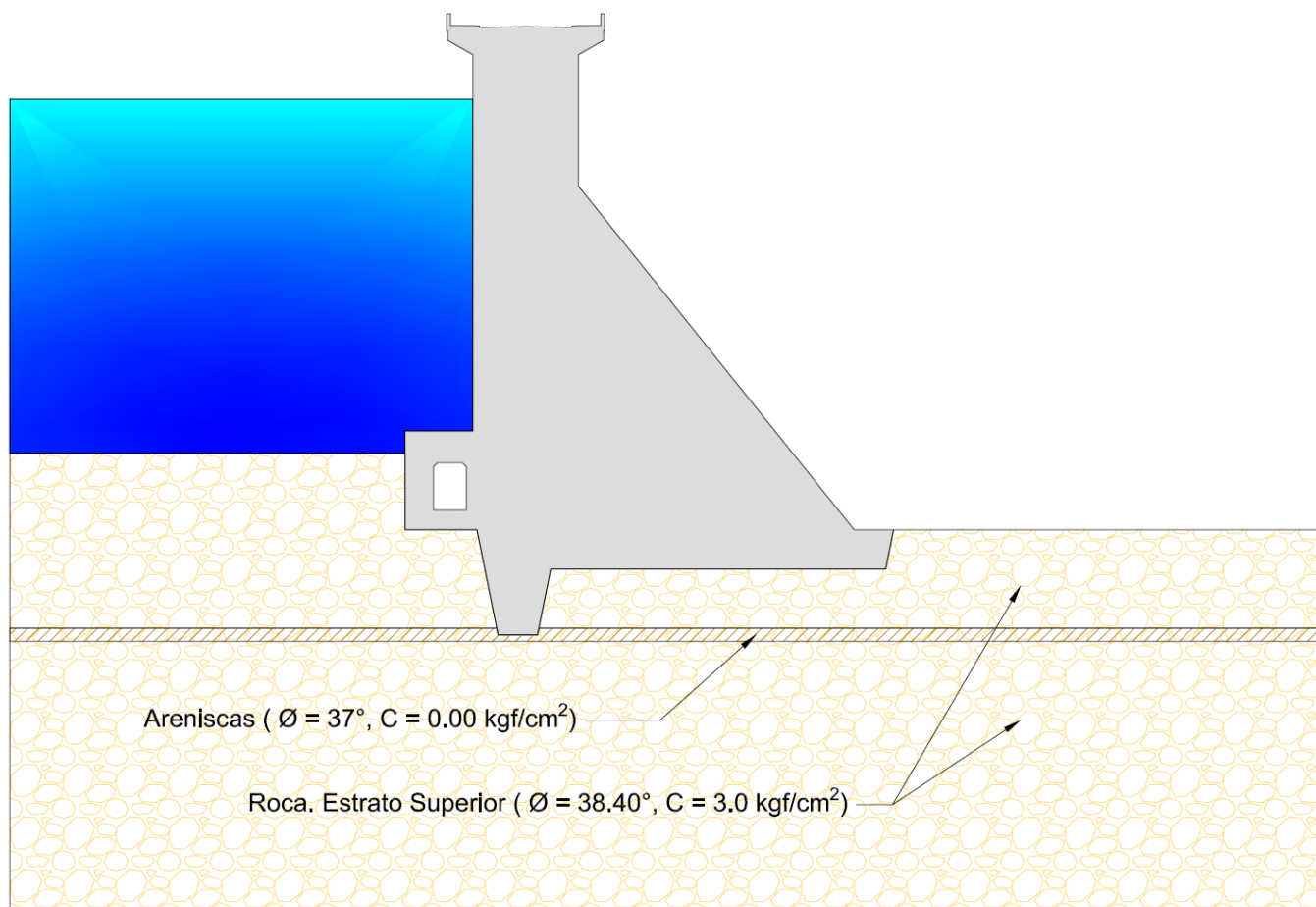
Doc. N°	Rev.
JC-A.CV-MC.FE-(PR-07-00)-P001	0H

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARIA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: <b>0H</b> Fecha: 15-09-16 Página: 2 de 64
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MC.FE-(PR-07-00)-P001

## TABLA DE CONTENIDO

<b>ESTUDIO DE ESTABILIDAD DEL MURO DE CUERRE MARGEN DERECHA JC .....</b>	<b>3</b>
Casos de carga .....	10
Combinación de cargas.....	11
Parámetros geotécnicos.....	13
Propiedades de los materiales .....	13
Fuerzas interviniétes .....	15
Coeficientes de estabilidad .....	17
<b>RESULTADOS PARA TODAS LAS COMBINACIONES DE CARGA.....</b>	<b>20</b>
Combinación de carga .....	21
Propiedades de los materiales .....	21
Geometría .....	23
Fuerzas interviniétes .....	24
Distancias al punto de giro .....	28
Coeficientes de Estabilidad .....	32
Resumen de resultados para todas las combinaciones de carga consideradas .....	48
Resumen de geometría de cuñas y cargas resultantes para la iteración final - Considerando Fricción y Cohesión.....	57
Resumen de geometría de cuñas y cargas resultantes para la iteración final - Considerando sólo Fricción .....	61

## Estudio de Estabilidad del Muro de Cierre Margen Derecha JC



El propósito del presente documento es realizar y documentar los chequeos preliminares de estabilidad del muro de cierre de margen derecha de la presa JC. Para ello se realizan estudios de estabilidad de cuerpo rígido del Muro.

El modelo geológico tenido en cuenta es el presentado en el documento JC-A CV-MT GT-(OG-00-00)-P001-0C. En el mismo se describen tres estratos de roca diferentes, superior (De cota +52.00 hacia arriba), medio (De cotas +46.00 a +52.00) e inferior (De cota +46.00 hacia abajo). Además se considera un estrato débil subhorizontal en la base del diente.

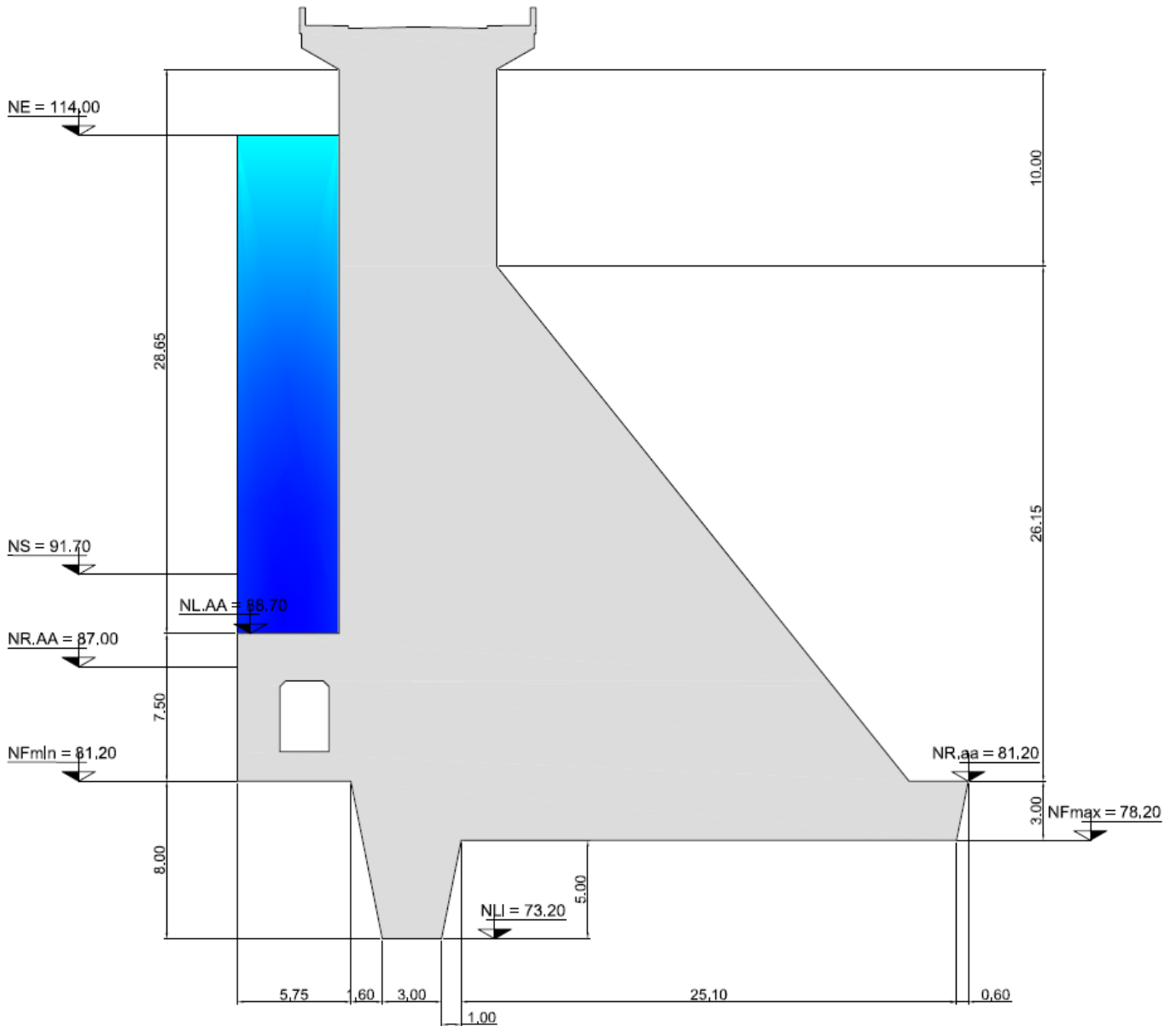
Los análisis de cuerpo rígido tienen en cuenta el peso propio de la estructura, los empujes de agua y subpresión como se muestra en el esquema de la siguiente página. Las resultantes se calculan en los baricentros de cada parte interviniente y sus valores se utilizan para calcular la estabilidad de la estructura.

Las fuerzas verticales tenidas en cuenta para la estabilidad son el peso de la estructura, el peso del agua sobre la misma y la subpresión debajo de ella. Una cortina de drenaje es tenida en cuenta y su eficiencia depende del caso considerado.

El empuje del agua, y de suelo si correspondiera, también son consideradas horizontalmente. Los baricentros de cada una de las fuerzas consideradas son indicadas en el mismo esquema. Las distancias de todas las fuerzas para el cálculo de momento se realiza desde su baricentro hasta el punto de referencia A indicado en la misma figura.

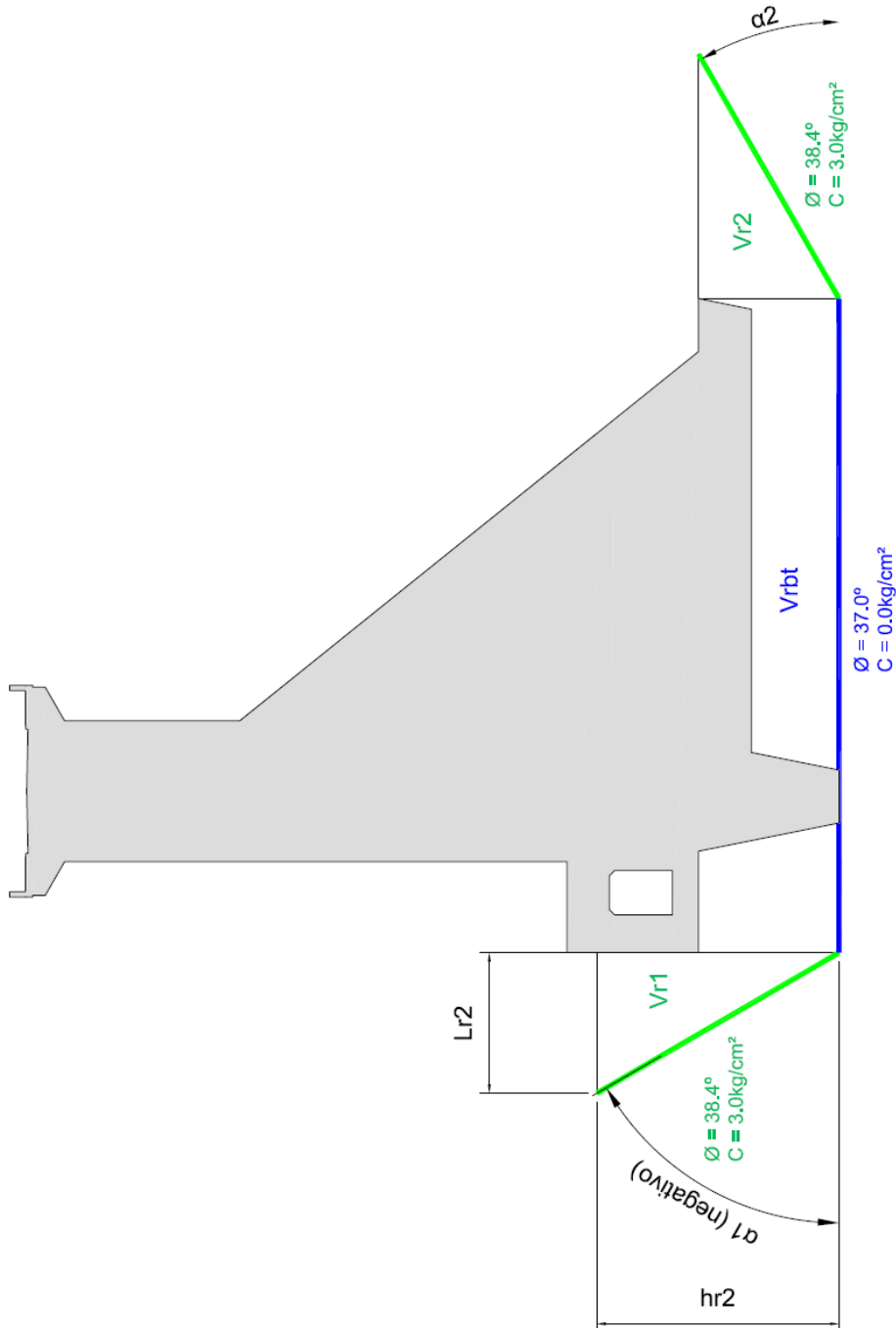
Un análisis pseudoestático fue considerado para los casos sísmicos, para los sismos SBO y SMD indicados en la tabla de la página 12.

*Geometría de la estructura*



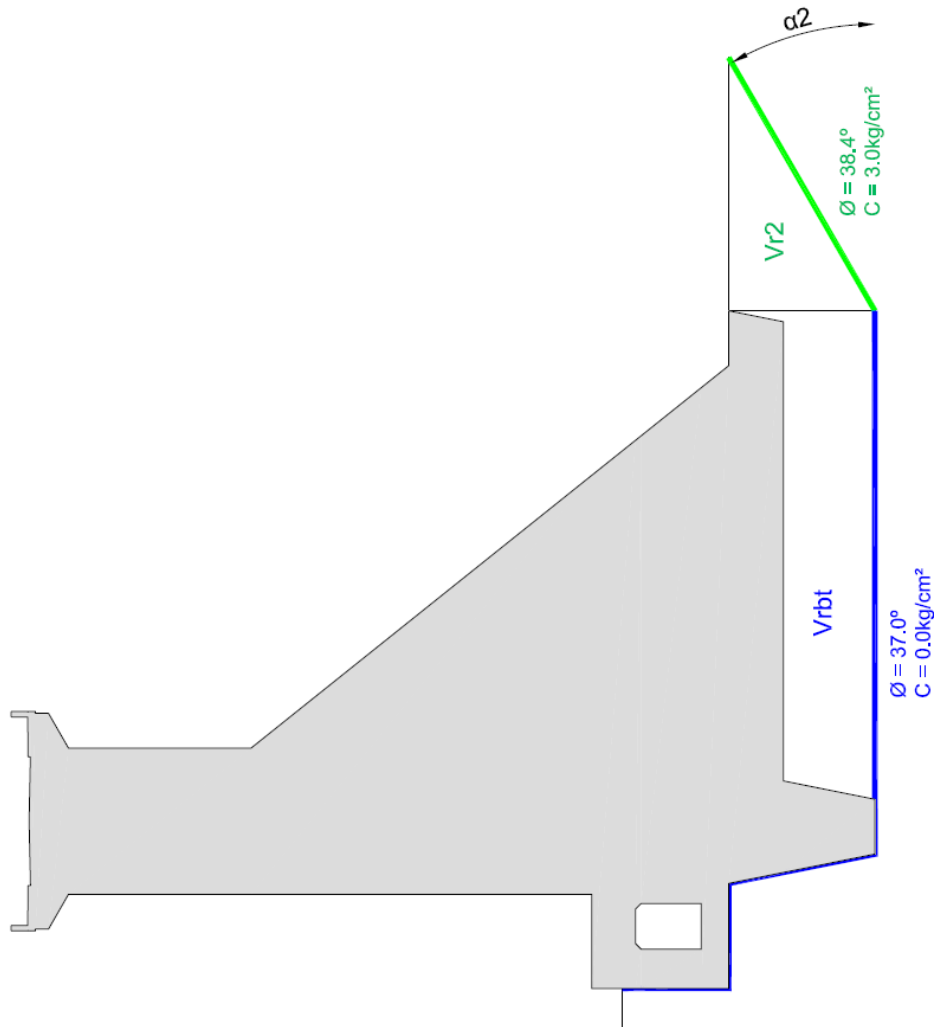


*Esquema de cuñas según el método USACE.*  
**SOLUCIÓN PARA 3 CUÑAS CONSIDERANDO UN PLANO DÉBIL EN LA BASE DEL DIENTE**

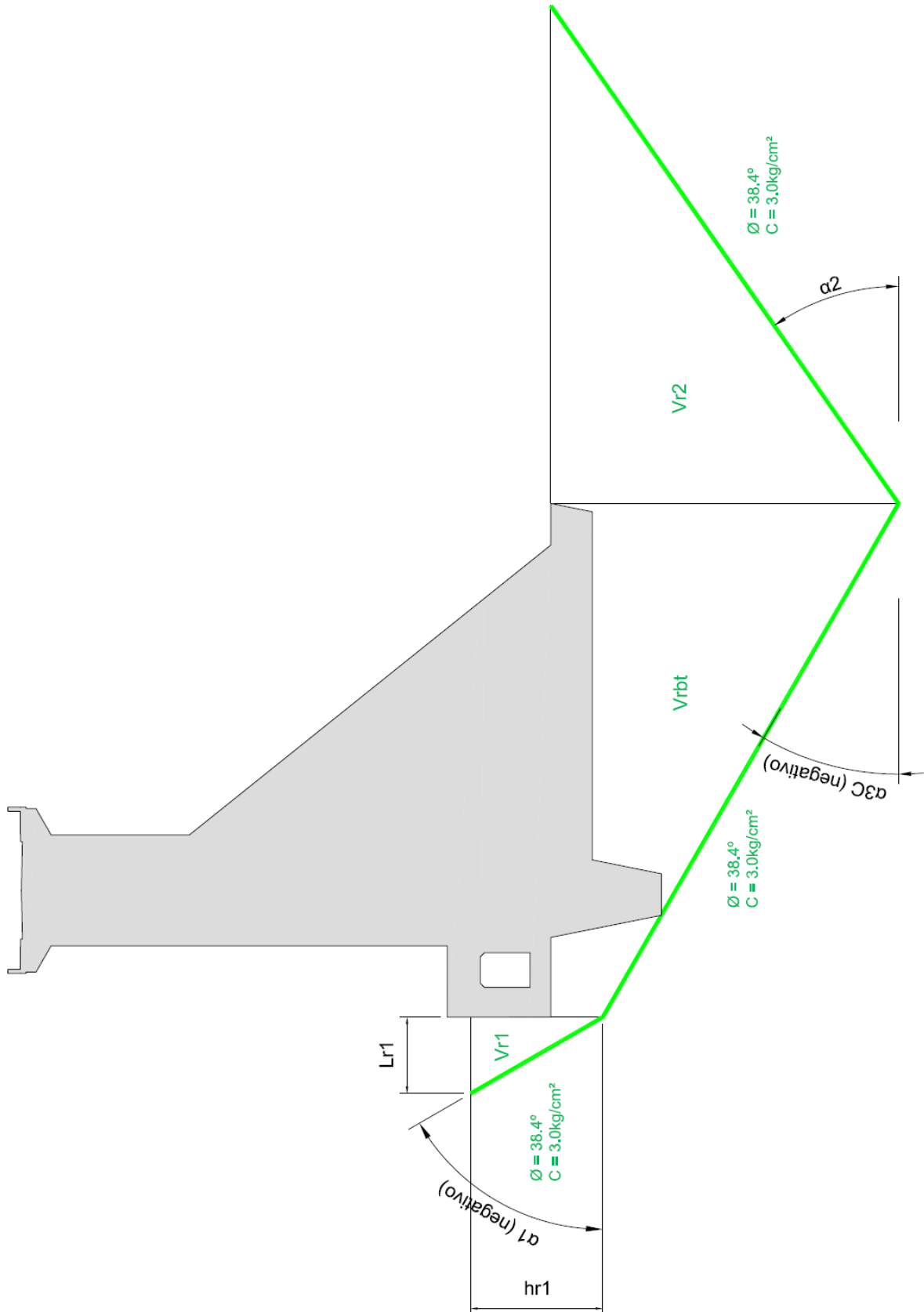




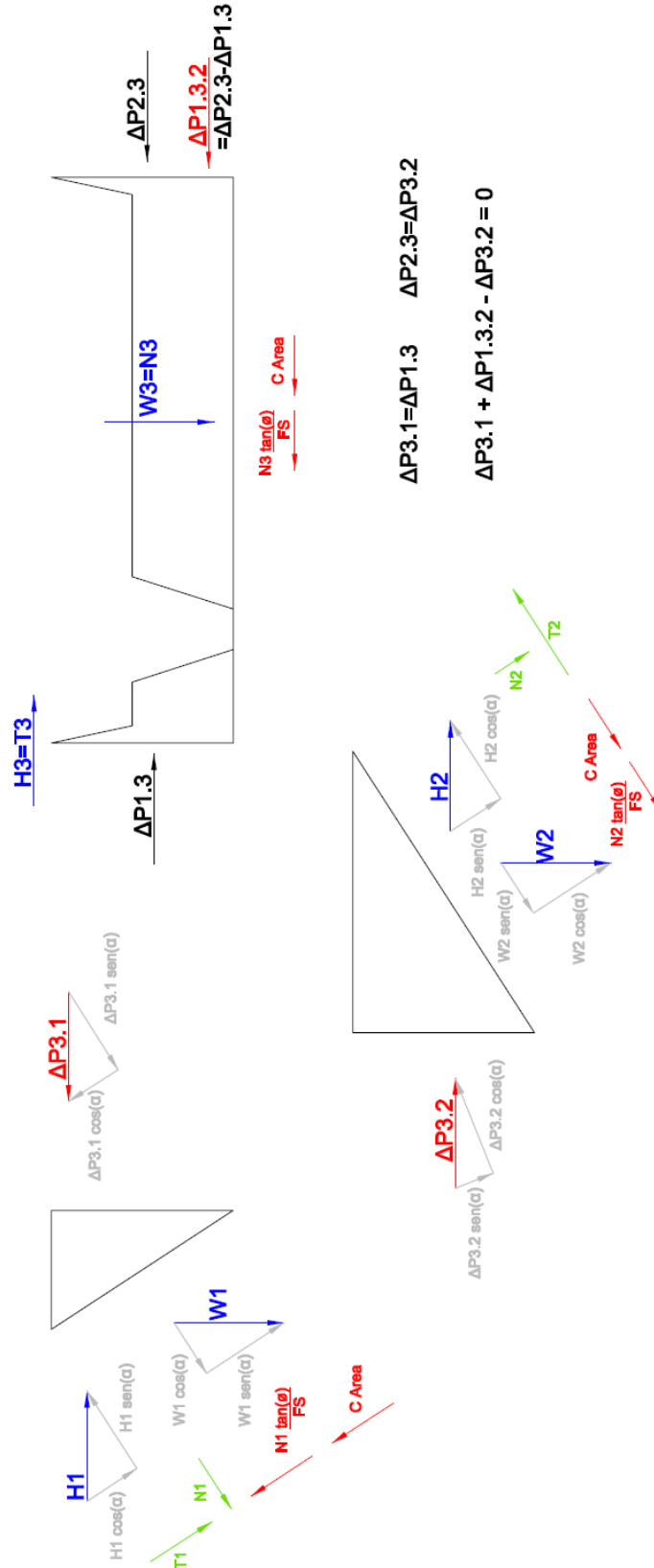
*Esquema de cuñas según el método USACE.*  
**SOLUCIÓN PARA 2 CUÑAS CONSIDERANDO UN PLANO DÉBIL EN LA BASE DEL DIENTE**



*Esquema de cuñas según el método USACE.*  
**SOLUCIÓN PARA 3 CUÑAS CONSIDERANDO UN PLANO INCLINADO EN LA BASE DEL DIENTE**



Esquema de equilibrio de cuerpo libre de cada cuña involucrada.



## Casos de carga

	Casos de Carga	Clasificación	Casos I – Situación Normal				Casos II – Situación Excepcional				Casos III – Situación Extrema			
			A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
			1.1	1.1+1.2+ 1.3	1.1+1.2+ 2.1	1.1+1.2+ 1.1+1.3+ 2.3	1.1+1.2+ 3.1	1.1+1.2+ 1.3+3.2	1.1+2.1+ 2.3	1.1+1.2+ 2.1+2.2				
1.1	i) Peso propio	a) Ordinarias	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
1.2	ii) Acción hidrostática producida por Nivel Máximo Normal aguas arriba y Nivel de Restitución producido por el desfogue de la Central operando con el caudal nominal de todas las máquinas.	a) Ordinarias		X		X				X	X		X	
1.3	iii) Subpresiones determinadas para eficiencia 2/3 de la cortina de drenes	a) Ordinarias		X			X			X				
2.1	i) Subpresiones determinadas para eficiencia 1/3 de la cortina de drenes	b) Eventuales						X					X	
2.2	ii) Acción inercial e hidrodinámica inducida por el Sismo Básico de Operación.	b) Eventuales						X					X	
2.3	iii) Nivel Máximo de Embalse y nivel de restitución correspondiente a máxima descarga del vertedero.	b) Eventuales										X		
3.1	i) Subpresiones determinadas para eficiencia nula del sistema de drenes	c) Extraordinarias								X				
3.2	ii) Acción inercial e hidrodinámica inducida por el Sismo Máximo de Diseño (SMD).	c) Extraordinarias									X			



## Combinación de cargas

Para generar las combinaciones de carga se cumple con los siguientes lineamientos:

**Casos I** – Situación Normal: Todas las acciones componentes del mismo serán Acciones Ordinarias.

**Casos II** – Situación Excepcional: Las acciones componentes incluyen Una Acción Eventual, siendo el resto Acciones Ordinarias.

**Casos III** – Situación Extrema: Las acciones componentes incluyen Una Acción Extraordinaria, siendo el resto Acciones Ordinarias o bien las acciones componentes incluyen Dos Acciones Eventuales simultáneas, siendo las restantes Acciones Ordinarias.

Resultando las combinaciones de carga indicadas en la siguiente tabla:

Nro.	Combinación de carga	Condición	Descripción	Nivel de Embalse [m]	Nivel de Restitución [m]	Eficiencia de Drenes	Sismo PGA [g]	Nivel de Sedimentos [m]	Factor de flotación	Máxima excentricidad relativa	Factor de deslizam.	Factor de deslizam. + Cohesión	$\sigma_{adm}$ [kPa]
1	1.1	Caso I.A	Normal	0	0	0	0	0	1.2	0.166	1.5	3	2850
2	1.1+1.2+ 1.3	Caso I.B	Normal	114	80.5	0.667	0	91.7	1.2	0.166	1.5	3	2850
3	1.1+2.2	Caso II.A	Excepcional	0	0	0	0.028	0	1.1	0.250	1.2	2.1	3705
4	1.1+1.2+ 2.1	Caso II.B	Excepcional	114	80.5	0.333	0	91.7	1.1	0.250	1.2	2.1	2850
5	1.1+1.2+1.3+2.2	Caso II.C	Excepcional	114	80.5	0.667	0.028	91.7	1.1	0.250	1.2	2.1	2850
6	1.1+1.3+2.3	Caso II.D	Excepcional	115	82.5	0.667	0	91.7	1.1	0.250	1.2	2.1	3705
7	1.1+1.2+ 3.1	Caso III.A	Extremo	114	80.5	0.000	0	91.7	1	0.500	1	1.5	2850
8	1.1+1.2+ 1.3+3.2	Caso III.B	Extremo	114	80.5	0.667	0.253	91.7	1	0.500	1	1.5	3705
9	1.1+2.1+ 2.3	Caso III.C	Extremo	115	82.5	0.333	0	91.7	1	0.500	1	1.5	2850
10	1.1+1.2+ 2.1+2.2	Caso III.D	Extremo	114	80.5	0.333	0.028	91.7	1	0.500	1	1.5	3705

## Parametros Geotécnicos

Los parámetros geotécnicos considerados para el análisis de la estabilidad de la estructura se basan en el informe JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001-0C (Obras Civiles - Obras Generales - Memoria Técnica - Caracterización Geotécnica de Fundación).

### Estrato Superior ( de cota +52.00 hacia arriba)

Ángulo de Fricción Interna  $\phi_{r.es} = 38.40\text{deg}$

Cohesión  $c_{r.es} = 3.0 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

### Estrato Medio ( de cota +46.00 a +52.00)

Ángulo de Fricción Interna  $\phi_{r.em} = 31.90\text{deg}$

Cohesión  $c_{r.em} = 3.50 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

### Estrato Inferior ( de cota +46.00 hacia abajo)

Ángulo de Fricción Interna  $\phi_{r.ei} = 32.70\text{deg}$

Cohesión  $c_{r.ei} = 3.50 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

### Areniscas ( en la base del diente)

Ángulo de Fricción Interna  $\phi_{ar} = 37.00\text{deg}$

Cohesión  $c_{ar} = 0.00 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

## Propiedades de los Materiales

Las siguientes propiedades de los materiales son consideradas en todos los casos analizados:

### Hormigón

Peso unitario  $\gamma_H = 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

### Agua

Peso unitario  $\gamma_w = 9.81 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

### Roca

Peso unitario húmedo  $\gamma_r = 1.90 \frac{\text{grf}}{\text{cm}^3}$

Peso unitario sumergido  $\gamma_{rs} = \gamma_r - \gamma_w$

### Sedimentos

Peso unitario  $\gamma_s = 13.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

Ángulo de fricción interno  $\phi_s = 15\text{deg}$

### Parámetros Sísmicos

Para el cálculo de los efectos dinámicos del suelo se utilizan las expresiones de Mononobe Okabe:

Coefficiente de pseudoaceleración horizontal  $k_h = \frac{2}{3} \frac{\text{PGA}}{\text{g}}$

Aceleración vertical en g's  $k_v = 0$

Inclinación del muro con respecto a la vertical  $\theta = 0\text{deg}$

Inclinación de la superficie del suelo  $\beta = 0\text{deg}$

Ángulo de fricción del muro  $\delta = 0\text{deg}$

$$\psi = \text{atan}\left(\frac{k_h}{1 - k_v}\right)$$

$$k_{ae} = \frac{\cos(\phi_s - \psi(n) - \theta)^2}{\cos(\psi(n)) \cdot \cos(\theta)^2 \cdot \cos(\psi(n) + \theta + \delta) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi_s + \delta) \cdot \sin(\phi_s - \psi(n) - \beta)}{\cos(\beta - \theta) \cdot \cos(\psi(n) + \theta + \delta)}}\right)^2}$$

$$k_e = k_{ae} - k_{a,rf}$$

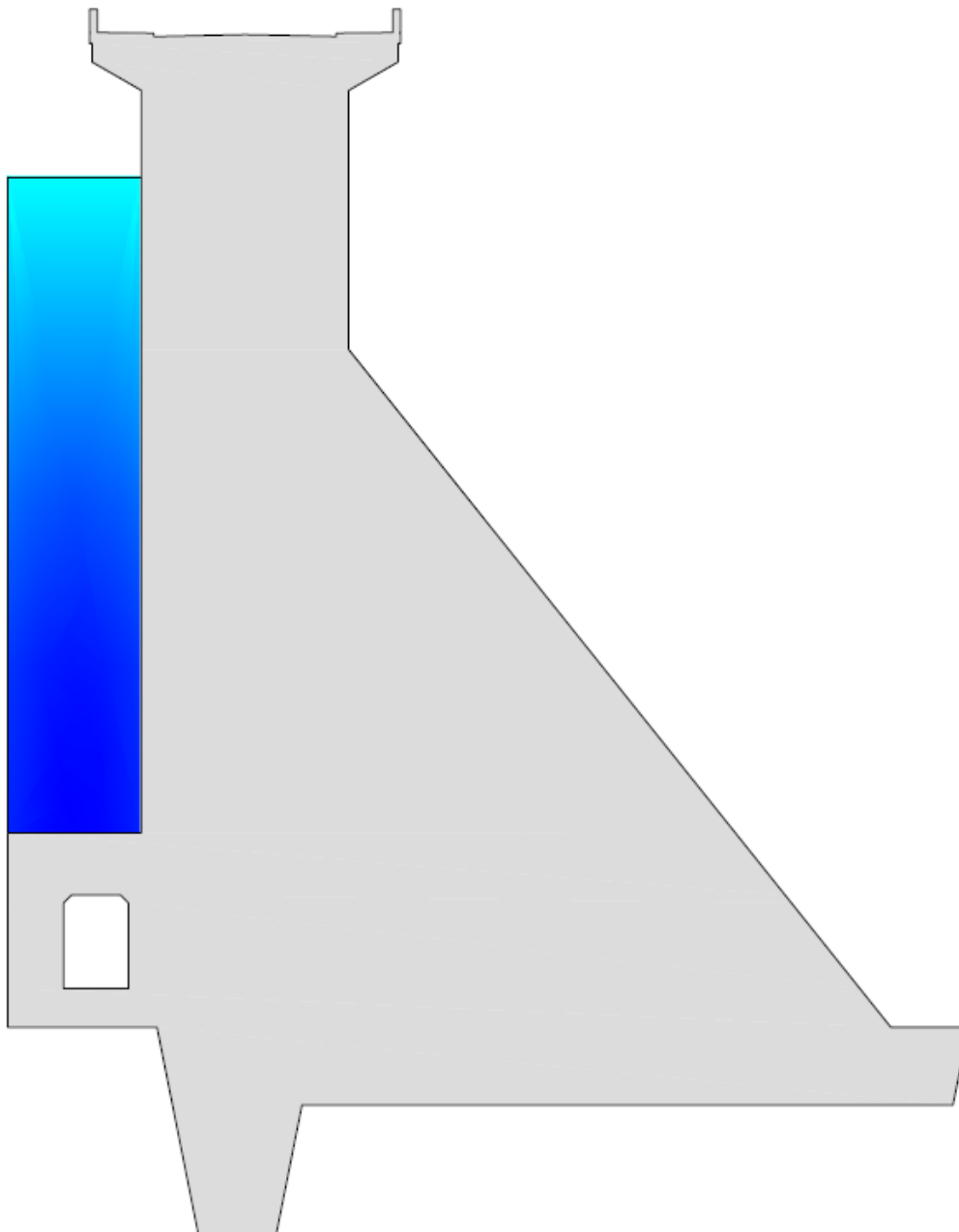


## Fuerzas intervinientes

### Fuerzas actuantes Estáticas

Entre las fuerzas estáticas consideradas están los pesos de las estructuras, el agua sobre las mismas y los empujes horizontales de agua y de suelo.

Para obtener el peso de las estructuras y el peso del agua sobre las mismas se modela en 2D de manera de poder obtener su volumen unitario.



Los empujes hidrostáticos y debidos al suelo se calculan con la siguientes expresiones:

Empujes hidrostáticos 
$$EH = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot h_E^2 \cdot B$$

Empuje horizontal del suelo 
$$EH_S = k_0 \cdot \frac{1}{2} \gamma_s \cdot h_S^2 \cdot B$$

Donde  $h_E$  y  $h_S$  son las alturas del agua y altura del suelo apoyado a la estructura respectivamente.  $B$  es el ancho de la estructura considerada

### Subpresiones

Para el cálculo de las subpresiones se utilizan funciones que representan la cota de la base de la estructura  $Z(x)$  y otra que representa la línea de presiones para el mismo nivel de referencia  $P(x)$  a lo largo de la misma. De la suma de ambas resulta la función de presión debajo de la estructura.

Para obtener la resultante se integra la expresión obtenida a lo largo de la base de la estructura.

Presiones 
$$H(x) = Z(x) + \frac{P(x)}{\gamma_w}$$

Subpresión total 
$$U_{tot} = B \cdot \gamma_w \cdot \int_0^L H(x) dx$$

Área total bajo la curva de presiones 
$$A_{tot} = \frac{U_{tot}}{B \cdot \gamma_w}$$

Coordenada del punto de aplicación de la fuerza de subpresion (baricentro) 
$$X_u = \frac{\int_0^L x \cdot H(x) dx}{A_{tot}}$$

### Empujes dinámicos

Para el cálculo de los efectos dinámicos del agua se utilizan las expresiones de Westergaard:

Presión hidrodinámica 
$$p_w(y) = k_h \cdot \gamma_w \cdot \frac{7}{8} \cdot \sqrt{h_A \cdot y}$$

Fuerza hidrodinámica 
$$E_{hd} = \int_0^{h_{AA}} p_w(y) dy \cdot B$$

Para el empuje dinámico del sedimento debido al sismo:

$$E_{s.ke} = k_e \cdot \frac{1}{2} \gamma_s \cdot h_S^2 \cdot B$$

## Coeficientes de Estabilidad

Los diferentes coeficientes de estabilidad utilizados para analizar el comportamiento de la estructura se encuentran detallados en la siguiente sección.

Luego de obtener sus valores se comparan con los valores requeridos en cada caso de carga.

### Seguridad a la Flotación

Se calcula como el cociente entre la suma de las fuerzas gravitatorias y la suma de fuerzas de subpresión

Factor de seguridad a la flotación

$$F_f = \frac{G_v}{U}$$

Donde:

Fuerzas gravitatorias  $G_v$

Fuerzas de subpresión  $U$

### Seguridad al Vuelco

Se calcula como el cociente de la suma de momentos estabilizadores y la suma de momentos volcadores

Factor de seguridad al volcamiento en el punto de referencia

$$F_{vA} = \frac{M_e}{M_v}$$

#### Estabilizantes

Momento estabilizante total

$$M_e = M_G + M_{E,aa}$$

Donde:

Momento debido al peso propio y al agua sobre la estructura  $M_G$

Momento debido a los empujes aguas abajo  $M_{E,aa}$

#### Volcadores Estáticos

Sumatoria de momentos volcadores estáticos

$$M_{v,e} = M_{E,AA} + M_U$$

Donde:

Momento debido a los empujes aguas arriba  $M_{E,AA}$

Momento debido a la subpresión  $M_U$

### Volcadores Dinámicos

Sumatoria de momentos volcadores dinámicos

$$M_{v,d} = M_{G.Eq} + M_{E.Eq}$$

Donde:

Momento debido al sismo sobre la masa de las estructuras  $M_{G.Eq}$

Momento debido a la sobrepresiones y subpresiones en caso de un evento sísmico  $M_{E.Eq}$

Sumatoria de momentos volcadores

$$M_v = M_{v,e} + M_{v,d}$$

### Seguridad al deslizamiento

Se calcula de la siguiente manera

$$F_s = \frac{\Sigma F_v \cdot \tan(\phi_r) + A_{base} \cdot C_r}{\Sigma F_h}$$

Donde:

Área de la base  $A_{base}$

Sumatoria de fuerzas verticales  $\Sigma F_v$

Sumatoria de fuerzas horizontales  $\Sigma F_h = \Sigma F_{h,e} + \Sigma F_{h,d}$

Sumatoria de fuerzas horizontales estáticas  $\Sigma F_{h,e}$

Sumatoria de fuerzas horizontales dinámicas  $\Sigma F_{h,d}$

Se calculan dos casos, uno en donde la cohesión no es tenida en cuenta y otro donde sí es tenida en cuenta. Ambos casos se comparan con los requerimientos para cada caso y si uno de ellos se encuentra dentro del rango requerido, el criterio de deslizamiento se considera satisfecho.

Factor de seguridad al deslizamiento por fricción y cohesión

$$F_{s1} = \frac{\Sigma F_v \cdot \tan(\phi_r) + A_{base} \cdot C_r}{\Sigma F_h}$$

Factor de seguridad al deslizamiento por fricción

$$F_{s2} = \frac{\Sigma F_v \cdot \tan(\phi_r)}{\Sigma F_h}$$

### Tensiones Máximas actuantes sobre la roca de fundación y Excentricidad Relativa

Se calculan las tensiones en la fundación de la estructura con la siguiente expresión:

$$\sigma_{\max}(n) = \frac{\Sigma F_v}{A_{\text{base}}} + \frac{\Sigma M_A \cdot x_a}{I_x}$$

Donde:

Distancia desde el centro de gravedad de la base al punto de referencia

$x_a$

Sumatoria de fuerzas verticales

$\Sigma F_v$

Área de contacto de la base

$A_{\text{base}}$

Sumatoria de momentos respecto al centro de giro de la base.

$\Sigma M_{XG} = -\Sigma F_v \cdot x_a + M_e - M_v$

Momento de inercia barycentric de la sección de la base

$I_x = \frac{B \cdot X_A^3}{12}$

Longitud de la base de la estructura

$X_A$

Excentricidad relativa

$$e_r = \frac{e_x}{X_A}$$

Donde:

Excentricidad de la resultante respecto al baricentro de la base

$e_x = \left| \frac{\Sigma M_{XG}}{\Sigma F_v} \right|$

Tensiones máximas resultantes en la base

$$\sigma_{\max} = \begin{cases} \frac{\Sigma F_v}{A_{\text{base}}} + \frac{\Sigma M_{XG} \cdot x_a}{I_x} & \text{if } e_r \leq \frac{1}{6} \\ \frac{2 \Sigma F_v}{3 \cdot (x_a - e_x) \cdot B} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Esta expresión tiene en cuenta si la base se encuentra enteramente en compresión o no para calcular la tensión máxima resultante en la base.



## Resultados para todas las combinaciones de carga

En la siguiente sección se muestra el cálculo detallado para una combinación de carga y luego se hace un resumen con los resultados para todos los casos.

## Combinación de carga:

Número de combinación de carga:  $n = 2$

Descripción del caso de carga considerado:

Combinación de carga	Combinación de carga(n) = "1.1+1.2+ 1.3"
Condición	Condición(n) = "Caso I.B"
Descripción	Descripción(n) = "Normal"

El caso de carga corresponde con las siguientes condiciones operativas:

Nivel de embalse	NE(n) = 114 m
Nivel de restitución	NR(n) = 80.5 m
Nivel de sedimentos	NS(n) = 91.7 m
Eficiencia de los drenes	E(n) = 66.67. %
Nivel de sismo - Pseudoaceleración	PGA(n) = 0. g

## Propiedades de los Materiales

### Hormigón

Peso unitario  $\gamma_H = 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

### Agua

Peso unitario  $\gamma_w = 9.81 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$   $\gamma_w = 1 \cdot \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^3}$

### Roca

Peso unitario húmedo  $\gamma_r = 1.90 \frac{\text{grf}}{\text{cm}^3}$

Peso unitario sumergido  $\gamma_{rs} = \gamma_r - \gamma_w$   $\gamma_{rs} = 8.82 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

Angulo de fricción interno  $\phi_r = 38.4\text{deg}$

Cohesión en los planos inclinados  $c_r = 3.00 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Angulo de fricción en los estratos débiles  $\phi_{ar} = 37\text{deg}$

Cohesión en los estratos débiles  $c_{ar} = 0 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

### Sedimentos

Peso unitario

$$\gamma_s = 1350 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

Angulo de fricción interno

$$\phi_s = 15\text{deg}$$

Coefficiente de empuje en reposo

$$k_0 = 1 - \sin(\phi_s)$$

$$k_0 = 0.74$$

Coefficiente de empuje activo

$$k_{a.rf} = \tan\left(45\text{deg} - \frac{\phi_s}{2}\right)^2$$

$$k_{a.rf} = 0.59$$

Coefficiente de empuje pasivo

$$k_{p.rf} = \tan\left(45\text{deg} + \frac{\phi_s}{2}\right)^2$$

$$k_{p.rf} = 1.7$$

### Parametros Sísmicos

Aceleración Pico

$$\text{PGA}(n) = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\frac{\text{PGA}(n)}{\text{g}} = 0$$

Coefficiente de pseudoaceleración horizontal

$$k_h(n) = \frac{2}{3} \frac{\text{PGA}(n)}{\text{g}}$$

$$k_h(n) = 0$$

- Mononobe Okabe

Aceleración vertical en g's

$$k_v(n) = 0$$

Inclinación del muro con respecto a la vertical

$$\theta = 0\text{deg}$$

Inclinación de la superficie del suelo

$$\beta = 0\text{deg}$$

Ángulo de fricción del muro

$$\delta_{\Delta} = 0\text{deg}$$

$$\psi(n) = \text{atan}\left(\frac{k_h(n)}{1 - k_v(n)}\right)$$

$$\psi(n) = 0\text{deg}$$

$$k_{ae}(n) = \frac{\cos(\phi_s - \psi(n) - \theta)^2}{\cos(\psi(n)) \cdot \cos(\theta)^2 \cdot \cos(\psi(n) + \theta + \delta) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi_s + \delta) \cdot \sin(\phi_s - \psi(n) - \beta)}{\cos(\beta - \theta) \cdot \cos(\psi(n) + \theta + \delta)}}\right)^2}$$

$$k_{ae}(n) = 0.59$$

$$k_e(n) = k_{ae}(n) - k_{a.rf}$$

$$k_e(n) = 0$$



## Geometría

Nivel de Agua en el embalse	$NE(n) = 114 \text{ m}$	
Nivel de Plano de Excavación en Roca aguas arriba	$NR_{AA} = 87.00 \text{ m}$	
Nivel de Fundación del monolito aguas arriba	$NF_{\min} = 81.20 \text{ m}$	
Nivel de Fundación del monolito aguas abajo	$NF_{\max} = 78.20 \text{ m}$	
Nivel de Plano de Excavación en Roca aguas abajo	$NR_{aa} = 81.20 \text{ m}$	
Nivel de Restitución	$NR(n) = 80.5 \text{ m}$	
Nivel de la Galería de Drenaje	$N_G = NF_{\min} + 1.3 \text{ m} = 82.5 \text{ m}$	
Nivel máximo de Sedimentación	$NS(n) = 91.7 \text{ m}$	
Nivel en la Losa aguas abajo	$N_L = 81.20 \text{ m}$	
Nivel en la Losa Aguas Arriba	$N_{L.AA} = 88.70 \text{ m}$	
Nivel inferior del Diente Aguas Arriba	$N_{Li} = 73.20 \text{ m}$	
Ancho del monolito	$B = 1.00 \text{ m}$	
Altura h1	$h_1 = NF_{\min} - N_{Li}$	$h_1 = 8 \text{ m}$
Altura h2	$h_2 = NF_{\max} - N_{Li}$	$h_2 = 5 \text{ m}$
Altura h3	$h_3 = NR_{aa} - NF_{\max}$	$h_3 = 3 \text{ m}$

Distancias horizontales en la base de la estructura:

$$X_d = 4.25 \text{ m} \quad L_1 = 5.75 \text{ m} \quad L_2 = 7.35 \text{ m} \quad L_3 = 10.35 \text{ m} \quad L_4 = 11.35 \text{ m} \quad L_5 = 36.45 \text{ m} \quad L_6 = 37.00 \text{ m}$$

$$L_{LAA} = 5.15 \text{ m}$$

## Fuerzas intervinientes

### Fuerzas actuantes Estáticas

Peso y volumen del monolito

$$V_M = 728.60m^3$$

$$G_M = V_M \cdot \gamma_H$$

$$G_M = 1783 \cdot \text{tonnef}$$

Empuje hidrostático Aguas arriba  $h_{AAE}(n) = NE(n) - NF_{\min}$

$$EH_{AA}(n) = \begin{cases} 0 & \text{if } h_{AAE}(n) \leq 0 \\ \frac{1}{2} \gamma_w \cdot h_{AAE}(n)^2 \cdot B & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$EH_{AA}(n) = 538 \cdot \text{tonnef}$$

Empuje hidrostático Aguas abajo  $h_{aae}(n) = NR(n) - NF_{\max}$

$$EH_{aa}(n) = \begin{cases} 0 & \text{if } h_{aae}(n) \leq 0 \\ \frac{1}{2} \gamma_w \cdot h_{aae}(n)^2 \cdot B & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$EH_{aa}(n) = 3 \cdot \text{tonnef}$$

Empuje horizontal de sedimentos  $h_{AAS}(n) = NS(n) - NR_{AA}$

$$EH_S(n) = \begin{cases} 0 & \text{if } h_{AAS}(n) \leq 0 \\ k_0 \cdot \frac{1}{2} \gamma_s \cdot h_{AAS}(n)^2 \cdot B & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$EH_S(n) = 11 \cdot \text{tonnef}$$

Peso y volumen del agua sobre la estructura Aguas Arriba

$$V_{W.AA}(n) = \begin{cases} 0m^3 & \text{if } n = 1 \vee n = 3 \\ L_{LAA} \cdot B \cdot (NE(n) - N_{L.AA}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$G_{W.AA}(n) = \begin{cases} 0 & \text{if } h_{AAE}(n) \leq 0 \\ V_{W.AA}(n) \cdot \gamma_w & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$G_{W.AA}(n) = 130 \cdot \text{tonnef}$$

### Línea de Energía

$$Z(n, x) = \begin{cases} 0\text{m} & \text{if } 0\text{m} \leq x \leq L_1 \\ \frac{h_1}{L_2 - L_1} \cdot (x - L_1) & \text{if } L_1 < x \leq L_2 \\ h_1 & \text{if } L_2 < x \leq L_3 \\ \frac{-h_2}{L_4 - L_3} \cdot (x - L_3) + h_1 & \text{if } L_3 < x \leq L_4 \\ h_1 - h_2 & \text{if } L_4 < x \leq L_5 \\ \frac{-h_3}{L_6 - L_5} \cdot (x - L_5) + h_1 - h_2 & \text{if } L_5 < x \leq L_6 \end{cases}$$

Eficiencia de Drenes

$$E(n) = 66.67\%$$

Presiones

$$P_{RE}(n) = \gamma_w \cdot (\max(NR(n), N_G) - NF_{\min})$$

$$P_0(n) = \gamma_w \cdot (NE(n) - NF_{\min})$$

$$P_6(n) = \gamma_w \cdot (NR(n) - NF_{\min})$$

$$P_{X,d}(n) = (P_0(n) - P_{RE}(n)) \cdot (1 - E(n)) \cdot \frac{L_6 - X_d}{L_6} + P_{RE}(n)$$

$$P(n, x) = \begin{cases} \frac{P_{X,d}(n) - P_0(n)}{X_d} \cdot x + P_0(n) & \text{if } 0\text{m} \leq x \leq X_d \\ \frac{P_6(n) - P_{X,d}(n)}{L_6 - X_d} \cdot (x - X_d) + P_{X,d}(n) & \text{if } X_d < x \leq L_6 \end{cases}$$

$$\overset{ww}{H}(n, x) = \begin{cases} 0 & \text{if } h_{AAE}(n) \leq 0 \wedge h_{aae}(n) \leq 0 \\ \max\left(Z(n, x) + \frac{P(n, x)}{\gamma_w}, 0\right) & \text{otherwise} \end{cases}$$

Subpresión total

$$U_{\text{tot}}(n) = B \cdot \gamma_w \cdot \int_{0\text{m}}^{L_6} H(n, x) dx$$

$$U_{\text{tot}}(n) = 366 \cdot \text{tonnef}$$

Area total bajo la curva de presiones

$$A_{\text{tot}}(n) = \frac{U_{\text{tot}}(n)}{B \cdot \gamma_w}$$

$$A_{\text{tot}}(n) = 366 \text{ m}^2$$

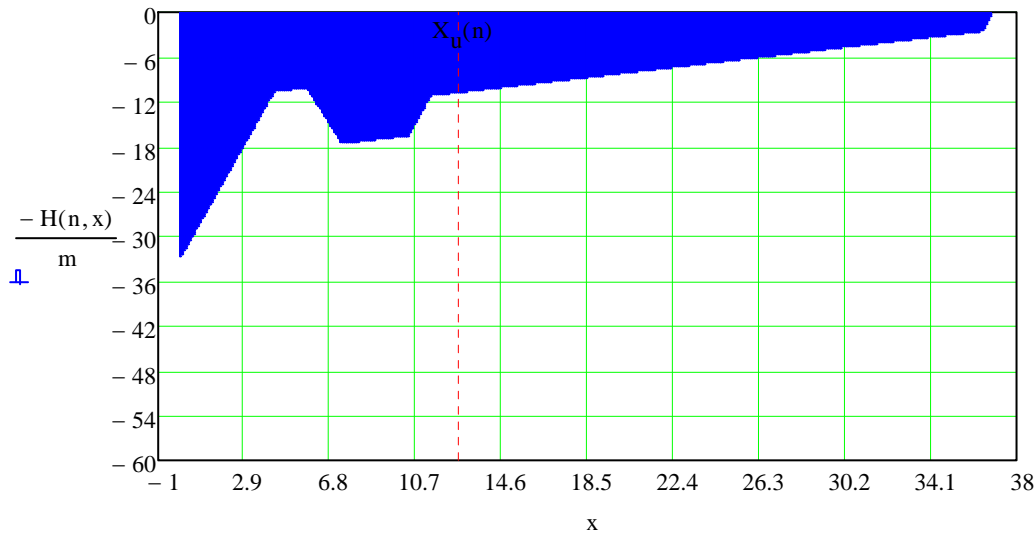
Coordenada del punto de aplicación de la fuerza de subpresión

$$X_u(n) = \begin{cases} 0\text{m} & \text{if } A_{\text{tot}}(n) = 0 \\ \frac{\int_{0\text{m}}^{L_6} x \cdot H(n, x) dx}{A_{\text{tot}}(n)} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$X_u(n) = 12.67 \text{ m}$$

$$H(n, 0m) = 32.8 \text{ m} \quad H(n, L_1) = 10.08 \text{ m} \quad H(n, L_2) = 17.52 \text{ m} \quad H(n, L_3) = 16.49 \text{ m} \quad H(n, L_4) = 11.15 \text{ m} \quad H(n, L_5) = 2.49 \text{ m}$$

$$H(n, L_6) = 0 \text{ m} \quad H(n, X_d) = 10.59 \text{ m}$$



- $L_1 = 5.75 \text{ m}$
- $L_2 = 7.35 \text{ m}$
- $L_3 = 10.35 \text{ m}$
- $L_4 = 11.35 \text{ m}$
- $L_5 = 36.45 \text{ m}$
- $L_6 = 37 \text{ m}$
- $X_d = 4.3 \text{ m}$

Empuje hidrostático horizontal  
bajo la estructura aguas arriba

$$EH_{BV1}(n) = \gamma_w \cdot \frac{H(n, L_1) + H(n, L_2)}{2} \cdot h_1 \cdot B$$

$$EH_{BV1}(n) = 110 \cdot \text{tonnef}$$

Empuje hidrostático horizontal  
bajo la estructura 2

$$EH_{BV2}(n) = \gamma_w \cdot \frac{H(n, L_3) + H(n, L_4)}{2} \cdot h_2 \cdot B$$

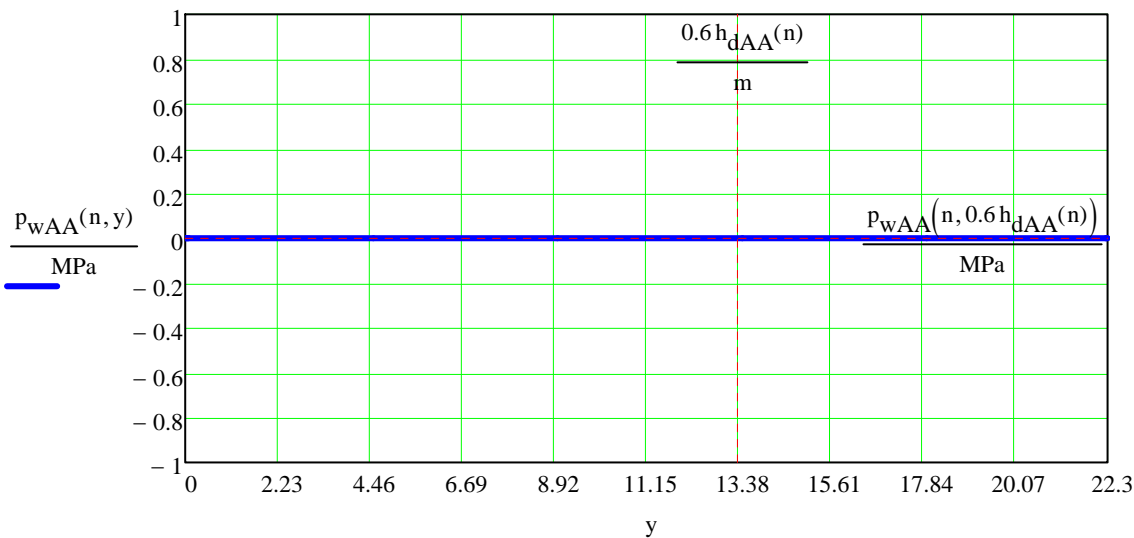
$$EH_{BV2}(n) = 69 \cdot \text{tonnef}$$

## Empujes dinámicos

Tirante aguas arriba 
$$h_{dAA}(n) = \begin{cases} NE(n) - NS(n) & \text{if } NE(n) - NS(n) > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad h_{dAA}(n) = 22.3 \text{ m}$$

Presión hidrodinámica aguas arriba. 
$$p_{wAA}(n, y) = k_h(n) \cdot \gamma_w \cdot \frac{7}{8} \cdot \sqrt{h_{dAA}(n) \cdot y}$$

Fuerza hidrodinámica aguas arriba (Westergaard) 
$$E_{hd.AA}(n) = \int_0^{h_{dAA}(n)} p_{wAA}(n, y) dy \cdot B$$
  $E_{hd.AA}(n) = 0 \cdot \text{tonnef}$



Empuje dinámico del sedimento debido al sismo 
$$E_{s.ke}(n) = \begin{cases} k_e(n) \cdot \frac{1}{2} \gamma_s \cdot h_{AAS}(n)^2 \cdot B & \text{if } h_{AAS}(n) > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$
  $E_{s.ke}(n) = 0 \cdot \text{tonnef}$

Sismo sobre el monolito 
$$E_{q_m}(n) = k_h(n) \cdot G_M$$
  $E_{q_m}(n) = 0 \cdot \text{tonnef}$

## Distancias al punto de giro

Coordenadas del Centro de giro (Punto A)

$$X_A = L_5 = 36.45 \text{ m} \quad Y_A = 0 \text{ m}$$

Coordenadas del Centro de giro (Punto B)

$$X_B = 0 \quad Y_B = NF_{\min} - NF_{\max} = 3 \text{ m}$$

- Monolito baricentro

$$X_{G.m} = 14.53 \text{ m} \quad Y_{G.m} = 14.50 \text{ m}$$

distancia horizontal punto A

$$d_{x.m} = X_A - X_{G.m} \quad d_{x.m} = 21.92 \text{ m}$$

distancia vertical punto A

$$d_{y.m} = Y_{G.m} + Y_A \quad d_{y.m} = 14.5 \text{ m}$$

distancia horizontal punto B

$$d_{x.mB} = X_{G.m} - X_B \quad d_{x.mB} = 14.53 \text{ m}$$

distancia vertical punto B

$$d_{y.mB} = Y_{G.m} - Y_B \quad d_{y.mB} = 11.5 \text{ m}$$

- Agua sobre estructura Aguas Arriba baricentro

$$X_{G.W.AA}(n) = \begin{cases} 0 \text{ m} & \text{if } n = 1 \vee n = 3 \\ \frac{L_{LAA}}{2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

distancia horizontal

$$d_{x.W.AA}(n) = X_A - X_{G.W.AA}(n) \quad d_{x.W.AA}(n) = 33.88 \text{ m}$$

Distancia vertical desde el punto de aplicación del empuje hidrostático aguas arriba

$$d_{y.Eh.AA}(n) = \begin{cases} \frac{1}{3} \cdot h_{AAE}(n) + (NF_{\min} - NF_{\max}) & \text{if } h_{AAE}(n) > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad d_{y.Eh.AA}(n) = 13.93 \text{ m}$$

Distancia vertical desde el punto de aplicación del empuje del sedimento aguas arriba

$$d_{y.Es}(n) = \begin{cases} \frac{1}{3} \cdot h_{AAS}(n) + (NR_{AA} - NF_{\max}) & \text{if } h_{AAS}(n) > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad d_{y.Es}(n) = 10.37 \text{ m}$$

Distancia vertical desde el punto de aplicación del empuje hidrostático aguas abajo

$$d_{y.Eh.aa}(n) = \begin{cases} \frac{1}{3} h_{aae}(n) & \text{if } h_{aae}(n) > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad d_{y.Eh.aa}(n) = 0.77 \text{ m}$$

Distancia vertical desde el punto de aplicación del empuje hidrostático bajo la estructura aguas arriba 1

$$d_{y.Eh.BV1}(n) = \begin{cases} \frac{h_1}{3} \frac{2 \cdot H(n, L_1) + H(n, L_2)}{H(n, L_1) + H(n, L_2)} - h_2 & \text{if } EH_{BV1}(n) > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d_{y.Eh.BV1}(n) = -1.36 \text{ m}$$

Distancia vertical desde el punto de aplicación del empuje hidrostático bajo la estructura 2

$$d_{y.Eh.BV2}(n) = \begin{cases} \frac{-h_2}{3} \frac{2 \cdot H(n, L_3) + H(n, L_4)}{H(n, L_3) + H(n, L_4)} & \text{if } EH_{BV2}(n) > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d_{y.Eh.BV2}(n) = -2.66 \text{ m}$$

Distancia horizontal desde el punto de aplicación del empuje debido a la subpresión

$$d_{x.U}(n) = \begin{cases} X_A - X_u(n) & \text{if } U_{tot}(n) > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d_{x.U}(n) = 23.8 \text{ m}$$

Distancia vertical desde el punto de aplicación del empuje debido a la acción sísmica sobre el sedimento

$$d_{y.Es.ke}(n) = \begin{cases} \frac{2}{3} \cdot h_{AAS}(n) + (NR_{AA} - NF_{max}) & \text{if } h_{AAS}(n) > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d_{y.Es.ke}(n) = 11.93 \text{ m}$$

Distancia al punto de aplicación de la fuerza hidrodinámica aguas arriba

$$d_{y.hd.AA}(n) = \begin{cases} 0.4 \cdot h_{dAA}(n) + (NS(n) - NF_{max}) & \text{if } k_h(n) > 0 \wedge h_{dAA}(n) > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

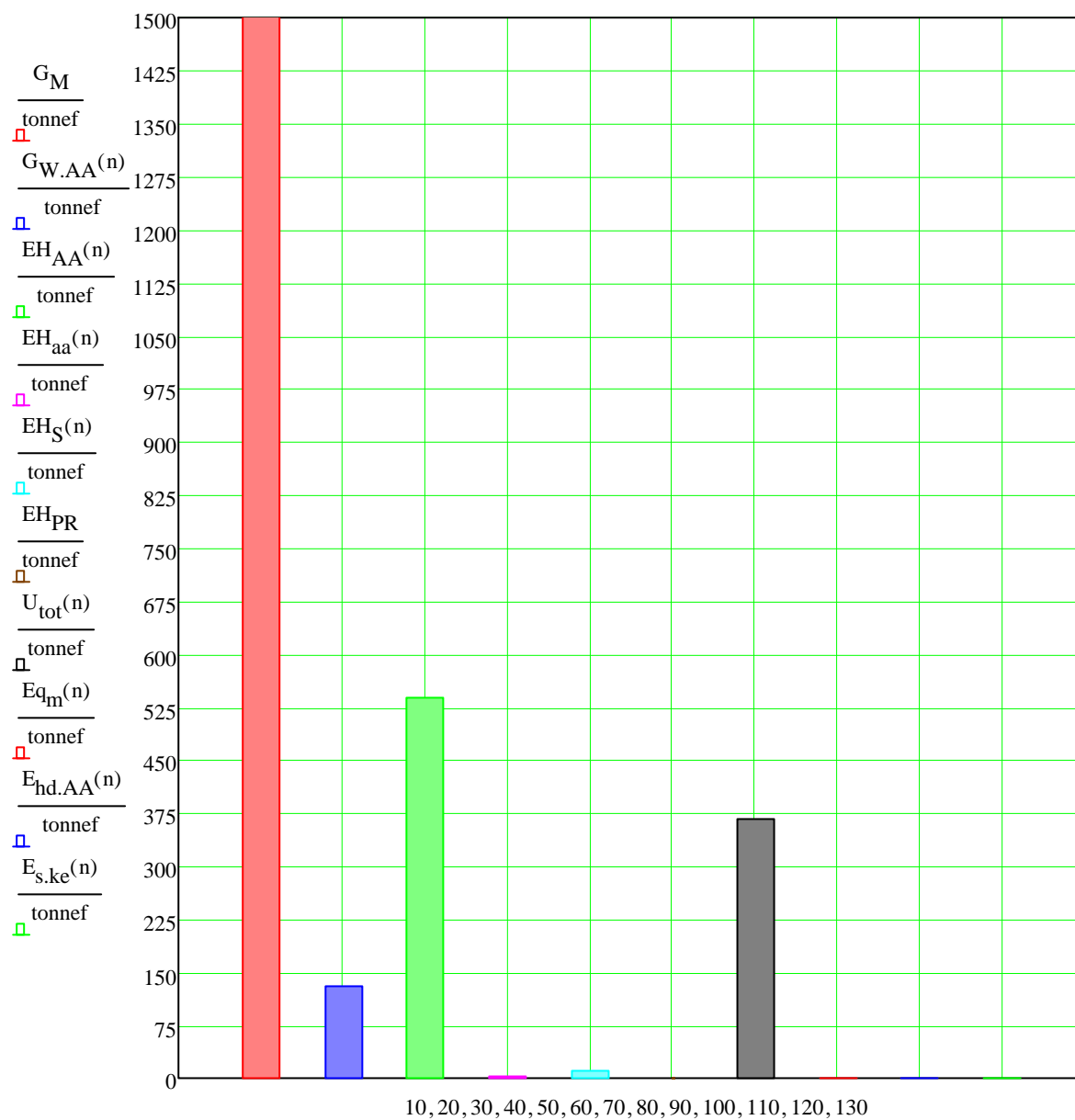
$$d_{y.hd.AA}(n) = 0 \text{ m}$$

## Resumen de Fuerzas y Distancias

Combinación de carga(n) = "1.1+1.2+ 1.3"	Condición(n) = "Caso I.B"	Descripción(n) = "Normal"	
	Fuerza	Posicion en X	Posicion en Y
<b>Peso Propio</b>			
Monolito	$G_M = 1783 \cdot \text{tonnef}$	$d_{x,m} = 21.92 \text{ m}$	$d_{y,m} = 14.5 \text{ m}$
Agua sobre estruct.	$G_{W,AA}(n) = 130 \cdot \text{tonnef}$	$d_{x,W,AA}(n) = 33.88 \text{ m}$	
<b>Empuje hidrostático</b>			
Aguas arriba	$E_{H_{AA}}(n) = 538 \cdot \text{tonnef}$		$d_{y,Eh.AA}(n) = 13.93 \text{ m}$
Aguas abajo	$E_{H_{aa}}(n) = 3 \cdot \text{tonnef}$		$d_{y,Eh.aa}(n) = 0.77 \text{ m}$
Bajo la estructura aguas arriba 1	$E_{H_{BV1}}(n) = 110 \cdot \text{tonnef}$		$d_{y,Eh.BV1}(n) = -1.36 \text{ m}$
Bajo la estructura aguas abajo 2	$E_{H_{BV2}}(n) = 69 \cdot \text{tonnef}$		$d_{y,Eh.BV2}(n) = -2.66 \text{ m}$
Empuje de sedimentos	$E_{H_S}(n) = 11 \cdot \text{tonnef}$		$d_{y,Es}(n) = 10.37 \text{ m}$
Subpresión	$U_{tot}(n) = 366 \cdot \text{tonnef}$	$d_{x,U}(n) = 23.78 \text{ m}$	
<b>Sismo actuando sobre la estructura</b>			
Monolito	$E_{q_m}(n) = 0 \cdot \text{tonnef}$	$d_{x,m} = 21.92 \text{ m}$	$d_{y,m} = 14.5 \text{ m}$
<b>Sismo actuando sobre el agua (Westergard)</b>			
Aguas arriba	$E_{hd,AA}(n) = 0 \cdot \text{tonnef}$		$d_{y,hd.AA}(n) = 0 \text{ m}$
<b>Sismo actuando sobre los sedimentos (Mononobe-Okabe)</b>			
	$E_{s.ke}(n) = 0 \cdot \text{tonnef}$		$d_{y,Es.ke}(n) = 11.93 \text{ m}$



Diagrama con todas las fuerzas interviniendo





## Coeficientes de Estabilidad

Combinación de carga(n) = "1.1+1.2+ 1.3"

Condición(n) = "Caso I.B"

Descripción(n) = "Normal"

### Seguridad a la Flotación

Se calcula como el cociente entre la suma de las fuerzas gravitatorias y la suma de fuerzas de subpresión

Fuerzas gravitatorias	$G_V(n) = G_M$	$G_V(n) = 1783 \cdot \text{tonnef}$
-----------------------	----------------	-------------------------------------

Fuerzas de subpresión	$U(n) = U_{\text{tot}}(n) - G_{W.AA}(n)$	$U(n) = 236 \cdot \text{tonnef}$
-----------------------	--	----------------------------------

Factor de seguridad a la flotación requerido		$F_{F.R}(n) = 1.2$
--	--	--------------------

Factor de seguridad a la flotación	$F_f(n) = \begin{cases} \frac{G_V(n)}{U(n)} & \text{if } U(n) > 0 \\ 5 & \text{otherwise} \end{cases}$	$F_f(n) = 7.6$
------------------------------------	--	----------------

Flotacion(n)	$\text{Flotacion}(n) = \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } F_{F.R}(n) < F_f(n) \\ \text{"NO!!"} & \text{otherwise} \end{cases}$	$\text{Flotacion}(n) = \text{"OK"}$
--------------	--	-------------------------------------

Sumatoria de fuerzas verticales	$\Sigma F_V(n) = G_M + G_{W.AA}(n) - U_{\text{tot}}(n)$	$\Sigma F_V(n) = 1547 \cdot \text{tonnef}$
---------------------------------	---	--

### Seguridad al Vuelco

Se calcula como el cociente de la suma de momentos estabilizadores y la suma de momentos volcadores

#### Estabilizantes

Momento debido al peso propio	$M_G(n) = G_M \cdot d_{x.m} + G_{W.AA}(n) \cdot d_{x.W.AA}(n)$	$M_G(n) = 43501 \cdot \text{tonnef} \cdot \text{m}$
-------------------------------	--	---

Momento estabilizante debido al empuje hidrostático	$M_{Eh.aa}(n) = EH_{aa}(n) \cdot d_{y.Eh.aa}(n) \dots$ $+ EH_{BV2}(n) \cdot d_{y.Eh.BV2}(n)$	$M_{Eh.aa}(n) = -182 \cdot \text{tonnef} \cdot \text{m}$
---	--	--

Momento estabilizante total	$M_e(n) = M_G(n) + M_{Eh.aa}(n)$	$M_e(n) = 43319 \cdot \text{tonnef} \cdot \text{m}$
-----------------------------	----------------------------------	---

#### Volcadores Estáticos

Momento debido al empuje hidrostático aguas arriba	$M_{Eh.AA}(n) = EH_{AA}(n) \cdot d_{y.Eh.AA}(n) \dots$ $+ EH_{BV1}(n) \cdot d_{y.Eh.BV1}(n)$	$M_{Eh.AA}(n) = 7347 \cdot \text{tonnef} \cdot \text{m}$
--	--	--

Momento debido al empuje de sedimentos aguas arriba	$M_{E.s}(n) = EH_S(n) \cdot d_{y.Es}(n)$	$M_{E.s}(n) = 115 \cdot \text{tonnef} \cdot \text{m}$
---	--	---

Momento debido a la subpresión  $M_U(n) = U_{tot}(n) \cdot d_{x,U}(n)$   $M_U(n) = 8713 \cdot \text{tonnef} \cdot \text{m}$

Sumatoria de momentos volcadores estáticos  $M_{v,e}(n) = M_{Eh,AA}(n) + M_{E,s}(n) + M_U(n)$   $M_{v,e}(n) = 16175 \cdot \text{tonnef} \cdot \text{m}$

### Volcadores Dinámicos

Momento debido al sismo sobre la masa del monolito  $M_{G,Eq,m}(n) = Eq_m(n) \cdot d_{y,m}$   $M_{G,Eq,m}(n) = 0 \cdot \text{tonnef} \cdot \text{m}$

Momento debido al sismo sobre el sedimento  $M_{s,ke}(n) = E_{s,ke}(n) \cdot d_{y,Es,ke}(n)$   $M_{s,ke}(n) = 0 \cdot \text{tonnef} \cdot \text{m}$

Momento debido a la sobrepresión aguas arriba en caso de un evento sísmico  $M_{E,hd,AA}(n) = E_{hd,AA}(n) \cdot d_{y,hd,AA}(n)$   $M_{E,hd,AA}(n) = 0 \cdot \text{tonnef} \cdot \text{m}$

Sumatoria de momentos volcadores dinámicos  $M_{v,d}(n) = M_{G,Eq,m}(n) + M_{s,ke}(n) \dots + M_{E,hd,AA}(n)$   $M_{v,d}(n) = 0 \cdot \text{tonnef} \cdot \text{m}$

Sumatoria de momentos volcadores  $M_v(n) = M_{v,e}(n) + M_{v,d}(n)$   $M_v(n) = 16175 \cdot \text{tonnef} \cdot \text{m}$

Factor de seguridad al volcamiento en el Punto A  $F_{vA}(n) = \begin{cases} 5 & \text{if } M_v(n) = 0 \\ \frac{M_e(n)}{M_v(n)} & \text{otherwise} \end{cases}$   $F_{vA}(n) = 2.68$

Chequeo en el Punto B para los casos constructivos  $M_{eB}(n) = G_M \cdot d_{x,mB}$

$$M_{vB}(n) = Eq_m(n) \cdot d_{y,mB}$$

$$F_{vB}(n) = \begin{cases} 5 & \text{if } M_{vB}(n) = 0 \vee (h_{AAE}(n) > 0 \wedge h_{aae}(n) > 0) \\ \frac{M_{eB}(n)}{M_{vB}(n)} & \text{otherwise} \end{cases}$$
 $F_{vB}(n) = 5.00$

Factor de seguridad al volcamiento  $F_v(n) = \min(F_{vA}(n), F_{vB}(n))$   $F_v(n) = 2.68$

### Seguridad al deslizamiento con cuñas

Ángulos del desarrollo de la falla en función del factor de seguridad (FS):

$$\phi_d(FS, \phi) = \text{atan}\left(\frac{\tan(\phi)}{FS}\right) \quad \alpha_1(FS, \phi_{pi}) = -\left(45\text{deg} + \frac{\phi_d(FS, \phi_{pi})}{2}\right) \quad \alpha_2(FS, \phi_{pi}) = 45\text{deg} - \frac{\phi_d(FS, \phi_{pi})}{2}$$

Valor de coeficiente de seguridad máximo a considerar (cut-off):

$$c_o = 5$$

### **SOLUCIÓN PARA TRES CUÑAS CON ESTRATO DÉBIL EN LA BASE DEL DIENTE:**

$$\alpha_{3A} = 0\text{deg}$$

Angulo de inclinación de la cuña estructural

Fuerzas resultantes horizontales y verticales en el Vertedero:

Volumen de roca bajo el Vertedero C3:

$$y_{pir3A}(x) = NF_{\min} - \left[\tan(\alpha_{3A}) \cdot (x - L_2) + N_{Li}\right]$$

$$V_{rbc3A} = B \cdot \int_{0m}^{L_6} (y_{pir3A}(x) - Z(n, x)) dx$$

$$V_{rbc3A} = 184 \cdot m^3$$

Subpresión bajo la cuña estructural - vertical

$$H_{R3A}(n, x) = \begin{cases} 0 & \text{if } h_{AAE}(n) \leq 0 \wedge h_{aae}(n) \leq 0 \\ y_{pir3A}(x) + \frac{P(n, x)}{\gamma_w} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{R3AV}(n) = B \cdot \gamma_w \cdot \int_{0m}^{L_6} H_{R3A}(n, x) dx$$

$$U_{R3AV}(n) = 550 \cdot \text{tonnef}$$

Subpresión bajo la cuña estructural - horizontal

$$U_{R3AH}(n) = U_{R3AV}(n) \cdot \left| \tan(\alpha_{3A}) \right|$$

$$U_{R3AH}(n) = 0 \cdot \text{tonnef}$$

Empuje hidroestático sobre la cuña estructural Aguas Arriba

$$h_{AARA}(n) = NE(n) - (NF_{\min} - y_{pir3A}(0m))$$

$$EH_{AARA}(n) = \begin{cases} 0 & \text{if } h_{AARA}(n) \leq 0 \\ \frac{1}{2} \gamma_w \cdot h_{AARA}(n)^2 \cdot B & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$EH_{AARA}(n) = 833 \cdot \text{tonnef}$$

Empuje hidroestático sobre la  
cuña estructural aguas abajo

$$h_{aaRA}(n) = NR(n) - (NF_{\min} - y_{pir3A}(L_6))$$

$$EH_{aaRA}(n) = \begin{cases} 0 & \text{if } h_{aaRA}(n) \leq 0 \\ \frac{1}{2} \gamma_w \cdot h_{aaRA}(n)^2 \cdot B & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$EH_{aaRA}(n) = 27 \cdot \text{tonnef}$$

Sumatoria de fuerzas verticales  
sobre cuña C3:

$$\Sigma F_{v3}(n) = G_M + G_{W.AA}(n) - U_{R3AV}(n)$$

$$\Sigma F_{v3}(n) = 1363 \cdot \text{tonnef}$$

Sumatoria de fuerzas  
horizontales estáticas

$$\Sigma F_{h,e}(n) = EH_{AARA}(n) + U_{R3AH}(n) \dots \\ + EH_G(n) - EH_{aaRA}(n)$$

$$\Sigma F_{h,e}(n) = 817 \cdot \text{tonnef}$$

Sumatoria de fuerzas  
horizontales dinámicas

$$\Sigma F_{h,d}(n) = Eq_m(n) + E_{hd.AA}(n) + E_{s.ke}(n)$$

$$\Sigma F_{h,d}(n) = 0 \cdot \text{tonnef}$$

Sumatoria de fuerzas  
horizontales

$$\Sigma F_h(n) = \Sigma F_{h,e}(n) + \Sigma F_{h,d}(n)$$

$$\Sigma F_h(n) = 817 \cdot \text{tonnef}$$

Resultantes sobre cuña C3:

$$H_{3A}(n) = \Sigma F_h(n) + k_h(n) \cdot V_{rbc3A} \cdot \gamma_r$$

$$H_{3A}(n) = 817 \cdot \text{tonnef}$$

$$W_{3A}(n) = \Sigma F_{v3}(n) + V_{rbc3A} \cdot \gamma_r$$

$$W_{3A}(n) = 1712.58 \cdot \text{tonnef}$$

Reacciones en la base  
sobre cuña C3:

$$N_{3A}(n) = W_{3A}(n) \cdot \cos(\alpha_{3A}) + H_{3A}(n) \cdot \sin(\alpha_{3A})$$

$$T_{3A}(n) = H_{3A}(n) \cdot \cos(\alpha_{3A}) - W_{3A}(n) \cdot \sin(\alpha_{3A})$$

Longitud de la superficie  
de cohesión cuña C3:

$$L_{cd3A} = \frac{L_6}{\cos(\alpha_{3A})}$$

Equilibrio de fuerzas en el bloque del vertedero:

$$\Delta P_{1.3.2A}(FS, \phi_3, C_3, n) = \frac{N_{3A}(n) \cdot \frac{\tan(\phi_3)}{FS} - T_{3A}(n) + \frac{C_3}{FS} \cdot L_{cd3A} \cdot B}{\cos(\alpha_{3A}) - \frac{\tan(\phi_3)}{FS} \cdot \sin(\alpha_{3A})}$$

Peso y volumen de la cuña de roca aguas abajo en función del factor de seguridad (FS):

Altura total desde la losa al nivel inferior de la cuña  $h_{c2A} = NR_{aa} - N_{Li}$

Ángulo de inclinación de la excavación  $\alpha_L = 0\text{deg}$

$$L_{Caa1A}(FS, \phi_{pi}) = \frac{h_{c2A}}{\tan(\alpha_2(FS, \phi_{pi}))}$$

$$L_{r2A}(FS, \phi_{pi}) = \frac{h_{c2A}}{\tan(\alpha_2(FS, \phi_{pi})) + \tan(\alpha_L)}$$

$$h_{S.LA}(FS, \phi_{pi}) = L_{r2A}(FS, \phi_{pi}) \cdot \tan(\alpha_L)$$

$$V_{r2A}(FS, \phi_{pi}) = \frac{L_{Caa1A}(FS, \phi_{pi})}{2} \cdot (h_{c2A} - h_{S.LA}(FS, \phi_{pi})) \cdot B$$

$$h_{r2A}(FS, \phi_{pi}) = h_{c2A} - h_{S.LA}(FS, \phi_{pi})$$

Longitud en el plano de la cuña:  $d_{2A}(FS, \phi_{pi}) = \sqrt{h_{r2A}(FS, \phi_{pi})^2 + L_{r2A}(FS, \phi_{pi})^2}$

Resultantes:  $W_{2A}(FS, \phi_{pi}, n) = V_{r2A}(FS, \phi_{pi}) \cdot \gamma_{rs}$

$$H_{2A}(FS, \phi_{pi}, n) = k_h(n) \cdot V_{r2A}(FS, \phi_{pi}) \cdot \gamma_r$$

Reacciones en la base:  $N_{2A}(FS, \phi_{pi}, n) = W_{2A}(FS, \phi_{pi}, n) \cdot \cos(\alpha_2(FS, \phi_{pi})) + H_{2A}(FS, \phi_{pi}, n) \cdot \sin(\alpha_2(FS, \phi_{pi}))$

$$T_{2A}(FS, \phi_{pi}, n) = H_{2A}(FS, \phi_{pi}, n) \cdot \cos(\alpha_2(FS, \phi_{pi})) - W_{2A}(FS, \phi_{pi}, n) \cdot \sin(\alpha_2(FS, \phi_{pi}))$$

Equilibrio de fuerzas en la cuña aguas abajo:

$$\Delta P_{3.2A}(FS, \phi_2, C_2, n) = \frac{N_{2A}(FS, \phi_2, n) \cdot \frac{\tan(\phi_2)}{FS} - T_{2A}(FS, \phi_2, n) + \frac{C_2}{FS} \cdot d_{2A}(FS, \phi_2) \cdot B}{\cos(\alpha_2(FS, \phi_2)) - \frac{\tan(\phi_2)}{FS} \cdot \sin(\alpha_2(FS, \phi_2))}$$

Peso y volumen de la cuña de roca aguas arriba en función del factor de seguridad (FS):

Altura de la cuña:  $h_{r1A} = y_{pir3A}(0m) + NR_{AA} - NF_{min}$   $h_{r1A} = 13.8 m$

Longitud horizontal:  $L_{r1A}(FS, \phi_{pi}) = \frac{h_{r1A}}{\tan(\alpha_1(FS, \phi_{pi}))}$

Longitud en el plano de la cuña:  $d_{1A}(FS, \phi_{pi}) = \sqrt{h_{r1A}^2 + L_{r1A}(FS, \phi_{pi})^2}$

Volumen resultante:  $V_{r1A}(FS, \phi_{pi}) = \frac{L_{r1A}(FS, \phi_{pi}) \cdot h_{r1A}}{2} \cdot B$

Sobrecarga actuante sobre la cuña C1 por acumulación de sedimentos:  $q_{sc1}(n) = \begin{cases} (NS(n) - NR_{AA}) \cdot 900 \frac{kgf}{m^3} & \text{if } NS(n) > NR_{AA} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$

$$W_{sc1A}(FS, \phi_{pi}, n) = q_{sc1}(n) \cdot B \cdot (L_{r1A}(FS, \phi_{pi}))$$

Resultantes:  $W_{1A}(FS, \phi_{pi}, n) = V_{r1A}(FS, \phi_{pi}) \cdot \gamma_{rs} + W_{sc1A}(FS, \phi_{pi}, n)$

$$H_{1A}(FS, \phi_{pi}, n) = k_h(n) \cdot V_{r1A}(FS, \phi_{pi}) \cdot \gamma_r$$

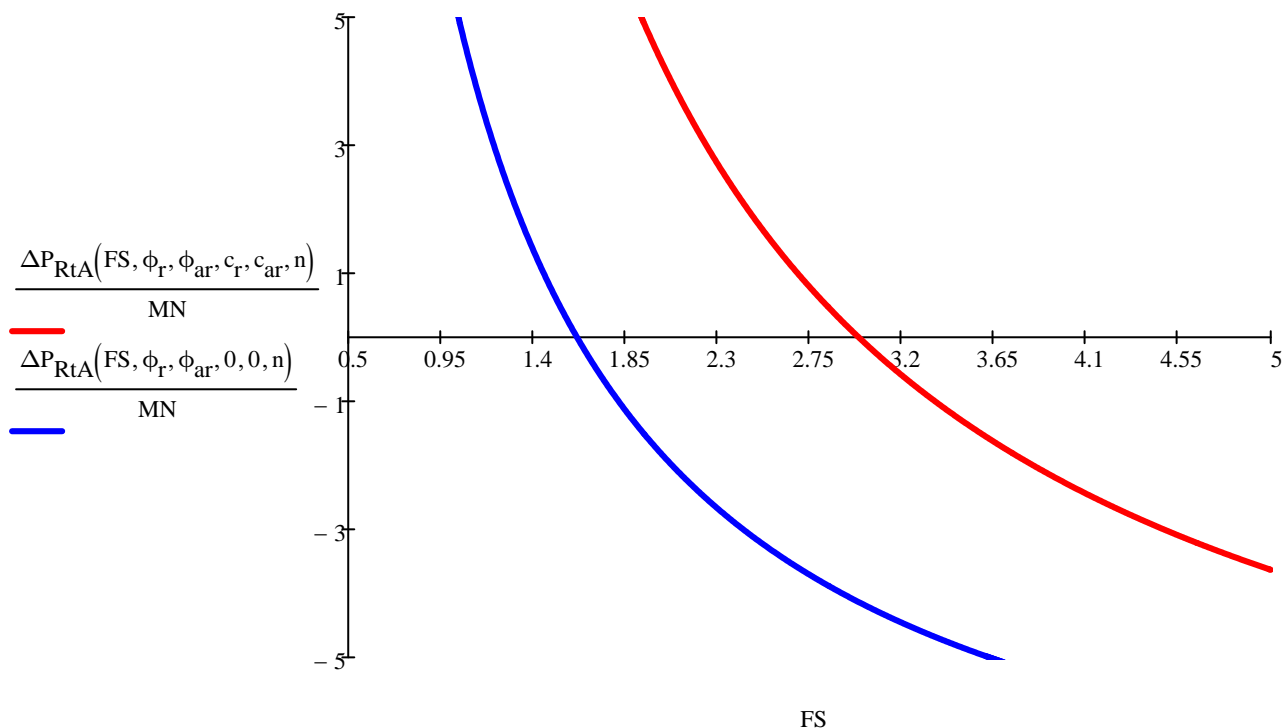
Reacciones en la base:  $N_{1A}(FS, \phi_{pi}, n) = W_{1A}(FS, \phi_{pi}, n) \cdot \cos(\alpha_1(FS, \phi_{pi})) + H_{1A}(FS, \phi_{pi}, n) \cdot \sin(\alpha_1(FS, \phi_{pi}))$

$$T_{1A}(FS, \phi_{pi}, n) = H_{1A}(FS, \phi_{pi}, n) \cdot \cos(\alpha_1(FS, \phi_{pi})) - W_{1A}(FS, \phi_{pi}, n) \cdot \sin(\alpha_1(FS, \phi_{pi}))$$

Equilibrio de fuerzas en la cuña aguas arriba:

$$\Delta P_{1.3A}(FS, \phi_1, C_1, n) = \frac{N_{1A}(FS, \phi_1, n) \cdot \frac{\tan(\phi_1)}{FS} - T_{1A}(FS, \phi_1, n) + \frac{C_1}{FS} \cdot d_{1A}(FS, \phi_1) \cdot B}{\cos(\alpha_1(FS, \phi_1)) - \frac{\tan(\phi_1)}{FS} \cdot \sin(\alpha_1(FS, \phi_1))}$$

Equilibrio global de fuerzas  $\Delta P_{RtA}(FS, \phi_{pi}, \phi_{ph}, C_{pi}, C_{ph}, n) = \Delta P_{1.3A}(FS, \phi_{pi}, C_{pi}, n) + \Delta P_{1.3.2A}(FS, \phi_{ph}, C_{ph}, n) \dots + \Delta P_{3.2A}(FS, \phi_{pi}, C_{pi}, n)$



Factores de seguridad resultantes:

Estrato debil - Cohesión y Fricción.

$$F_{st1A}(n) = \begin{cases} c_o & \text{if } \Delta P_{RtA}(c_o, \phi_r, \phi_{ar}, c_r, c_{ar}, n) > 0 \\ \text{root}(\Delta P_{RtA}(FS, \phi_r, \phi_{ar}, c_r, c_{ar}, n), FS, 0.5, c_o) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_{st1A}(n) = 2.99$$

Estrato debil - Fricción.

$$F_{st2A}(n) = \begin{cases} c_o & \text{if } \Delta P_{RtA}(c_o, \phi_r, \phi_{ar}, 0, 0, n) > 0 \\ \text{root}(\Delta P_{RtA}(FS, \phi_r, \phi_{ar}, 0, 0, n), FS, 0.5, c_o) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_{st2A}(n) = 1.62$$

$$\text{DeslizamientoTtA}(n) = \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } F_{D.FC.R}(n) \leq F_{st1A}(n) \vee F_{D.F.R}(n) \leq F_{st2A}(n) \\ \text{"NO!!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{DeslizamientoTtA}(n) = \text{"OK"}$$



## SOLUCIÓN PARA DOS CUÑAS CON ESTRATO DÉBIL EN LA BASE DEL DIENTE:

$$\alpha_{3dc} = 0 \text{deg}$$

Angulo de inclinación de la cuña estructural

Fuerzas resultantes horizontales y verticales en el Vertedero:

Volumen de roca bajo el Vertedero C3:

$$y_{\text{pir}3dc}(x) = NF_{\text{min}} - [\tan(\alpha_{3dc}) \cdot (x - L_2) + N_{Li}]$$

$$V_{\text{rbc}3dc} = B \cdot \int_{L_2}^{L_6} (y_{\text{pir}3dc}(x) - Z(n, x)) dx$$

$$V_{\text{rbc}3dc} = 132 \cdot \text{m}^3$$

Subpresión bajo la cuña estructural - vertical

$$H_{\text{R}3dc}(n, x) = \begin{cases} 0 & \text{if } h_{AAE}(n) \leq 0 \wedge h_{aae}(n) \leq 0 \\ y_{\text{pir}3dc}(x) + \frac{P(n, x)}{\gamma_w} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{\text{R}3dcV}(n) = B \cdot \gamma_w \cdot \left( \int_{L_2}^{L_6} H_{\text{R}3dc}(n, x) dx + \int_{0. \text{m}}^{L_2} H(n, x) dx \right)$$

$$U_{\text{R}3dcV}(n) = 498 \cdot \text{tonnef}$$

Empuje hidrostático sobre la cuña estructural Aguas Arriba

$$EH_{\text{AARdc}}(n) = EH_{AA}(n) + EH_{\text{BV}1}(n)$$

$$EH_{\text{AARdc}}(n) = 649 \cdot \text{tonnef}$$

Empuje hidrostático sobre la cuña estructural aguas abajo

$$h_{\text{aaRdc}}(n) = NR(n) - (NF_{\text{min}} - y_{\text{pir}3dc}(L_6))$$

$$EH_{\text{aaRdc}}(n) = \begin{cases} 0 & \text{if } h_{\text{aaRdc}}(n) \leq 0 \\ \frac{1}{2} \gamma_w \cdot h_{\text{aaRdc}}(n)^2 \cdot B & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$EH_{\text{aaRdc}}(n) = 27 \cdot \text{tonnef}$$

Sumatoria de fuerzas verticales sobre cuña C3:

$$\Sigma F_{\text{v}3dc}(n) = G_M + G_{W.AA}(n) - U_{\text{R}3dcV}(n)$$

$$\Sigma F_{\text{v}3dc}(n) = 1415 \cdot \text{tonnef}$$

Sumatoria de fuerzas horizontales estáticas

$$\Sigma F_{\text{h.edc}}(n) = EH_{\text{AARdc}}(n) \dots + EH_S(n) - EH_{\text{aaRdc}}(n)$$

$$\Sigma F_{\text{h.edc}}(n) = 633 \cdot \text{tonnef}$$

Sumatoria de fuerzas horizontales dinámicas

$$\Sigma F_{\text{h.ddc}}(n) = E_{q_m}(n) + E_{\text{hd.AA}}(n) + E_{\text{s.ke}}(n)$$

$$\Sigma F_{\text{h.ddc}}(n) = 0 \cdot \text{tonnef}$$

Sumatoria de fuerzas horizontales

$$\Sigma F_{hdc}(n) = \Sigma F_{h.edc}(n) + \Sigma F_{h.ddc}(n)$$

$$\Sigma F_{hdc}(n) = 633 \cdot \text{tonnef}$$

Resultantes sobre cuña C3:

$$H_{3dc}(n) = \Sigma F_{hdc}(n) + k_h(n) \cdot V_{rbc3dc} \cdot \gamma_r$$

$$H_{3dc}(n) = 632.94 \cdot \text{tonnef}$$

$$W_{3dc}(n) = \Sigma F_{v3dc}(n) + V_{rbc3dc} \cdot \gamma_r$$

$$W_{3dc}(n) = 1665.45 \cdot \text{tonnef}$$

Reacciones en la base sobre cuña C3:

$$N_{3dc}(n) = W_{3dc}(n) \cdot \cos(\alpha_{3dc}) + H_{3dc}(n) \cdot \sin(\alpha_{3dc})$$

$$T_{3dc}(n) = H_{3dc}(n) \cdot \cos(\alpha_{3dc}) - W_{3dc}(n) \cdot \sin(\alpha_{3dc})$$

Longitud de la superficie de cohesión cuña C3:

$$L_{cd3dc} = L_6 - L_3$$

Equilibrio de fuerzas en el bloque del vertedero:

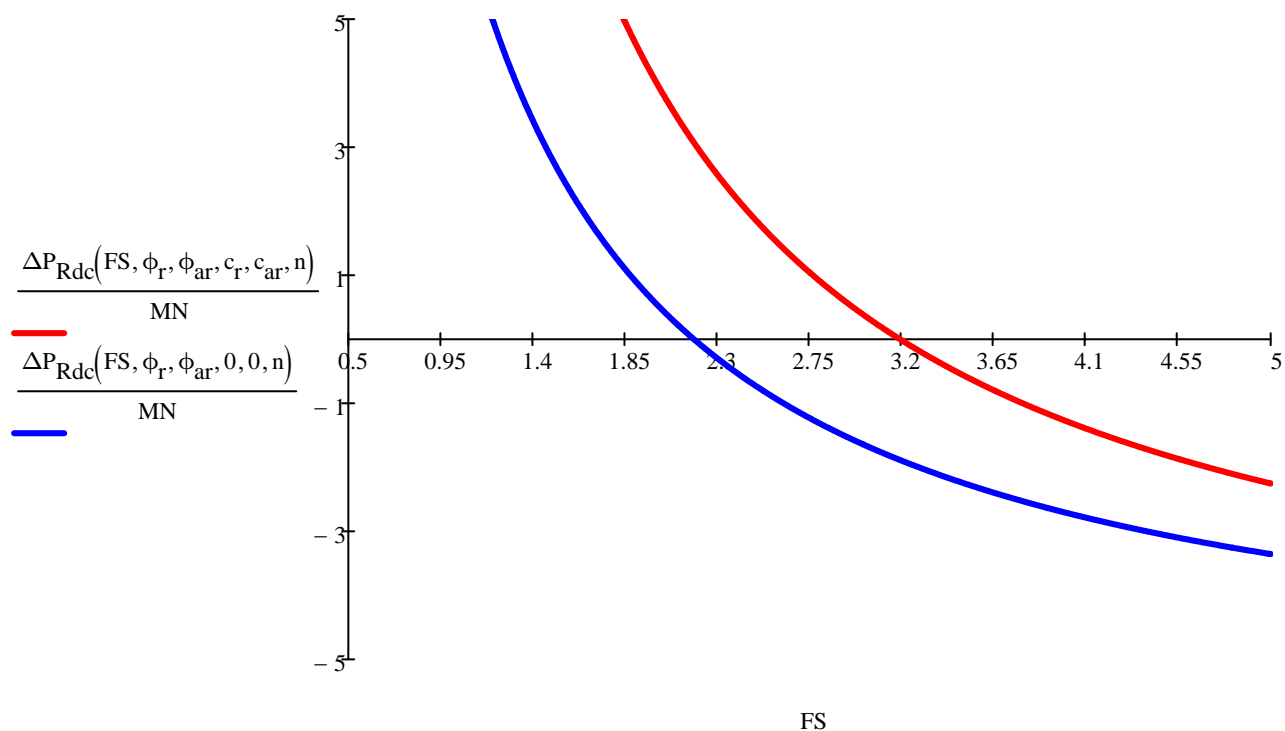
$$\Delta P_{2.3dc}(FS, \phi_3, C_3, n) = \frac{N_{3dc}(n) \cdot \frac{\tan(\phi_3)}{FS} - T_{3dc}(n) + \frac{C_3}{FS} \cdot L_{cd3dc} \cdot B}{\cos(\alpha_{3dc}) - \frac{\tan(\phi_3)}{FS} \cdot \sin(\alpha_{3dc})}$$

Equilibrio de fuerzas en la cuña aguas abajo:

$$\Delta P_{3.2A}(FS, \phi_2, C_2, n) = \frac{N_{2A}(FS, \phi_2, n) \cdot \frac{\tan(\phi_2)}{FS} - T_{2A}(FS, \phi_2, n) + \frac{C_2}{FS} \cdot d_{2A}(FS, \phi_2) \cdot B}{\cos(\alpha_2(FS, \phi_2)) - \frac{\tan(\phi_2)}{FS} \cdot \sin(\alpha_2(FS, \phi_2))}$$

Equilibrio global de fuerzas

$$\Delta P_{Rdc}(FS, \phi_{pi}, \phi_{ph}, C_{pi}, C_{ph}, n) = \Delta P_{2.3dc}(FS, \phi_{ph}, C_{ph}, n) \dots + \Delta P_{3.2A}(FS, \phi_{pi}, C_{pi}, n)$$



Factores de seguridad resultantes:

Estrato debil - Cohesión y Fricción.

$$F_{sdc1}(n) = \begin{cases} c_o & \text{if } \Delta P_{Rdc}(c_o, \phi_r, \phi_{ar}, c_r, c_{ar}, n) > 0 \\ \text{root}(\Delta P_{Rdc}(FS, \phi_r, \phi_{ar}, c_r, c_{ar}, n), FS, 0.5, c_o) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_{sdc1}(n) = 3.19$$

Estrato debil - Fricción.

$$F_{sdc2}(n) = \begin{cases} c_o & \text{if } \Delta P_{Rdc}(c_o, \phi_r, \phi_{ar}, 0, 0, n) > 0 \\ \text{root}(\Delta P_{Rdc}(FS, \phi_r, \phi_{ar}, 0, 0, n), FS, 0.5, c_o) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_{sdc2}(n) = 2.19$$

$$\text{DeslizamientoTdc}(n) = \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } F_{D.FC.R}(n) \leq F_{sdc1}(n) \vee F_{D.F.R}(n) \leq F_{sdc2}(n) \\ \text{"NO!!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{DeslizamientoTdc}(n) = \text{"OK"}$$

## SOLUCIÓN PARA TRES CUÑAS CONSIDERANDO LA CUÑA ESTRUCTURAL INCLINADA:

$$\alpha_{3C} = -35\text{deg}$$

Angulo de inclinación de la cuña estructural

Fuerzas resultantes horizontales y verticales en el Vertedero:

Volumen de roca bajo el Vertedero C3:

$$y_{\text{pir}3C}(x) = NF_{\min} - [\tan(\alpha_{3C}) \cdot (x - L_2) + N_{Li}]$$

$$V_{\text{rbc}3C} = B \cdot \int_{0m}^{L_6} (y_{\text{pir}3C}(x) - Z(n, x)) dx$$

$$V_{\text{rbc}3C} = 473 \cdot m^3$$

Subpresión bajo la cuña estructural - vertical

$$H_{R3C}(n, x) = \begin{cases} 0 & \text{if } h_{AAE}(n) \leq 0 \wedge h_{aae}(n) \leq 0 \\ y_{\text{pir}3C}(x) + \frac{P(n, x)}{\gamma_w} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{R3CV}(n) = B \cdot \gamma_w \cdot \int_{0m}^{L_6} H_{R3C}(n, x) dx$$

$$U_{R3CV}(n) = 839 \cdot \text{tonnef}$$

Subpresión bajo la cuña estructural - horizontal

$$U_{R3CH}(n) = U_{R3CV}(n) \cdot |\tan(\alpha_{3C})|$$

$$U_{R3CH}(n) = 588 \cdot \text{tonnef}$$

Empuje hidroestático sobre la cuña estructural Aguas Arriba

$$h_{AARC}(n) = NE(n) - (NF_{\min} - y_{\text{pir}3C}(0m))$$

$$EH_{AARC}(n) = \begin{cases} 0 & \text{if } h_{AARA}(n) \leq 0 \\ \frac{1}{2} \gamma_w \cdot h_{AARA}(n)^2 \cdot B & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$EH_{AARA}(n) = 833 \cdot \text{tonnef}$$

Empuje hidroestático sobre la  
cuña estructural aguas abajo

$$h_{aaRC}(n) = NR(n) - (NF_{\min} - y_{pir3C}(L_6))$$

$$EH_{aaRC}(n) = \begin{cases} 0 & \text{if } h_{aaRC}(n) \leq 0 \\ \frac{1}{2} \gamma_w \cdot h_{aaRC}(n)^2 \cdot B & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$EH_{aaRC}(n) = 394 \cdot \text{tonnef}$$

Sumatoria de fuerzas verticales  
sobre cuña C3:

$$\Sigma F_{v3C}(n) = G_M + G_{W.AA}(n) - U_{R3CV}(n)$$

$$\Sigma F_{v3C}(n) = 1074 \cdot \text{tonnef}$$

Sumatoria de fuerzas  
horizontales estáticas

$$\Sigma F_{h.eC}(n) = EH_{AARC}(n) + U_{R3CH}(n) \dots \\ + EH_S(n) - EH_{aaRC}(n)$$

$$\Sigma F_{h.eC}(n) = 1038 \cdot \text{tonnef}$$

Sumatoria de fuerzas  
horizontales dinámicas

$$\Sigma F_{h.dC}(n) = Eq_m(n) + E_{hd.AA}(n) + E_{s.ke}(n)$$

$$\Sigma F_{h.dC}(n) = 0 \cdot \text{tonnef}$$

Sumatoria de fuerzas  
horizontales

$$\Sigma F_{hC}(n) = \Sigma F_{h.eC}(n) + \Sigma F_{h.dC}(n)$$

$$\Sigma F_{hC}(n) = 1038 \cdot \text{tonnef}$$

Resultantes sobre cuña C3:

$$H_{3C}(n) = \Sigma F_h(n) + k_h(n) \cdot V_{rbc3C} \cdot \gamma_r$$

$$H_{3C}(n) = 817 \cdot \text{tonnef}$$

$$W_{3C}(n) = \Sigma F_{v3}(n) + V_{rbc3C} \cdot \gamma_r$$

$$W_{3C}(n) = 2261.45 \cdot \text{tonnef}$$

Reacciones en la base  
sobre cuña C3:

$$N_{3C}(n) = W_{3C}(n) \cdot \cos(\alpha_{3C}) + H_{3C}(n) \cdot \sin(\alpha_{3C})$$

$$T_{3C}(n) = H_{3C}(n) \cdot \cos(\alpha_{3C}) - W_{3C}(n) \cdot \sin(\alpha_{3C})$$

Longitud de la superficie  
de cohesión cuña C3:

$$L_{cd3C} = \frac{L_6}{\cos(\alpha_{3C})}$$

Equilibrio de fuerzas en el bloque del vertedero:

$$\Delta P_{1.3.2C}(FS, \phi_3, C_3, n) = \frac{N_{3C}(n) \cdot \frac{\tan(\phi_3)}{FS} - T_{3C}(n) + \frac{C_3}{FS} \cdot L_{cd3C} \cdot B}{\cos(\alpha_{3C}) - \frac{\tan(\phi_3)}{FS} \cdot \sin(\alpha_{3C})}$$

Peso y volumen de la cuña de roca aguas abajo en función del factor de seguridad (FS):

Altura total desde la losa al nivel inferior de la cuña  $h_{c2C} = NR_{aa} - (NF_{\min} - y_{pir3C}(L_6))$

$$L_{Caa1C}(FS, \phi_{pi}) = \frac{h_{c2C}}{\tan(\alpha_2(FS, \phi_{pi}))}$$

$$L_{r2C}(FS, \phi_{pi}) = \frac{h_{c2C}}{\tan(\alpha_2(FS, \phi_{pi})) + \tan(\alpha_L)}$$

$$h_{S.LC}(FS, \phi_{pi}) = L_{r2C}(FS, \phi_{pi}) \cdot \tan(\alpha_L)$$

$$V_{r2C}(FS, \phi_{pi}) = \frac{L_{Caa1C}(FS, \phi_{pi})}{2} \cdot (h_{c2C} - h_{S.LC}(FS, \phi_{pi})) \cdot B$$

$$h_{r2C}(FS, \phi_{pi}) = h_{c2C} - h_{S.LC}(FS, \phi_{pi})$$

Longitud en el plano de la cuña:

$$d_{2C}(FS, \phi_{pi}) = \sqrt{h_{r2C}(FS, \phi_{pi})^2 + L_{r2C}(FS, \phi_{pi})^2}$$

Resultantes:

$$W_{2C}(FS, \phi_{pi}, n) = V_{r2C}(FS, \phi_{pi}) \cdot \gamma_{rs}$$

$$H_{2C}(FS, \phi_{pi}, n) = k_h(n) \cdot V_{r2C}(FS, \phi_{pi}) \cdot \gamma_r$$

Reacciones en la base:

$$N_{2C}(FS, \phi_{pi}, n) = W_{2C}(FS, \phi_{pi}, n) \cdot \cos(\alpha_2(FS, \phi_{pi})) + H_{2C}(FS, \phi_{pi}, n) \cdot \sin(\alpha_2(FS, \phi_{pi}))$$

$$T_{2C}(FS, \phi_{pi}, n) = H_{2C}(FS, \phi_{pi}, n) \cdot \cos(\alpha_2(FS, \phi_{pi})) - W_{2C}(FS, \phi_{pi}, n) \cdot \sin(\alpha_2(FS, \phi_{pi}))$$

Equilibrio de fuerzas en la cuña aguas abajo:

$$\Delta P_{3.2C}(FS, \phi_2, C_2, n) = \frac{N_{2C}(FS, \phi_2, n) \cdot \frac{\tan(\phi_2)}{FS} - T_{2C}(FS, \phi_2, n) + \frac{C_2}{FS} \cdot d_{2C}(FS, \phi_2) \cdot B}{\cos(\alpha_2(FS, \phi_2)) - \frac{\tan(\phi_2)}{FS} \cdot \sin(\alpha_2(FS, \phi_2))}$$

Peso y volumen de la cuña de roca aguas arriba en función del factor de seguridad (FS):

Altura de la cuña:  $h_{r1C} = y_{pir3C}(0m) + NR_{AA} - NF_{min}$   $h_{r1C} = 8.65 \text{ m}$

Longitud horizontal:  $L_{r1C}(FS, \phi_{pi}) = \frac{h_{r1C}}{\tan(\alpha_1(FS, \phi_{pi}))}$

Longitud en el plano de la cuña:  $d_{1C}(FS, \phi_{pi}) = \sqrt{h_{r1C}^2 + L_{r1C}(FS, \phi_{pi})^2}$

Volumen resultante:  $V_{r1C}(FS, \phi_{pi}) = \frac{L_{r1C}(FS, \phi_{pi}) \cdot h_{r1C}}{2} \cdot B$

Sobrecarga actuante sobre la cuña C1 por acumulación de sedimentos:  $q_{sc1C}(n) = \begin{cases} (NS(n) - NR_{AA}) \cdot 900 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3} & \text{if } NS(n) > NR_{AA} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$

$$W_{sc1C}(FS, \phi_{pi}, n) = q_{sc1C}(n) \cdot B \cdot (L_{r1C}(FS, \phi_{pi}))$$

Resultantes:  $W_{1C}(FS, \phi_{pi}, n) = V_{r1C}(FS, \phi_{pi}) \cdot \gamma_{rs} + W_{sc1C}(FS, \phi_{pi}, n)$

$$H_{1C}(FS, \phi_{pi}, n) = k_h(n) \cdot V_{r1C}(FS, \phi_{pi}) \cdot \gamma_r$$

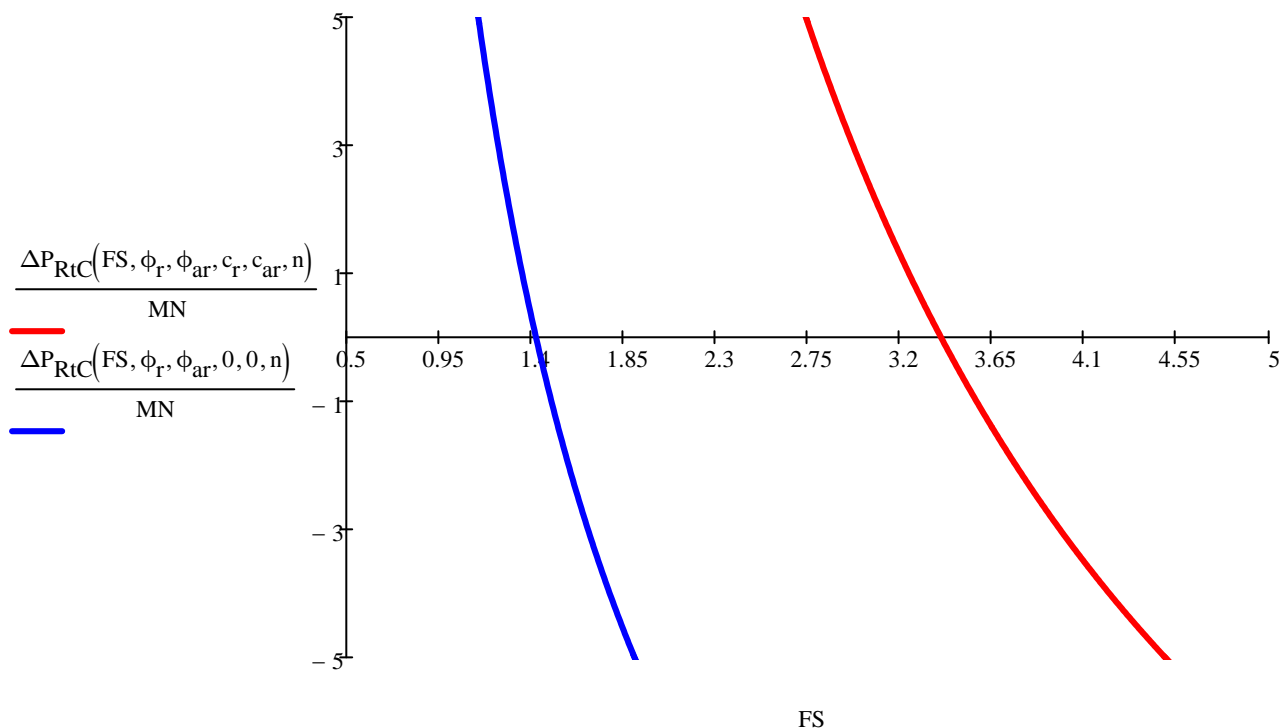
Reacciones en la base:  $N_{1C}(FS, \phi_{pi}, n) = W_{1C}(FS, \phi_{pi}, n) \cdot \cos(\alpha_1(FS, \phi_{pi})) + H_{1C}(FS, \phi_{pi}, n) \cdot \sin(\alpha_1(FS, \phi_{pi}))$

$$T_{1C}(FS, \phi_{pi}, n) = H_{1C}(FS, \phi_{pi}, n) \cdot \cos(\alpha_1(FS, \phi_{pi})) - W_{1C}(FS, \phi_{pi}, n) \cdot \sin(\alpha_1(FS, \phi_{pi}))$$

Equilibrio de fuerzas en la cuña aguas arriba:

$$\Delta P_{1.3C}(FS, \phi_1, C_1, n) = \frac{N_{1C}(FS, \phi_1, n) \cdot \frac{\tan(\phi_1)}{FS} - T_{1C}(FS, \phi_1, n) + \frac{C_1}{FS} \cdot d_{1C}(FS, \phi_1) \cdot B}{\cos(\alpha_1(FS, \phi_1)) - \frac{\tan(\phi_1)}{FS} \cdot \sin(\alpha_1(FS, \phi_1))}$$

Equilibrio global de fuerzas  $\Delta P_{RtC}(FS, \phi_{pi}, \phi_{ph}, C_{pi}, C_{ph}, n) = \Delta P_{1.3C}(FS, \phi_{pi}, C_{pi}, n) + \Delta P_{1.3.2C}(FS, \phi_{pi}, C_{pi}, n) \dots + \Delta P_{3.2C}(FS, \phi_{pi}, C_{pi}, n)$



Factores de seguridad resultantes:

Estrato debil - Cohesión y Fricción.

$$F_{st1C}(n) = \begin{cases} c_o & \text{if } \Delta P_{RtC}(c_o, \phi_r, \phi_{ar}, c_r, c_{ar}, n) > 0 \\ \text{root}(\Delta P_{RtC}(FS, \phi_r, \phi_{ar}, c_r, c_{ar}, n), FS, 0.5, c_o) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_{st1C}(n) = 3.40$$

Estrato debil - Fricción.

$$F_{st2C}(n) = \begin{cases} c_o & \text{if } \Delta P_{RtC}(c_o, \phi_r, \phi_{ar}, 0, 0, n) > 0 \\ \text{root}(\Delta P_{RtC}(FS, \phi_r, \phi_{ar}, 0, 0, n), FS, 0.5, c_o) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_{st2C}(n) = 1.43$$

$$\text{DeslizamientoTtC}(n) = \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } F_{D.FC.R}(n) \leq F_{st1C}(n) \vee F_{D.F.R}(n) \leq F_{st2C}(n) \\ \text{"NO!!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{DeslizamientoTtC}(n) = \text{"OK"}$$

### Resultados mínimos para los casos analizados:

Con cohesión:

$$F_{s1}(n) = \min(F_{st1A}(n), F_{sdc1}(n), F_{st1C}(n))$$

$$F_{s1}(n) = 2.99$$

Sin cohesión:

$$F_{s2}(n) = \min(F_{st2A}(n), F_{sdc2}(n), F_{st2C}(n))$$

$$F_{s2}(n) = 1.43$$

$$\text{DeslizamientoT}(n) = \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } (\text{DeslizamientoTtA}(n) = \text{"OK"} \wedge \text{DeslizamientoTdc}(n) = \text{"OK"} \wedge \text{DeslizamientoTtC}(n) = \text{"OK"}) \\ \text{"NO!!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{DeslizamientoT}(n) = \text{"OK"}$$



### Tensiones Máximas actuantes sobre la roca de fundación y Excentricidad Relativa

Se calculan las tensiones en la fundación de la estructura con la siguiente expresión:

$$\sigma_{\max}(n) = \frac{\Sigma F_v(n)}{A_{\text{base}}} + \frac{\Sigma M_A(n) \cdot x_a}{I_x}$$

Donde:

Distancia desde el centro de gravedad de la base al punto de referencia A

$$x_a = \frac{X_A}{2}$$

$$x_a = 18.23 \text{ m}$$

Sumatoria de fuerzas verticales en el punto A

$$\Sigma F_v(n) = 1547 \cdot \text{tonnef}$$

Area de la base

$$A_{\text{base}} = B \cdot L_5$$

$$A_{\text{base}} = 36 \text{ m}^2$$

Sumatoria de momentos respecto al centro de giro de la base.

$$\Sigma M_{XG}(n) = -\Sigma F_v(n) \cdot x_a + M_e(n) - M_v(n)$$

$$\Sigma M_{XG}(n) = -1051 \cdot \text{tonnef} \cdot \text{m}$$

Momento de inercia baricéntrico de la sección de la base

$$I_x = \frac{B \cdot X_A^3}{12} = 4036 \text{ m}^4$$

Excentricidad de la resultante respecto al baricentro de la base

$$e_x(n) = \left| \frac{\Sigma M_{XG}(n)}{\Sigma F_v(n)} \right|$$

$$e_x(n) = 0.68 \text{ m}$$

Excentricidad relativa

$$e_r(n) = \frac{e_x(n)}{X_A}$$

$$e_r(n) = 0.019$$

Excentricidad relativa requerida

$$e_{r,R}(n) = 0.17$$

Excentricidad relativa(n) =  $\begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } e_r(n) \leq e_{r,R}(n) \\ \text{"NO!!"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$$\text{Excentricidad relativa(n) = "OK"}$$

Tensiones máximas resultantes en la base

$$\sigma_{\max}(n) = \begin{cases} \left| \frac{\Sigma F_v(n)}{A_{\text{base}}} \right| + \left| \frac{\Sigma M_{XG}(n) \cdot x_a}{I_x} \right| & \text{if } e_r(n) \leq \frac{1}{6} \\ \left| \frac{2 \Sigma F_v(n)}{3 \cdot (x_a - e_x(n)) \cdot B} \right| & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{\max}(n) = 463 \cdot \text{kPa}$$

Tensiones máximas admisibles

$$\sigma_{\text{adm}}(n) = 2850 \cdot \text{kPa}$$

Tensiones Maximas(n) =  $\begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } \sigma_{\max}(n) \leq \sigma_{\text{adm}}(n) \\ \text{"NO!!"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$$\text{Tensiones Maximas(n) = "OK"}$$

## Resumen de resultados para todas las combinaciones de carga consideradas

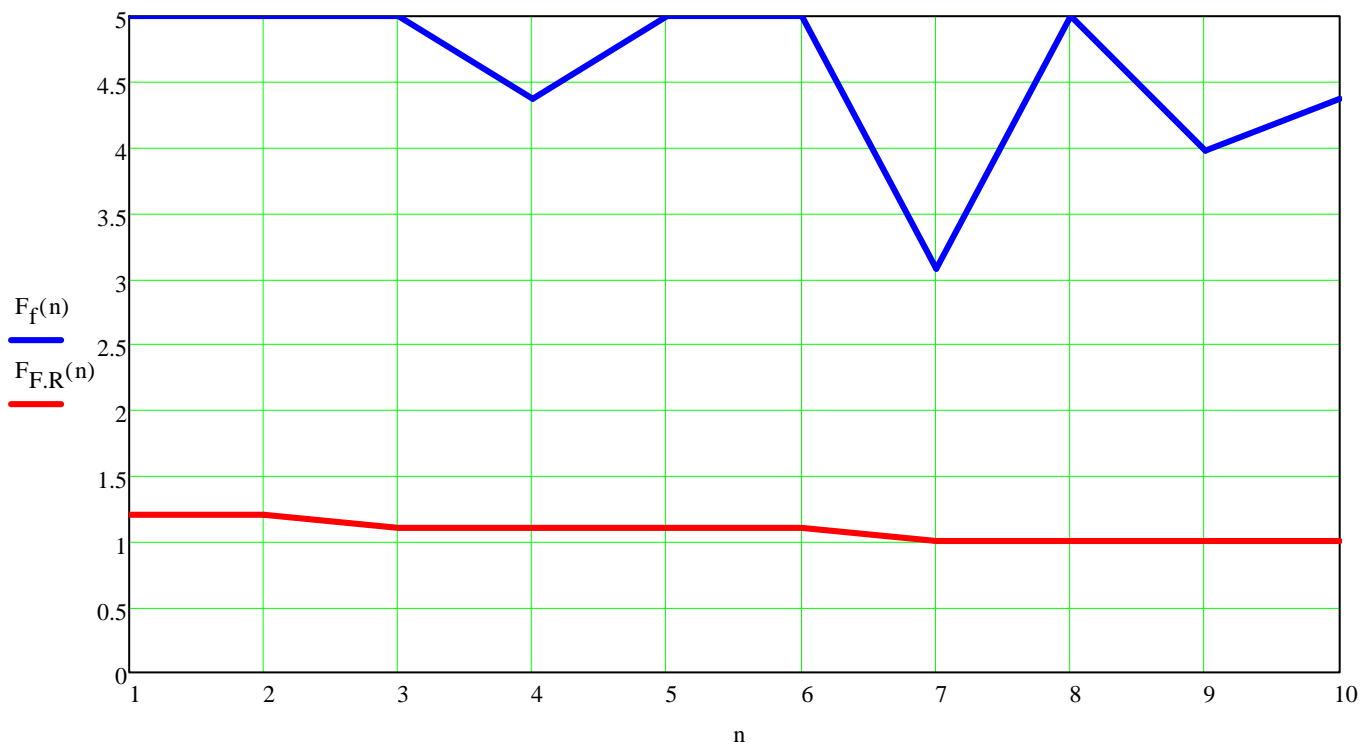
Descripción de cada combinación de carga considerada:

		1
Condición(n) =	1	"Caso I.A"
	2	"Caso I.B"
	3	"Caso II.A"
	4	"Caso II.B"
	5	"Caso II.C"
	6	"Caso II.D"
	7	"Caso III.A"
	8	"Caso III.B"
	9	"Caso III.C"
	10	"Caso III.D"

		1
Descripción(n) =	1	"Normal"
	2	"Normal"
	3	"Excepcional"
	4	"Excepcional"
	5	"Excepcional"
	6	"Excepcional"
	7	"Extremo"
	8	"Extremo"
	9	"Extremo"
	10	"Extremo"

		1
Combinación de carga(n) =	1	1.1
	2	"1.1+1.2+ 1.3"
	3	"1.1+2.2"
	4	"1.1+1.2+ 2.1"
	5	"1.1+1.2+1.3+2.2"
	6	"1.1+1.3+2.3"
	7	"1.1+1.2+ 3.1"
	8	"1.1+1.2+ 1.3+3.2"
	9	"1.1+2.1+ 2.3"
	10	"1.1+1.2+ 2.1+2.2"

### Seguridad a la Flotación comparado con el valor requerido



$F_f(n)$ : Factor de seguridad a la flotación según cálculo

$F_{F.R}(n)$ : Factor de seguridad a la flotación requerido

Valor obtenido

Valor requerido

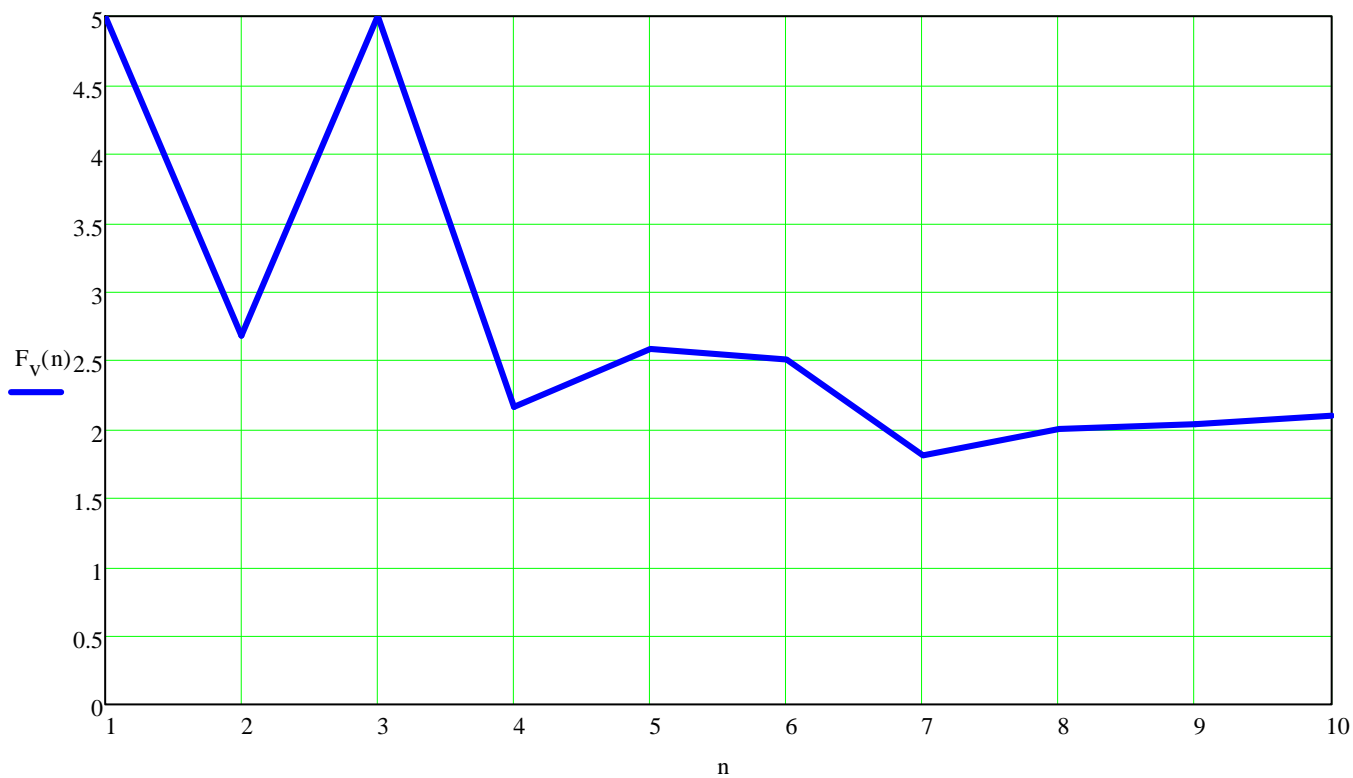
Verificación

$F_f(n) =$		1
	1	5
	2	5
	3	5
	4	4.37
	5	5
	6	5
	7	3.07
	8	5
	9	3.97
10	4.37	

$F_{F.R}(n) =$		1
	1	1.2
	2	1.2
	3	1.1
	4	1.1
	5	1.1
	6	1.1
	7	1
	8	1
	9	1
10	1	

Flotacion(n) =		1
	1	"OK"
	2	"OK"
	3	"OK"
	4	"OK"
	5	"OK"
	6	"OK"
	7	"OK"
	8	"OK"
	9	"OK"
10	"OK"	

## Seguridad al Volcamiento

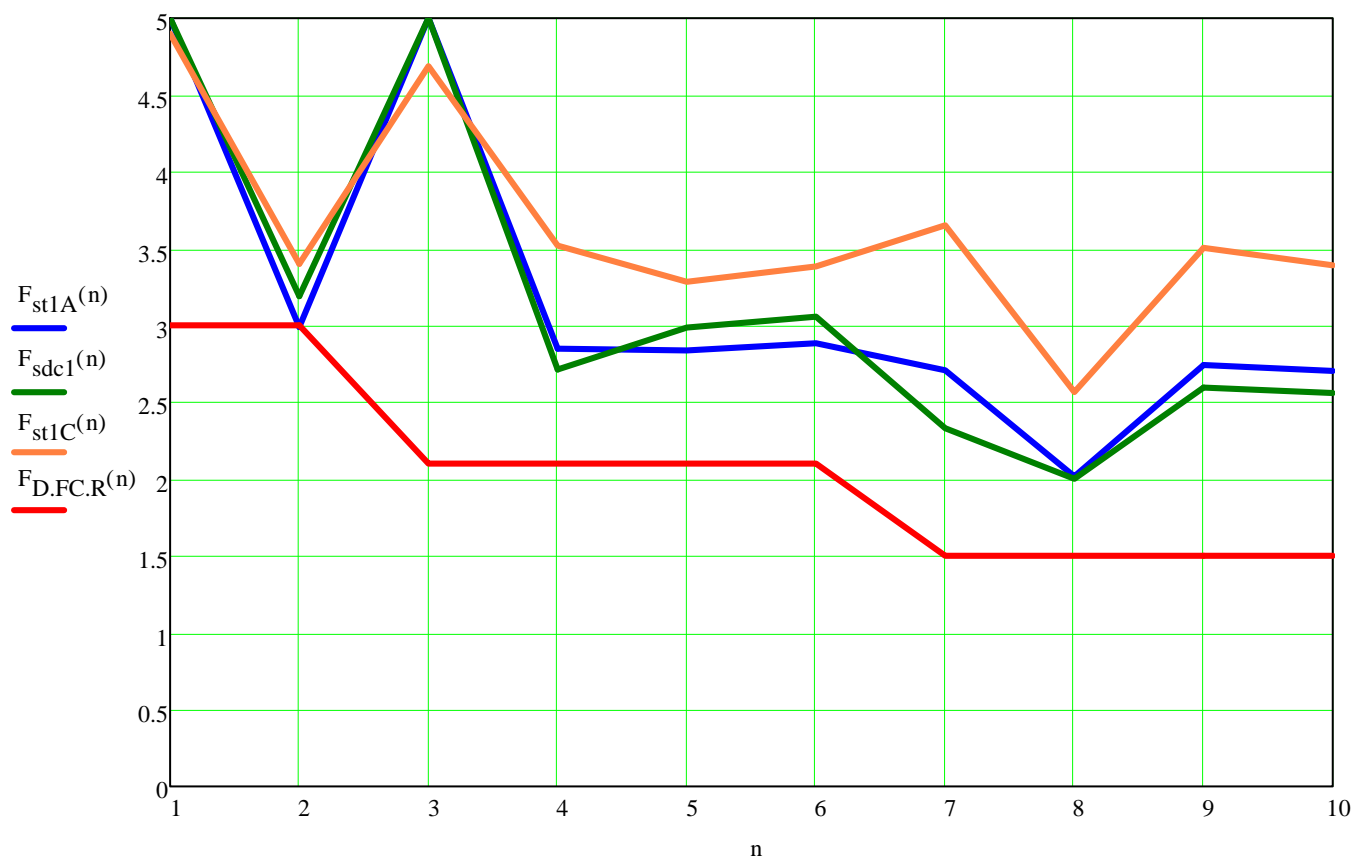


F<sub>v</sub> (n): Factor de seguridad al vuelco según cálculo

Valor obtenido

	1
1	5
2	2.68
3	5
4	2.16
5	2.58
6	2.51
7	1.81
8	2
9	2.04
10	2.1

### Seguridad al Deslizamiento con cohesión comparado con el valor requerido



F<sub>st1A</sub>(n): Factor de seguridad al deslizamiento cohesivo según cálculo. Tres cuñas con estrato débil.

F<sub>sdc1</sub>(n): Factor de seguridad al deslizamiento cohesivo según cálculo. Dos cuñas con estrato débil.

F<sub>st1C</sub>(n): Factor de seguridad al deslizamiento cohesivo según cálculo. Tres cuñas sin estrato débil.

F<sub>D.FC.R</sub>(n): Factor de seguridad al deslizamiento cohesivo requerido.

Valor obtenido

F<sub>st1A</sub>(n) =

5.00
2.99
5.00
2.85
2.84
2.88
2.71
2.02
2.74
2.70

F<sub>sdc1</sub>(n) =

5.00
3.19
5.00
2.71
2.99
3.06
2.33
2.00
2.60
2.56

F<sub>st1C</sub>(n) =

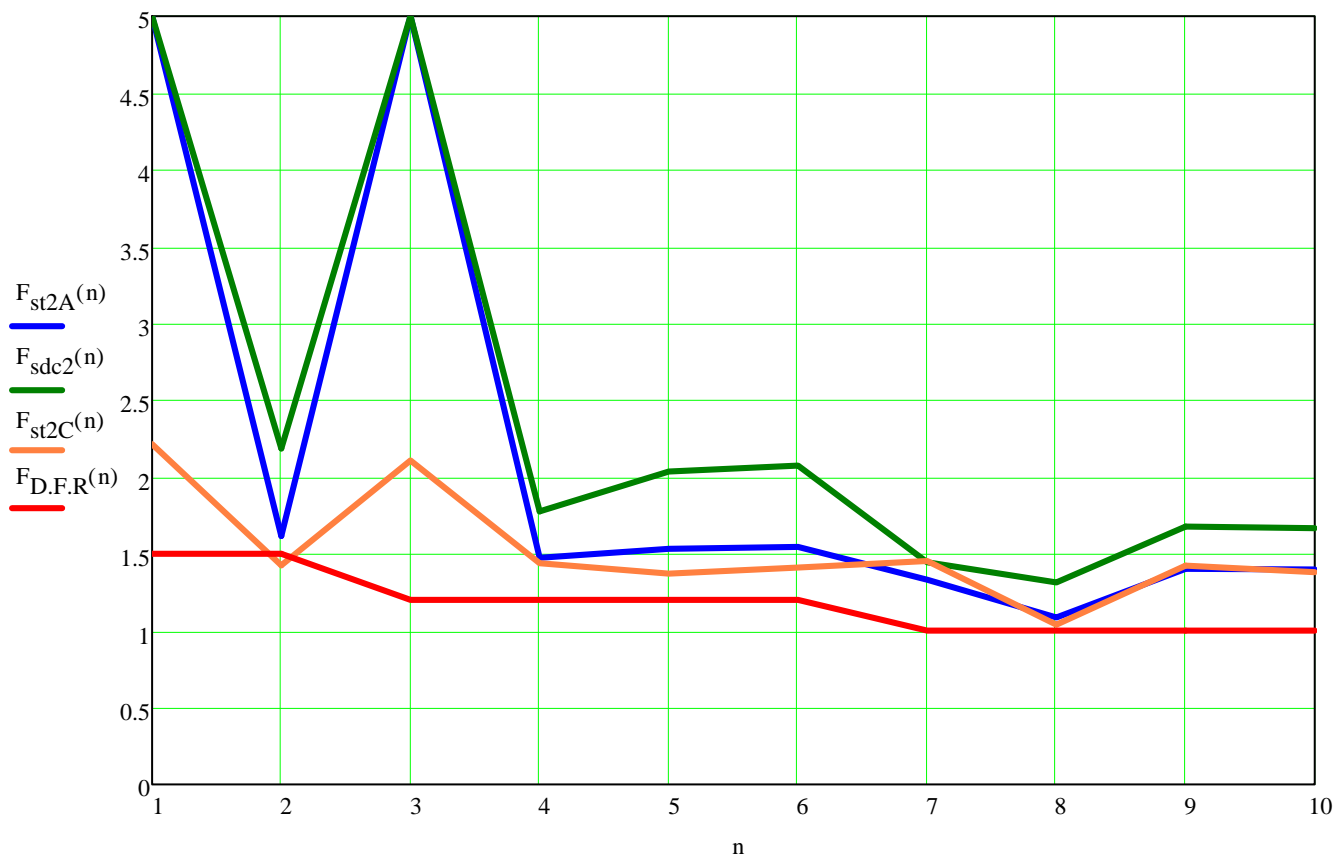
4.90
3.40
4.69
3.52
3.28
3.38
3.65
2.57
3.50
3.39

Valor requerido

F<sub>D.FC.R</sub>(n) =

3
3
2.1
2.1
2.1
1.5
1.5
1.5
1.5

### Seguridad al Deslizamiento sin cohesión comparado con el valor requerido



$F_{st2A}(n)$ : Factor de seguridad al deslizamiento friccional según cálculo. Tres cuñas con estrato débil.

$F_{sdc2}(n)$ : Factor de seguridad al deslizamiento friccional según cálculo. Dos cuñas con estrato débil.

$F_{st2C}(n)$ : Factor de seguridad al deslizamiento friccional según cálculo. Tres cuñas sin estrato débil.

$F_{D.F.R}(n)$ : Factor de seguridad al deslizamiento friccional requerido.

Valor obtenido

$F_{st2A}(n) =$

5.00
1.62
5.00
1.47
1.53
1.54
1.33
1.08
1.40
1.40

$F_{sdc2}(n) =$

5.00
2.19
5.00
1.78
2.04
2.07
1.45
1.31
1.68
1.67

$F_{st2C}(n) =$

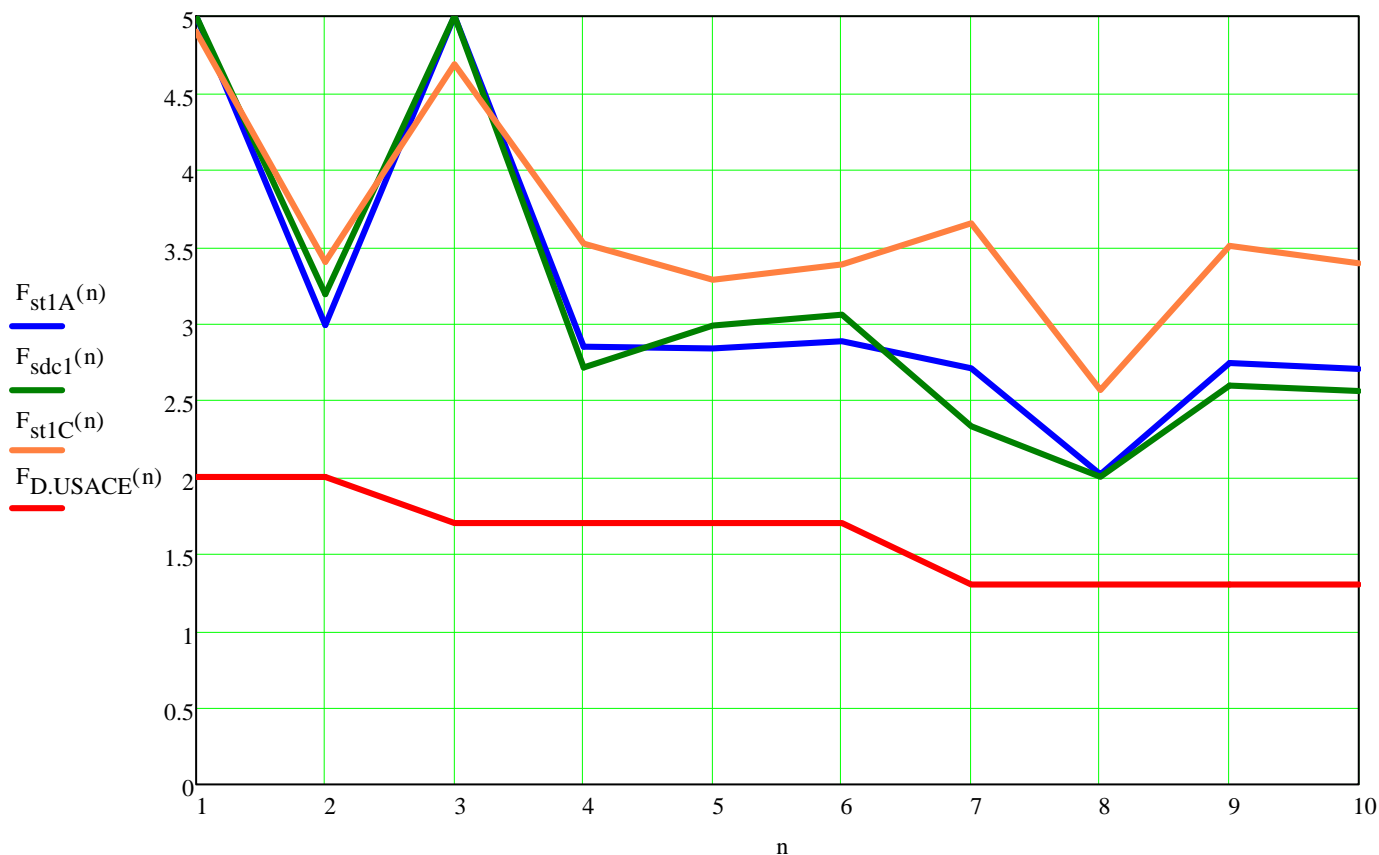
2.21
1.43
2.11
1.44
1.37
1.41
1.45
1.04
1.42
1.38

Valor requerido

$F_{D.F.R}(n) =$

1.5
1.5
1.2
1.2
1.2
1.2
1
1
1
1

### Seguridad al Deslizamiento con cohesión comparado con el valor requerido según USACE



$F_{st1A}(n)$ : Factor de seguridad al deslizamiento cohesivo según cálculo. Tres cuñas con estrato débil.

$F_{sdc1}(n)$ : Factor de seguridad al deslizamiento cohesivo según cálculo. Dos cuñas con estrato débil.

$F_{st1C}(n)$ : Factor de seguridad al deslizamiento cohesivo según cálculo. Tres cuñas sin estrato débil.

$F_{D.USACE}(n)$ : Factor de seguridad al deslizamiento cohesivo requerido según USACE.

Valor obtenido

$F_{st1A}(n) =$

5.00
2.99
5.00
2.85
2.84
2.88
2.71
2.02
2.74
2.70

$F_{sdc1}(n) =$

5.00
3.19
5.00
2.71
2.99
3.06
2.33
2.00
2.60
2.56

$F_{st1C}(n) =$

4.90
3.40
4.69
3.52
3.28
3.38
3.65
2.57
3.50
3.39

Valor requerido

$F_{D.USACE}(n) =$

2
2
1.7
1.7
1.7
1.7
1.3
1.3
1.3
1.3

## RESUMEN DE RESULTADOS DE DESLIZAMIENTO

### Seguridad al Deslizamiento comparado con el valor requerido

DeslizamientoT(n) =		1
	1	"OK"
	2	"OK"
	3	"OK"
	4	"OK"
	5	"OK"
	6	"OK"
	7	"OK"
	8	"OK"
	9	"OK"
10	"OK"	

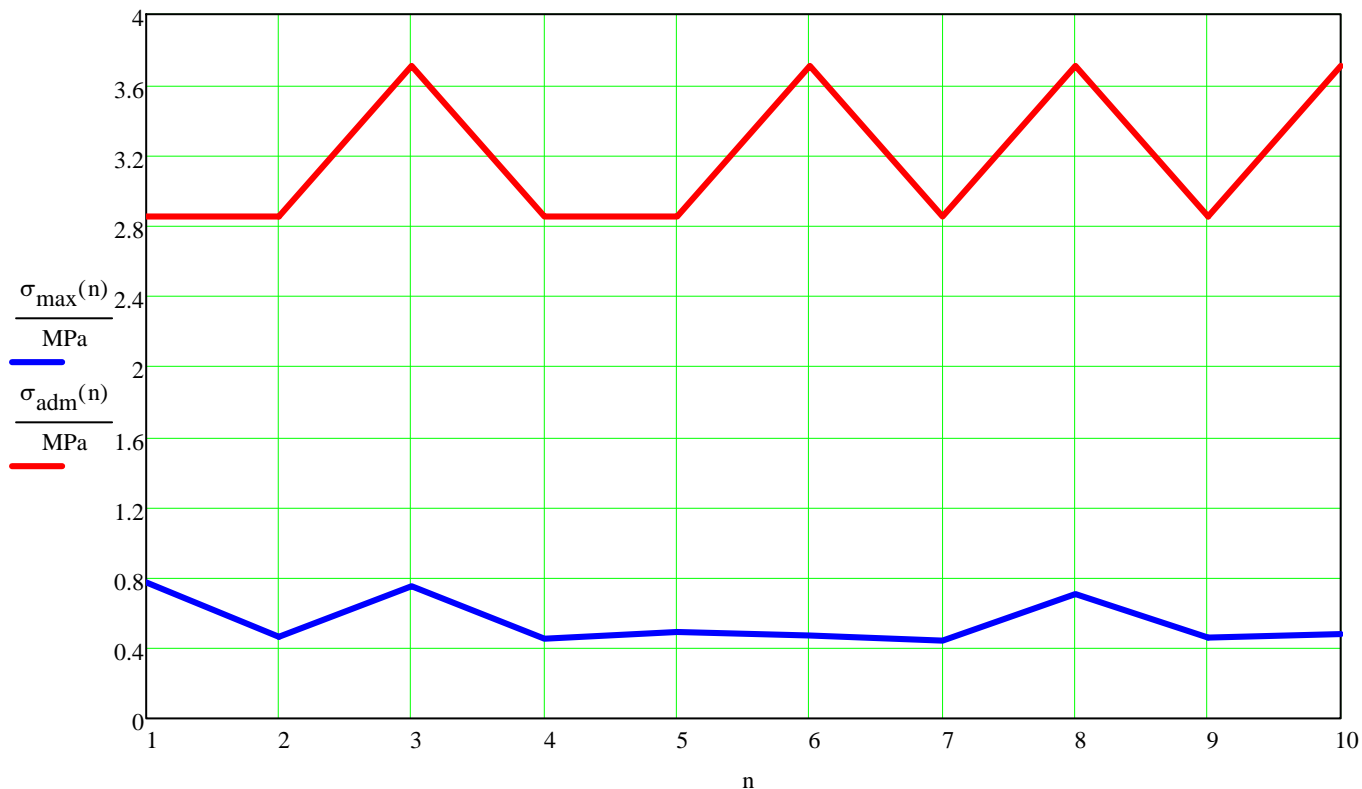
### Seguridad al Deslizamiento con cohesión comparado con el valor requerido según USACE

DeslizamT <sub>USACE</sub> (n) =		1
	1	"OK"
	2	"OK"
	3	"OK"
	4	"OK"
	5	"OK"
	6	"OK"
	7	"OK"
	8	"OK"
	9	"OK"
10	"OK"	





### Tensiones máximas en la base comparadas con el máximo valor admisible



$\sigma_{\text{máx}}(n)$ : Tensión máxima según cálculo.

$\sigma_{\text{adm}}(n)$ : Tensión máxima admisible.

Valor obtenido

Valor requerido

Verificación

$\sigma_{\text{max}}(n) =$	1	772	·kPa
	2	463	
	3	750	
	4	452	
	5	490	
	6	470	
	7	441	
	8	706	
	9	458	
	10	479	

$\sigma_{\text{adm}}(n) =$	1	2850	·kPa
	2	2850	
	3	3705	
	4	2850	
	5	2850	
	6	3705	
	7	2850	
	8	3705	
	9	2850	
	10	3705	

Tensiones Maximadas(n) =	1	"OK"
	2	"OK"
	3	"OK"
	4	"OK"
	5	"OK"
	6	"OK"
	7	"OK"
	8	"OK"
	9	"OK"
	10	"OK"

## RESUMEN DE GEOMETRÍA DE CUÑAS Y CARGAS RESULTANTE PARA LA ITERACIÓN FINAL CONSIDERANDO LA RESISTENCIA FRICCIONAL Y COHESIVA.

A continuación se presentan tablas resumen con la geometría de las cuñas resultantes para la iteración final y la carga neta actuante en cada una, para todos los casos de carga estudiados.

El primer valor de la tabla indica el caso de carga representado.

### Referencias:

FS Desl (FC):	Factor de seguridad al deslizamiento alcanzado, considerando la cohesión.
FS Req (FC):	Factor de seguridad al deslizamiento requerido, considerando la cohesión.
$\alpha.1$ :	Ángulo del plano de deslizamiento de la cuña de Aguas Arriba. [ ° ]
$\alpha.2$ :	Ángulo del plano de deslizamiento de la cuña de aguas abajo. [ ° ]
$\alpha.3$ :	Ángulo del plano de deslizamiento de la cuña del bloque de la central. [ ° ]
V.1:	Volumen de la cuña de Aguas Arriba. [ m3 ]
Vrbc:	Volumen de la cuña de roca debajo del Muro. [ m3 ]
V.2:	Volumen de la cuña de aguas abajo. [ m3 ]
$\Delta P3.1$ :	Resultante de las fuerzas actuando en la cuña de Aguas Arriba. [tonnef]
$\Delta P1.3.2$ :	Resultante de las fuerzas actuando en el bloque de la central. [tonnef]
$\Delta P3.2$ :	Resultante de las fuerzas actuando en la cuña de aguas abajo. [tonnef]

MR1(1) =

1.00	"TRES CUÑAS (PD)"	"DOS CUÑAS (PD)"	"TRES CUÑAS (PI)"
"FS Desl (FC)"	5.00	5.00	4.90
"FS Req (FC)"	3.00	3.00	3.00
" $\alpha.1$ [ ° ]"	-49.50	0.00	-49.60
" $\alpha.2$ [ ° ]"	40.50	40.50	40.40
" $\alpha.3$ [ ° ]"	0.00	0.00	-35.00
"V.1 [m3]"	81.31	0.00	31.87
"Vrbc [m3]"	183.97	131.57	472.85
"V.2 [m3]"	37.47	37.47	485.92
" $\Delta P1.3$ [tonnef]"	78.94	0.00	65.83
" $\Delta P1.3.2$ [tonnef]"	321.41	306.41	-993.36
" $\Delta P3.2$ [tonnef]"	151.89	151.89	927.53

MR1(2) =

2.00	"TRES CUÑAS (PD)"	"DOS CUÑAS (PD)"	"TRES CUÑAS (PI)"
"FS Desl (FC)"	2.99	3.19	3.40
"FS Req (FC)"	3.00	3.00	3.00
" $\alpha.1$ [ ° ]"	-52.43	0.00	-51.56
" $\alpha.2$ [ ° ]"	37.57	38.02	38.44
" $\alpha.3$ [ ° ]"	0.00	0.00	-35.00
"V.1 [m3]"	73.26	0.00	29.72
"Vrbc [m3]"	183.97	131.57	472.85
"V.2 [m3]"	41.59	40.92	521.09
" $\Delta P1.3$ [tonnef]"	127.87	0.00	76.91
" $\Delta P1.3.2$ [tonnef]"	-385.23	-239.52	-1306.93
" $\Delta P3.2$ [tonnef]"	257.36	239.52	1230.02

MR1(3) =

3.00	"TRES CUÑAS (PD)"	"DOS CUÑAS (PD)"	"TRES CUÑAS (PI)"
"FS Desl (FC)"	5.00	5.00	4.69
"FS Req (FC)"	2.10	2.10	2.10
"a.1 [ ° ]"	-49.50	0.00	-49.80
"a.2 [ ° ]"	40.50	40.50	40.20
"a.3 [ ° ]"	0.00	0.00	-35.00
"V.1 [m3]"	81.31	0.00	31.64
"Vrbc [m3]"	183.97	131.57	472.85
"V.2 [m3]"	37.47	37.47	489.42
"ΔP1.3 [tonnef]"	76.06	0.00	68.44
"ΔP1.3.2 [tonnef]"	281.61	268.46	-1007.82
"ΔP3.2 [tonnef]"	150.56	150.56	939.37

MR1(4) =

4.00	"TRES CUÑAS (PD)"	"DOS CUÑAS (PD)"	"TRES CUÑAS (PI)"
"FS Desl (FC)"	2.85	2.71	3.52
"FS Req (FC)"	2.10	2.10	2.10
"a.1 [ ° ]"	-52.78	0.00	-51.35
"a.2 [ ° ]"	37.22	36.86	38.65
"a.3 [ ° ]"	0.00	0.00	-35.00
"V.1 [m3]"	72.34	0.00	29.95
"Vrbc [m3]"	183.97	131.57	472.85
"V.2 [m3]"	42.12	42.69	517.14
"ΔP1.3 [tonnef]"	137.72	0.00	73.06
"ΔP1.3.2 [tonnef]"	-409.42	-287.26	-1268.04
"ΔP3.2 [tonnef]"	271.70	287.26	1194.98

MR1(5) =

5.00	"TRES CUÑAS (PD)"	"DOS CUÑAS (PD)"	"TRES CUÑAS (PI)"
"FS Desl (FC)"	2.84	2.99	3.28
"FS Req (FC)"	2.10	2.10	2.10
"a.1 [ ° ]"	-52.81	0.00	-51.79
"a.2 [ ° ]"	37.19	37.57	38.21
"a.3 [ ° ]"	0.00	0.00	-35.00
"V.1 [m3]"	72.26	0.00	29.48
"Vrbc [m3]"	183.97	131.57	472.85
"V.2 [m3]"	42.17	41.60	525.34
"ΔP1.3 [tonnef]"	136.01	0.00	79.90
"ΔP1.3.2 [tonnef]"	-407.48	-256.20	-1329.19
"ΔP3.2 [tonnef]"	271.48	256.20	1249.29

6	"TRES CUÑAS (PD)"	"DOS CUÑAS (PD)"	"TRES CUÑAS (PI)"
"FS Desl (FC)"	2.88	3.06	3.38
"FS Req (FC)"	2.1	2.1	2.1
"a.1 [ ° ]"	-52.69	0	-51.59
"a.2 [ ° ]"	37.31	37.73	38.41
"a.3 [ ° ]"	0	0	-35
"V.1 [m3]"	72.57	0	29.68
"Vrbc [m3]"	183.97	131.57	472.85
"V.2 [m3]"	41.99	41.36	521.69
"ΔP1.3 [tonnef]"	135.24	0	77.48
"ΔP1.3.2 [tonnef]"	-403.25	-251.04	-1312.82
"ΔP3.2 [tonnef]"	268.02	251.04	1235.33

7.00	"TRES CUÑAS (PD)"	"DOS CUÑAS (PD)"	"TRES CUÑAS (PI)"
"FS Desl (FC)"	2.71	2.33	3.65
"FS Req (FC)"	1.50	1.50	1.50
"a.1 [ ° ]"	-53.16	0.00	-51.12
"a.2 [ ° ]"	36.84	35.61	38.88
"a.3 [ ° ]"	0.00	0.00	-35.00
"V.1 [m3]"	71.34	0.00	30.19
"Vrbc [m3]"	183.97	131.57	472.85
"V.2 [m3]"	42.71	44.69	513.03
"ΔP1.3 [tonnef]"	148.25	0.00	68.97
"ΔP1.3.2 [tonnef]"	-436.13	-343.85	-1227.79
"ΔP3.2 [tonnef]"	287.88	343.85	1158.82

8.00	"TRES CUÑAS (PD)"	"DOS CUÑAS (PD)"	"TRES CUÑAS (PI)"
"FS Desl (FC)"	2.02	2.00	2.57
"FS Req (FC)"	1.50	1.50	1.50
"a.1 [ ° ]"	-55.73	0.00	-53.58
"a.2 [ ° ]"	34.27	34.20	36.42
"a.3 [ ° ]"	0.00	0.00	-35.00
"V.1 [m3]"	64.89	0.00	27.62
"Vrbc [m3]"	183.97	131.57	472.85
"V.2 [m3]"	46.96	47.09	560.67
"ΔP1.3 [tonnef]"	192.10	0.00	102.19
"ΔP1.3.2 [tonnef]"	-588.31	-400.24	-1518.12
"ΔP3.2 [tonnef]"	396.22	400.24	1415.93

MR1(9) =

9.00	"TRES CUÑAS (PD)"	"DOS CUÑAS (PD)"	"TRES CUÑAS (PI)"
"FS Desl (FC)"	2.74	2.60	3.50
"FS Req (FC)"	1.50	1.50	1.50
"a.1 [ ° ]"	-53.06	0.00	-51.37
"a.2 [ ° ]"	36.94	36.51	38.63
"a.3 [ ° ]"	0.00	0.00	-35.00
"V.1 [m3]"	71.59	0.00	29.92
"Vrbc [m3]"	183.97	131.57	472.85
"V.2 [m3]"	42.56	43.23	517.60
"ΔP1.3 [tonnef]"	145.65	0.00	73.52
"ΔP1.3.2 [tonnef]"	-429.44	-302.45	-1272.57
"ΔP3.2 [tonnef]"	283.79	302.45	1199.05

MR1(10) =

10.00	"TRES CUÑAS (PD)"	"DOS CUÑAS (PD)"	"TRES CUÑAS (PI)"
"FS Desl (FC)"	2.70	2.56	3.39
"FS Req (FC)"	1.50	1.50	1.50
"a.1 [ ° ]"	-53.17	0.00	-51.58
"a.2 [ ° ]"	36.83	36.40	38.42
"a.3 [ ° ]"	0.00	0.00	-35.00
"V.1 [m3]"	71.31	0.00	29.70
"Vrbc [m3]"	183.97	131.57	472.85
"V.2 [m3]"	42.73	43.41	521.45
"ΔP1.3 [tonnef]"	146.07	0.00	76.20
"ΔP1.3.2 [tonnef]"	-432.99	-305.90	-1290.88
"ΔP3.2 [tonnef]"	286.92	305.90	1214.68

### RESUMEN DE GEOMETRÍA DE CUÑAS Y CARGAS RESULTANTE PARA LA ITERACIÓN FINAL CONSIDERANDO SÓLO LA RESISTENCIA FRICCIONAL.

A continuación se presentan tablas resumen con la geometría de las cuñas resultantes para la iteración final y la carga neta actuante en cada una, para todos los casos de carga estudiados.

El primer valor de la tabla indica el caso de carga representado.

Referencias:

FS Desl (F):	Factor de seguridad al deslizamiento alcanzado, considerando sólo la fricción.
FS Req (F):	Factor de seguridad al deslizamiento requerido, considerando sólo la fricción.
$\alpha.1$ :	Ángulo del plano de deslizamiento de la cuña de Aguas Arriba. [ ° ]
$\alpha.2$ :	Ángulo del plano de deslizamiento de la cuña de aguas abajo. [ ° ]
$\alpha.3$ :	Ángulo del plano de deslizamiento de la cuña del bloque de la central. [ ° ]
V.1:	Volumen de la cuña de Aguas Arriba. [ m3 ]
Vrbc:	Volumen de la cuña de roca debajo del Muro. [ m3 ]
V.2:	Volumen de la cuña de aguas abajo. [ m3 ]
$\Delta P3.1$ :	Resultante de las fuerzas actuando en la cuña de Aguas Arriba. [tonnef]
$\Delta P1.3.2$ :	Resultante de las fuerzas actuando en el bloque de la central. [tonnef]
$\Delta P3.2$ :	Resultante de las fuerzas actuando en la cuña de aguas abajo. [tonnef]

MR2(1) =

1.00	"TRES CUÑAS (PD)"	"DOS CUÑAS (PD)"	"TRES CUÑAS (PI)"
"FS Desl (F)"	5.00	5.00	2.21
"FS Req (F)"	1.50	1.50	1.50
" $\alpha.1$ [ ° ]"	-49.50	0.00	-54.85
" $\alpha.2$ [ ° ]"	40.50	40.50	35.15
" $\alpha.3$ [ ° ]"	0.00	0.00	-35.00
"V.1 [m3]"	81.31	0.00	26.36
"Vrbc [m3]"	183.97	131.57	472.85
"V.2 [m3]"	37.47	37.47	587.37
" $\Delta P1.3$ [tonnef]"	-62.47	0.00	-16.70
" $\Delta P1.3.2$ [tonnef]"	321.41	306.41	-733.74
" $\Delta P3.2$ [tonnef]"	39.48	39.48	750.45

MR2(2) =

2.00	"TRES CUÑAS (PD)"	"DOS CUÑAS (PD)"	"TRES CUÑAS (PI)"
"FS Desl (F)"	1.62	2.19	1.43
"FS Req (F)"	1.50	1.50	1.50
" $\alpha.1$ [ ° ]"	-58.07	0.00	-59.54
" $\alpha.2$ [ ° ]"	31.93	35.03	30.46
" $\alpha.3$ [ ° ]"	0.00	0.00	-35.00
"V.1 [m3]"	59.35	0.00	22.02
"Vrbc [m3]"	183.97	131.57	472.85
"V.2 [m3]"	51.34	45.65	703.27
" $\Delta P1.3$ [tonnef]"	-55.95	0.00	-24.31
" $\Delta P1.3.2$ [tonnef]"	-18.16	-58.58	-1051.52
" $\Delta P3.2$ [tonnef]"	74.11	58.58	1075.83

MR2(3) =

3.00	"TRES CUÑAS (PD)"	"DOS CUÑAS (PD)"	"TRES CUÑAS (PI)"
"FS Desl (F)"	5.00	5.00	2.11
"FS Req (F)"	1.20	1.20	1.20
"a.1 [ ° ]"	-49.50	0.00	-55.30
"a.2 [ ° ]"	40.50	40.50	34.70
"a.3 [ ° ]"	0.00	0.00	-35.00
"V.1 [m3]"	81.31	0.00	25.92
"Vrbc [m3]"	183.97	131.57	472.85
"V.2 [m3]"	37.47	37.47	597.42
"ΔP1.3 [tonnef]"	-65.36	0.00	-17.06
"ΔP1.3.2 [tonnef]"	281.61	268.46	-738.09
"ΔP3.2 [tonnef]"	38.15	38.15	755.16

MR2(4) =

4.00	"TRES CUÑAS (PD)"	"DOS CUÑAS (PD)"	"TRES CUÑAS (PI)"
"FS Desl (F)"	1.47	1.78	1.44
"FS Req (F)"	1.20	1.20	1.20
"a.1 [ ° ]"	-59.14	0.00	-59.43
"a.2 [ ° ]"	30.86	32.97	30.57
"a.3 [ ° ]"	0.00	0.00	-35.00
"V.1 [m3]"	56.90	0.00	22.12
"Vrbc [m3]"	183.97	131.57	472.85
"V.2 [m3]"	53.55	49.32	700.17
"ΔP1.3 [tonnef]"	-51.44	0.00	-24.53
"ΔP1.3.2 [tonnef]"	-29.17	-68.40	-1041.84
"ΔP3.2 [tonnef]"	80.61	68.40	1066.37

MR2(5) =

5.00	"TRES CUÑAS (PD)"	"DOS CUÑAS (PD)"	"TRES CUÑAS (PI)"
"FS Desl (F)"	1.53	2.04	1.37
"FS Req (F)"	1.20	1.20	1.20
"a.1 [ ° ]"	-58.67	0.00	-60.02
"a.2 [ ° ]"	31.33	34.36	29.98
"a.3 [ ° ]"	0.00	0.00	-35.00
"V.1 [m3]"	57.96	0.00	21.60
"Vrbc [m3]"	183.97	131.57	472.85
"V.2 [m3]"	52.57	46.80	717.03
"ΔP1.3 [tonnef]"	-55.42	0.00	-24.15
"ΔP1.3.2 [tonnef]"	-20.43	-59.92	-1068.75
"ΔP3.2 [tonnef]"	75.84	59.92	1092.90



MR2(6) =

6.00	"TRES CUÑAS (PD)"	"DOS CUÑAS (PD)"	"TRES CUÑAS (PI)"
"FS Desl (F)"	1.54	2.07	1.41
"FS Req (F)"	1.20	1.20	1.20
"a.1 [ ° ]"	-58.58	0.00	-59.67
"a.2 [ ° ]"	31.42	34.54	30.33
"a.3 [ ° ]"	0.00	0.00	-35.00
"V.1 [m3]"	58.16	0.00	21.91
"Vrbc [m3]"	183.97	131.57	472.85
"V.2 [m3]"	52.39	46.48	706.83
"ΔP1.3 [tonnef]"	-53.75	0.00	-24.07
"ΔP1.3.2 [tonnef]"	-23.41	-60.75	-1062.67
"ΔP3.2 [tonnef]"	77.16	60.75	1086.74

MR2(7) =

7.00	"TRES CUÑAS (PD)"	"DOS CUÑAS (PD)"	"TRES CUÑAS (PI)"
"FS Desl (F)"	1.33	1.45	1.45
"FS Req (F)"	1.00	1.00	1.00
"a.1 [ ° ]"	-60.38	0.00	-59.31
"a.2 [ ° ]"	29.62	30.63	30.69
"a.3 [ ° ]"	0.00	0.00	-35.00
"V.1 [m3]"	54.13	0.00	22.22
"Vrbc [m3]"	183.97	131.57	472.85
"V.2 [m3]"	56.29	54.05	696.84
"ΔP1.3 [tonnef]"	-46.56	0.00	-24.76
"ΔP1.3.2 [tonnef]"	-42.51	-82.13	-1031.46
"ΔP3.2 [tonnef]"	89.07	82.13	1056.23

MR2(8) =

8.00	"TRES CUÑAS (PD)"	"DOS CUÑAS (PD)"	"TRES CUÑAS (PI)"
"FS Desl (F)"	1.08	1.31	1.04
"FS Req (F)"	1.00	1.00	1.00
"a.1 [ ° ]"	-63.07	0.00	-63.67
"a.2 [ ° ]"	26.93	29.45	26.33
"a.3 [ ° ]"	0.00	0.00	-35.00
"V.1 [m3]"	48.36	0.00	18.53
"Vrbc [m3]"	183.97	131.57	472.85
"V.2 [m3]"	63.01	56.68	835.76
"ΔP1.3 [tonnef]"	-52.65	0.00	-23.15
"ΔP1.3.2 [tonnef]"	-38.76	-72.15	-1228.37
"ΔP3.2 [tonnef]"	91.41	72.15	1251.53

MR2(9) =

9.00	"TRES CUÑAS (PD)"	"DOS CUÑAS (PD)"	"TRES CUÑAS (PI)"
"FS Desl (F)"	1.40	1.68	1.42
"FS Req (F)"	1.00	1.00	1.00
"a.1 [ ° ]"	-59.74	0.00	-59.56
"a.2 [ ° ]"	30.26	32.36	30.44
"a.3 [ ° ]"	0.00	0.00	-35.00
"V.1 [m3]"	55.55	0.00	22.01
"Vrbc [m3]"	183.97	131.57	472.85
"V.2 [m3]"	54.85	50.51	703.74
"ΔP1.3 [tonnef]"	-49.03	0.00	-24.28
"ΔP1.3.2 [tonnef]"	-35.55	-71.73	-1052.97
"ΔP3.2 [tonnef]"	84.58	71.73	1077.25

MR2(10) =

10.00	"TRES CUÑAS (PD)"	"DOS CUÑAS (PD)"	"TRES CUÑAS (PI)"
"FS Desl (F)"	1.40	1.67	1.38
"FS Req (F)"	1.00	1.00	1.00
"a.1 [ ° ]"	-59.78	0.00	-59.93
"a.2 [ ° ]"	30.22	32.28	30.07
"a.3 [ ° ]"	0.00	0.00	-35.00
"V.1 [m3]"	55.47	0.00	21.68
"Vrbc [m3]"	183.97	131.57	472.85
"V.2 [m3]"	54.93	50.66	714.41
"ΔP1.3 [tonnef]"	-50.85	0.00	-24.33
"ΔP1.3.2 [tonnef]"	-32.02	-70.34	-1060.51
"ΔP3.2 [tonnef]"	82.87	70.34	1084.84

NOTAS

--

REFERENCIA

--

NOTAS INSPECCION

<p>.....</p> <p>.....</p>
---------------------------

QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL SIN  
PREVIA AUTORIZACION DE REPRESAS PATAGONIA UTE

REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	PROYECTÓ	EJECUTÓ	REVISÓ	VERIFICÓ
0D	CORRECCIONES	18-08-16	RJR	RJR/RJE	OAV	GV
0C	INCLUSION RESULTADOS ENSAYOS 2015	31-05-2016	RJR	RJR/RJE	OAV	GV
0B	APLICACIÓN A MURO VERT. CENTRAL Y CIERRE MD.	28-03-2016	RJR	RJR / REG	OAV	GV
0A	EMISION ORIGINAL	17-11-2015	RJR	RJR / REG	OAV	GV

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA  
SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA



APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC


NOMBRE		FECHA
EJECUTÓ	RJR	18-08-16
REPRES. TEC.		

**Presa Jorge Cepernic**

OBRAS CIVILES. OBRAS GENERALES  
MEMORIA TÉCNICA. CARACTERIZACIÓN  
GEOTÉCNICA FUNDACIÓN

Etapa Proyecto:	
PB	
Nivel desarrollo:	
100	

Pag.	Form.	Esc.	Doc. N°	Rev.
1/33	A4	s/e	JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001	0D

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> <b>ELING-CGGC-HCSA-UTE</b>	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0D Fecha: 18-08-16 Página: 1 de 33
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001

## TABLADE CONTENIDO


<b>1. ALCANCE</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES DE ESTUDIOS HASTA 2007</b> .....	<b>2</b>
<b>3. RESULTADOS DE LA CAMPAÑA 2015-2016</b> .....	<b>4</b>
3.1. Verificaciones y actividades complementarias .....	4
3.2. Homogeneización de ensayos de laboratorio .....	5
3.3. Derivación de las propiedades geotécnicas de los estratos.....	7
<b>4. MODELACION DE LAS FUNDACIONES DE LAS ESTRUCTURAS</b> .....	<b>10</b>
4.1. Modelación geotécnica de la Central .....	10
4.2. Modelación geotécnica del Vertedero .....	13
4.3. Modelación geotécnica del Muro de cierre.....	17
4.4. Modelación geotécnica del “estrato débil” .....	21
<b>5. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>23</b>
5.1. Parámetros para verificación de la Central .....	23
5.2. Parámetros para verificación del Vertedero .....	23
5.3. Parámetros para verificación del Muro de cierre.....	24
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	<b>26</b>

## FIGURAS

FIGURA 1. SECCIÓN PRIMITIVA SIMILAR A LA ACTUAL D-D’ CON LAS PERFORACIONES REALIZADAS EN 2006.....	3
FIGURA 2. UBICACIÓN DE LAS PERFORACIONES REALIZADAS PARA LA CENTRAL Y VERTEDERO .....	4
FIGURA 3. MODELO NO LINEAL DE HOEK BROWN CON LECTURA DE VALORES DE C Y $\phi$ .....	5
FIGURA 4. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE ESTRATOS SUPERIORES A COTA 52. GLOBAL: INICIAL.....	7
FIGURA 5. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE ESTRATOS MEDIOS, ENTRE COTAS 46 Y 52. GLOBAL: INICIAL .....	8
FIGURA 6. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE ESTRATOS INFERIORES A COTA 46. GLOBAL: INICIAL .....	9
FIGURA 7. MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO PARA LA CENTRAL .....	10
FIGURA 8. CENTRAL. PROPIEDADES PONDERADAS DEL ESTRATO SUPERIOR (BASE EN COTA 52). GLOBAL: INICIAL .....	11
FIGURA 9. CENTRAL. PROPIEDADES PONDERADAS DEL ESTRATO MEDIO (ENTRE COTAS 52 Y 46M). GLOBAL: INICIAL .....	12
FIGURA 10. CENTRAL. PROPIEDADES PONDERADAS DEL ESTRATO INFERIOR (ENTRE COTAS 46 Y 24 M). GLOBAL: INICIAL ....	13
FIGURA 11..MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO PARA EL VERTEDERO.....	14
FIGURA 12. VERTEDERO. PROPIEDADES PONDERADAS DEL ESTRATO SUPERIOR (BASE EN COTA 52M). GLOBAL: INICIAL .....	15
FIGURA 13. VERTEDERO. PROPIEDADES PONDERADAS DEL ESTRATO MEDIO (ENTRE COTA 52 Y 46 M) GLOBAL: INICIAL .....	16
FIGURA 14. VERTEDERO. PROPIEDADES PONDERADAS DEL ESTRATO INFERIOR (DEBAJO COTA 46 M) GLOBAL: INICIAL.....	17
FIGURA 15. MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO PARA EL MURO DE CIERRE .....	18
FIGURA 16. MURO. PROPIEDADES PONDERADAS DEL ESTRATO SUPERIOR (BASE EN COTA 52). GLOBAL: INICIAL .....	19
FIGURA 17. MURO. PROPIEDADES PONDERADAS DEL ESTRATO MEDIO (ENTRE COTAS 52 Y 46M). GLOBAL: INICIAL.....	20
FIGURA 18. MURO. PROPIEDADES PONDERADAS DEL ESTRATO INFERIOR, DEBAJO COTA 46. GLOBAL: INICIAL .....	21
FIGURA 19. ESTRATO DÉBIL. PROPIEDADES DE LAS ARENISCAS GRISES Y SU MÍNIMO .....	22
FIGURA 20. CENTRAL GJC. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS PARA VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL.....	23
FIGURA 21. VERTEDERO GJC. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS PARA VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL .....	24
FIGURA 22. MURO GJC. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS PARA VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL .....	25


## TABLAS

TABLA 1: PARÁMETROS ESIN-IATASA, SITIO DE PRESA GJC .....	2
TABLA 2: ENSAYOS TRIAXIALES (PARÁMETROS C Y $\phi$ ) Y DE COMPRESIÓN SIMPLE (Q), CAMPAÑA AÑO 2006 .....	3
TABLA 4. RESISTENCIA AL CORTE EN EL MACIZO: COHESIÓN ( $C_{MACIZO}$ ) Y ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA ( $\phi_{MACIZO}$ ).....	6
TABLA 5. RESISTENCIA AL CORTE DEL ESTRATO DÉBIL: COHESIÓN (C) Y ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA ( $\phi$ ) .....	22

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0D Fecha: DD-MM-AA Página: 2 de 33
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001

## ANEXOS

- ANEXO 1 – PROCESAMIENTO DE DATOS SEGUN MODELO HOEK BROWN
- ANEXO 2 – JC ANALISIS GEOTECNICO PERFIL E-E' CENTRAL
- ANEXO 3 – JC ANALISIS GEOTECNICO PERFIL D-D' VERTEDERO
- ANEXO 4 – JC ANALISIS GEOTECNICO PERFIL F-F' MURO

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0D Fecha: 18-08-16 Página: 1 de 33
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001

## 1. ALCANCE


Este documento técnico contiene una evaluación de los antecedentes disponibles, análisis y conclusiones para la caracterización geotécnica en la presa Gobernador J. Cepernic (GJC) aplicables para utilizar en el diseño de las estructuras de hormigón del vertedero y de la central. También se podrán aplicar al diseño del muro del vertedero y la central y el cierre de margen derecha.

Se destaca que las conclusiones y recomendaciones emitidas son solo válidas para las estructuras citadas.

Este documento técnico reemplaza y supera a todo otro documento anterior emitido sobre la caracterización geotécnica de las fundaciones de estas estructuras principales.

Se han tenido en cuenta los antecedentes enumerados en informes previos tales como:

- GE-A.CV-IV.GT-(OG-00-00)-P001-0A. Parámetros geotécnicos de Diseño.
- JC-A.CV-IV.GT-(OG-00-00)-P001. Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Rocas
- GE-A.CV-IV.GT-(OG-00-00)-P002-0B. Deformabilidad de macizos rocosos.

	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0D Fecha: DD-MM-AA Página: 2 de 33
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001

## 2. ANTECEDENTES DE ESTUDIOS HASTA 2007

Los parámetros geotécnicos de los terrenos involucrados en la fundación de las obras de hormigón presentan gran variabilidad, propia de las formaciones sedimentarias.

En el sitio de la represa GJC están descritas arcillitas, pelitas tobáceas e intercalaciones delgadas de areniscas de colores verde claro, gris verdoso y blanquecino sin presencia de macrofósiles marinos (ESIN-IATASA 2006). Esta unidad yace bien estratificada en bancos de varios decímetros de espesor de 2 m a 3 m de potencia.

En la Tabla 1 se presentan los valores adoptados por ESIN IATASA para el proyecto licitatorio; donde  $\gamma$ ,  $\gamma_d$  y  $\gamma_s$  son el peso unitario, el peso unitario seco y el peso específico, respectivamente;  $c$  y  $\phi$  son los parámetros de resistencia al corte, cohesión y ángulo de fricción interna.

Tabla 1: Parámetros ESIN-IATASA, sitio de presa GJC

Descripción	$\gamma$	$\gamma_d$	$\gamma_s$	$\phi$	$c$
	(tn/m <sup>3</sup> )	(tn/m <sup>3</sup> )	(tn/m <sup>3</sup> )	(°)	(kg/cm <sup>2</sup> )
Nivel alterado	Margen Izquierda	1,80	1,60		
	Terraza Inferior	1,77	1,55	2,58	15
	Margen Derecha	1,98	1,60		
Pelitas	Margen Izquierda				
	Terraza Inferior	1,85	1,65	2,56	28
	Margen Derecha				
Areniscas	Margen Izquierda		1,80		
	Terraza Inferior	1,95	1,70	2,60	30
	Margen Derecha		1,80		
Tobas	Margen Izquierda		1,70		
	Terraza Inferior	1,90	1,60	2,55	25
	Margen Derecha		1,70		

El Informe ESIN IATASA sólo implica una guía de valores sugeridos para el diseño de la presa GJC. Una recopilación más detallada de los análisis se encuentra en GE-A.CV-IV.GT-(OG-00-00)-P001-0A: Parámetros geotécnicos de Diseño.

En esa etapa, que abarca hasta el año 2007, se ejecutaron ensayos triaxiales y de compresión simple con condiciones de humedad natural. Los ensayos triaxiales fueron realizados con presiones de cámara de 10, 20 y 40 kg/cm<sup>2</sup>.

Los valores de resistencia  $\phi$  y  $c$ , definidos en la Tabla 1 resultan extremadamente conservativos, con relación a los resultados de los ensayos triaxiales que se resumen en la Tabla 2. La ubicación de las perforaciones corresponde a una sección perpendicular al eje del proyecto (Ver Figura) que se encuentra en coincidencia con el perfil D-D' de la Figura 2.

Los testigos de perforaciones indican la presencia de algunos lentes subhorizontales de areniscas grises y areniscas tobáceas cuya extensión lateral por debajo de las fundaciones de las estructuras era desconocido antes de la nueva prospección. Asimismo, se había hipotetizado la presencia de discontinuidades constituidas por niveles arcillosos blandos que conformarían potenciales planos de debilidad dentro del macizo rocoso.

Tabla 2: Ensayos triaxiales (parámetros  $c$  y  $\phi$ ) y de compresión simple ( $q$ ), campaña año 2006

Cotas	BDCH	BDC13	BDC14
Boca sondeo	+81,72 m	+83,30 m	+81,74 m
+66		$q = 33 \text{ kg/cm}^2$	
+60		$c = 28,5 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 33,5^\circ$	
+56			$c = 35,1 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 38,8^\circ$
+54	$q = 60 \text{ kg/cm}^2$		$q = 71 \text{ kg/cm}^2$
<b>+48 : BASE CENTRAL</b>			
+46	$c = 30,8 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 22,7^\circ$		
<b>+37 : BASE DIENTE</b>			
+34	$q = 25 \text{ kg/cm}^2$		
+34	$q = 54 \text{ kg/cm}^2$		
+32	$q = 153 \text{ kg/cm}^2$		
+24	$c = 36,1 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 33,4^\circ$		

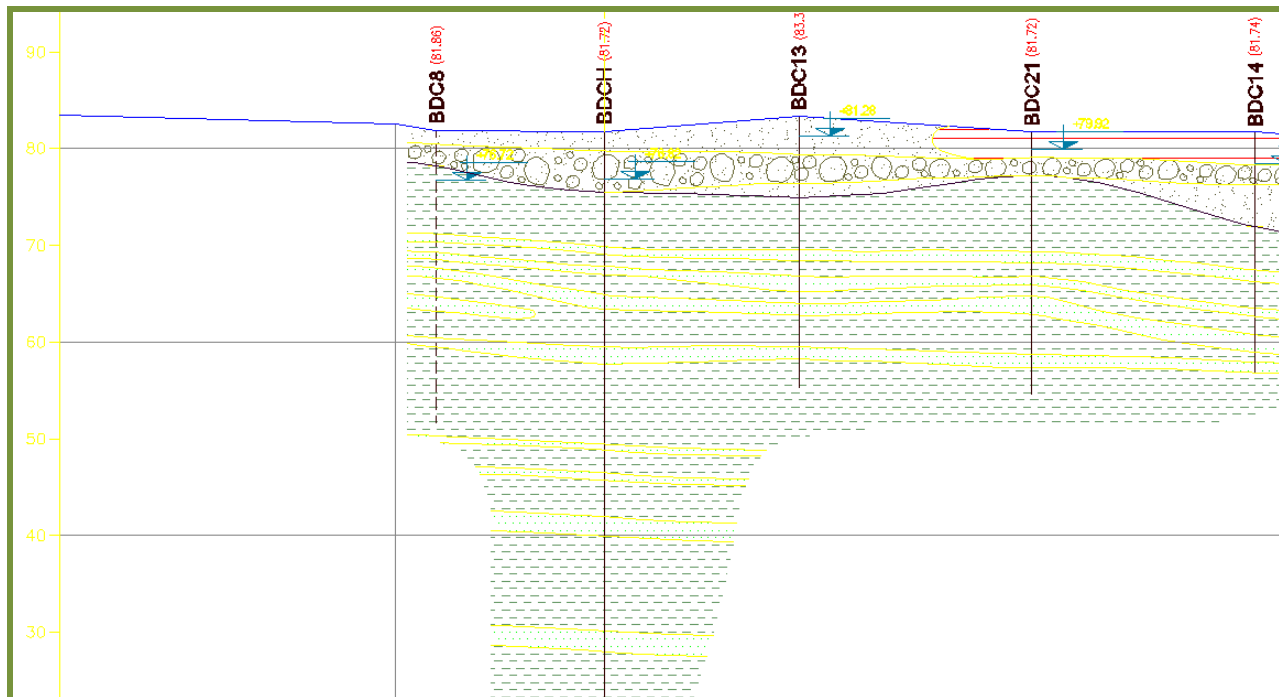



Figura 1. Sección primitiva similar a la actual D-D' con las perforaciones realizadas en 2006



 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0D Fecha: DD-MM-AA Página: 4 de 33
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001

### 3. RESULTADOS DE LA CAMPAÑA 2015-2016

#### 3.1. Verificaciones y actividades complementarias

En el sitio de emplazamiento de la central y el vertedero de GJC se han realizado nuevas perforaciones tal como se observa en la Figura 2. Las perforaciones en verde oscuro y azul corresponden a las campañas anteriores del proyecto. Las perforaciones en verde claro corresponden a la campaña de prospección 2015-2016.




**Figura 2. Ubicación de las perforaciones realizadas para la central y vertedero**

Las perforaciones de todas las campañas fueron empleadas para definir un modelo geológico que permitiera definir la estratigrafía de la fundación de las estructuras. Los perfiles generados se presentan en el análisis de las estructuras con las que están relacionados.

Los resultados de algunos ensayos de laboratorio han sido compilados en el informe JC-A.CV-IV.GT-(OG-00-00)-P001. Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Rocas. En la clasificación de los tipos litológicos presentes se distinguen:

- a. Areniscas finas a medias, gris oscuro a amarronado cuando presentan alteración limonitita, cementadas a friables, grano fino a medio, estratificadas
- b. Areniscas pelíticas a pelitas arenosas, color gris verdoso, masivas
- c. Pelitas arcillosas y limosas, masivas, color gris verdosa a parda clara,
- d. Pelitas estructura brechosa.
- e. Tobas y areniscas tobáceas, gris claro a oscuro, masivas.

 <b>REPRESAS PATAGONIA</b> ELING-CGGC-HCSA-UTE	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0D Fecha: DD-MM-AA Página: 5 de 33
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001

En forma complementaria se ejecutaron algunos ensayos geofísicos del tipo *MASW* con el objeto de caracterizar, mediante el empleo de  $V_s$ , los sedimentos superficiales y los macizos rocosos subyacentes. Los resultados referidos a la obtención de módulos de deformación se encuentran en el informe GE-A.CV-IV.GT-(OG-00-00)-P002-0B: Deformabilidad de macizos rocosos. Su aplicación en la modelación del macizo rocoso se encuentra en el ANEXO 1 – PROCESAMIENTO DE DATOS SEGÚN MODELO HOEK BROWN.

### 3.2. Homogeneización de ensayos de laboratorio

Para homogeneizar los distintos tipos de ensayos de laboratorio se empleó un único procedimiento de análisis basado en el modelo de *Hoek Brown*, implementado en el programa Roclab (versión liberada de Rocdata de Rocscience). Este modelo permite variar las propiedades de deformación y de rotura de distintas rocas basadas en el *GSI (Geological Strength Index)*, con lo cual es posible pasar de resultados de laboratorio a estimaciones de valores geotécnicos en el macizo.

Se partió de la base de que los resultados de probetas de laboratorio tienen un *GSI* de 100 y que cuando disminuye el *GSI* se representa la situación del macizo *in-situ*. Como patrón de validación se tomaron los resultados de las mediciones de  $V_s$  registradas en 2015, a partir de lo cual se establecieron valores del módulo de deformación  $E$  del macizo. Como las determinaciones geofísicas se realizaron bajo el nivel freático, se ha considerado que corresponden al macizo saturado.

En las verificaciones del proyectista se requieren de parámetros del modelo de *Mohr Coulomb*. Al ser el modelo de *Hoek Brown* no lineal, a medida que aumentan las tensiones, la recta de resistencia intrínseca (leída como tangente a la curva) se va aplanando por lo que el ángulo de resistencia interna,  $\phi$ , va disminuyendo y la cohesión va aumentando. Así la resistencia del macizo tiende a disminuir con el confinamiento (Ver Figura 3).

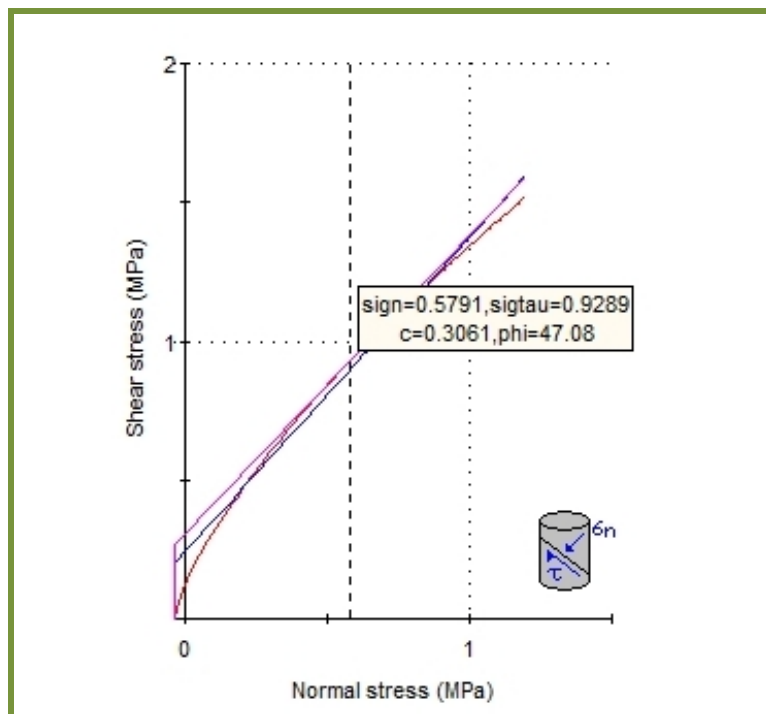


Figura 3. Modelo no lineal de Hoek Brown con lectura de valores de  $c$  y  $\phi$

Para evitar errores se tomaron valores de tensiones de lectura de 0.5 y 1.2 MPa en correspondencia con estratos superficiales y estratos profundos. Estos niveles se fijaron de acuerdo al análisis tenso-deformacional realizado para las fundaciones de las estructuras.

La Tabla 3 presenta los valores de *GSI* y de tensiones de medición del modelo *Mohr Coulomb* resultante de los distintos ensayos. Las perforaciones que comienzan con BD xx son de 2006, mientras que las iniciadas con BP xx son de 2015.


	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA		Revisión: 0D Fecha: DD-MM-AA Página: 6 de 33
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC		Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001

Tabla 3. Resistencia al corte en el macizo: cohesión ( $c_{macizo}$ ) y ángulo de fricción interna ( $\phi_{macizo}$ )

Litología	Perforación	Cota	GSI inicio	$\phi_{lab}(^{\circ})$	$C_{lab}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	GSI	$\sigma$ MPa	$\phi_{mac}$	$C_{mac}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Pelita gris verdosa	BDC18	58	100	44	25.3	55	1.2	41	3.9
Pelita gris verdosa	BDCH	24	100	40	26.6	55	1.2	37	3.5
Limolita	BDCH	48	100	30	24.2	63	1.2	29	3.4
Limonita arenosa	BDC13	60	100	41	19.6	61	0.5	44	2.4
Limolita	BDCA	53	100	39	35.7	51	1.2	38	3.6
Limolita gris	BDC1	67	100	42	16.3	65	1.2	38	3.8
Limolita gris verdosa	BDC1	56	100	49	13.4	67	1.2	44	4.3
Limolita gris	BDC15	50	100	42	21.4	59	1.2	38	3.7
Limolita	BD12	120	100	38	30.9	53	1.2	36	3.4
Arcilita	BP16 JC02	56	100	26	15.9	80	0.5	28	4.6
Arcilita gris	BP16 JC03	55	100	36	14.1	76	0.5	42	2.9
Arcilita gris verdosa	BP16 JC08	43	100	28	3.6	100	1.2	28	3.6
Pelita	BP2 JC003	60	100	38	5.8	80	0.5	37	2.0
Pelita tobáceas	BP2 JC005	50	100	39	2.2	100	1.2	29	3.2
Pelita	BP16 JC11	26	100	38	6.7	80	1.2	31	3.3
Arenisca tobácea	BP2 J002	65	100	41	3.6	100	0.5	40	3.7
Arenisca verdosa	BP16 JC06	45	100	48	6.4	75	1.2	39	3.6
Pelita brechoide	BP2 JC006	43	100	45	9.6	80	1.2	41	4.6
Arenisca tobácea	BP2 JC004	60	100	46	5.8	80	0.5	45	2.3
Toba	BP16 JC05	48	100	41	5.9	80	1.2	33	3.3
Arenisca gris	BDCA	69	100	43	10.3	80	0.5	46	3.2
Arenisca gris	BP2 J007	42	100	35	3.4	100	1.2	28	4.1

Referencias:

GSI inicio: valor asignado a ensayo de laboratorio

$\phi_{lab}, C_{lab}$ : parámetros de *Mohr Coulomb* determinados en laboratorio

GSI: valor definido en base a módulo del macizo en modelo *Hoek Brown*

$\sigma$ : tensión de confinamiento para lectura en modelo *Hoek Brown* (Figura 3)

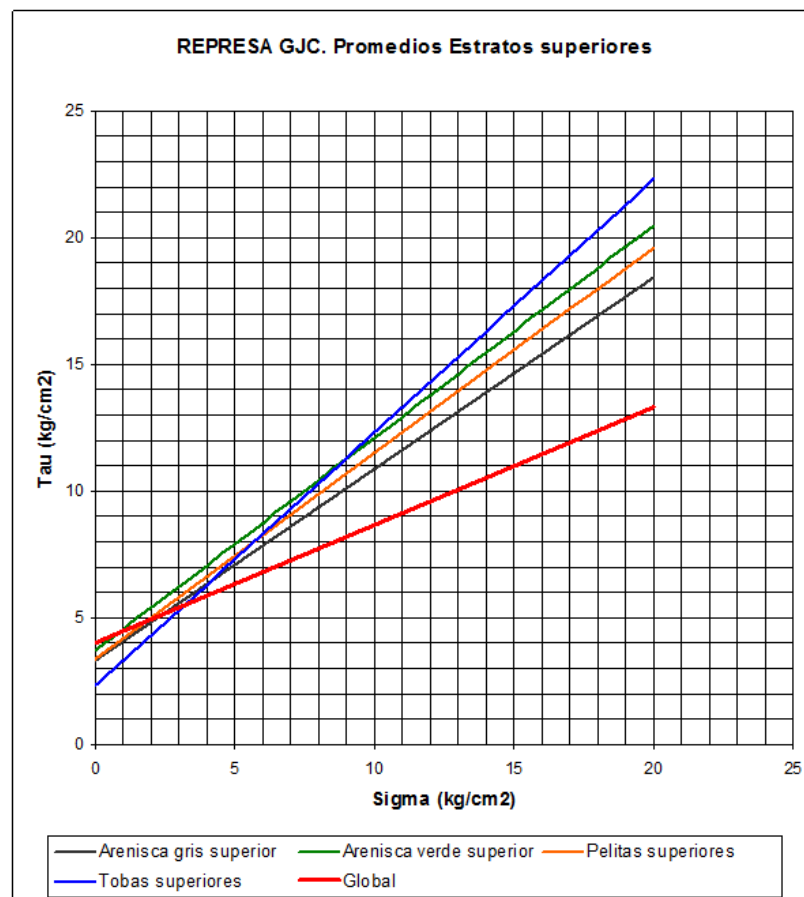
$\phi_{mac}, C_{mac}$ : parámetros de *Mohr Coulomb* definidos para GSI

Los valores de *GSI* varían de acuerdo con la rigidez inicial de las probetas y los tipos de rocas. Para la definición de los módulos de las probetas iniciales se empleó el Modulo Relativo (*MR: modulus ratio*) del programa con valores de  $MR=275$  para pelitas,  $MR=275$  para areniscas y  $MR=300$  para tobas. Cuando los valores iniciales del módulo eran muy bajos no se modificaron al pasar de probeta a macizo, porque se consideró que al ser “blandos” no habría mayores diferencias por escala (entre Laboratorio y Campo), asemejándose más a un sedimento que a una roca.

Es de destacar que los valores finalmente empleados en los análisis corresponden a ensayos de perforaciones próximas a las obras de vertedero y central. Aquellos resultados correspondientes a las cotas superficiales que no han sido modificados por tensiones y quedaron en 1.2 MPa no han sido tenidos en cuenta por encontrarse en perforaciones alejadas de la zona del Vertedero y la Central.

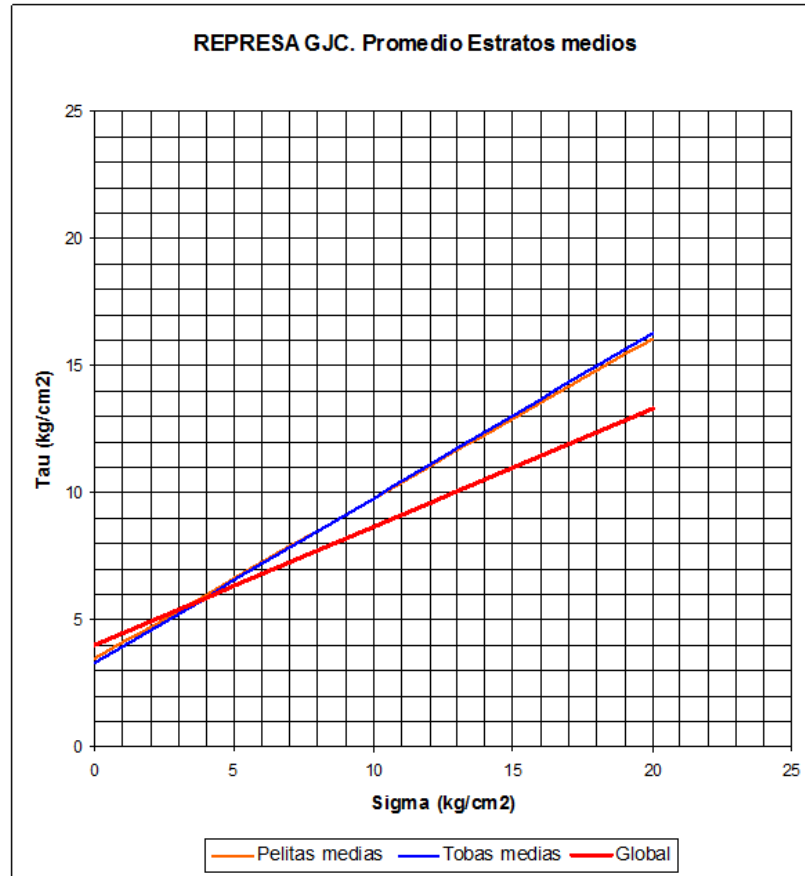
### 3.3. Derivación de las propiedades geotécnicas de los estratos

A partir de los valores de los ensayos de laboratorio se definieron los parámetros del modelo *Mohr-Coulomb* para las distintas litologías definidas en el modelo geológico. Se tuvo en cuenta la posición de los estratos con relación a las cotas, definiendo como superficiales a los ubicados arriba de la cota 52 y profundos a los que están por debajo de la cota 46. Para los estratos superficiales se tomó un confinamiento promedio correspondiente a 0.5 MPa (Figura 4), mientras que para los estratos medios profundos se tomaron 1.2 MPa (Figura 5 y Figura 6).



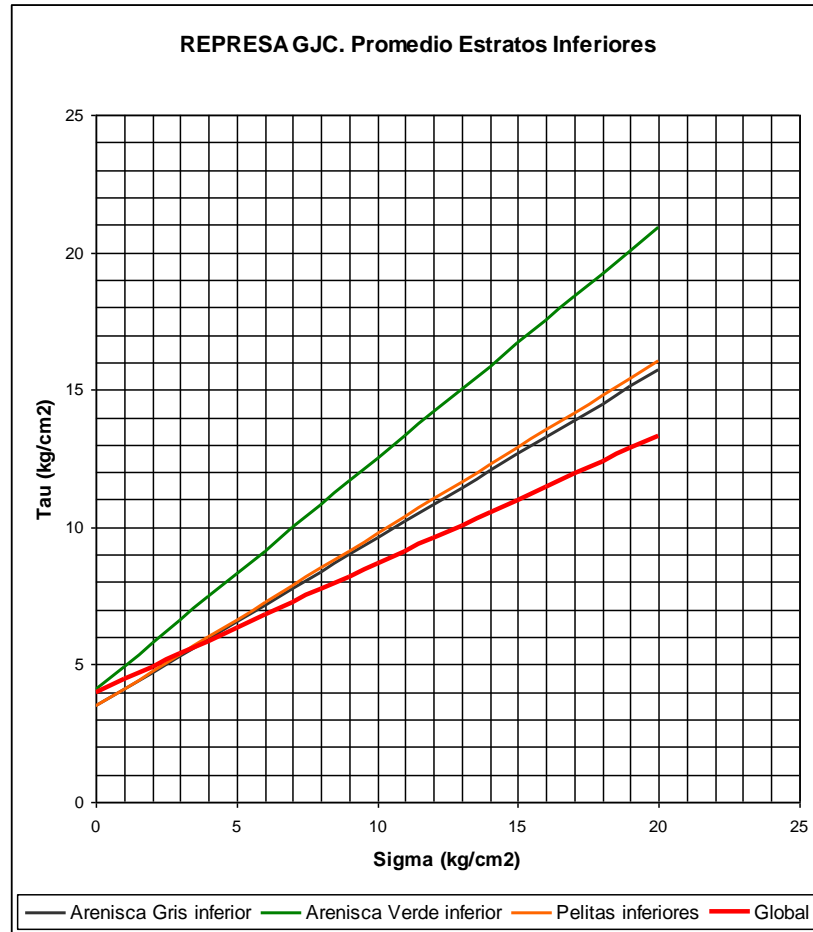
	Arenisca Gris Superior	Arenisca Verde Superior	Pelitas Superiores	Tobs Superiores	GLOBAL
$\phi$	37.1	40	39.1	45	25
$c$ [kg/cm²]	3.3	3.7	3.39	2.3	4

Figura 4. Propiedades geotécnicas de estratos superiores a cota 52. Global: inicial



	Pelitas medias	Tobas medias	GLOBAL
$\phi$	32.2	33	25
$c$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	3.47	3.3	4

Figura 5. Propiedades geotécnicas de estratos medios, entre cotas 46 y 52. Global: inicial



	Arenisca Gris inferior	Arenisca Verde Inferior	Pelitas Inferiores	GLOBAL
$\phi$	31.5	40	32.1	25
c [kg/cm <sup>2</sup> ]	3.47	4.1	3.47	4

Figura 6. Propiedades geotécnicas de estratos inferiores a cota 46. Global: inicial



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA  
SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

Revisión: 0D  
Fecha: DD-MM-AA  
Página: 10 de 33

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ

Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°

JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001

## 4. MODELACION DE LAS FUNDACIONES DE LAS ESTRUCTURAS

### 4.1. Modelación geotécnica de la Central

El análisis del modelo geológico y de los resultados de los ensayos de laboratorio condujo a definir una estratigrafía geotécnica basada en tres estratos. En la Figura 7 se presenta el perfil E-E' de la Figura 2. El estrato superior tiene su base en cota 52, el estrato medio en cota 46 y a partir de esa cota comienza el estrato inferior. A estos hay que sumarle la hipótesis de la presencia de un estrato débil de 1 metro de espesor situado en la base del diente de la estructura. Este estrato está formado por el tipo litológico medido más débil (arenisca grisácea a negruzca).

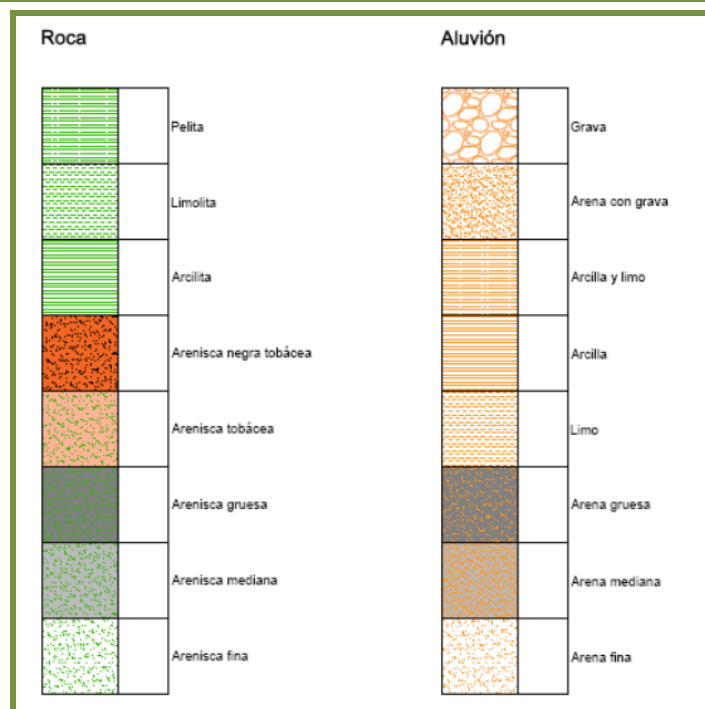
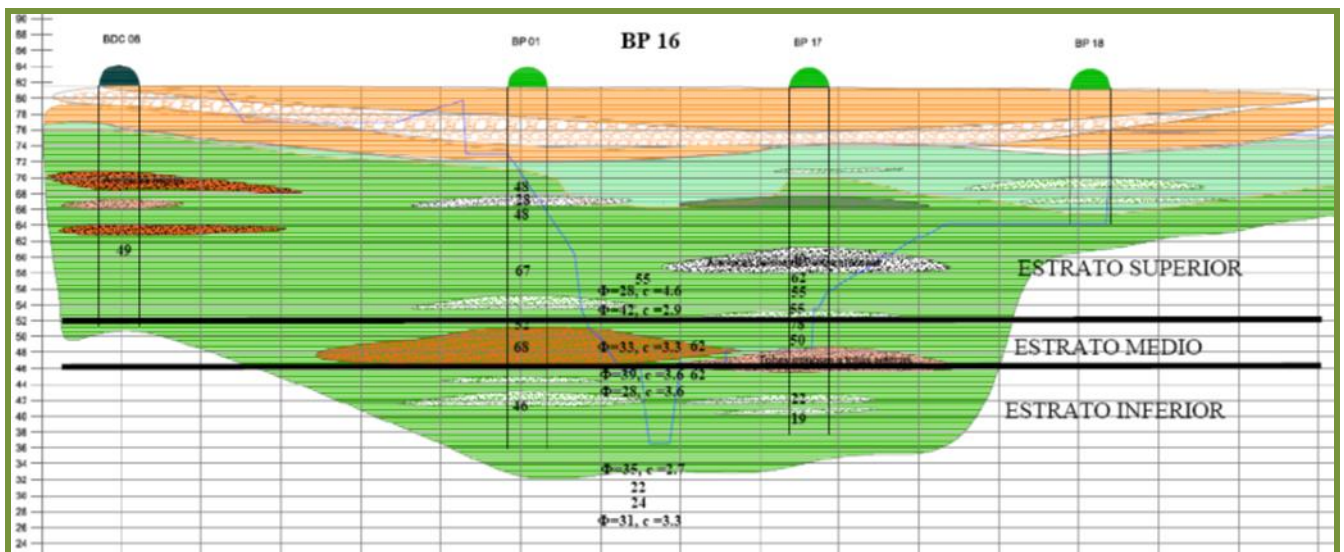


Figura 7. Modelo geológico geotécnico para la Central

Para determinar las propiedades geotécnicas de los tres estratos, se analizaron la distribución de cada tipo litológico y la participación porcentual de ellos en los espesores. Los valores promedio de los ensayos



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA  
SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

Revisión: 0D  
Fecha: DD-MM-AA  
Página: 11 de 33

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001

determinados previamente fueron ponderados en base a su espesor. La combinación ponderada se presenta para en cada estrato: superior, con cota menor a 52 (Figura 8), medio, entre cotas 52 y 46 (Figura 9) e inferior a la cota 46 (Figura 10). Los detalles se encuentran en el ANEXO 2 – JC ANÁLISIS GEOTÉCNICO PERFIL E-E´ CENTRAL.

En los gráficos se presenta como comparación los valores correspondientes a los lineamientos planteados en análisis preliminares como Global ( $\phi = 25^\circ$ ,  $c = 4 \text{ kg/cm}^2$ ).

#### PONDERACIÓN POR ESPESOR DE ESTRATOS DE DISTINTA LITOLOGIA

SUPERIOR		Espesor = 20 m
	Pelitas	12 m
	Areniscas verdes	6 m
	Tobas	2 m
Cota base	52 m	

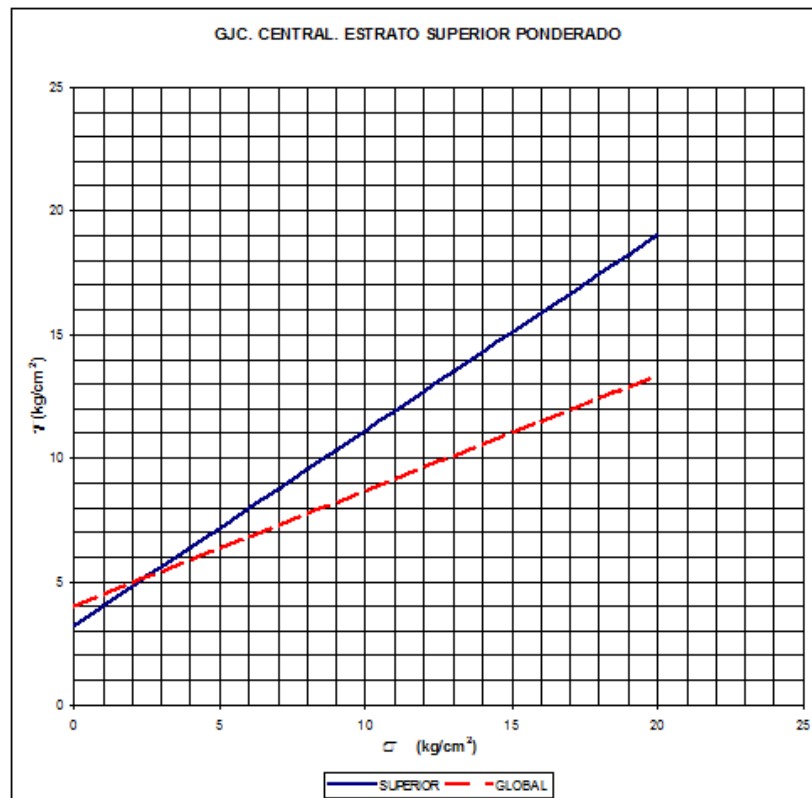


Figura 8. Central. Propiedades ponderadas del estrato superior (base en cota 52). Global: inicial



**PONDERACIÓN POR ESPESOR DE ESTRATOS DE DISTINTA LITOLOGIA**

MEDIO	Espesor = 6 m
Areniscas tobáceas	4 m
Pelitas	2 m
cota base	46 m

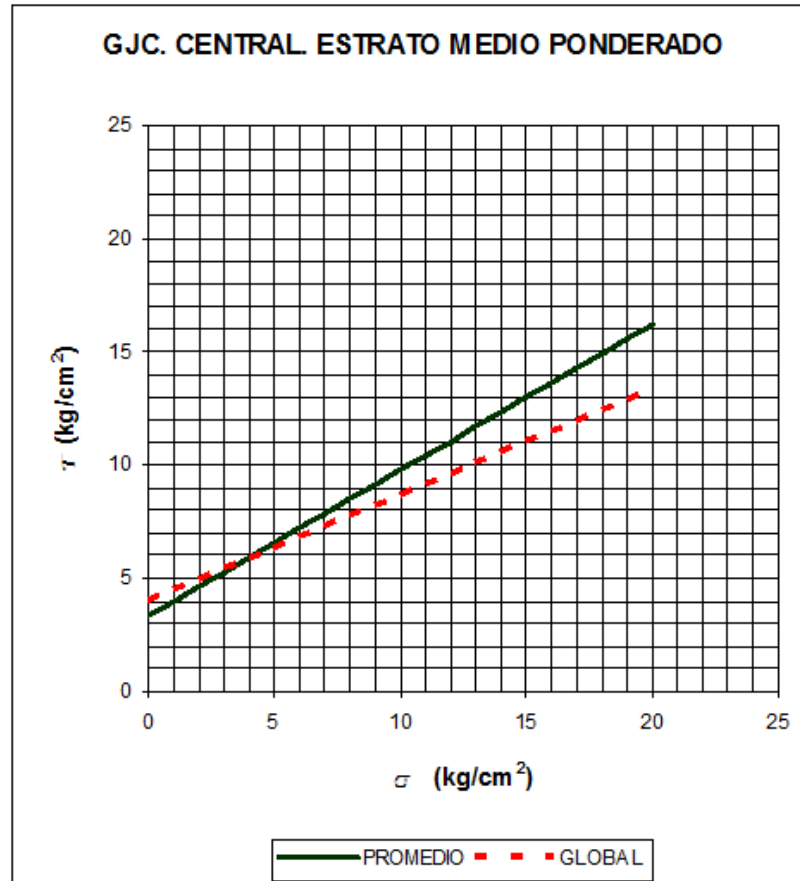


Figura 9. Central. Propiedades ponderadas del estrato medio (entre cotas 52 y 46m). Global: inicial

**PONDERACIÓN POR ESPESOR DE ESTRATOS DE DISTINTA LITOLOGIA**

INFERIOR	Espesor = 22 m
Areniscas verdes	4 m
Areniscas grises	6 m
Pelitas	12 m
cota base	24 m

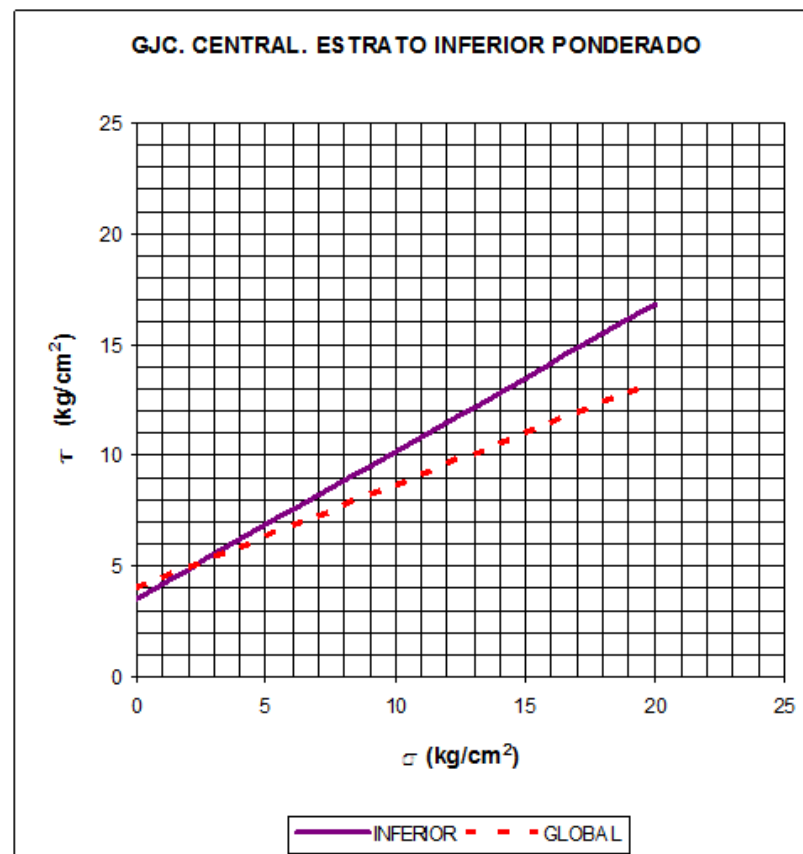


Figura 10. Central. Propiedades ponderadas del estrato inferior (entre cotas 46 y 24 m). Global: inicial

#### 4.2. Modelación geotécnica del Vertedero

En el caso del Vertedero se siguió un procedimiento análogo al planteado en el Apartado anterior, teniendo en cuenta las particularidades litológicas. También en este caso se definió una estratigrafía geotécnica basada en tres estratos con cotas similares a la Central. En la Figura 11 se presentan los tres estratos en los que se ha dividido el perfil D-D' de la Figura 2. También es necesario adicionar la presencia de un estrato débil de 1 metro de espesor situado en la base del diente de la estructura. Este estrato está formado por arenisca grisácea que es el tipo litológico medido más débil.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA  
SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

Revisión: 0D  
Fecha: DD-MM-AA  
Página: 14 de 33

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001

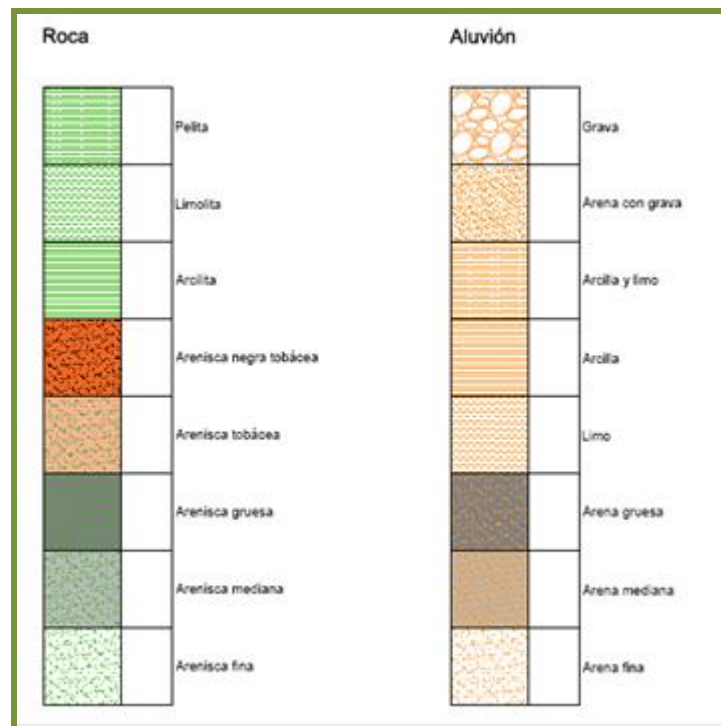
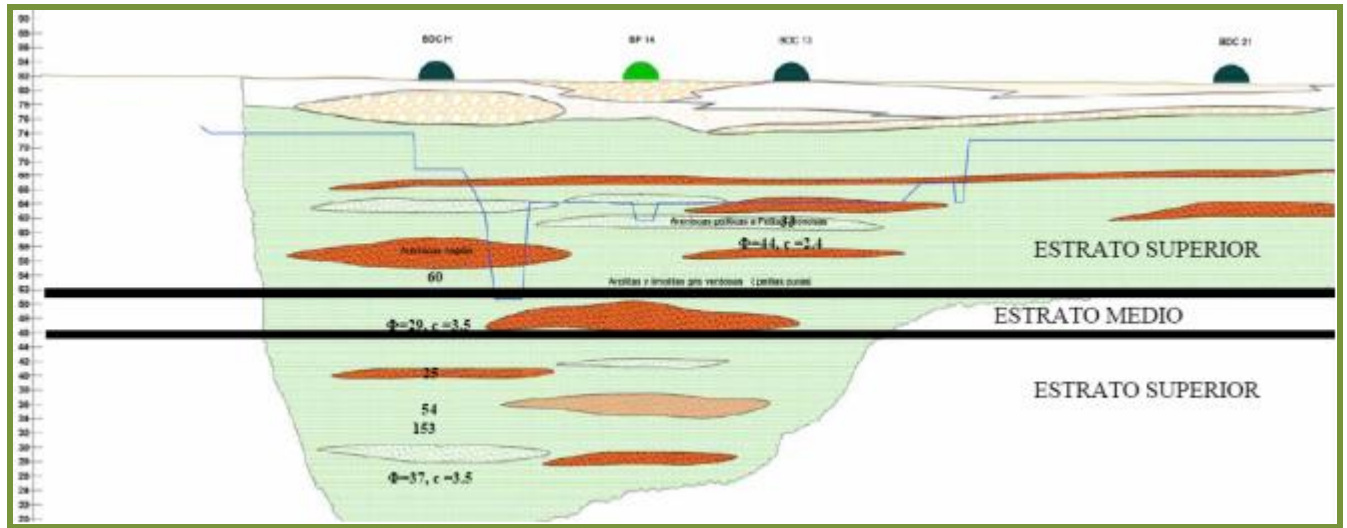


Figura 11..Modelo geológico geotécnico para el Vertedero

En la determinación de las propiedades geotécnicas de los tres estratos, se consideró la distribución de cada tipo litológico y la participación porcentual de ellos en los espesores. Los valores promedios de los ensayos fueron ponderados en base a su espesor (ANEXO 3 – JC ANÁLISIS GEOTÉCNICO PERFIL D-D' VERTEDERO). La combinación ponderada se presenta para en cada estrato: superior, con cota menor a 52 (Figura 12), medio, entre cotas 52 y 46 (Figura 13) e inferior a la cota 46 (Figura 14).

En los gráficos se presenta como comparación los valores globales correspondientes a las estimaciones iniciales, denominado Global ( $\phi=25^\circ$ ,  $c=4 \text{ kg/cm}^2$ ).

### PONDERACIÓN POR ESPESOR DE ESTRATOS DE DISTINTA LITOLOGIA

SUPERIOR	Espesor = 20 m
Pelitas	12 m
Tobáceas	1 m
Areniscas verdes	2 m
Areniscas grises	5 m
Cota base	52 m

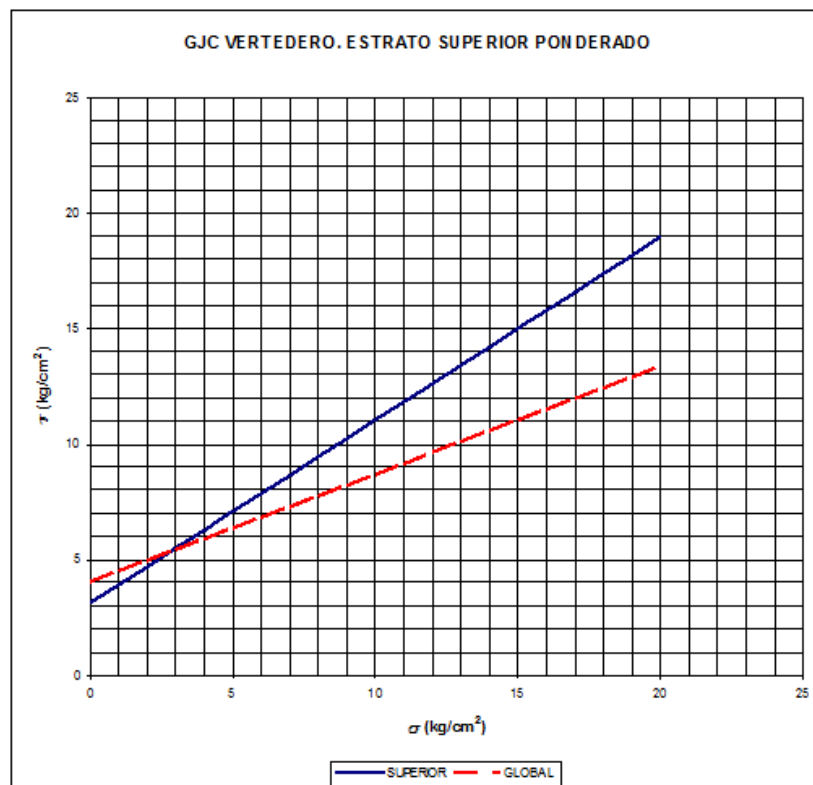


Figura 12. Vertedero. Propiedades ponderadas del estrato superior (base en cota 52m). Global: inicial

**PONDERACIÓN POR ESPESOR DE ESTRATOS DE DISTINTA LITOLOGIA**

MEDIO	Espesor =6 m
Arenisca gris tobácea	3 m
Pelitas	3 m
Cota base	46 m

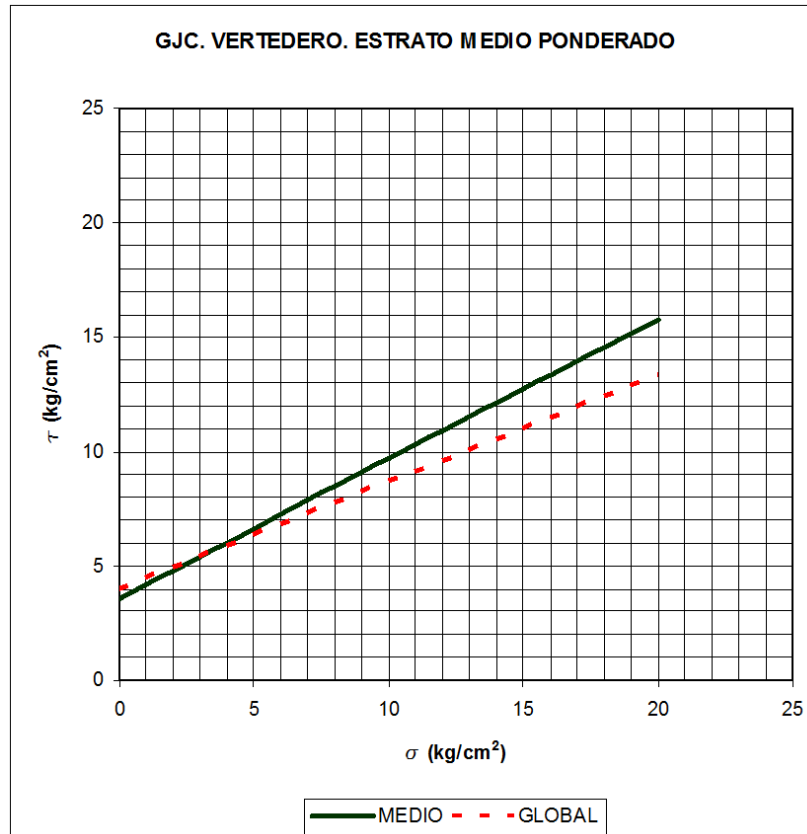


Figura 13. Vertedero. Propiedades ponderadas del estrato medio (entre cota 52 y 46 m) Global: inicial

**PONDERACIÓN POR ESPESOR DE ESTRATOS DE DISTINTA LITOLOGIA**

INFERIOR	Espesor = 22 m
Arenisca verdosa	3 m
Arenisca gris	3 m
Tobáceas	2 m
Pelitas	14 m
Cota base	24 m

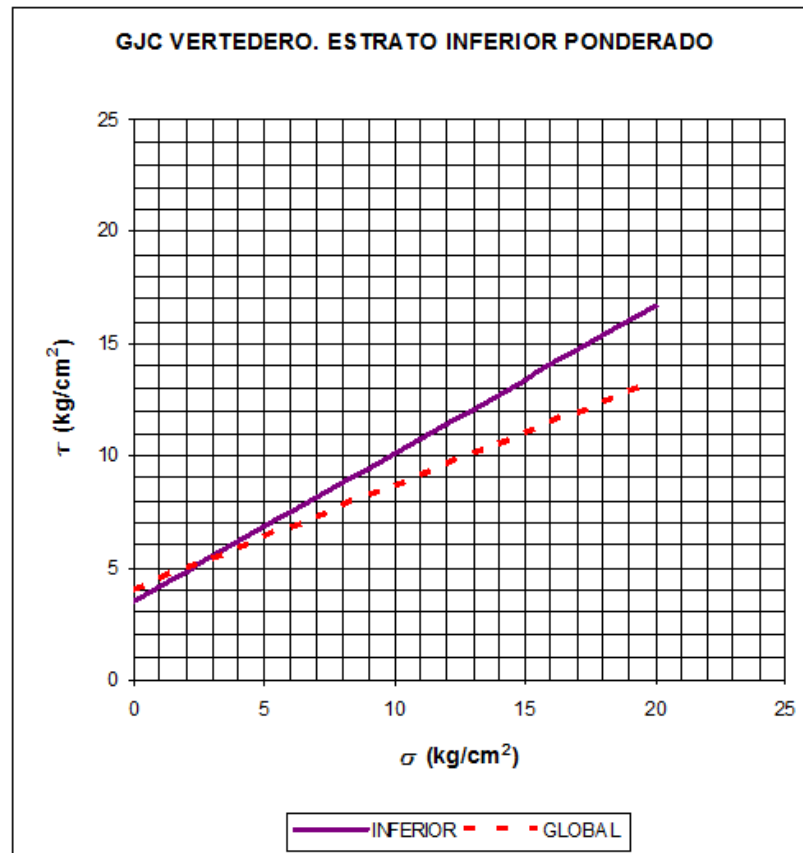


Figura 14. Vertedero. Propiedades ponderadas del estrato inferior (debajo cota 46 m) Global: inicial

**4.3. Modelación geotécnica del Muro de cierre**

El muro de cierre de la margen derecha será fundado en estratos similares a la sección F-F' de la Figura 2. Se siguió un procedimiento análogo al planteado en los apartados anteriores, teniendo en cuenta las particularidades litológicas y se definió una estratigrafía geotécnica basada en tres estratos con cotas similares a la Central y al Vertedero. En la Figura 15 se presentan los tres estratos en los que se ha dividido el perfil.

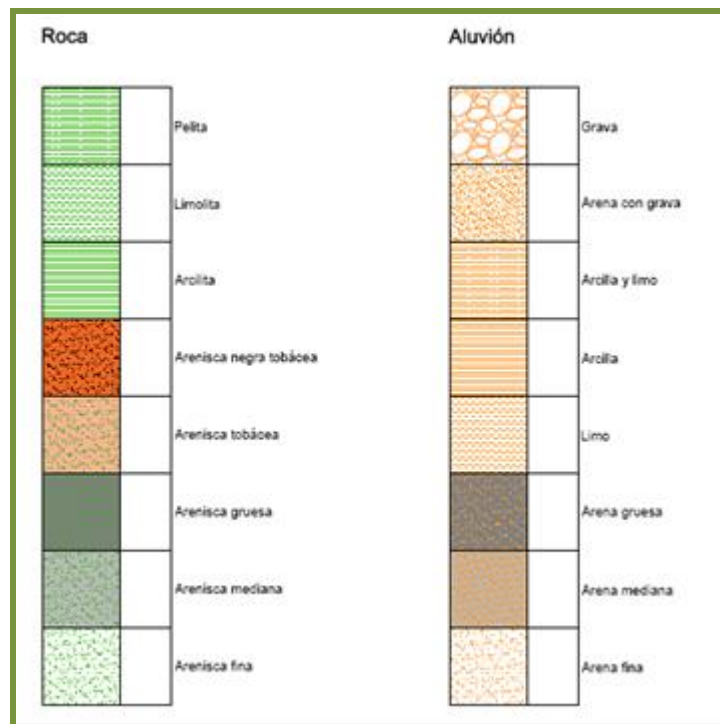
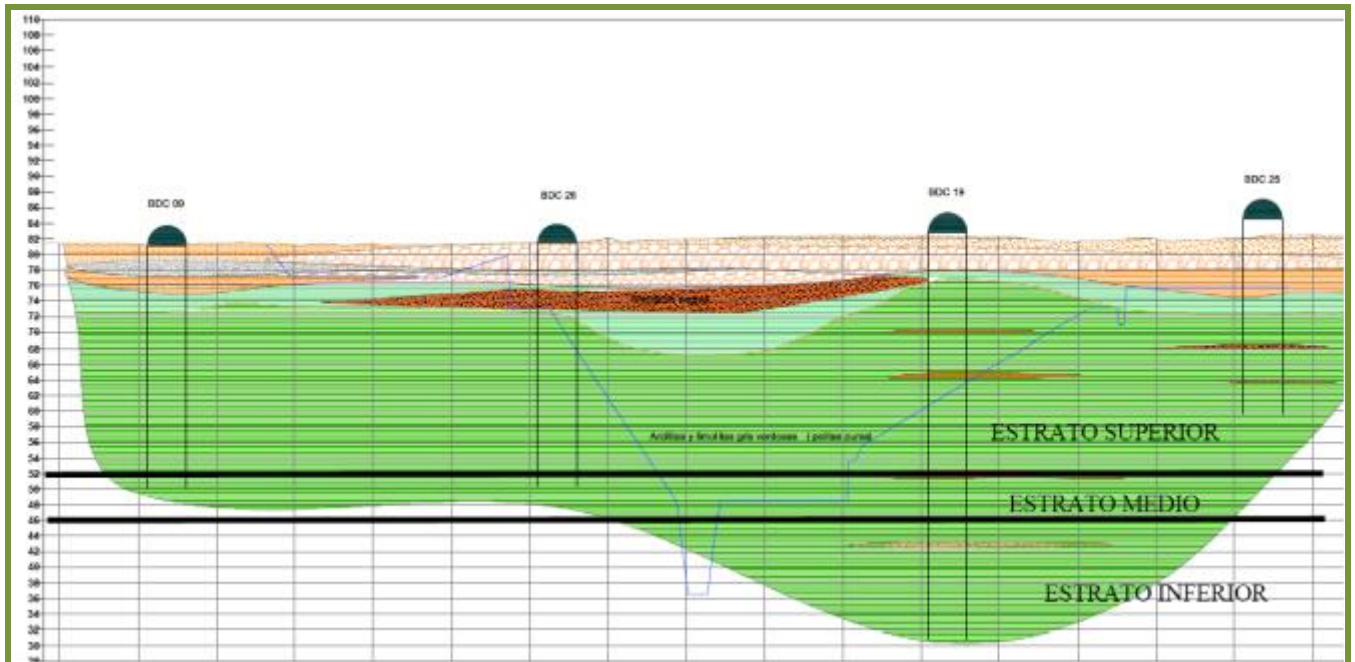


Figura 15. Modelo geológico geotécnico para el Muro de cierre

Las propiedades geotécnicas de los tres estratos se determinaron mediante la ponderación de los espesores presentes de cada litología. Los valores promedio de los ensayos determinados previamente fueron ponderados en base a su espesor (ANEXO 4 – JC ANÁLISIS GEOTÉCNICO PERFIL F-F´ MURO). Las combinaciones se presentan para en cada estrato: superior, con cota menor a 52 (Figura 16), medio, entre cotas 52 y 46 (Figura 17) e inferior a la cota 46 (Figura 18).

En los gráficos se presenta como comparación los valores globales correspondientes a las estimaciones iniciales, denominado Global ( $\phi = 25^\circ$ ,  $c = 4 \text{ kg/cm}^2$ ).

### PONDERACIÓN POR ESPESOR DE ESTRATOS DE DISTINTA LITOLOGIA

SUPERIOR	espesor	24 m
Pelitas		18 m
Areniscas grises		1 m
Areniscas verdes		1 m
Tobas		1 m
<b>Cota base</b>	<b>52 m</b>	

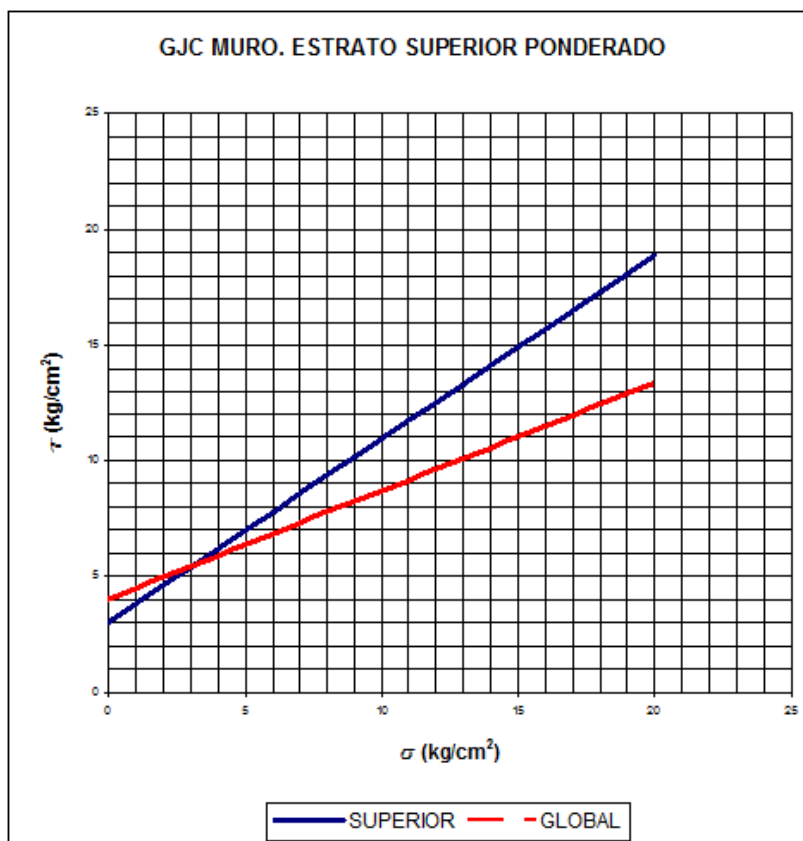


Figura 16. Muro. Propiedades ponderadas del estrato superior (base en cota 52). Global: inicial



### PONDERACIÓN POR ESPESOR DE ESTRATOS DE DISTINTA LITOLOGIA

MEDIO	Espesor = 6 m
Areniscas tobáceas	1 m
Pelitas	5 m
cota base	46 m

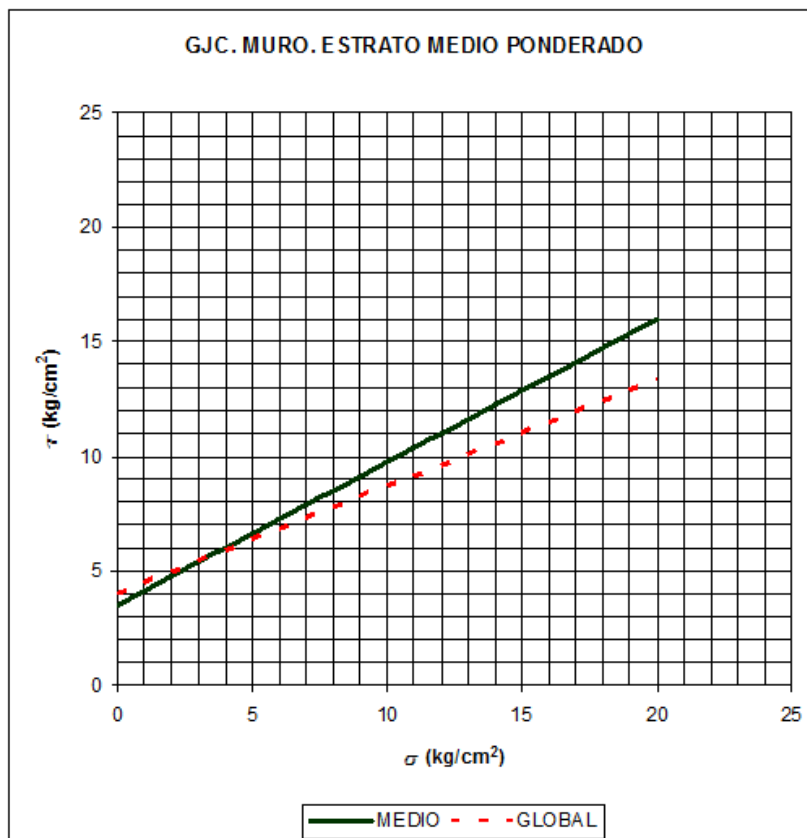


Figura 17. Muro. Propiedades ponderadas del estrato medio (entre cotas 52 y 46m). Global: inicial

### PONDERACIÓN POR ESPESOR DE ESTRATOS DE DISTINTA LITOLOGIA

INFERIOR	Espesor = 16 m
Areniscas verdes	1 m
Areniscas tobáceas	1 m
Pelitas	14 m
cota base	30 m

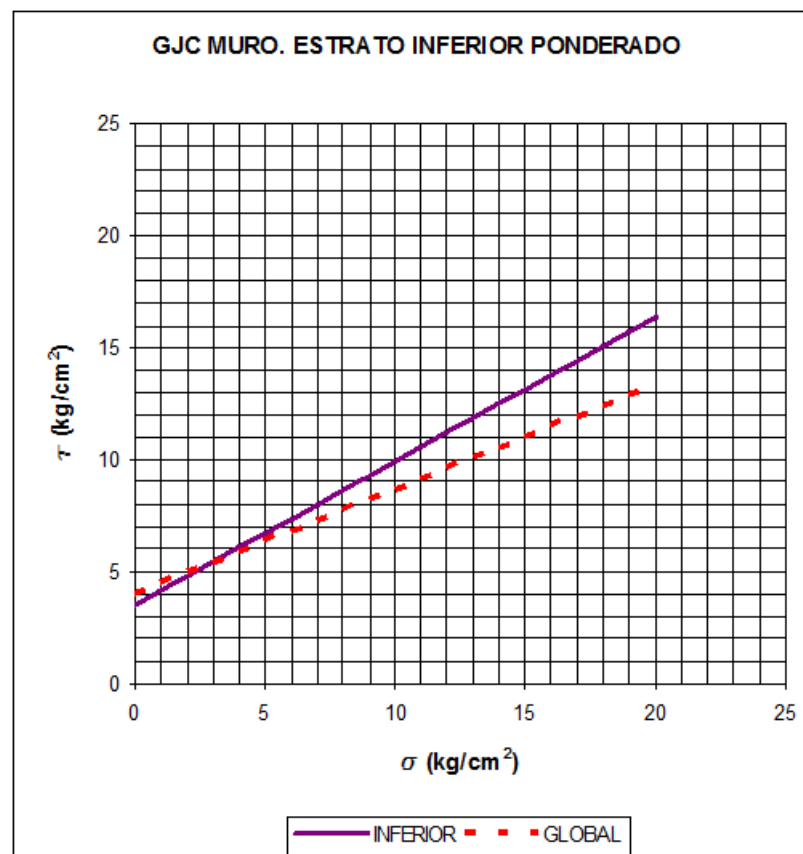


Figura 18. Muro. Propiedades ponderadas del estrato inferior, debajo cota 46. Global: inicial

#### 4.4. Modelación geotécnica del “estrato débil”

La Figura 7 y la Figura 11 muestran la presencia de lentes de areniscas grisáceas con variado grado de cementación. Dentro de los ensayos realizados, estos estratos son los que indican menores resistencias al corte. Por ello, si se adopta la hipótesis de la presencia de un estrato débil es necesario atribuirle propiedades geotécnicas.

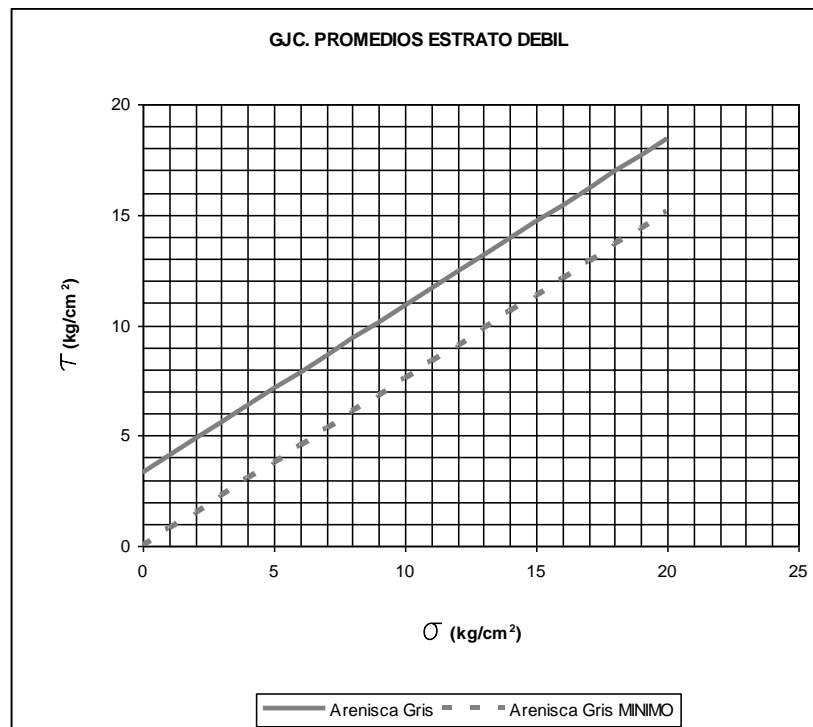
En la Tabla 3 se encuentran algunos parámetros geotécnicos de estratos de areniscas grises. En general, estos ensayos corresponden a muestras que están bien cementadas porque lo que han soportado el corte de la perforadora, el manipuleo y los ensayos propiamente dichos.

Es de suponer que se puede plantear como hipótesis un estrato que tenga una menor cementación con lo que su resistencia al corte solo se debería a la fricción. Esto se refleja en la Tabla 4 que muestra el valor promedio de los estratos grises ensayados y el valor de una hipótesis de mínima, sin cohesión.

**Tabla 4. Resistencia al corte del estrato débil: cohesión (c) y ángulo de fricción interna ( $\phi$ )**

	fricción interna ( $\phi$ )	cohesión (c) (kg/cm <sup>2</sup> )
Arenisca grisácea promedio	37	3.3
Arenisca grisácea mínima	37	0

La Figura 19 muestra el resultado de estratos débiles basados en areniscas grisáceas con la cementación observada en los ensayos y sin cohesión.



**Figura 19. Estrato débil. Propiedades de las areniscas grises y su mínimo**

## 5. RECOMENDACIONES

El análisis de los ensayos acumulados a través de las distintas campañas geotécnicas permite establecer los valores de parámetros para las distintas estructuras. Las diferencias se pueden atribuir a variaciones estratigráficas que se reflejan en la ponderación por espesores.

### 5.1. Parámetros para verificación de la Central

Los parámetros geotécnicos para ser usados en la verificación de la Central se han graficado en la Figura 20.

	SUPERIOR	MEDIO	INFERIOR	DEBIL	GLOBAL
$(\phi)$ [°]	38.3	32.7	33.6	37	25
$c$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	3.2	3.4	3.6	0	4

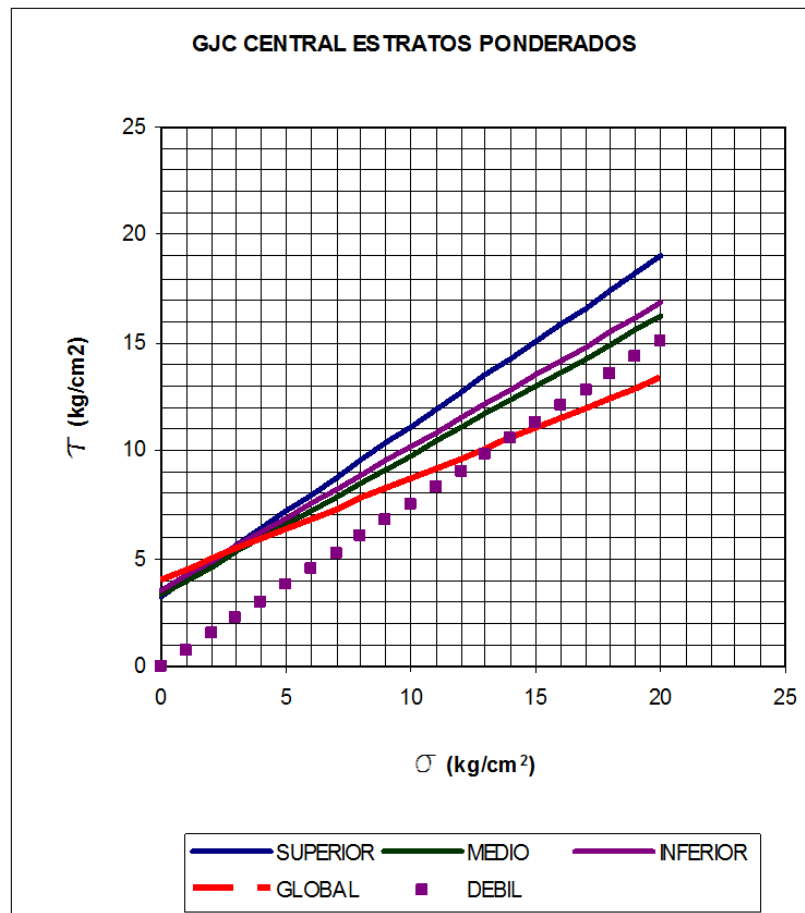


Figura 20. Central GJC. Propiedades geotécnicas para verificación estructural

### 5.2. Parámetros para verificación del Vertedero

Los parámetros geotécnicos para ser usados en la verificación del vertedero se han graficado en la Figura 21.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA  
SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

Revisión: 0D  
Fecha: DD-MM-AA  
Página: 24 de 33

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001

	SUPERIOR	MEDIO	INFERIOR	DEBIL	GLOBAL
$(\phi)$ [°]	38.4	31.4	33.3	37	25
c [kg/cm <sup>2</sup> ]	3.1	3.6	3.5	0	4

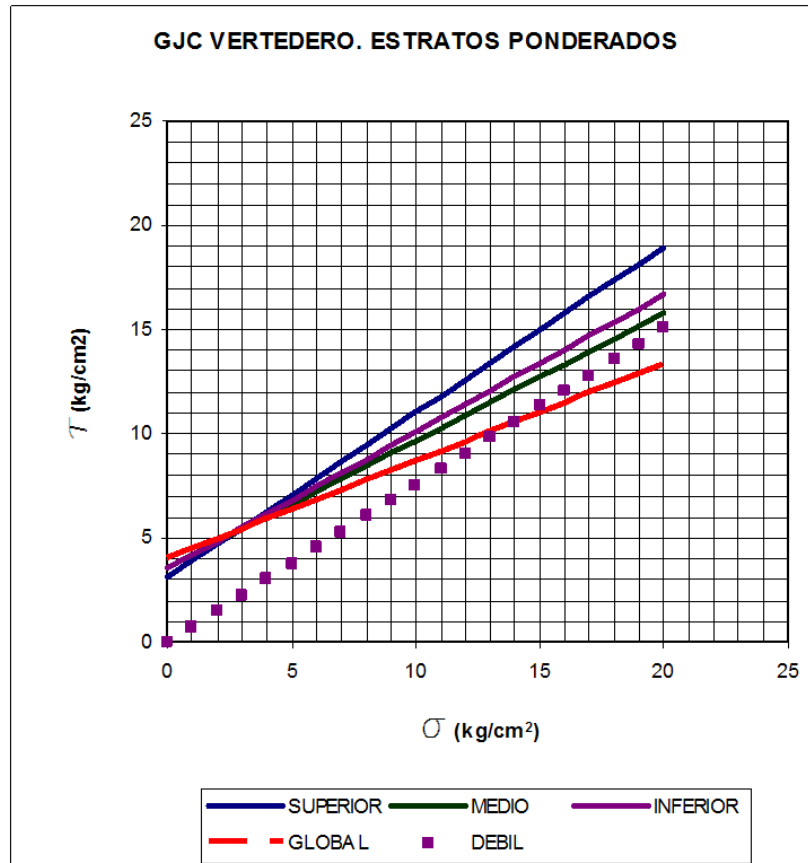


Figura 21. Vertedero GJC. Propiedades geotécnicas para verificación estructural

### 5.3. Parámetros para verificación del Muro de cierre

Los parámetros geotécnicos para ser usados en la verificación del muro de cierre donde se apoya el sector sur de la presa, se han graficado en la Figura 22.



REPRESAS PATAGONIA  
ELING-CGGC-HCSA-UTE

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA  
SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

Revisión: 0D  
Fecha: DD-MM-AA  
Página: 25 de 33

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC

Doc. N°  
JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001

	SUPERIOR	MEDIO	INFERIOR	DEBIL	GLOBAL
$(\phi)$ [°]	38.4	31.9	32.7	37	25
$c$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	3.0	3.5	3.5	0	4

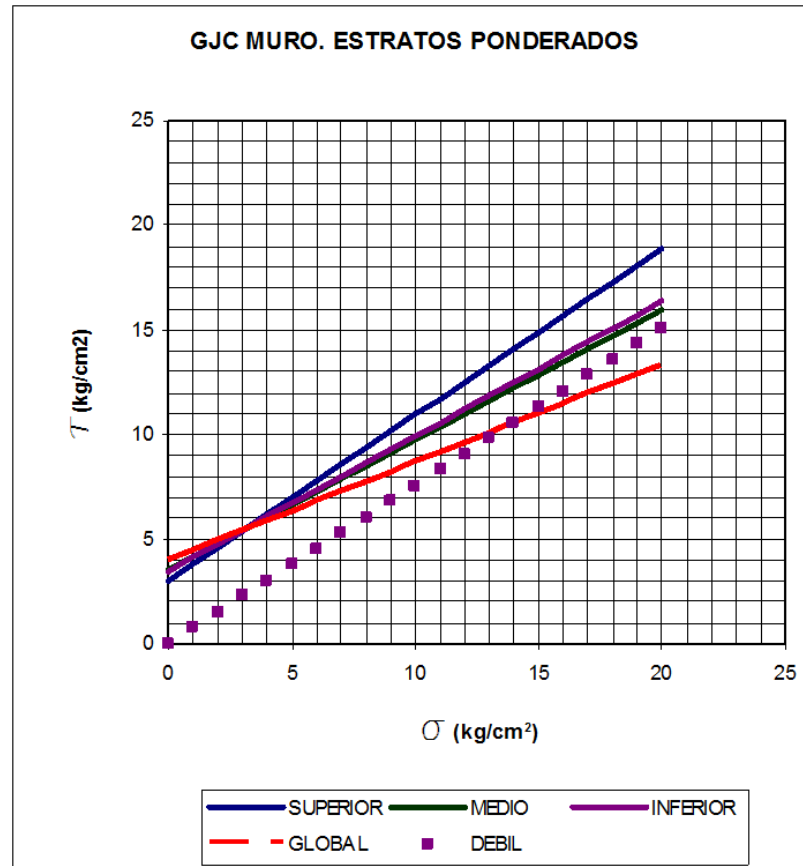



Figura 22. Muro GJC. Propiedades geotécnicas para verificación estructural

	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	Revisión: 0D Fecha: DD-MM-AA Página: 26 de 33
	APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC	Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001

## 6. CONCLUSIONES


Para el análisis de la estabilidad de las estructuras principales de la represa GJC, vertedero, central y muro de cierre se ha planteado un modelo de rotura mixto, donde interviene una discontinuidad subhorizontal en la fundación y se cortan transversalmente los estratos subhorizontales con las cuñas que se desarrollan en el macizo rocoso. Esto requiere de parámetros geotécnicos para cada una de los estratos atravesados. A tal fin se han definido valores geotécnicos ponderados de los estratos que atraviesan las cuñas y un valor mínimo para la zona subhorizontal.

El ajuste de los resultados de laboratorio ha sido realizado en base a disminuir el *GSI* del modelo de *Hoek Brown* hasta alcanzar valores de módulo de deformación similares a los medidos *in-situ* con velocidad de ondas de corte  $V_s$ . Como las mediciones corresponden al macizo saturado y la  $V_s$  no es afectada por la presencia de agua, se considera que se alcanza una deformabilidad similar a la observada en el macizo *in-situ*.

Cuando se comparan los rangos de valores de  $c$  y  $\phi$  recomendados en 2006 con los resultados de los ensayos de laboratorio, se observa que son conservativos, aun teniendo en cuenta que los parámetros del macizo no son equivalentes a los obtenidos en los ensayos de laboratorio, por efectos de los distintos tipos de discontinuidades.


La primera estimación de valores realizada en octubre de 2015 también es algo conservadora, salvo para confinamientos pequeños. La hipótesis inicial de una discontinuidad en el macizo ha sido reemplazada por un "estrato débil" de areniscas grises, con cohesión nula.

La diferencia de los parámetros de resistencia,  $c$  y  $\phi$ , para cada una de las estructuras consideradas se debe esencialmente a la distribución de las distintas litologías reconocidas.


 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA</p>	<p>Revisión: 0D Fecha: 18-08-16 Página: 1 de 33</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001</p>

## ANEXO 1 – PROCESAMIENTO DE DATOS SEGÚN MODELO HOEK BROWN




 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA</p>	<p>Revisión: 0D Fecha: DD-MM-AA Página: 2 de 33</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001</p>

## ANEXO 2 – JC ANÁLISIS GEOTÉCNICO PERFIL E-E´ CENTRAL

 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA</p>	<p>Revisión: 0D Fecha: DD-MM-AA Página: 3 de 33</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001</p>

### ANEXO 3 – JC ANÁLISIS GEOTÉCNICO PERFIL D-D´ VERTEDERO

 <p>REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA-UTE</p>	<p>MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA SECRETARÍA DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUBSECRETARÍA DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA</p>	<p>Revisión: 0D Fecha: DD-MM-AA Página: 4 de 33</p>
	<p>APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ Pte. Dr. Néstor Carlos KIRCHNER y Gob. Jorge CEPERNIC</p>	<p>Doc. N° JC-A.CV-MT.GT-(OG-00-00)-P001</p>

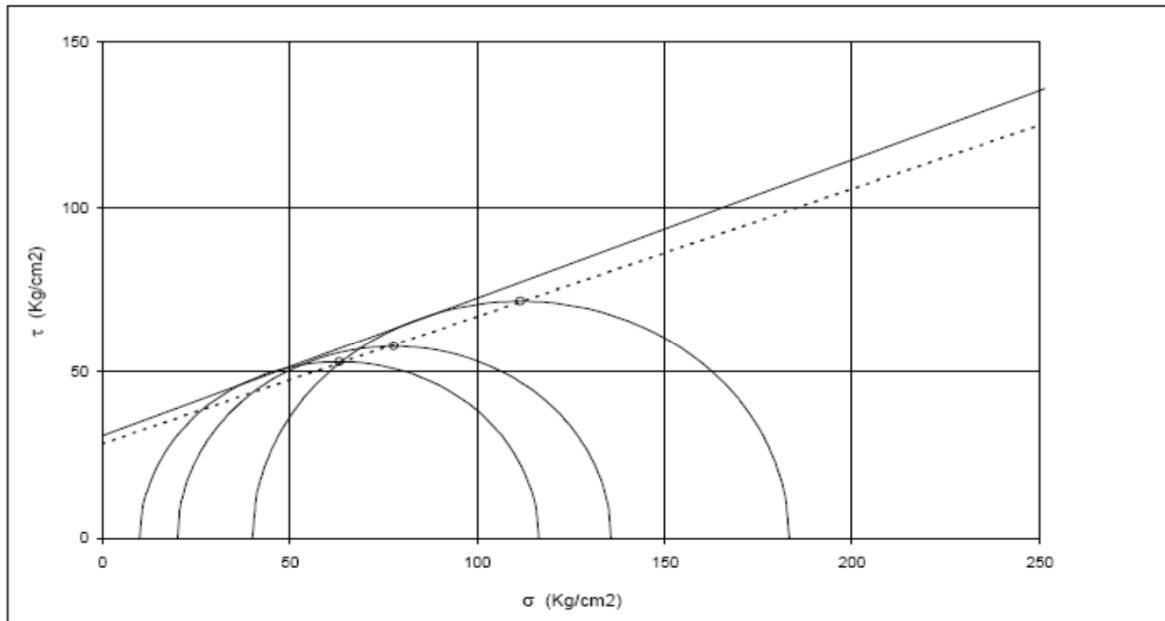
## ANEXO 4 – JC ANÁLISIS GEOTÉCNICO PERFIL F-F´ MURO

## BDC H

Profundidad : 34.25 - 34.9 m

Probeta Nº	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Carga (F) (kg)	$\sigma_3$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_1$ máx (Kg/cm <sup>2</sup> )
M1	6,10	9,08	355,4	1,339	3400	10,00	116,40
M2	6,05	9,15	349,5	1,329	3900	20,00	135,73
M3	6,07	9,42	356,8	1,309	5300	40,00	183,24

MPa	
$\sigma_3$	$\sigma_1$
1	11.64
2	13.57
4	18.32



Ángulo de Fricción :  $\phi$  (°) = 22,7  
 Cohesión : c (Kg/cm<sup>2</sup>) = 30,8

### MODIFICANDO MODULO COMO ARCILITA MR = 250

Hoek Brown Classification	
sigci	8.888 MPa
GSI	100
mi	3.456
D	0
Ei	2222
Hoek Brown Criterion	
mb	3.456
s	1
a	0.5
Failure Envelope Range	
Application	General
sig3max	2.222 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	2.42742 MPa
phi	30.2063 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-2.57176 MPa
sigc	8.888 MPa
sigcm	8.44391 MPa
Erm	2209.4 MPa

Hoek Brown Classification	
sigci	8.888 MPa
GSI	63
mi	3.456
D	0
Ei	2222
Hoek Brown Criterion	
mb	0.921902
s	0.0163896
a	0.502287
Failure Envelope Range	
Application	Custom
sig3max	1.2 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.345559 MPa
phi	29.6703 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.158011 MPa
sigc	1.12721 MPa
sigcm	1.39993 MPa
Erm	1306.01 MPa

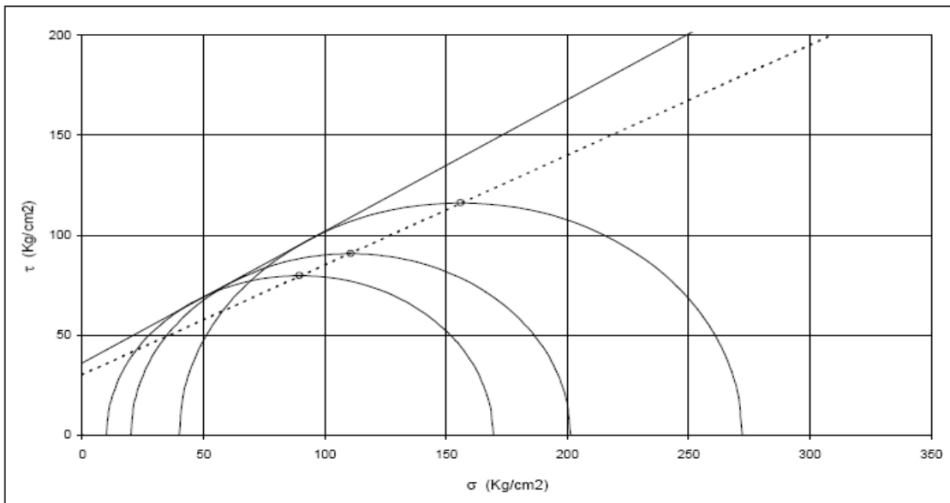
## BDC H

Profundidad : 56.84 - 57.46 m

Probeta N°	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Carga (F) (kg)	$\sigma_3$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_1$ máx (Kg/cm <sup>2</sup> )
M1	6,07	9,40	510,0	1,875	4900	10,00	169,41
M2	6,11	9,14	497,5	1,856	5900	20,00	201,33
M3	6,08	8,90	489,7	1,895	7900	40,00	272,24

MPa	
$\sigma_3$	$\sigma_1$
1	16.94
2	20.13
4	27.22

AREA 28.9232465  
 VOLUMEN 271.878517  
 DENSIDAD 1.8758378



Ángulo de Fricción :  $\phi$  (°) = 33,4  
 Cohesión : c (Kg/cm<sup>2</sup>) = 36,1

### MODIFICANDO MODULO COMO ARCILITA MR = 250

Hoek Brown Classification	
sigci	12.351 MPa
GSI	100
mi	7.681
D	0
Ei	3087.75
Hoek Brown Criterion	
mb	7.681
s	1
a	0.5
Failure Envelope Range	
Application	General
sig3max	3.08775 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	2.66127 MPa
phi	39.9852 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-1.60799 MPa
sigc	12.351 MPa
sigcm	11.4104 MPa
Erm	3070.24 MPa

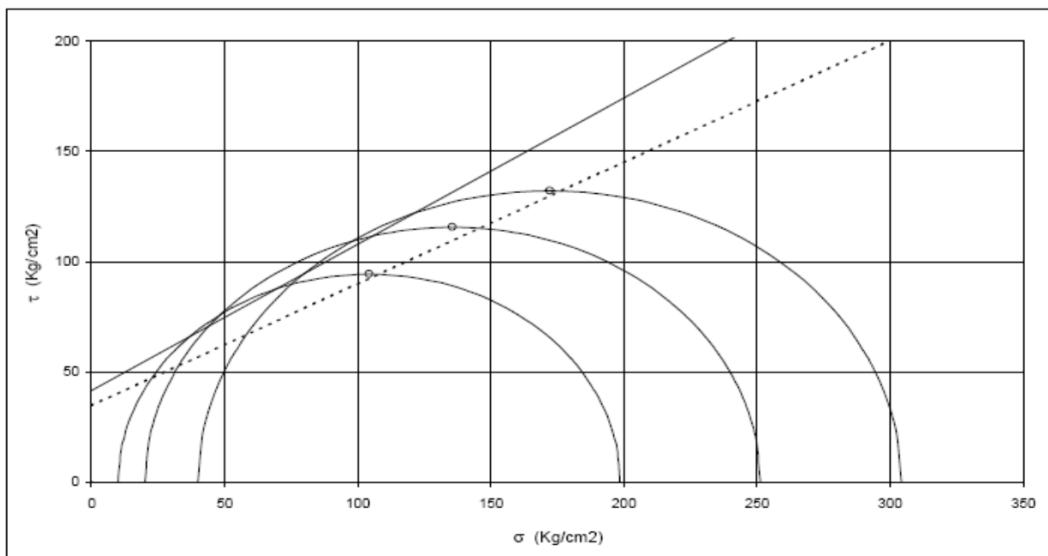
Hoek Brown Classification	
sigci	12.351 MPa
GSI	55
mi	7.681
D	0
Ei	3087.75
Hoek Brown Criterion	
mb	1.53973
s	0.00673795
a	0.504048
Failure Envelope Range	
Application	Custom
sig3max	1.2 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.356482 MPa
phi	37.4539 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.0540487 MPa
sigc	0.993517 MPa
sigcm	2.13443 MPa
Erm	1260.67 MPa

## BDC A

Profundidad : 33.05 - 33.94 m

Probeta N°	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Carga (F) (kg)	$\sigma_3$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_1$ máx (Kg/cm <sup>2</sup> )
M1	5,94	8,72	446,0	1,846	5500	10,00	198,57
M2	6,00	8,83	454,8	1,822	7100	20,00	251,24
M3	6,00	9,50	511,0	1,902	8600	40,00	304,32

MPa	
$\sigma_3$	$\sigma_1$
1	19.85
2	25.12
4	30.43



Ángulo de Fricción :  $\phi$  (°) = 33,6  
 Cohesión : c (Kg/cm<sup>2</sup>) = 41,5

MODIFICANDO MODULO COMO ARCILITA MR = 250

Hoek Brown Classification	
sigci	16.208 MPa
GSI	100
mi	7.042
D	0
Ei	4052
Hoek Brown Criterion	
mb	7.042
s	1
a	0.5
Failure Envelope Range	
Application	General
sig3max	4.052 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	3.57574 MPa
phi	38.9758 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-2.30162 MPa
sigc	16.208 MPa
sigcm	14.9853 MPa
Erm	4029.02 MPa

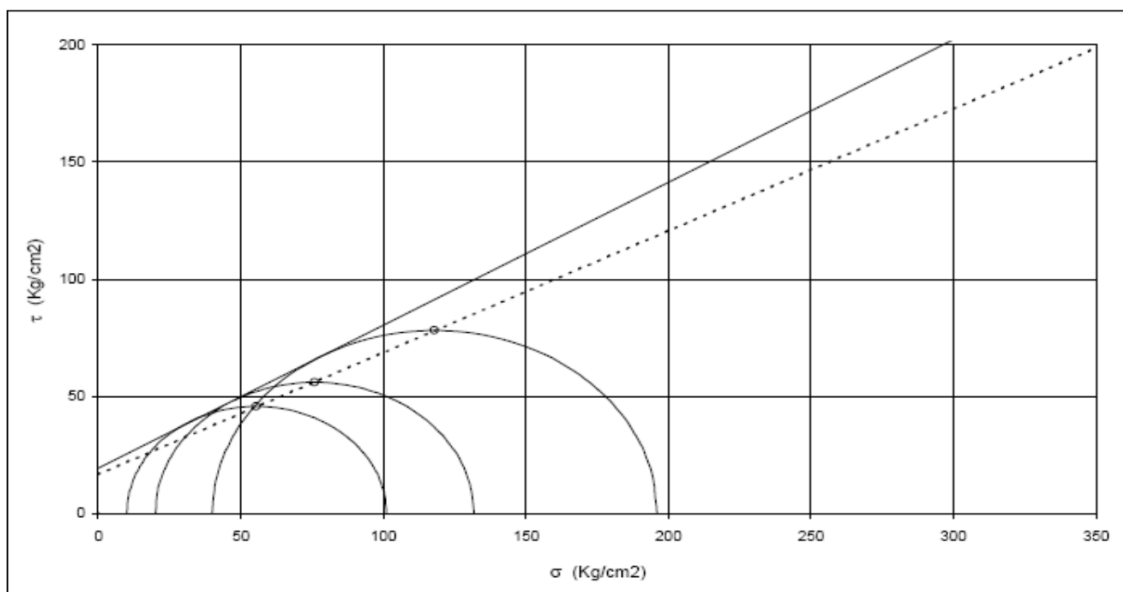
Hoek Brown Classification	
sigci	16.208 MPa
GSI	51
mi	7.042
D	0
Ei	4052
Hoek Brown Criterion	
mb	1.22372
s	0.00432024
a	0.50535
Failure Envelope Range	
Application	Custom
sig3max	1.2 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.361616 MPa
phi	37.727 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.0572211 MPa
sigc	1.03474 MPa
sigcm	2.45379 MPa
Erm	1321.56 MPa

## BDC A

### Profundidad : 16.95 - 18 m

Probeta N°	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Carga (F) (kg)	$\sigma_3$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_1$ máx (Kg/cm <sup>2</sup> )
M1	6,25	9,47	536,0	1,845	3100	10,00	101,10
M2	6,18	9,50	532,8	1,870	3950	20,00	131,75
M3	6,27	9,43	544,3	1,869	6050	40,00	196,04

MPa	
$\sigma_3$	$\sigma_1$
1	10.11
2	13.15
4	19.6



Ángulo de Fricción :  $\phi$  (°) = 31,4  
 Cohesión : c (Kg/cm<sup>2</sup>) = 19,4

#### MODIFICANDO MODULOS MR = 275 SANDSTONE

Hoek Brown Classification	
sigci	5.168 MPa
GSI	100
mi	10.236
D	0
Ei	1421.2
Hoek Brown Criterion	
mb	10.236
s	1
a	0.5
Failure Envelope Range	
Application	General
sig3max	1.292 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	1.03666 MPa
phi	43.2022 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.504885 MPa
sigc	5.168 MPa
sigcm	4.79143 MPa
Erm	1413.14 MPa

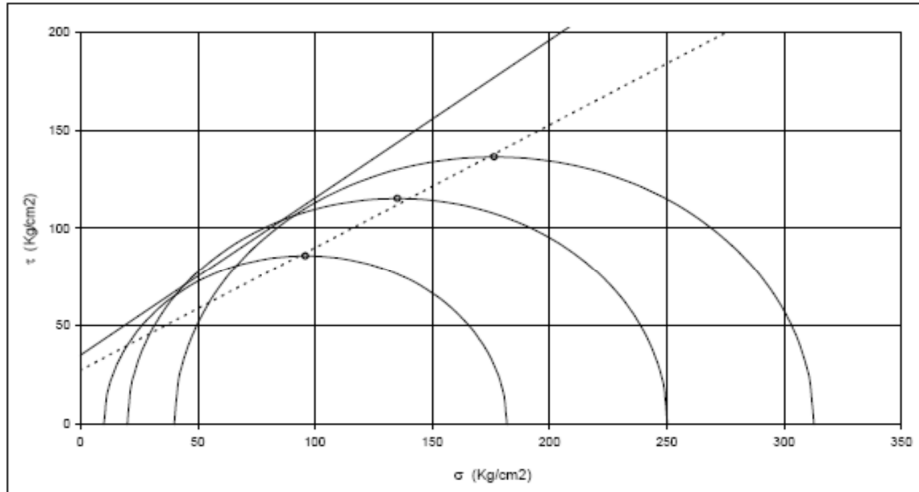
Hoek Brown Classification	
sigci	5.168 MPa
GSI	80
mi	10.236
D	0
Ei	1421.2
Hoek Brown Criterion	
mb	5.01095
s	0.108368
a	0.500593
Failure Envelope Range	
Application	Custom
sig3max	0.5 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.32936 MPa
phi	46.2582 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.111764 MPa
sigc	1.69903 MPa
sigcm	1.98951 MPa
Erm	1251.15 MPa

## BDC 18

Profundidad : 24.56 - 24.9 m

Probeta N°	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Carga (F) (kg)	$\sigma_3$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_1$ máx (Kg/cm <sup>2</sup> )
M1	5.86	8.90	458.2	1.909	4900	10.00	181.77
M2	5.84	8.80	448.8	1.904	6700	20.00	250.25
M3	5.85	8.79	448.5	1.898	8400	40.00	312.68

MPa	
$\sigma_3$	$\sigma_1$
1	18.17
2	25.02
4	31.27



Ángulo de Fricción :  $\phi$  (°) = 38.8  
 Cohesión :  $c$  (Kg/cm<sup>2</sup>) = 35.1

MODIFICANDO MODULO COMO ARCILITA MR = 250

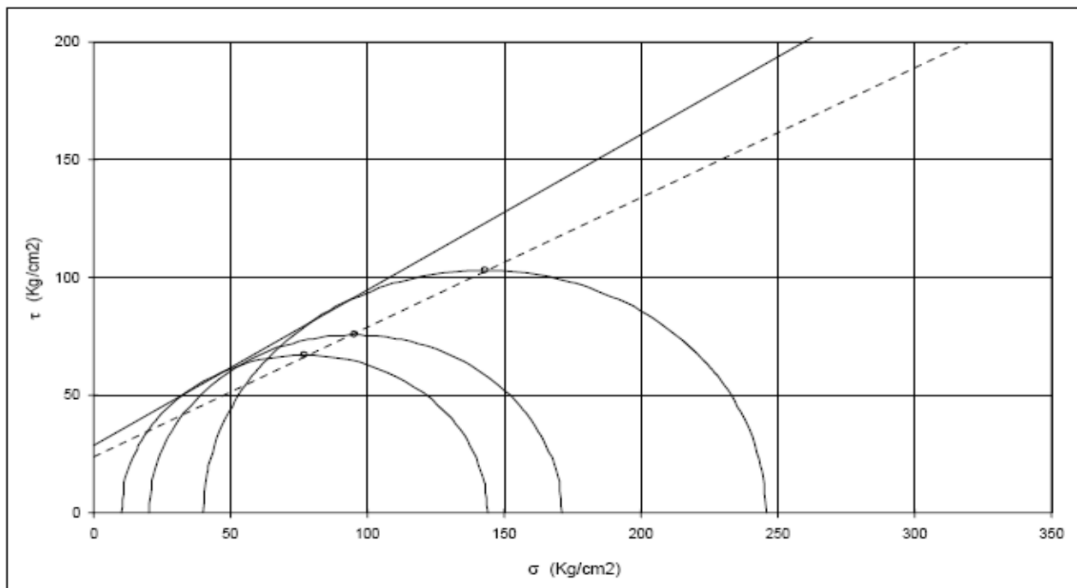
Hoek Brown Classification		Hoek Brown Classification		Hoek Brown Classification	
sigci	12.98 MPa	sigci	12.98 MPa	sigci	12.98 MPa
GSI	100	GSI	55	GSI	55
mi	11.67	mi	11.67	mi	11.67
D	0	D	0	D	0
Ei	3245	Ei	3245	Ei	3245
Hoek Brown Criterion		Hoek Brown Criterion		Hoek Brown Criterion	
mb	11.67	mb	2.33936	mb	2.33936
s	1	s	0.00673795	s	0.00673795
a	0.5	a	0.504048	a	0.504048
Failure Envelope Range		Failure Envelope Range		Failure Envelope Range	
Application	General	Application	Custom	Application	Custom
sig3max	3.245 MPa	sig3max	1.2 MPa	sig3max	0.5 MPa
Mohr-Coulomb Fit		Mohr-Coulomb Fit		Mohr-Coulomb Fit	
c	2.52975 MPa	c	0.393674 MPa	c	0.241766 MPa
phi	44.6073 degrees	phi	41.6118 degrees	phi	48.5345 degrees
Rock Mass Parameters		Rock Mass Parameters		Rock Mass Parameters	
sigt	-1.11225 MPa	sigt	-0.0373856 MPa	sigt	-0.0373856 MPa
sigc	12.98 MPa	sigc	1.04411 MPa	sigc	1.04411 MPa
sigcm	12.0973 MPa	sigcm	2.71487 MPa	sigcm	2.71487 MPa
Erm	3226.6 MPa	Erm	1324.87 MPa	Erm	1324.87 MPa



**BDC 13**  
Profundidad : 23.23 - 24 m

Probeta N°	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Carga (F) (kg)	$\sigma_3$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_1$ máx (Kg/cm <sup>2</sup> )
M1	5.95	9.75	510.2	1.882	4000	10.00	143.93
M2	5.98	9.28	466.0	1.788	4800	20.00	170.99
M3	5.98	9.36	481.3	1.831	6900	40.00	245.80

MPa	
$\sigma_3$	$\sigma_1$
1	14.39
2	17.1
4	24.58



Ángulo de Fricción :  $\phi$  (°) = 33.5  
Cohesión : c (Kg/cm<sup>2</sup>) = 28.5

MODIFICANDO MODULO COMO ARCILITA MR = 250

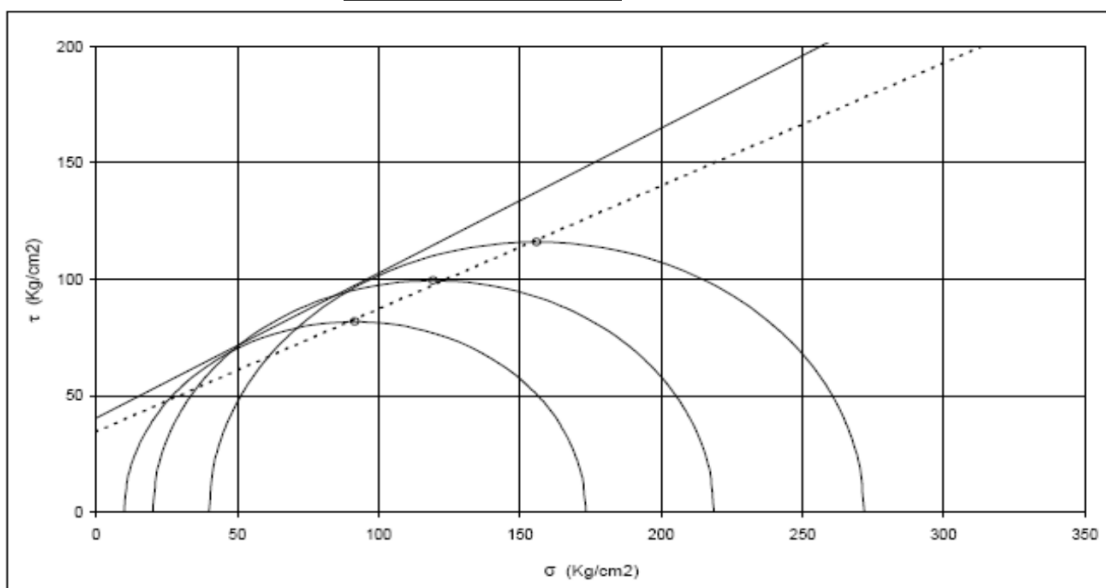
Hoek Brown Classification	
sigci	9.401 MPa
GSI	100
mi	8.585
D	0
Ei	2350.25
Hoek Brown Criterion	
mb	8.585
s	1
a	0.5
Failure Envelope Range	
Application	General
sig3max	2.35025 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	1.96777 MPa
phi	41.2541 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-1.09505 MPa
sigc	9.401 MPa
sigcm	8.68673 MPa
Erm	2336.92 MPa

Hoek Brown Classification	
sigci	9.401 MPa
GSI	61
mi	8.585
D	0
Ei	2350.25
Hoek Brown Criterion	
mb	2.13221
s	0.0131237
a	0.502644
Failure Envelope Range	
Application	Custom
sig3max	0.5 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.240467 MPa
phi	44.8343 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.057863 MPa
sigc	1.0647 MPa
sigcm	1.96847 MPa
Erm	1275.51 MPa

**BD 12**  
Profundidad : 20.75 - 22.1 m

Probeta Nº	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Carga (F) (kg)	$\sigma_3$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_1$ máx (Kg/cm <sup>2</sup> )
M1	6.18	9.41	526,5	1,865	5200	10,00	173,44
M2	6.20	9,53	535,0	1,859	6600	20,00	218,72
M3	6.18	9,31	499,6	1,801	8100	40,00	271,93

MPa	
$\sigma_3$	$\sigma_1$
1	17.344
2	21.872
4	27.193



Ángulo de Fricción :  $\phi$  (°) = 31,9  
Cohesión : c (Kg/cm<sup>2</sup>) = 40,4

MODIFICANDO MODULO COMO ARCILITA MR = 250

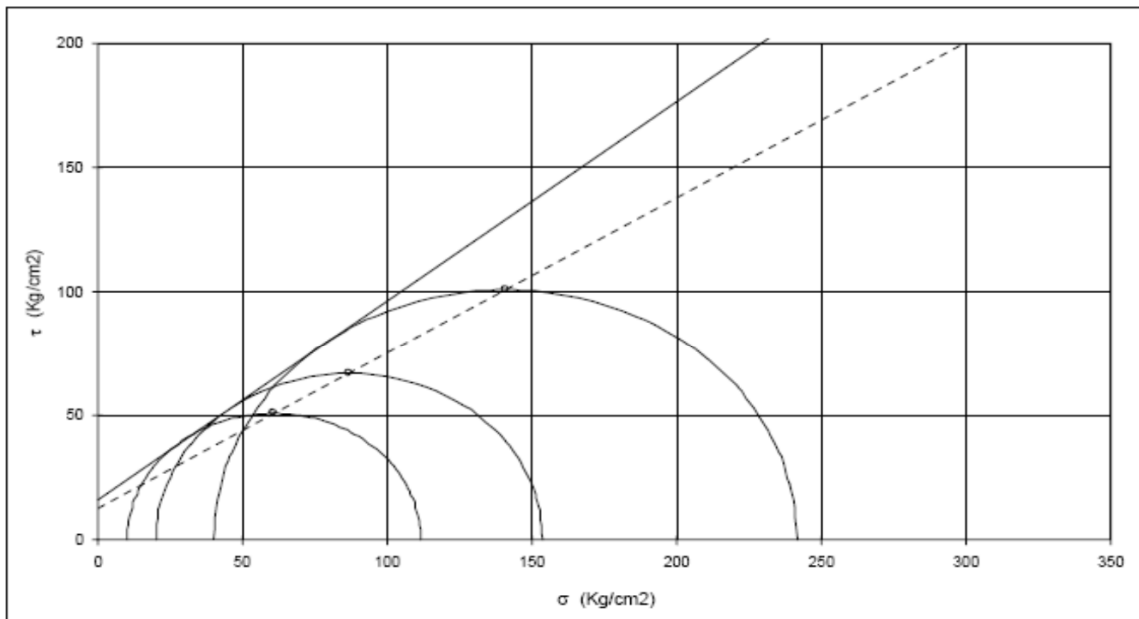
Hoek Brown Classification	
sigci	13.757 MPa
GSI	100
mi	6.558
D	0
Ei	3439.25
Hoek Brown Criterion	
mb	6.558
s	1
a	0.5
Failure Envelope Range	
Application	General
sig3max	3.43925 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	3.09607 MPa
phi	38.1364 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-2.09774 MPa
sigc	13.757 MPa
sigcm	12.7342 MPa
Erm	3419.74 MPa

Hoek Brown Classification	
sigci	13.757 MPa
GSI	53
mi	6.558
D	0
Ei	3439.25
Hoek Brown Criterion	
mb	1.22399
s	0.00539533
a	0.504656
Failure Envelope Range	
Application	Custom
sig3max	1.2 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.347868 MPa
phi	36.3268 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.0606407 MPa
sigc	0.986219 MPa
sigcm	2.1134 MPa
Erm	1259 MPa

**BDC 01**  
Profundidad : 13.1 - 13.5 m

Probeta Nº	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Carga (F) (kg)	$\sigma_3$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_1$ máx (Kg/cm <sup>2</sup> )
M1	5.95	9.51	481.0	1.819	3100	10.00	111.55
M2	5.97	8.40	444.0	1.888	4300	20.00	153.69
M3	5.90	7.88	400.0	1.857	6600	40.00	241.53

MPa	
$\sigma_3$	$\sigma_1$
1	11.15
2	15.37
4	24.15



Ángulo de Fricción :  $\phi$  (°) = 38.7  
Cohesión : c (Kg/cm<sup>2</sup>) = 16.2

MODIFICACION DE MODULO CLAYSTONE MR =275

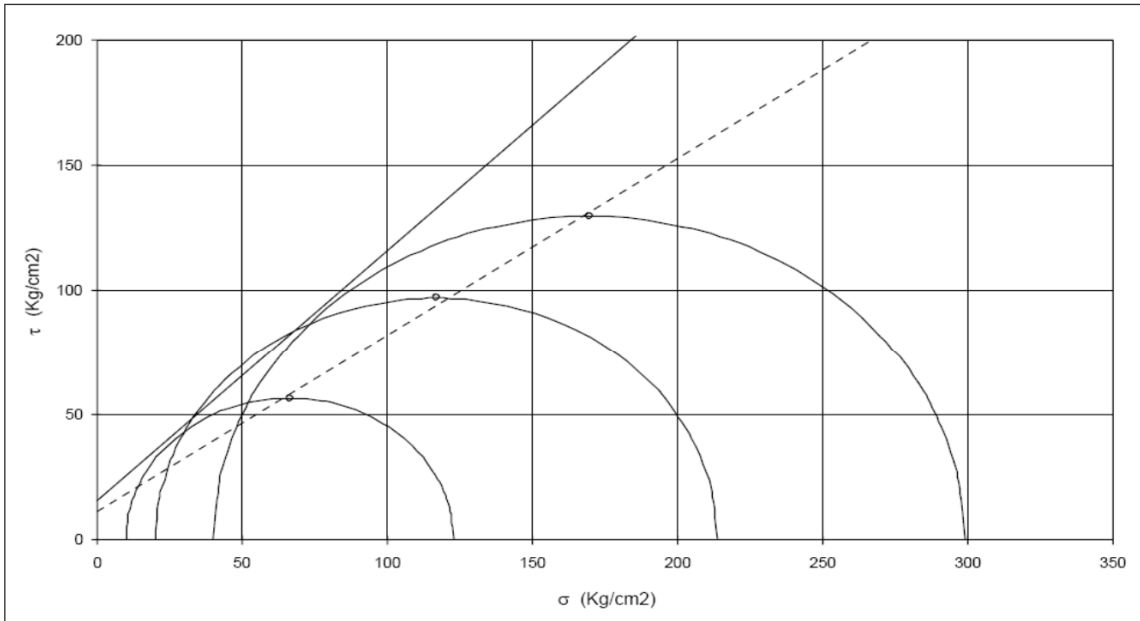
Hoek Brown Classification	
sigci	7.933 MPa
GSI	100
mi	9.197
D	0
Ei	1983.25
Hoek Brown Criterion	
mb	9.197
s	1
a	0.5
Failure Envelope Range	
Application	General
sig3max	1.98325 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	1.63223 MPa
phi	42.0253 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.862564 MPa
sigc	7.933 MPa
sigcm	7.33647 MPa
Erm	1972 MPa

Hoek Brown Classification	
sigci	7.933 MPa
GSI	65
mi	9.197
D	0
Ei	1983.25
Hoek Brown Criterion	
mb	2.63498
s	0.0204681
a	0.501975
Failure Envelope Range	
Application	Custom
sig3max	1.2 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.377936 MPa
phi	38.2823 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.0616221 MPa
sigc	1.12626 MPa
sigcm	1.88937 MPa
Erm	1252.86 MPa

**BDC 01**  
Profundidad : 24.75 - 24.95 m

Probeta Nº	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Carga (F) (kg)	$\sigma_3$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_1$ máx (Kg/cm <sup>2</sup> )
M1	5.85	9.41	476.2	1.883	3300	10.00	122.84
M2	5.88	8.60	435.7	1.866	5800	20.00	213.70
M3	5.91	7.63	386.0	1.844	8200	40.00	299.07

MPa	
$\sigma_3$	$\sigma_1$
1	12.28
2	21.37
4	29.9



Ángulo de Fricción :  $\phi$  (°) = 45.1  
Cohesión : c (Kg/cm2) = 15.5

**BAJANDO MODULO** CLAYSTONE MR =275

Hoek Brown Classification	
sigci	7.514 MPa
GSI	100
mi	19.185
D	0
Ei	1878.5
Hoek Brown Criterion	
mb	19.185
s	1
a	0.5
Failure Envelope Range	
Application	General
sig3max	1.8785 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	1.34789 MPa
phi	49.5695 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.39166 MPa
sigc	7.514 MPa
sigcm	7.32089 MPa
Erm	1867.85 MPa

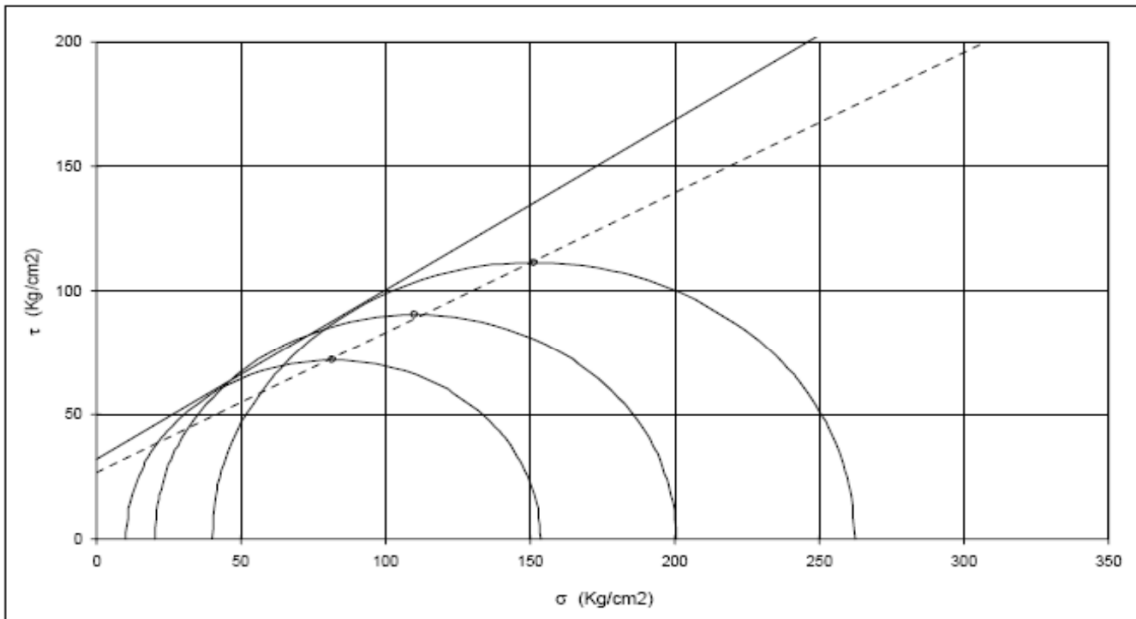
Hoek Brown Classification	
sigci	7.514 MPa
GSI	67
mi	19.185
D	0
Ei	1878.5
Hoek Brown Criterion	
mb	5.90357
s	0.0255615
a	0.501702
Failure Envelope Range	
Application	Custom
sig3max	1.2 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.439429 MPa
phi	44.9243 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.0325344 MPa
sigc	1.19386 MPa
sigcm	2.56983 MPa
Erm	1265.98 MPa

## BDC 15

Profundidad : 59.18 - 59.62 m

Probeta Nº	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Carga (F) (kg)	$\sigma_3$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_1$ máx (Kg/cm <sup>2</sup> )
M1	5.90	9.26	469.4	1.854	4200	10.00	153.70
M2	5.91	9.36	468.3	1.824	5500	20.00	200.59
M3	5.91	9.38	467.5	1.817	7200	40.00	262.60

MPa	
$\sigma_3$	$\sigma_1$
1	15.37
2	20.06
4	26.26



Ángulo de Fricción :  $\phi$  (°) = 34.3  
 Cohesión : c (Kg/cm<sup>2</sup>) = 32.2

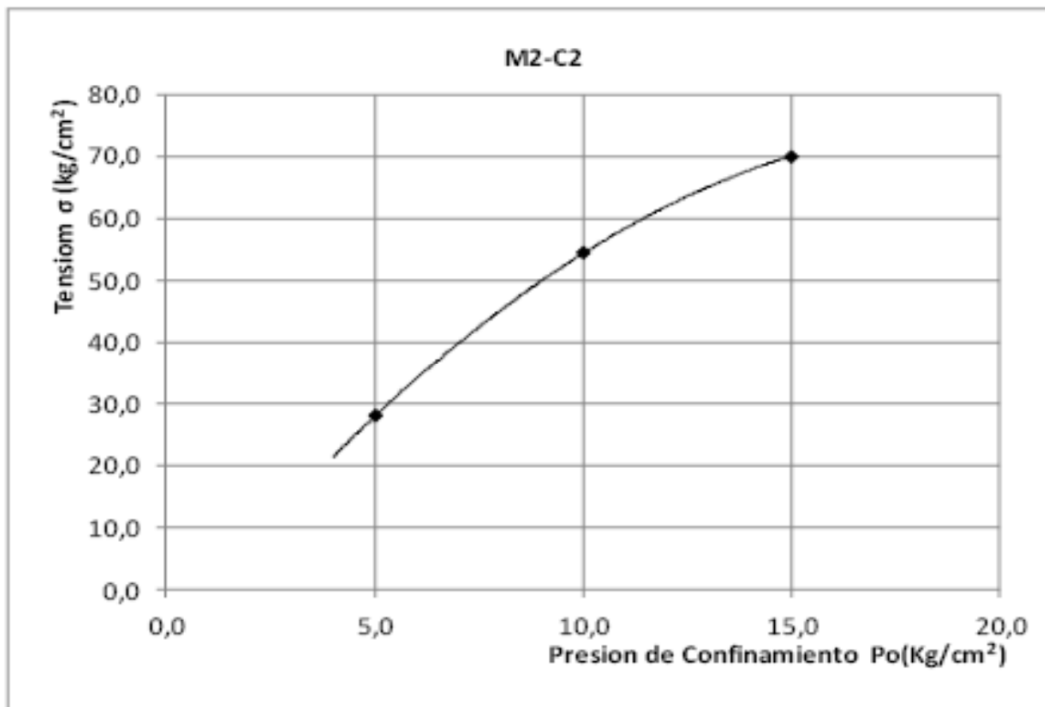
MODIFICANDO MODULO COMO ARCILITA MR = 250

Hoek Brown Classification	
sigci	10.435 MPa
GSI	100
mi	9.265
D	0
Ei	2608.75
Hoek Brown Criterion	
mb	9.265
s	1
a	0.5
Failure Envelope Range	
Application	General
sig3max	2.60875 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	2.14317 MPa
phi	42.1072 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-1.12628 MPa
sigc	10.435 MPa
sigcm	9.65155 MPa
Erm	2593.95 MPa

Hoek Brown Classification	
sigci	10.435 MPa
GSI	59
mi	9.265
D	0
Ei	2608.75
Hoek Brown Criterion	
mb	2.14247
s	0.0105087
a	0.503051
Failure Envelope Range	
Application	Custom
sig3max	1.2 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.37384 MPa
phi	38.9073 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.051183 MPa
sigc	1.05495 MPa
sigcm	2.15229 MPa
Erm	1297.3 MPa

## BP 02

Profundidad : 16.35 - 16.6 m Arenisca fina a media. Influencia tobácea



Presion de Camara (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (Kg)	Tension (Kg/cm <sup>2</sup> )
5,0	800,0	27,8
10,0	1560,0	54,3
15,0	2040,0	70,0

MPa	
$\sigma_3$	$\sigma_1$
0.18	0.55
0.5	2.7
1	5.4
1.5	7

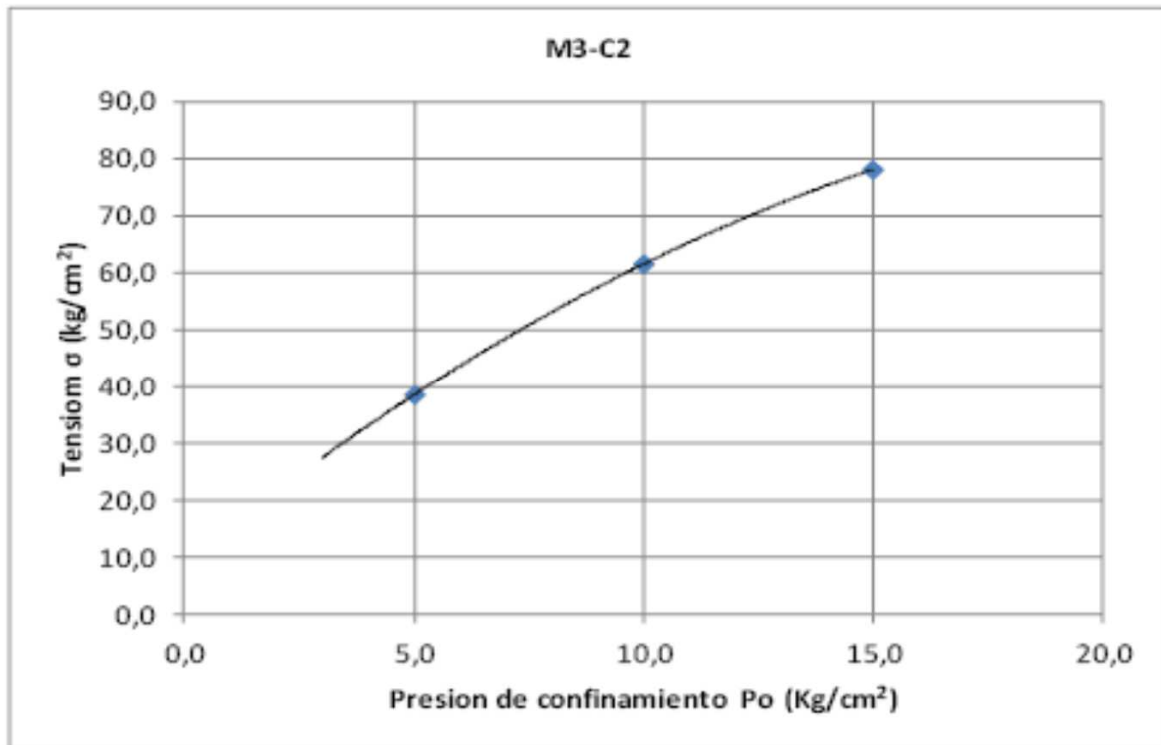
MODIFICANDO MODULO COMO ARENISCA MR = 275

Hoek Brown Classification	
sigci	1.742 MPa
GSI	100
mi	8.449
D	0
Ei	479.05
Hoek Brown Criterion	
mb	8.449
s	1
a	0.5
Failure Envelope Range	
Application	General
sig3max	0.4355 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.366112 MPa
phi	41.0737 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.206178 MPa
sigc	1.742 MPa
sigcm	1.60946 MPa
Erm	476.333 MPa

Hoek Brown Classification	
sigci	1.742 MPa
GSI	100
mi	8.449
D	0
Ei	479.05
Hoek Brown Criterion	
mb	8.449
s	1
a	0.5
Failure Envelope Range	
Application	Custom
sig3max	0.5 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.373851 MPa
phi	40.2526 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.206178 MPa
sigc	1.742 MPa
sigcm	1.60946 MPa
Erm	476.333 MPa

## BP 02

Profundidad : 20.65 - 20.9 m Pelita masiva



Presion de Camara (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (Kg)	Tension (Kg/cm <sup>2</sup> )
5,0	1100,0	38,4
10,0	1760,0	61,4
15,0	2240,0	78,0

MPa	
$\sigma_3$	$\sigma_1$
0.5	3.8
1	6.1
1.5	7.8

MODIFICANDO MODULO COMO ARCILITA MR = 250

Hoek Brown Classification	
sigci	2.668 MPa
GSI	100
mi	7.031
D	0
Ei	667
Hoek Brown Criterion	
mb	7.031
s	1
a	0.5
Failure Envelope Range	
Application	General
sig3max	0.667 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.588858 MPa
phi	38.9575 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.379462 MPa
sigc	2.668 MPa
sigcm	2.46678 MPa
Erm	663.217 MPa

Hoek Brown Classification	
sigci	2.668 MPa
GSI	80
mi	7.031
D	0
Ei	667
Hoek Brown Criterion	
mb	3.44197
s	0.108368
a	0.500593
Failure Envelope Range	
Application	Custom
sig3max	0.5 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.216088 MPa
phi	37.8371 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.0840002 MPa
sigc	0.877131 MPa
sigcm	0.93413 MPa
Erm	587.192 MPa

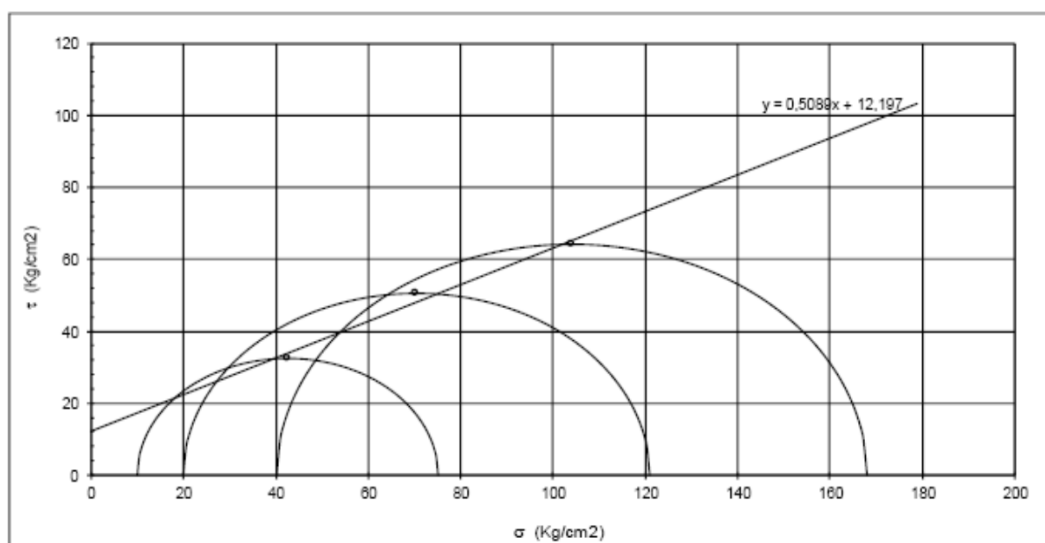
## BP 02

**Profundidad : 22.15 - 22.8 m Arenisca tobácea. Color gris. Masiva**

Planilla Resumen de los Ensayos Triaxiales.

Probeta N°	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Carga (F) (kg)	$\sigma_3$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_1$ máx (Kg/cm <sup>2</sup> )
4 - 3	6,04	12,20	887,9	1,988	2150	10,00	75,07
4 - 4	6,03	12,50	700,3	1,982	3450	20,00	120,87
4 - 5	6,03	12,40	888,4	1,944	4800	40,00	188,17

MPa	
$\sigma_3$	$\sigma_1$
0.153	0.46
0	5.26
1	7.5
2	12
4	16.8



Ángulo de Fricción :  $\phi$  (°) = 30,6  
 Cohesión :  $c$  (Kg/cm<sup>2</sup>) = 14,2

MODIFICANDO MODULO COMO TOBA MR = 300

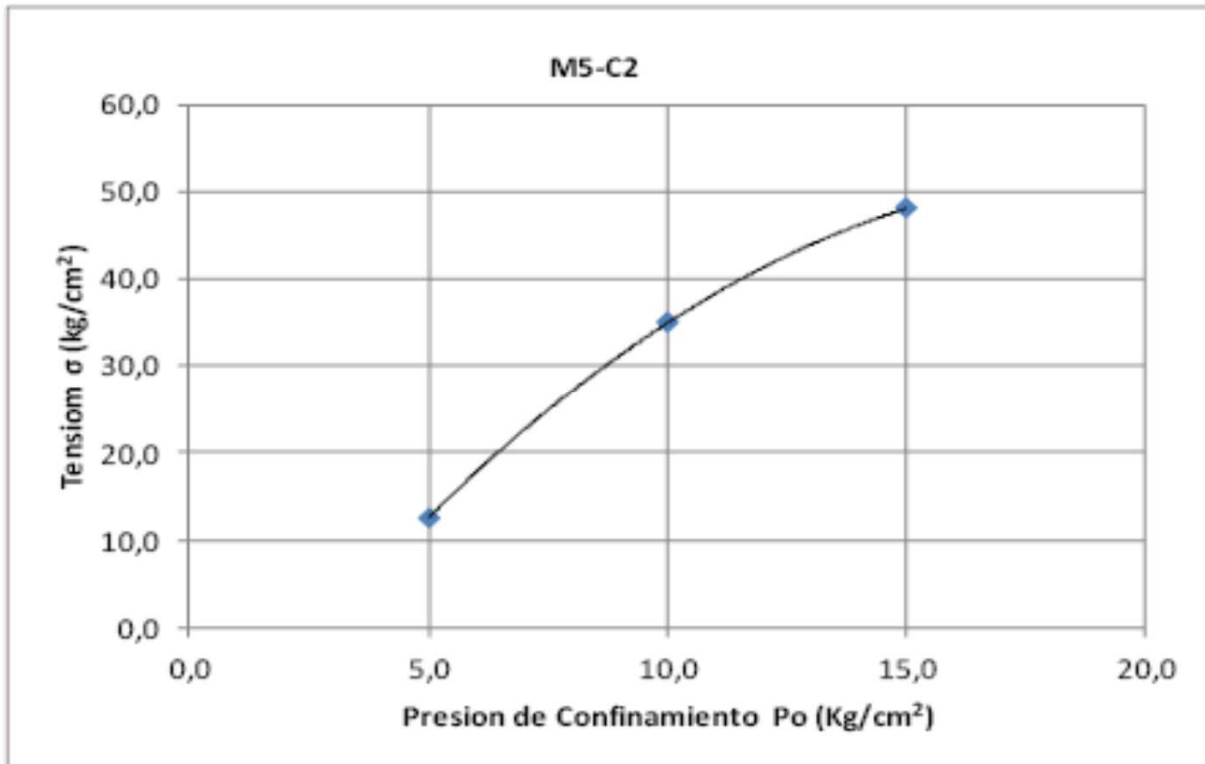
Hoek Brown Classification	
sigci	3.063 MPa
GSI	100
mi	13.369
D	0
Ei	918.9
Hoek Brown Criterion	
mb	13.369
s	1
a	0.5
Failure Envelope Range	
Application	General
sig3max	0.76575 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.581082 MPa
phi	46.021 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.229112 MPa
sigc	3.063 MPa
sigcm	2.87798 MPa
Erm	913.688 MPa

Hoek Brown Classification	
sigci	3.063 MPa
GSI	80
mi	13.369
D	0
Ei	918.9
Hoek Brown Criterion	
mb	6.54468
s	0.108368
a	0.500593
Failure Envelope Range	
Application	Custom
sig3max	0.5 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.233893 MPa
phi	45.0046 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.0507177 MPa
sigc	1.00699 MPa
sigcm	1.27846 MPa
Erm	808.952 MPa



## BP 02

Profundidad : 32.97 - 33.6 m Pelitas con intercalaciones de material tobáceo o areniscas



Presion de Camara (kg/cm²)	Carga (Kg)	Tension (Kg/cm²)
5,0	360,0	12,6
10,0	1000,0	34,9
15,0	1400,0	48,0

MPa	
$\sigma_3$	$\sigma_1$
-0.27	0.83
0.5	1.2
1	3.4
1.5	4.8

MODIFICANDO MODULO COMO ARCILITA MR = 250

Hoek Brown Classification	
sigci	1 MPa
GSI	100
mi	7.52
D	0
Ei	250
Hoek Brown Criterion	
mb	7.52
s	1
a	0.5
Failure Envelope Range	
Application	Custom
sig3max	1.2 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.322072 MPa
phi	29.1566 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.132979 MPa
sigc	1 MPa
sigcm	0.923953 MPa
Erm	248.582 MPa

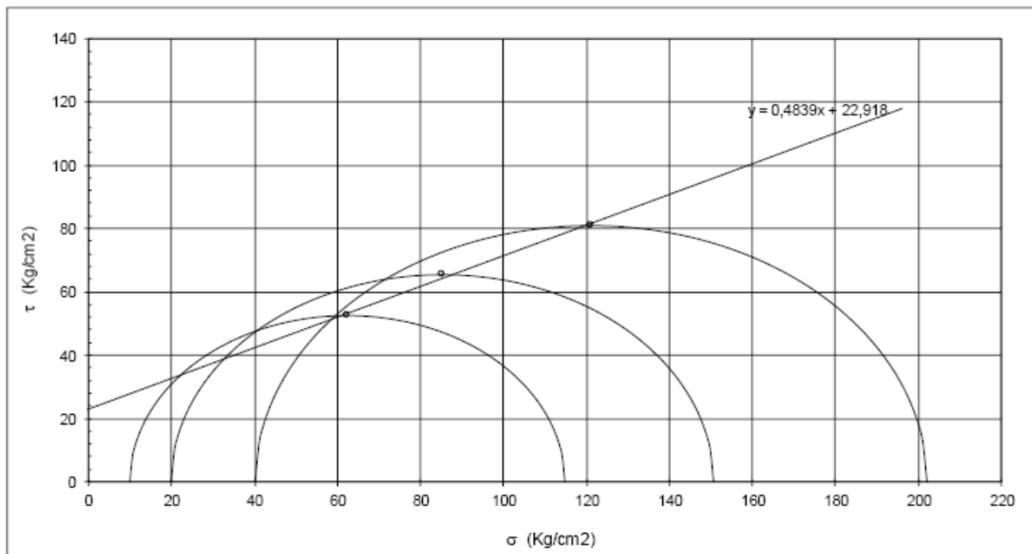
Hoek Brown Classification	
sigci	1 MPa
GSI	100
mi	7.52
D	0
Ei	250
Hoek Brown Criterion	
mb	7.52
s	1
a	0.5
Failure Envelope Range	
Application	Custom
sig3max	1.2 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.322072 MPa
phi	29.1566 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.132979 MPa
sigc	1 MPa
sigcm	0.923953 MPa
Erm	248.582 MPa

## BP 02

**Profundidad : 39 - 40.3 m pelita. Estructura brechoide. Craquelada**

Probeta N°	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Carga (F) (kg)	$\sigma_3$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_1$ máx (Kg/cm <sup>2</sup> )
6 - 1	6,03	12,34	734,2	2,083	3280	10,00	114,91
6 - 2	6,03	12,35	735,5	2,085	4300	20,00	150,65
6 - 3	6,02	12,32	732,0	2,087	5750	40,00	202,12

MPa	
$\sigma_3$	$\sigma_1$
0	4.59
1	11.4
2	15
4	20.2



Ángulo de Fricción :  $\phi$  (°) = 28,9  
 Cohesión : c (Kg/cm<sup>2</sup>) = 26,2

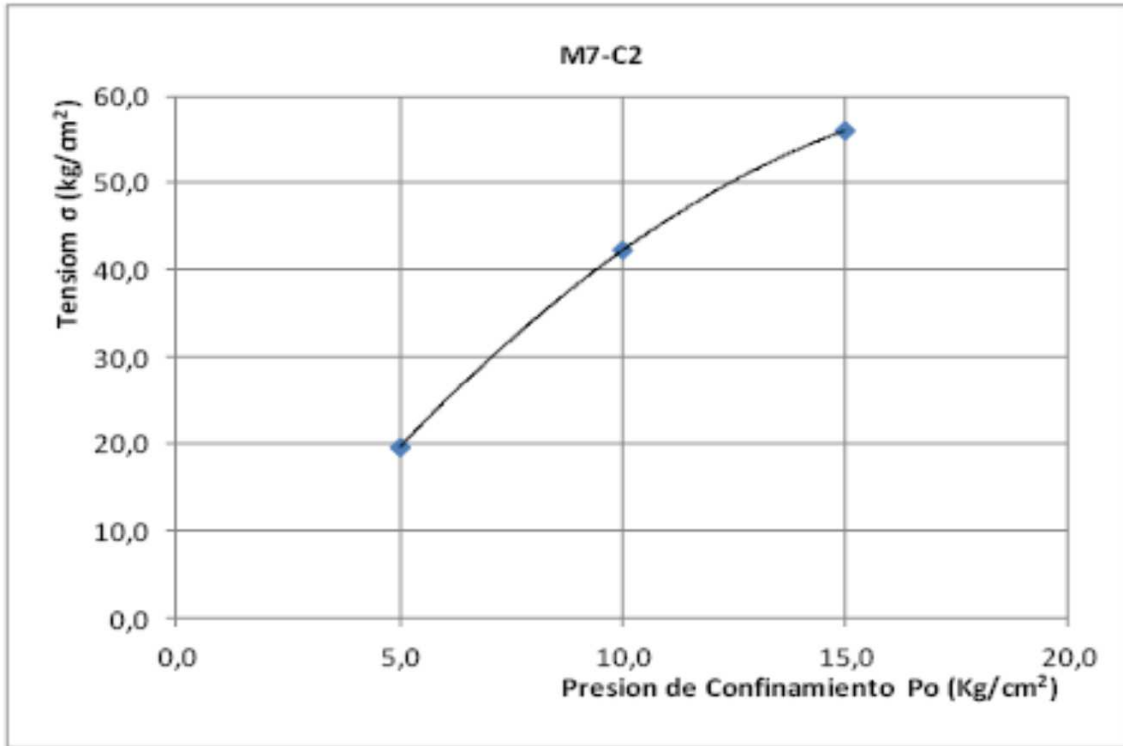
MODIFICANDO MODULO COMO ARCILITA MR = 250

Hoek Brown Classification	
sigci	5.04 MPa
GSI	100
mi	12.964
D	0
Ei	1260
Hoek Brown Criterion	
mb	12.964
s	1
a	0.5
Failure Envelope Range	
Application	General
sig3max	1.26 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.961735 MPa
phi	45.7049 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.388769 MPa
sigc	5.04 MPa
sigcm	4.72567 MPa
Erm	1252.85 MPa

Hoek Brown Classification	
sigci	5.04 MPa
GSI	80
mi	12.964
D	0
Ei	1260
Hoek Brown Criterion	
mb	6.34642
s	0.108368
a	0.500593
Failure Envelope Range	
Application	Custom
sig3max	1.2 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.459016 MPa
phi	41.7805 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.0860603 MPa
sigc	1.65695 MPa
sigcm	2.08304 MPa
Erm	1109.24 MPa

## BP 02

Profundidad : 40 - 40.28 m Arenisca fina a media. Negra. Friable



Presion de Camara (kg/cm²)	Carga (Kg)	Tension (Kg/cm²)
5,0	560,0	19,5
10,0	1210,0	42,2
15,0	1620,0	56,0

MPa	
$\sigma_3$	$\sigma_1$
0	1.84
0.5	1.9
1	4.2
1.5	5.6

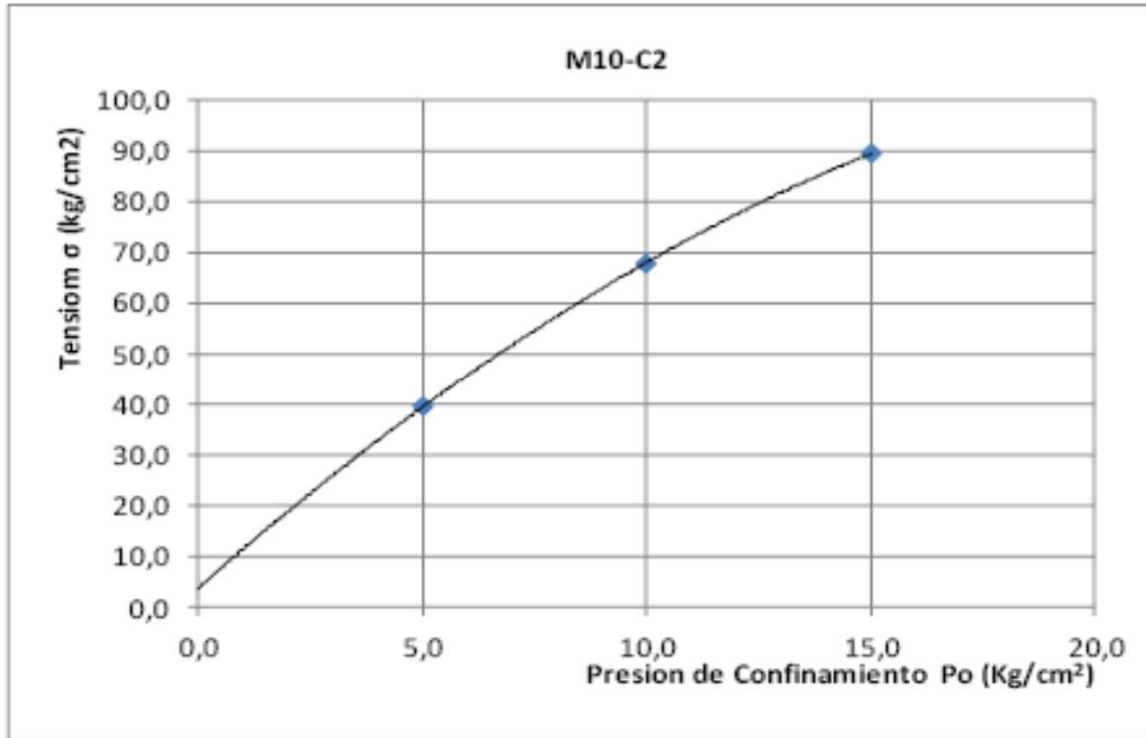
MODIFICANDO MODULO COMO ARENISCA MR = 275

Hoek Brown Classification	
sigci	1.448 MPa
GSI	100
mi	5.206
D	0
Ei	398.2
Hoek Brown Criterion	
mb	5.206
s	1
a	0.5
Failure Envelope Range	
Application	General
sig3max	0.362 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.348624 MPa
phi	35.3472 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.278141 MPa
sigc	1.448 MPa
sigcm	1.34937 MPa
Erm	395.942 MPa

Hoek Brown Classification	
sigci	1.448 MPa
GSI	100
mi	5.206
D	0
Ei	398.2
Hoek Brown Criterion	
mb	5.206
s	1
a	0.5
Failure Envelope Range	
Application	Custom
sig3max	1.2 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.415641 MPa
phi	28.3333 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.278141 MPa
sigc	1.448 MPa
sigcm	1.34937 MPa
Erm	395.942 MPa

## BP 16

Profundidad : 25.41 - 25.75 m arcilita gris verdosa



Presion de Camara (kg/cm²)	Carga (Kg)	Tension (Kg/cm²)
5,0	1100,0	39,3
10,0	1900,0	67,9
15,0	2500,0	89,3

MPa	
$\sigma_3$	$\sigma_1$
0	6.36
0.5	3.9
1	6.7
1.5	8.9

MODIFICANDO MODULO COMO ARCILITA MR = 250

Hoek Brown Classification	
sigci	5.007 MPa
GSI	100
mi	2.104
D	0
Ei	1251.75
Hoek Brown Criterion	
mb	2.104
s	1
a	0.5
Failure Envelope Range	
Application	Custom
sig3max	0.5 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	1.6063 MPa
phi	25.6865 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-2.37975 MPa
sigc	5.007 MPa
sigcm	4.89197 MPa
Erm	1244.65 MPa

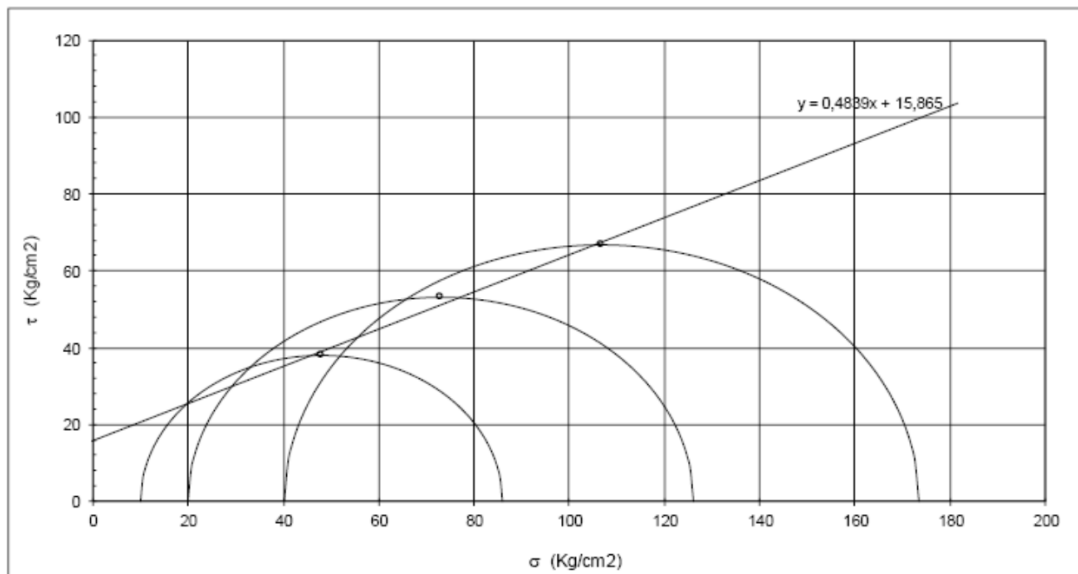
Hoek Brown Classification	
sigci	5.007 MPa
GSI	80
mi	2.104
D	0
Ei	1251.75
Hoek Brown Criterion	
mb	1.03
s	0.108368
a	0.500593
Failure Envelope Range	
Application	Custom
sig3max	0.5 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.465623 MPa
phi	28.2036 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.526797 MPa
sigc	1.6461 MPa
sigcm	1.52328 MPa
Erm	1101.98 MPa

## BP 16

Profundidad : 26.1 - 26.69 m arcilita gris

Probeta N°	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Carga (F) (kg)	$\sigma_3$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_1$ máx (Kg/cm <sup>2</sup> )
11 - 3	6,02	12,31	731,4	2,087	2450	10,00	86,12
11 - 4	6,03	12,48	748,2	2,099	3600	20,00	126,12
11 - 5	6,03	12,42	734,1	2,070	4950	40,00	173,42

MPa	
$\sigma_3$	$\sigma_1$
0	6.36
1	8.6
2	12.6
4	17.3



Ángulo de Fricción :  $\phi$  (°) = 28,9  
 Cohesión : c (Kg/cm<sup>2</sup>) = 18,1

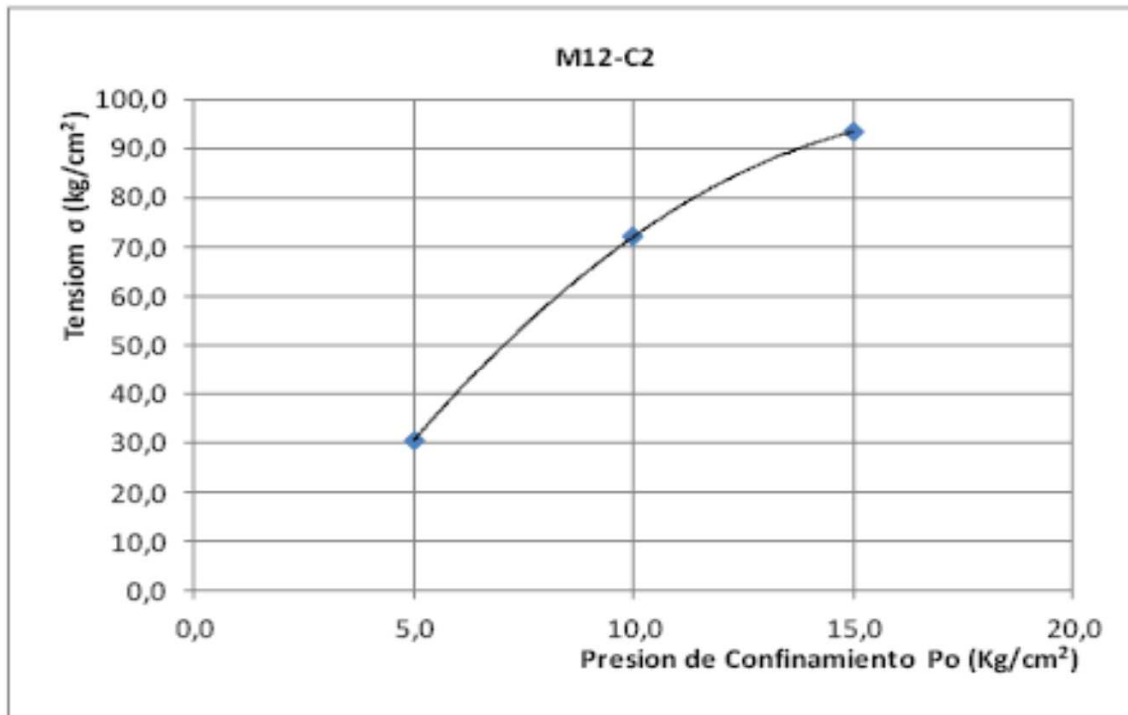
MODIFICANDO MODULO COMO ARCILITA MR = 250

Hoek Brown Classification	
sigci	6.023 MPa
GSI	100
mi	5.726
D	0
Ei	1505.75
Hoek Brown Criterion	
mb	5.726
s	1
a	0.5
Failure Envelope Range	
Application	General
sig3max	1.50575 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	1.40966 MPa
phi	36.5092 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-1.05187 MPa
sigc	6.023 MPa
sigcm	5.59454 MPa
Erm	1497.21 MPa

Hoek Brown Classification	
sigci	5.286 MPa
GSI	76
mi	7.402
D	0
Ei	1321.5
Hoek Brown Criterion	
mb	3.14121
s	0.0694835
a	0.500838
Failure Envelope Range	
Application	Custom
sig3max	0.5 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.294317 MPa
phi	42.4388 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.116926 MPa
sigc	1.39026 MPa
sigcm	1.61774 MPa
Erm	1097.77 MPa

## BP 16

Profundidad : 33.09 - 33.5 m Toba



Presion de Camara (kg/cm²)	Carga (Kg)	Tension (Kg/cm²)
5,0	880,0	30,4
10,0	2080,0	71,9
15,0	2700,0	93,3

MPa	
$\sigma_3$	$\sigma_1$
-0.29	0.87
0.5	3
1	7.1
1.5	9.3

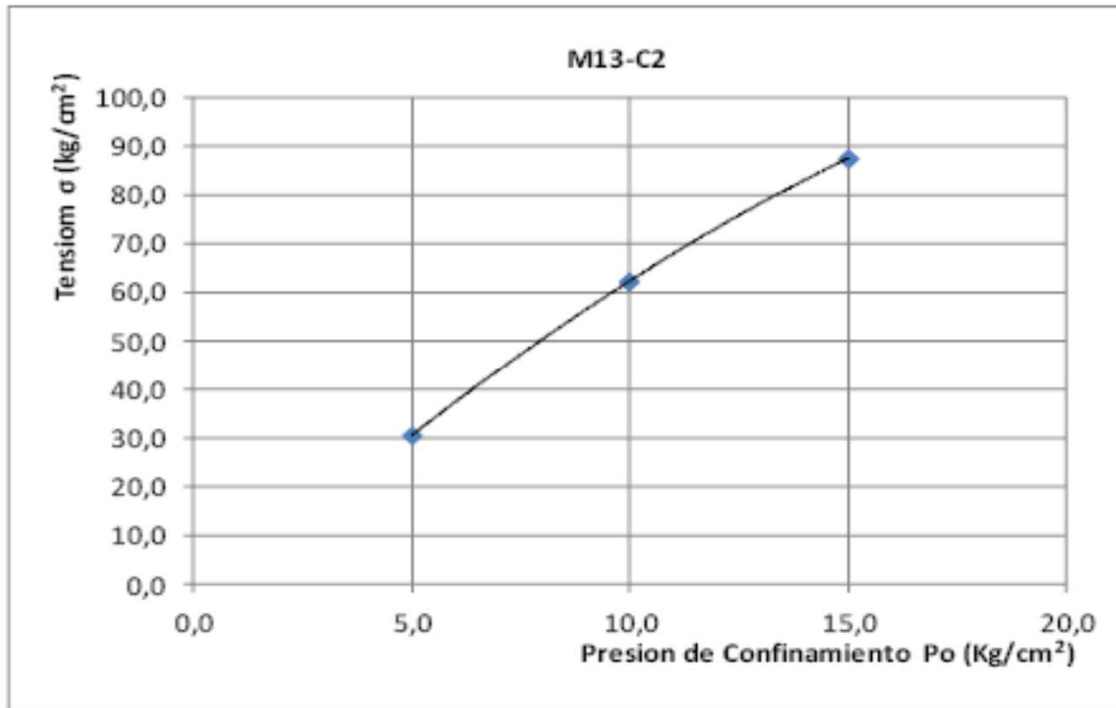
MODIFICANDO MODULO COMO TOBA MR = 300

Hoek Brown Classification	
sigci	2.851 MPa
GSI	100
mi	8.763
D	0
Ei	855.3
Hoek Brown Criterion	
mb	8.763
s	1
a	0.5
Failure Envelope Range	
Application	General
sig3max	0.71275 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.593673 MPa
phi	41.4851 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.325345 MPa
sigc	2.851 MPa
sigcm	2.63489 MPa
Erm	850.449 MPa

Hoek Brown Classification	
sigci	2.851 MPa
GSI	80
mi	8.763
D	0
Ei	855.3
Hoek Brown Criterion	
mb	4.28985
s	0.108368
a	0.500593
Failure Envelope Range	
Application	Custom
sig3max	1.2 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.3293 MPa
phi	33.6327 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.0720205 MPa
sigc	0.937294 MPa
sigcm	1.05234 MPa
Erm	752.961 MPa

### BP 16.

Profundidad : 35.66 - 36.04 m Arenisca fina, gris verdosa



Presion de Camara (kg/cm²)	Carga (Kg)	Tension (Kg/cm²)
5,0	880,0	30,4
10,0	1800,0	62,2
15,0	2530,0	87,4

MPa	
$\sigma_3$	$\sigma_1$
0.5	3
1	6.2
1.5	8.7

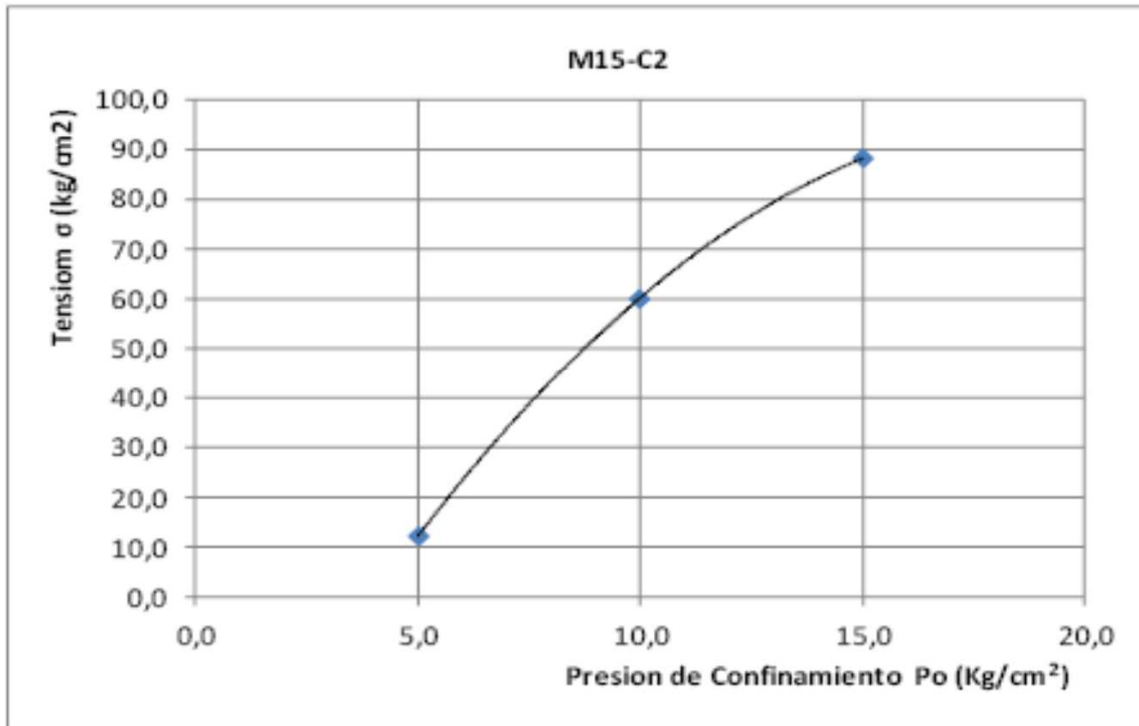
MODIFICANDO MODULO COMO ARENISCA MR = 275

Hoek Brown Classification	
sigci	3.53 MPa
GSI	100
mi	17
D	0
Ei	970.75
Hoek Brown Criterion	
mb	17
s	1
a	0.5
Failure Envelope Range	
Application	General
sig3max	0.8825 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.643499 MPa
phi	48.4147 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.207647 MPa
sigc	3.53 MPa
sigcm	3.38936 MPa
Erm	965.244 MPa

Hoek Brown Classification	
sigci	3.53 MPa
GSI	75
mi	17
D	0
Ei	970.75
Hoek Brown Criterion	
mb	6.96123
s	0.0621765
a	0.500911
Failure Envelope Range	
Application	Custom
sig3max	1.2 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.368444 MPa
phi	39.9069 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.0315294 MPa
sigc	0.877989 MPa
sigcm	1.39192 MPa
Erm	792.472 MPa

## BP 16

Profundidad : 38.66 - 38.8 m Arcilita limosa gris verdosa



Presion de Camara (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (Kg)	Tension (Kg/cm <sup>2</sup> )
5,0	350,0	12,1
10,0	750,0	60,0
15,0	2540,0	88,1

MPa	
$\sigma_3$	$\sigma_1$
0.5	1.2
1	6
1.5	8.8

MODIFICANDO MODULO COMO ARCILITA MR = 250

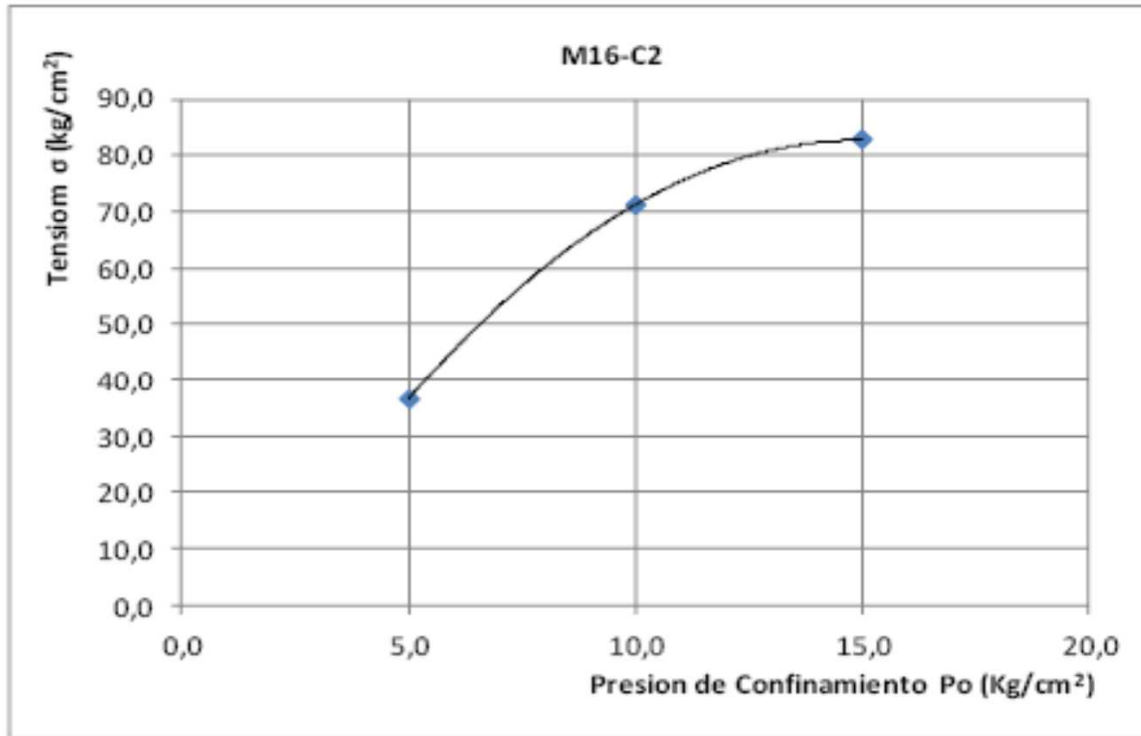
Hoek Brown Classification	
sigci	1.2 MPa
GSI	100
mi	6
D	0
Ei	300
Hoek Brown Criterion	
mb	6
s	1
a	0.5
Failure Envelope Range	
Application	Custom
sig3max	1.2 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.360488 MPa
phi	28.4015 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.2 MPa
sigc	1.2 MPa
sigcm	1.11312 MPa
Erm	298.299 MPa

Hoek Brown Classification	
sigci	1.2 MPa
GSI	100
mi	6
D	0
Ei	300
Hoek Brown Criterion	
mb	6
s	1
a	0.5
Failure Envelope Range	
Application	Custom
sig3max	1.2 MPa
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.360488 MPa
phi	28.4015 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.2 MPa
sigc	1.2 MPa
sigcm	1.11312 MPa
Erm	298.299 MPa



## BP 16

Profundidad : 55.75 - 56 m Pelita gris verdosa



Presion de Camara (kg/cm²)	Carga (Kg)	Tension (Kg/cm²)
5,0	1020,0	36,7
10,0	1980,0	71,2
15,0	2300,0	82,7

MPa	
$\sigma_3$	$\sigma_1$
-0.36	1.08
0.5	3.6
1	7.1
1.5	8.2

MODIFICANDO MODULO COMO ARCILITA MR = 250

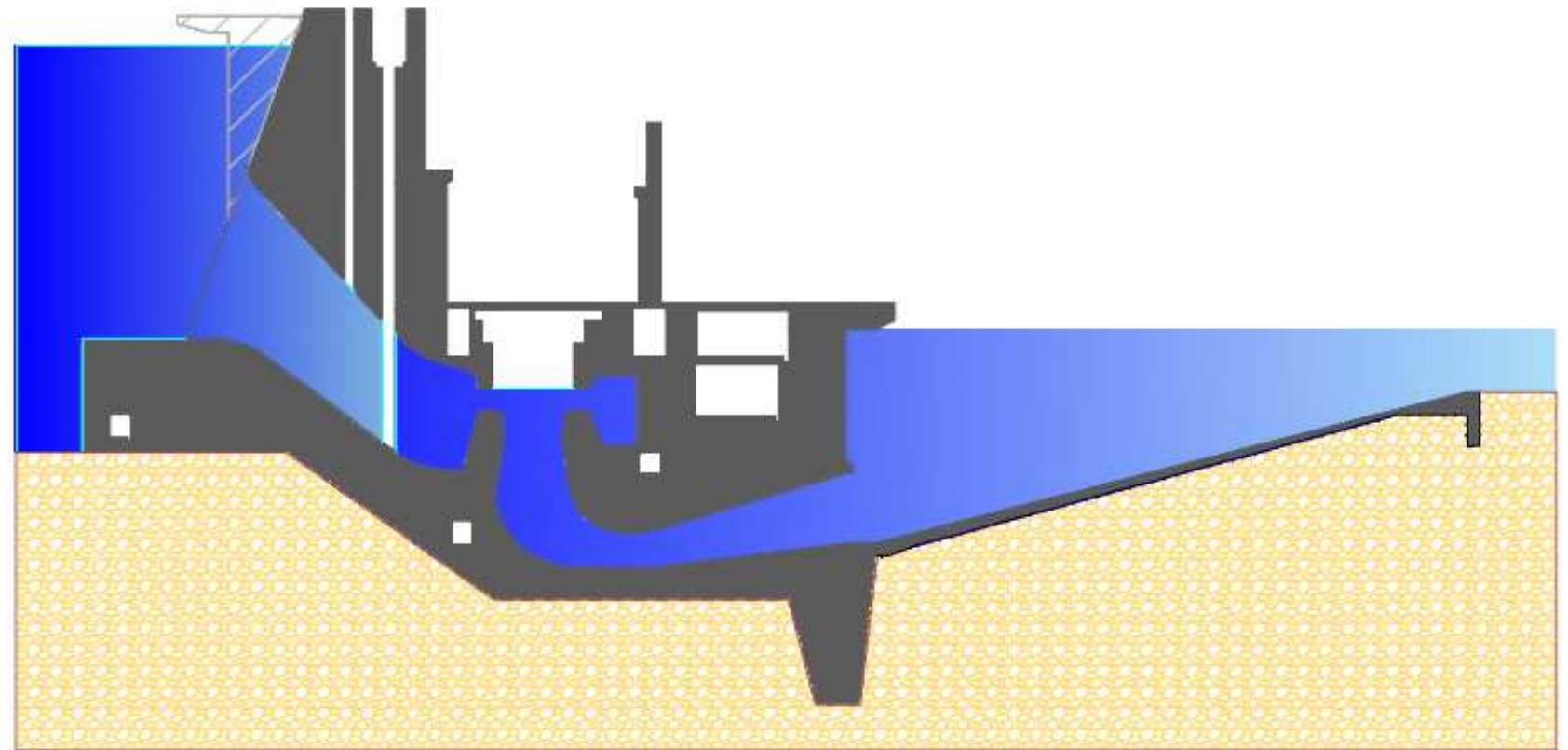
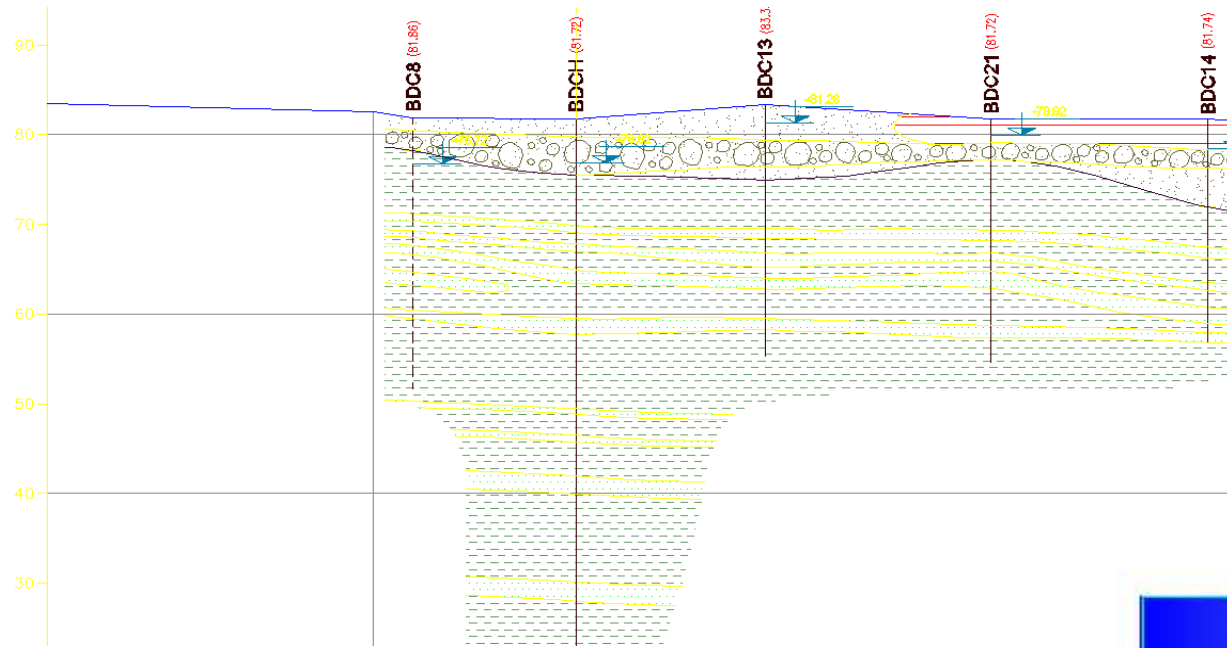
Hoek Brown Classification		Hoek Brown Classification	
sigci	3.021 MPa	sigci	3.021 MPa
GSI	100	GSI	80
mi	6.897	mi	6.897
D	0	D	0
Ei	755.25	Ei	755.25
Hoek Brown Criterion		Hoek Brown Criterion	
mb	6.897	mb	3.37637
s	1	s	0.108368
a	0.5	a	0.500593
Failure Envelope Range		Failure Envelope Range	
Application	General	Application	Custom
sig3max	0.75525 MPa	sig3max	1.2 MPa
Mohr-Coulomb Fit		Mohr-Coulomb Fit	
c	0.670337 MPa	c	0.329197 MPa
phi	38.7316 degrees	phi	31.9301 degrees
Rock Mass Parameters		Rock Mass Parameters	
sigt	-0.438017 MPa	sigt	-0.0969621 MPa
sigc	3.021 MPa	sigc	0.993183 MPa
sigcm	2.79392 MPa	sigcm	1.05327 MPa
Erm	750.967 MPa	Erm	664.883 MPa



perfil EE paralelo eje obras

33 Resistencia a compresion simple  
 33.5° c=28.5 Resistencia a compresion triaxial

## EJE CENTRAL



cota	81.86	81.72	83.3	81.72	81.74	BDC18 PROY
82	BDC8					
80		BDCH				
78						
76						
74						
72						
70						
68						
66						
64						
62						
60			central			
58			44° c=2.4			41° c=3.9
56						
54		60				71
52						
50						
48						
46			29° c=3.5			
44						
42						
40			25			
38						
36	28		diente			
34	68	54				
32		153				
30						
28						
26						
24			37° c=3.5			
22						
20						
18						

PHI [°]	c [kg/cm <sup>2</sup> ]
25	4

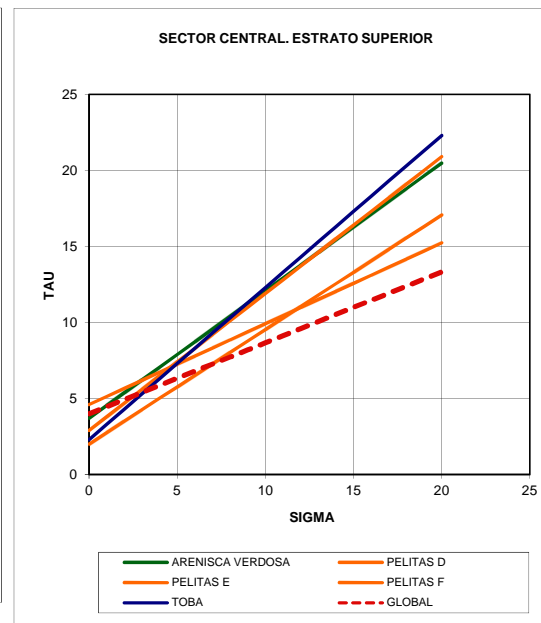
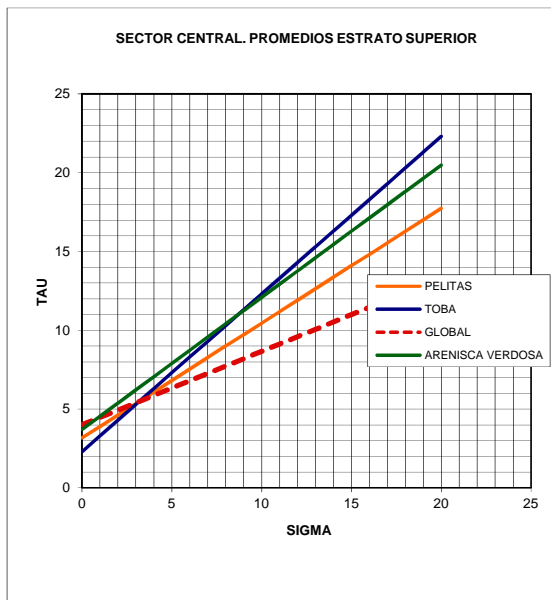
PHI [°]	c [kg/cm <sup>2</sup> ]
34	4.6

PHI [°]	c [kg/cm <sup>2</sup> ]
37	2
28	4.6
42	2.9

PHI [°]	c [kg/cm <sup>2</sup> ]
38	3.6

TENSIONES	ARENISCA V	PELITAS D	PELITAS E	PELITAS F	TOBA	GLOBAL
0	3.7	2	4.6	2.9	2.3	4
1	4.54	2.75	5.13	3.80	3.30	4.47
2	5.38	3.51	5.66	4.70	4.30	4.93
3	6.22	4.26	6.20	5.60	5.30	5.40
4	7.06	5.01	6.73	6.50	6.30	5.87
5	7.90	5.77	7.26	7.40	7.30	6.33
6	8.73	6.52	7.79	8.30	8.30	6.80
7	9.57	7.27	8.32	9.20	9.30	7.26
8	10.41	8.03	8.85	10.10	10.30	7.73
9	11.25	8.78	9.39	11.00	11.30	8.20
10	12.09	9.54	9.92	11.90	12.30	8.66
11	12.93	10.29	10.45	12.80	13.30	9.13
12	13.77	11.04	10.98	13.70	14.30	9.60
13	14.61	11.80	11.51	14.61	15.30	10.06
14	15.45	12.55	12.04	15.51	16.30	10.53
15	16.29	13.30	12.58	16.41	17.30	10.99
16	17.13	14.06	13.11	17.31	18.30	11.46
17	17.96	14.81	13.64	18.21	19.30	11.93
18	18.80	15.56	14.17	19.11	20.30	12.39
19	19.64	16.32	14.70	20.01	21.30	12.86
20	20.48	17.07	15.23	20.91	22.30	13.33

PELITAS	TOBA	ARENISCA V	GLOBAL
3.17	2.30	3.7	4.00
3.90	3.30	4.54	4.47
4.62	4.30	5.38	4.93
5.35	5.30	6.22	5.40
6.08	6.30	7.06	5.87
6.81	7.30	7.90	6.33
7.54	8.30	8.73	6.80
8.27	9.30	9.57	7.26
9.00	10.30	10.41	7.73
9.72	11.30	11.25	8.20
10.45	12.30	12.09	8.66
11.18	13.30	12.93	9.13
11.91	14.30	13.77	9.60
12.64	15.30	14.61	10.06
13.37	16.30	15.45	10.53
14.10	17.30	16.29	10.99
14.82	18.30	17.13	11.46
15.55	19.30	17.96	11.93
16.28	20.30	18.80	12.39
17.01	21.30	19.64	12.86
17.74	22.30	20.48	13.33

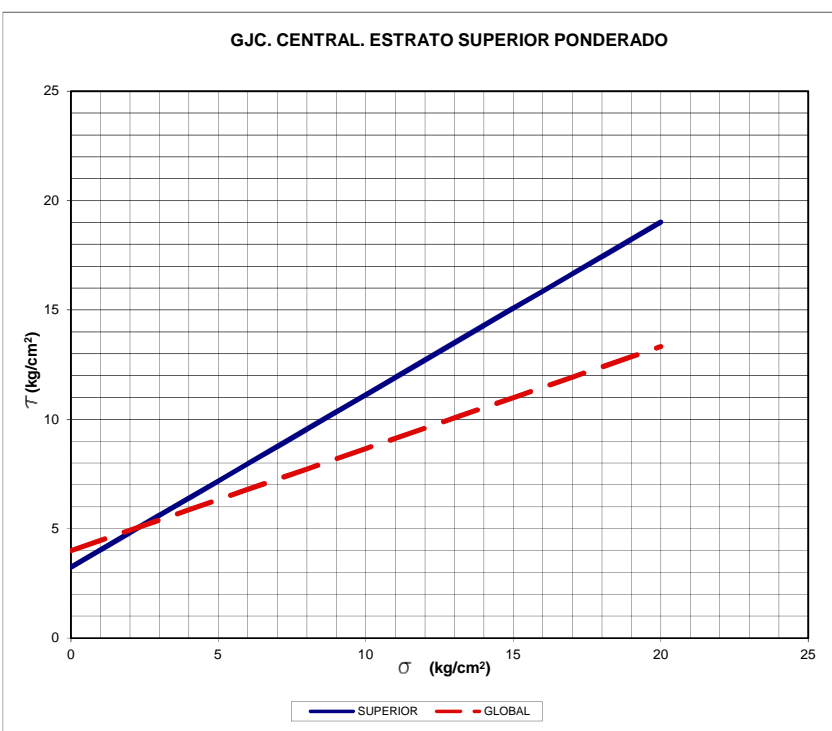


SUPERIOR			20	
	PELITAS			12
	ARENISCAS			6
	TOBAS			2
			52	

PROMEDIO PONDERADO POR ESPESORES

1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	PROMEDIO
ARENISCA V	ARENISCA V	ARENISCA V	ARENISCA V	ARENISCA V	ARENISCA V	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	TOBA	TOBA	
3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.17	3.17	3.17	3.17	3.17	3.17	3.17	3.17	3.17	3.17	3.17	3.17	2.30	2.30	3.24
4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90	3.30	3.30	4.03
5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	5.38	4.62	4.62	4.62	4.62	4.62	4.62	4.62	4.62	4.62	4.62	4.62	4.62	4.30	4.30	4.82
6.22	6.22	6.22	6.22	6.22	6.22	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.30	5.30	5.61
7.06	7.06	7.06	7.06	7.06	7.06	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08	6.08	6.30	6.30	6.40
7.90	7.90	7.90	7.90	7.90	7.90	6.81	6.81	6.81	6.81	6.81	6.81	6.81	6.81	6.81	6.81	6.81	6.81	7.30	7.30	7.18
8.73	8.73	8.73	8.73	8.73	8.73	7.54	7.54	7.54	7.54	7.54	7.54	7.54	7.54	7.54	7.54	7.54	7.54	8.30	8.30	7.97
9.57	9.57	9.57	9.57	9.57	9.57	8.27	8.27	8.27	8.27	8.27	8.27	8.27	8.27	8.27	8.27	8.27	8.27	9.30	9.30	8.76
10.41	10.41	10.41	10.41	10.41	10.41	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	10.30	10.30	9.55
11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	11.30	11.30	10.34
12.09	12.09	12.09	12.09	12.09	12.09	10.45	10.45	10.45	10.45	10.45	10.45	10.45	10.45	10.45	10.45	10.45	10.45	12.30	12.30	11.13
12.93	12.93	12.93	12.93	12.93	12.93	11.18	11.18	11.18	11.18	11.18	11.18	11.18	11.18	11.18	11.18	11.18	11.18	13.30	13.30	11.92
13.77	13.77	13.77	13.77	13.77	13.77	11.91	11.91	11.91	11.91	11.91	11.91	11.91	11.91	11.91	11.91	11.91	11.91	14.30	14.30	12.71
14.61	14.61	14.61	14.61	14.61	14.61	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	15.30	15.30	13.50
15.45	15.45	15.45	15.45	15.45	15.45	13.37	13.37	13.37	13.37	13.37	13.37	13.37	13.37	13.37	13.37	13.37	13.37	16.30	16.30	14.28
16.29	16.29	16.29	16.29	16.29	16.29	14.10	14.10	14.10	14.10	14.10	14.10	14.10	14.10	14.10	14.10	14.10	14.10	17.30	17.30	15.07
17.13	17.13	17.13	17.13	17.13	17.13	14.82	14.82	14.82	14.82	14.82	14.82	14.82	14.82	14.82	14.82	14.82	14.82	18.30	18.30	15.86
17.96	17.96	17.96	17.96	17.96	17.96	15.55	15.55	15.55	15.55	15.55	15.55	15.55	15.55	15.55	15.55	15.55	15.55	19.30	19.30	16.65
18.80	18.80	18.80	18.80	18.80	18.80	16.28	16.28	16.28	16.28	16.28	16.28	16.28	16.28	16.28	16.28	16.28	16.28	20.30	20.30	17.44
19.64	19.64	19.64	19.64	19.64	19.64	17.01	17.01	17.01	17.01	17.01	17.01	17.01	17.01	17.01	17.01	17.01	17.01	21.30	21.30	18.23
20.48	20.48	20.48	20.48	20.48	20.48	17.74	17.74	17.74	17.74	17.74	17.74	17.74	17.74	17.74	17.74	17.74	17.74	22.30	22.30	19.02

TENSIONES	SUPERIOR	GLOBAL
0	3.24	4.00
1	4.03	4.47
2	4.82	4.93
3	5.61	5.40
4	6.40	5.87
5	7.18	6.33
6	7.97	6.80
7	8.76	7.26
8	9.55	7.73
9	10.34	8.20
10	11.13	8.66
11	11.92	9.13
12	12.71	9.60
13	13.50	10.06
14	14.28	10.53
15	15.07	10.99
16	15.86	11.46
17	16.65	11.93
18	17.44	12.39
19	18.23	12.86
20	19.02	13.33



FORMULA PARAMETROS

PHI	38.27
C	3.24

TENSIONES	SUPERIOR
0	3.24
1	4.03
2	4.82
3	5.61
4	6.40
5	7.18
6	7.97
7	8.76
8	9.55
9	10.34
10	11.13
11	11.92
12	12.71
13	13.50
14	14.28
15	15.07
16	15.86
17	16.65
18	17.44
19	18.23
20	19.02

SUMAS ESTRATO SUPERIOR

EJE EE CENTRAL

ENTRE COTA 46 Y 52

ARENISCA GRIS OSCURA

ESTRATO MEDIO

AJUSTADOS MODELO HB a 1.2 Mpa

ARENISCA ARCILLOSA VERDOSA

PELITA-ARCILITA VERDOSA MASIVA

GLOBAL

PHI [°]	c [kg/cm <sup>2</sup> ]
25	4

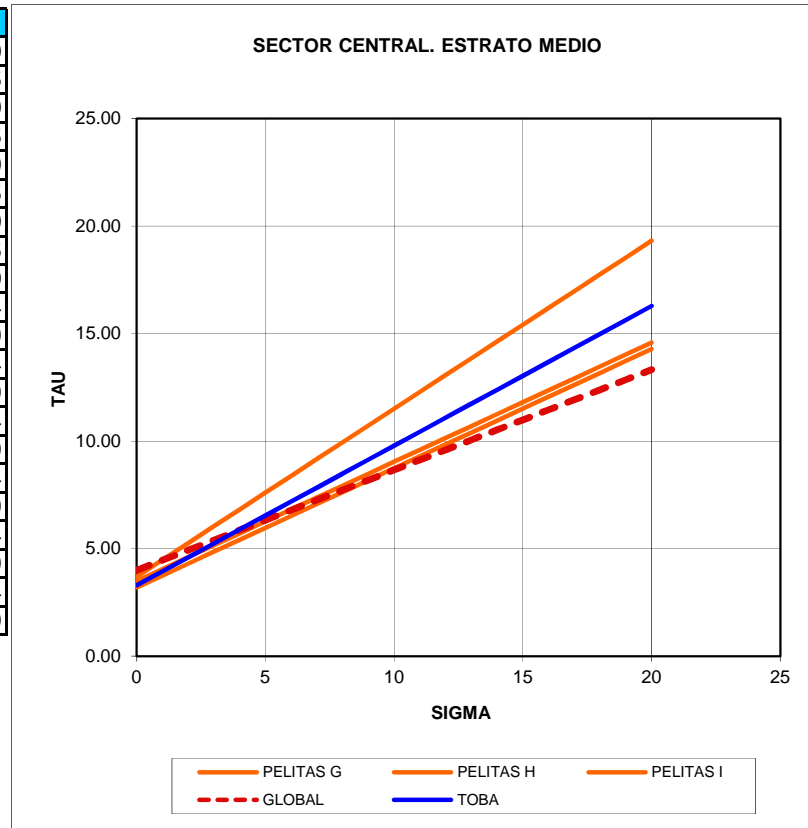
TOBA

PHI [°]	c [kg/cm <sup>2</sup> ]
33	3.3

	PHI [°]	c [kg/cm <sup>2</sup> ]
G	29	3.2
H	29	3.5
I	38	3.7

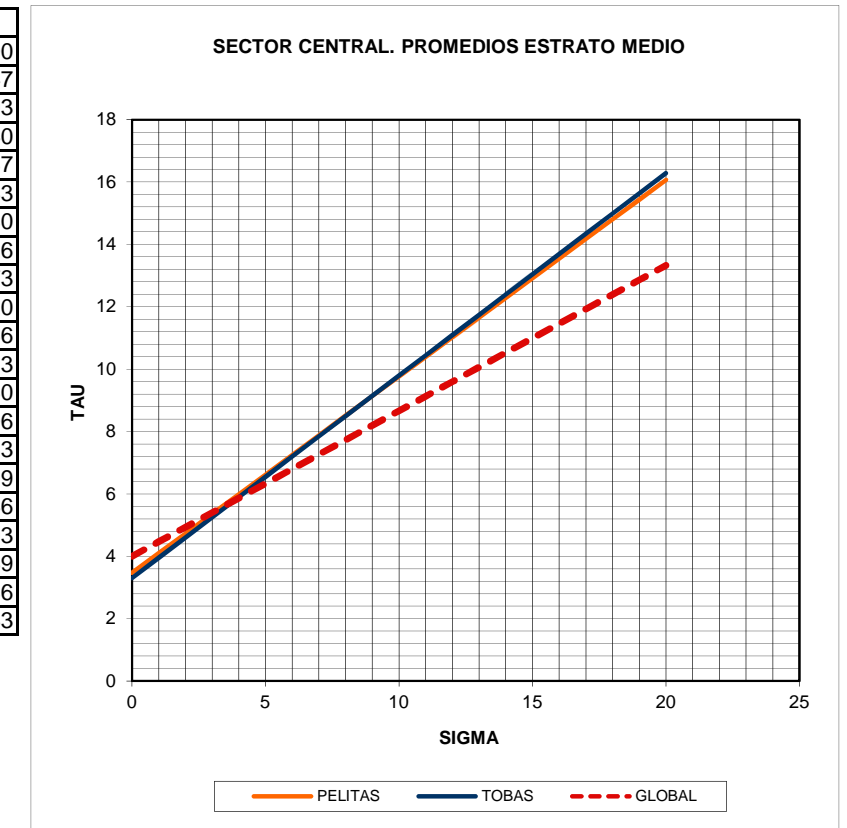
# SUMAS ESTRATO MEDIO

TENSIONES	PELITAS G	PELITAS H	PELITAS I	GLOBAL	TOBA
0	3.20	3.50	3.70	4	3.30
1	3.75	4.05	4.48	4.47	3.95
2	4.31	4.61	5.26	4.93	4.60
3	4.86	5.16	6.04	5.40	5.25
4	5.42	5.72	6.83	5.87	5.90
5	5.97	6.27	7.61	6.33	6.55
6	6.53	6.83	8.39	6.80	7.20
7	7.08	7.38	9.17	7.26	7.85
8	7.63	7.93	9.95	7.73	8.50
9	8.19	8.49	10.73	8.20	9.14
10	8.74	9.04	11.51	8.66	9.79
11	9.30	9.60	12.29	9.13	10.44
12	9.85	10.15	13.08	9.60	11.09
13	10.41	10.71	13.86	10.06	11.74
14	10.96	11.26	14.64	10.53	12.39
15	11.51	11.81	15.42	10.99	13.04
16	12.07	12.37	16.20	11.46	13.69
17	12.62	12.92	16.98	11.93	14.34
18	13.18	13.48	17.76	12.39	14.99
19	13.73	14.03	18.54	12.86	15.64
20	14.29	14.59	19.33	13.33	16.29



PROMEDIOS

PELITAS	TOBAS	GLOBAL
3.47	3.30	4.00
4.10	3.95	4.47
4.73	4.60	4.93
5.36	5.25	5.40
5.99	5.90	5.87
6.62	6.55	6.33
7.25	7.20	6.80
7.88	7.85	7.26
8.51	8.50	7.73
9.14	9.14	8.20
9.77	9.79	8.66
10.40	10.44	9.13
11.03	11.09	9.60
11.66	11.74	10.06
12.29	12.39	10.53
12.92	13.04	10.99
13.55	13.69	11.46
14.18	14.34	11.93
14.81	14.99	12.39
15.44	15.64	12.86
16.07	16.29	13.33

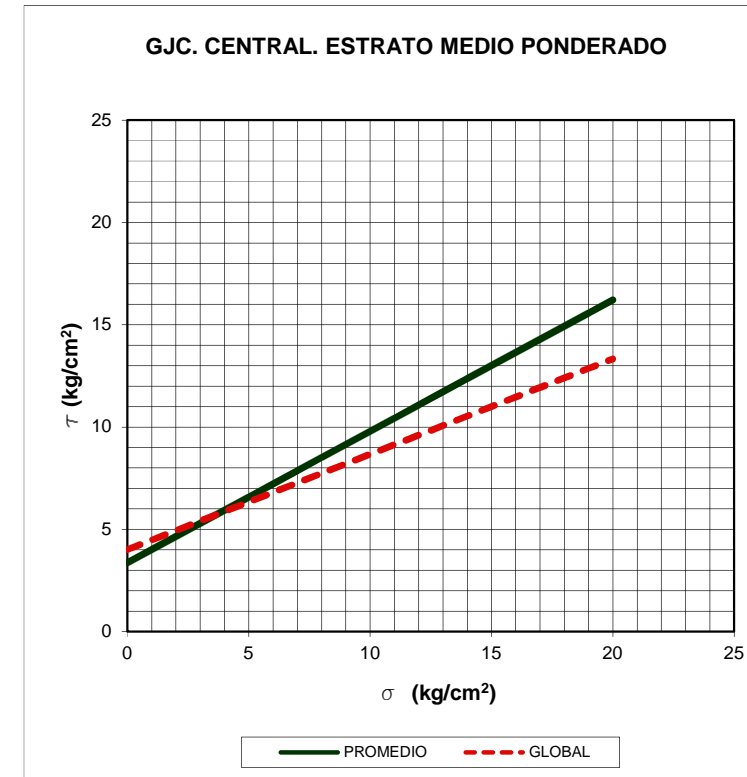


MEDIO			6
	ARENISCAS	TOBACEAS	4
	PELITAS		2
			46

PROMEDIO PONDERADO POR ESPESORES

TOBAS	TOBAS	TOBAS	TOBAS	PELITAS	PELITAS	PROMEDIO
3.30	3.30	3.30	3.30	3.47	3.47	3.36
3.95	3.95	3.95	3.95	4.10	4.10	4.00
4.60	4.60	4.60	4.60	4.73	4.73	4.64
5.25	5.25	5.25	5.25	5.36	5.36	5.28
5.90	5.90	5.90	5.90	5.99	5.99	5.93
6.55	6.55	6.55	6.55	6.62	6.62	6.57
7.20	7.20	7.20	7.20	7.25	7.25	7.21
7.85	7.85	7.85	7.85	7.88	7.88	7.86
8.50	8.50	8.50	8.50	8.51	8.51	8.50
9.14	9.14	9.14	9.14	9.14	9.14	9.14
9.79	9.79	9.79	9.79	9.77	9.77	9.78
10.44	10.44	10.44	10.44	10.40	10.40	10.43
11.09	11.09	11.09	11.09	11.03	11.03	11.07
11.74	11.74	11.74	11.74	11.66	11.66	11.71
12.39	12.39	12.39	12.39	12.29	12.29	12.36
13.04	13.04	13.04	13.04	12.92	12.92	13.00
13.69	13.69	13.69	13.69	13.55	13.55	13.64
14.34	14.34	14.34	14.34	14.18	14.18	14.29
14.99	14.99	14.99	14.99	14.81	14.81	14.93
15.64	15.64	15.64	15.64	15.44	15.44	15.57
16.29	16.29	16.29	16.29	16.07	16.07	16.21

TENSIONES	PROMEDIO	GLOBAL
0	3.36	4.00
1	4.00	4.47
2	4.64	4.93
3	5.28	5.40
4	5.93	5.87
5	6.57	6.33
6	7.21	6.80
7	7.86	7.26
8	8.50	7.73
9	9.14	8.20
10	9.78	8.66
11	10.43	9.13
12	11.07	9.60
13	11.71	10.06
14	12.36	10.53
15	13.00	10.99
16	13.64	11.46
17	14.29	11.93
18	14.93	12.39
19	15.57	12.86
20	16.21	13.33



FORMULA PARAMETROS

PHI	32.73
C	3.36

TENSIONES	MEDIO
0	3.36
1	4.00
2	4.65
3	5.29
4	5.93
5	6.57
6	7.22
7	7.86
8	8.50
9	9.14
10	9.79
11	10.43
12	11.07
13	11.72
14	12.36
15	13.00
16	13.64
17	14.29
18	14.93
19	15.57
20	16.21

EJE EE CENTRAL

DEBAJO DE COTA 46

ARENISCA GRIS OSCURA

ESTRATO INFERIOR

AJUSTADOS MODELO HB a 1.2 Mpa

GLOBAL

PHI [°]	c [kg/cm <sup>2</sup> ]
25	4

ARENISCA ARCILLOSA VERDOSA

PELITA-ARCILITA VERDOSA MASIVA

TOBA

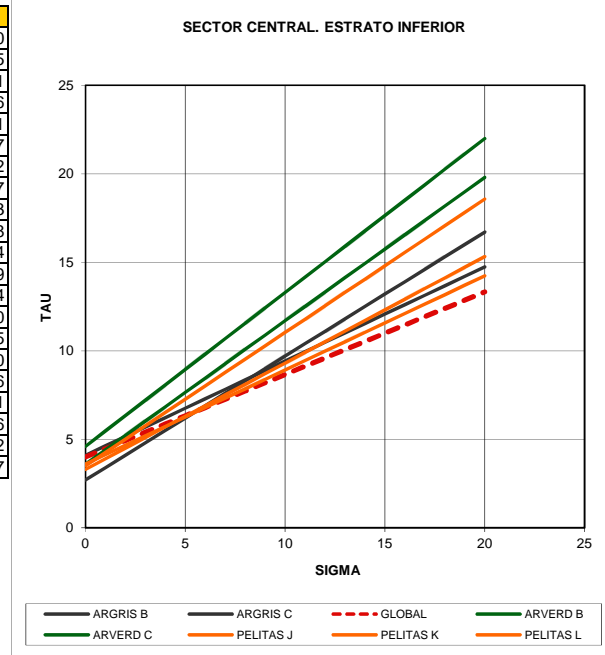
PHI [°]	c [kg/cm <sup>2</sup> ]
B	35
C	28

PHI [°]	c [kg/cm <sup>2</sup> ]
B	39
C	41

PHI [°]	c [kg/cm <sup>2</sup> ]
J	28
K	31
L	37

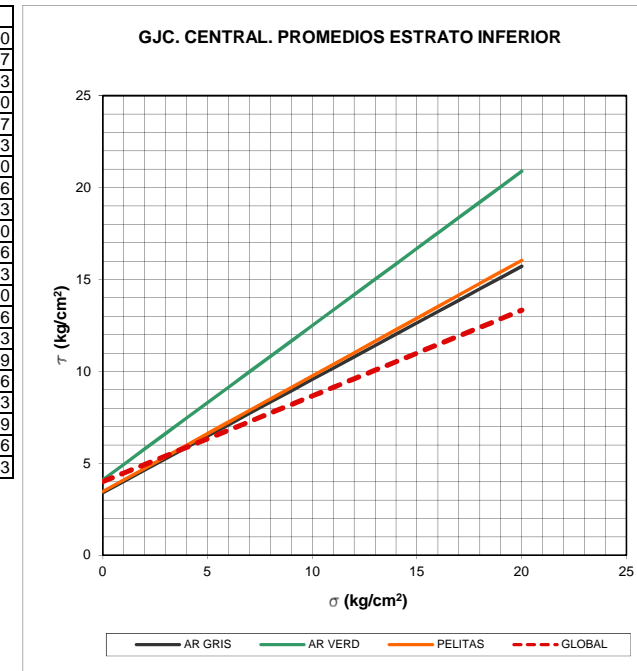
Curvas individuales

TENSIONES	ARGRIS B	ARGRIS C	GLOBAL	ARVERD B	ARVERD C	PELITAS J	PELITAS K	PELITAS L
0	2.7	4.1	4	3.60	4.60	3.60	3.30	3.50
1	3.40	4.63	4.47	4.41	5.47	4.13	3.90	4.25
2	4.10	5.16	4.93	5.22	6.34	4.66	4.50	5.01
3	4.80	5.70	5.40	6.03	7.21	5.20	5.10	5.76
4	5.50	6.23	5.87	6.84	8.08	5.73	5.70	6.51
5	6.20	6.76	6.33	7.65	8.95	6.26	6.30	7.27
6	6.90	7.29	6.80	8.46	9.82	6.79	6.91	8.02
7	7.60	7.82	7.26	9.27	10.69	7.32	7.51	8.77
8	8.30	8.35	7.73	10.08	11.55	7.85	8.11	9.53
9	9.00	8.89	8.20	10.89	12.42	8.39	8.71	10.28
10	9.70	9.42	8.66	11.70	13.29	8.92	9.31	11.04
11	10.40	9.95	9.13	12.51	14.16	9.45	9.91	11.79
12	11.10	10.48	9.60	13.32	15.03	9.98	10.51	12.54
13	11.80	11.01	10.06	14.13	15.90	10.51	11.11	13.30
14	12.50	11.54	10.53	14.94	16.77	11.04	11.71	14.05
15	13.20	12.08	10.99	15.75	17.64	11.58	12.31	14.80
16	13.90	12.61	11.46	16.56	18.51	12.11	12.91	15.56
17	14.60	13.14	11.93	17.37	19.38	12.64	13.51	16.31
18	15.30	13.67	12.39	18.18	20.25	13.17	14.12	17.06
19	16.00	14.20	12.86	18.99	21.12	13.70	14.72	17.82
20	16.70	14.73	13.33	19.80	21.99	14.23	15.32	18.57



Curvas promedio

TENSIONES	AR GRIS	AR VERD	PELITAS	GLOBAL
0	3.40	4.10	3.47	4.00
1	4.02	4.94	4.10	4.47
2	4.63	5.78	4.72	4.93
3	5.25	6.62	5.35	5.40
4	5.86	7.46	5.98	5.87
5	6.48	8.30	6.61	6.33
6	7.10	9.14	7.24	6.80
7	7.71	9.98	7.87	7.26
8	8.33	10.82	8.50	7.73
9	8.94	11.66	9.13	8.20
10	9.56	12.50	9.75	8.66
11	10.18	13.33	10.38	9.13
12	10.79	14.17	11.01	9.60
13	11.41	15.01	11.64	10.06
14	12.02	15.85	12.27	10.53
15	12.64	16.69	12.90	10.99
16	13.26	17.53	13.53	11.46
17	13.87	18.37	14.15	11.93
18	14.49	19.21	14.78	12.39
19	15.10	20.05	15.41	12.86
20	15.72	20.89	16.04	13.33



INFERIOR		22
ARENISCAS		4
GRISES		6
PELITAS		12
		24

PROMEDIO PONDERADO POR ESPESORES

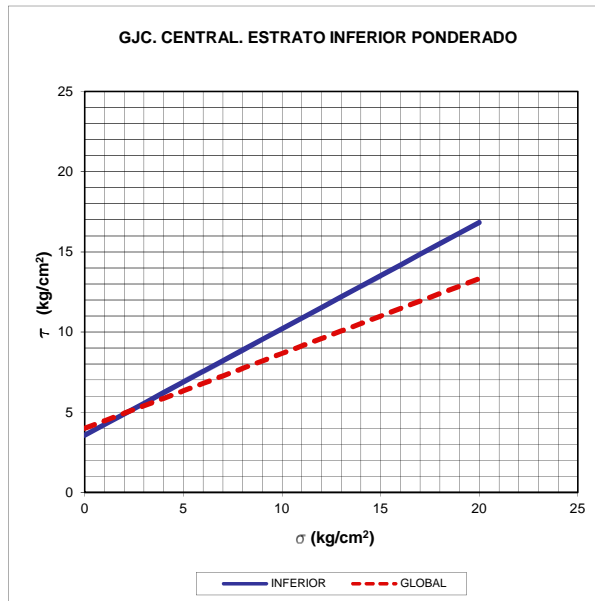
1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	PROMEDIO
AR VERD	AR VERD	AR VERD	AR VERD	AR GRIS	AR GRIS	AR GRIS	AR GRIS	AR GRIS	AR GRIS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PROMEDIO
4.1	4.1	4.1	4.1	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.56
4.94	4.94	4.94	4.94	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.23
5.78	5.78	5.78	5.78	4.63	4.63	4.63	4.63	4.63	4.63	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.89
6.62	6.62	6.62	6.62	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.55
7.46	7.46	7.46	7.46	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	6.22
8.30	8.30	8.30	8.30	6.48	6.48	6.48	6.48	6.48	6.48	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.88
9.14	9.14	9.14	9.14	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.55
9.98	9.98	9.98	9.98	7.71	7.71	7.71	7.71	7.71	7.71	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	8.21
10.82	10.82	10.82	10.82	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.87
11.66	11.66	11.66	11.66	8.94	8.94	8.94	8.94	8.94	8.94	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.54
12.50	12.50	12.50	12.50	9.56	9.56	9.56	9.56	9.56	9.56	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	10.20
13.33	13.33	13.33	13.33	10.18	10.18	10.18	10.18	10.18	10.18	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.86
14.17	14.17	14.17	14.17	10.79	10.79	10.79	10.79	10.79	10.79	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.53
15.01	15.01	15.01	15.01	11.41	11.41	11.41	11.41	11.41	11.41	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	12.19
15.85	15.85	15.85	15.85	12.02	12.02	12.02	12.02	12.02	12.02	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.85
16.69	16.69	16.69	16.69	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.64	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	13.52
17.53	17.53	17.53	17.53	13.26	13.26	13.26	13.26	13.26	13.26	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	14.18
18.37	18.37	18.37	18.37	13.87	13.87	13.87	13.87	13.87	13.87	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.84
19.21	19.21	19.21	19.21	14.49	14.49	14.49	14.49	14.49	14.49	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	15.51
20.05	20.05	20.05	20.05	15.10	15.10	15.10	15.10	15.10	15.10	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	16.17
20.89	20.89	20.89	20.89	15.72	15.72	15.72	15.72	15.72	15.72	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.83

TENSIONES	INFERIOR	GLOBAL
0	3.56	4.00
1	4.23	4.47
2	4.89	4.93
3	5.55	5.40
4	6.22	5.87
5	6.88	6.33
6	7.55	6.80
7	8.21	7.26
8	8.87	7.73
9	9.54	8.20
10	10.20	8.66
11	10.86	9.13
12	11.53	9.60
13	12.19	10.06
14	12.85	10.53
15	13.52	10.99
16	14.18	11.46
17	14.84	11.93
18	15.51	12.39
19	16.17	12.86
20	16.83	13.33

FORMULA PARAMETROS

PHI	33.57
C	3.56

TENSIONES	INFERIOR
0	3.56
1	4.22
2	4.89
3	5.55
4	6.21
5	6.88
6	7.54
7	8.21
8	8.87
9	9.53
10	10.20
11	10.86
12	11.52
13	12.19
14	12.85
15	13.51
16	14.18
17	14.84
18	15.51
19	16.17
20	16.83



SUMAS ESTRATO INFERIOR

PARAMETROS DE RESISTENCIA

ESTRATO DEBIL

	BDCA	BP16	BP02
TENSIONES	A GRIS A	A GRIS B	A GRIS C
0	3.20	2.70	4.10
1	4.24	3.40	4.63
2	5.27	4.10	5.16
3	6.31	4.80	5.70
4	7.34	5.50	6.23
5	8.38	6.20	6.76
6	9.41	6.90	7.29
7	10.45	7.60	7.82
8	11.48	8.30	8.35
9	12.52	9.00	8.89
10	13.56	9.70	9.42
11	14.59	10.40	9.95
12	15.63	11.10	10.48
13	16.66	11.80	11.01
14	17.70	12.50	11.54
15	18.73	13.20	12.08
16	19.77	13.90	12.61
17	20.80	14.60	13.14
18	21.84	15.30	13.67
19	22.88	16.00	14.20
20	23.91	16.70	14.73

PROMEDIOS
AR GRIS
3.33
4.09
4.84
5.60
6.36
7.11
7.87
8.62
9.38
10.14
10.89
11.65
12.40
13.16
13.91
14.67
15.43
16.18
16.94
17.69
18.45

PHI	37.09
C	0

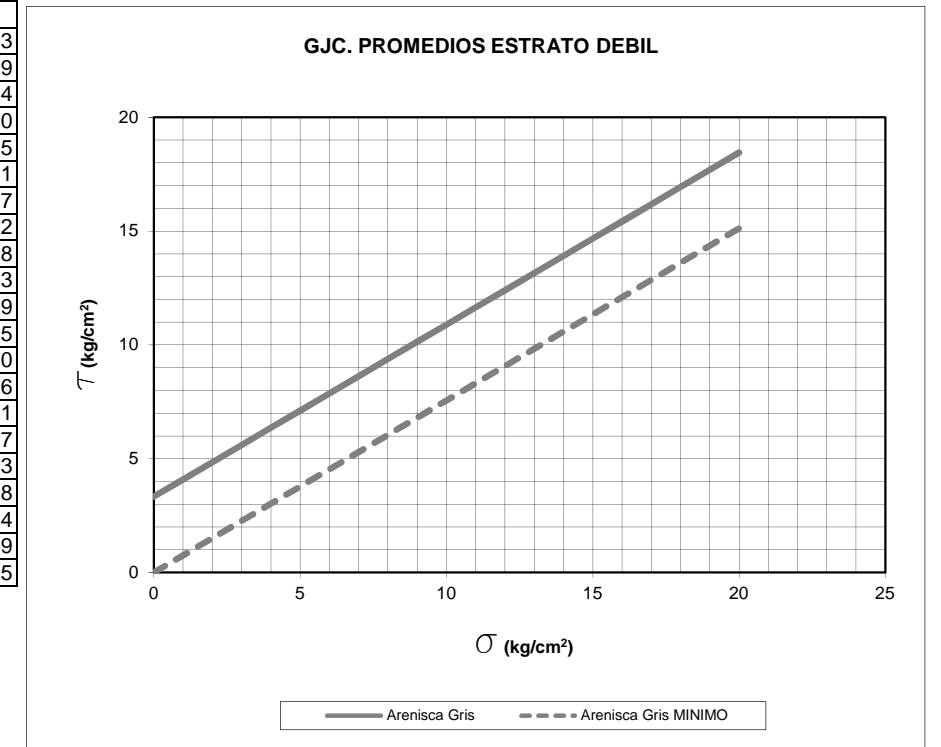
TENSIONES	Arenisca Gris	Arenisca Gris MINIMO
0	3.33	0.00
1	4.09	0.76
2	4.84	1.51
3	5.60	2.27
4	6.36	3.02
5	7.11	3.78
6	7.87	4.54
7	8.62	5.29
8	9.38	6.05
9	10.14	6.80
10	10.89	7.56
11	11.65	8.32
12	12.40	9.07
13	13.16	9.83
14	13.91	10.58
15	14.67	11.34
16	15.43	12.10
17	16.18	12.85
18	16.94	13.61
19	17.69	14.36
20	18.45	15.12

PHI	37.09
C	3.33

TENSIONES	SUPERIOR
0	3.33
1	4.09
2	4.84
3	5.60
4	6.35
5	7.11
6	7.87
7	8.62
8	9.38
9	10.13
10	10.89
11	11.65
12	12.40
13	13.16
14	13.91
15	14.67
16	15.43
17	16.18
18	16.94
19	17.69
20	18.45

	PHI	C
PONDERADO	37	3.3
MINIMO	37	0

**ESTRATO DÉBIL**



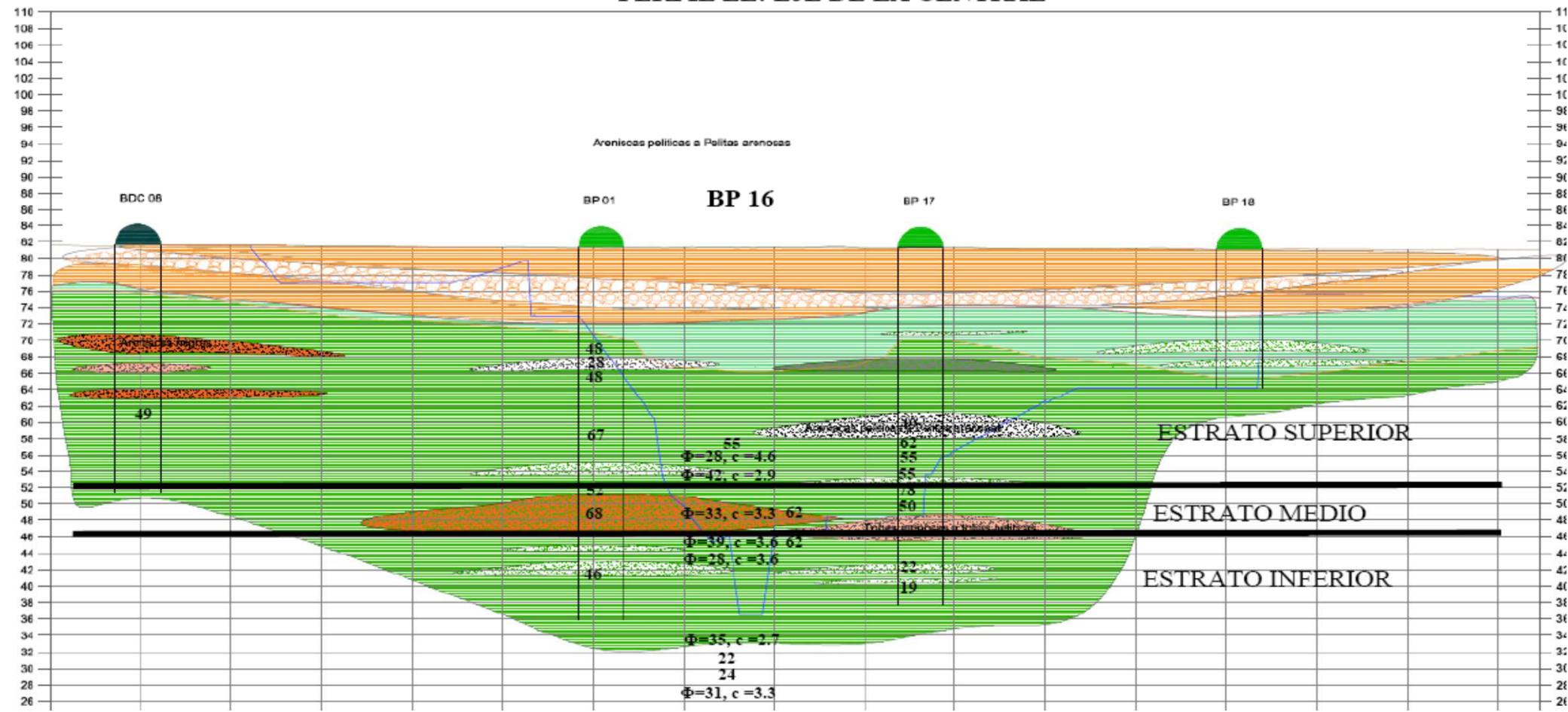
PERFIL EE: EJE DE LA CENTRAL

ESTIMACION ESTRATOS

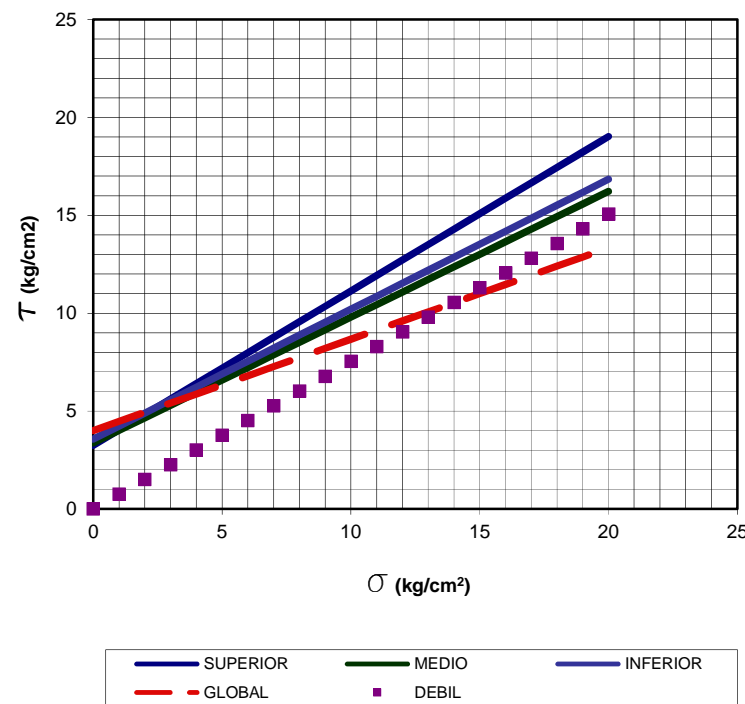
ESTRATO	LITOLOGIA	COTA	ESPESOR	
SUPERFICIE		82		
SEDIMENTOS				
		72	10	
SUPERIOR			20	
	PELITAS			12
	ARENISCAS			6
	TOBAS			2
		52		
MEDIO			6	
	ARENISCAS			4
	PELITAS			2
		46		
INFERIOR			22	
	ARENISCAS			4
	GRISES			6
	PELITAS			12
		24		
			48	48

	SUPERIOR	MEDIO	INFERIOR	DEBIL	GLOBAL
PHI [°]	38.27	32.73	33.57	37	25
c [kg/cm <sup>2</sup> ]	3.24	3.36	3.56	0	4

TENSIONES	SUPERIOR	MEDIO	INFERIOR	DEBIL	GLOBAL
0	3.24	3.36	3.56	0.00	4.00
1	4.03	4.00	4.22	0.75	4.47
2	4.82	4.65	4.89	1.51	4.93
3	5.61	5.29	5.55	2.26	5.40
4	6.40	5.93	6.21	3.01	5.87
5	7.18	6.57	6.88	3.77	6.33
6	7.97	7.22	7.54	4.52	6.80
7	8.76	7.86	8.21	5.27	7.26
8	9.55	8.50	8.87	6.03	7.73
9	10.34	9.14	9.53	6.78	8.20
10	11.13	9.79	10.20	7.54	8.66
11	11.92	10.43	10.86	8.29	9.13
12	12.71	11.07	11.52	9.04	9.60
13	13.50	11.72	12.19	9.80	10.06
14	14.28	12.36	12.85	10.55	10.53
15	15.07	13.00	13.51	11.30	10.99
16	15.86	13.64	14.18	12.06	11.46
17	16.65	14.29	14.84	12.81	11.93
18	17.44	14.93	15.51	13.56	12.39
19	18.23	15.57	16.17	14.32	12.86
20	19.02	16.21	16.83	15.07	13.33



GJC CENTRAL ESTRATOS PONDERADOS



PONDERACIÓN



GJC  
ENSAYOS DE LABORATORIO DE CAMPAÑA 2006-2015

BDC1 PERFORACION POR EL EJE 2007  
BP 02 PERFORACION CAMPAÑA 2015

33 Resistencia a compresion simple (kg/cm2)  
33.5°c=28.5 Resistencia a compresion triaxial (°, kg/cm2)

BDC2 PROY PERFORACION PROYECTADA 2007

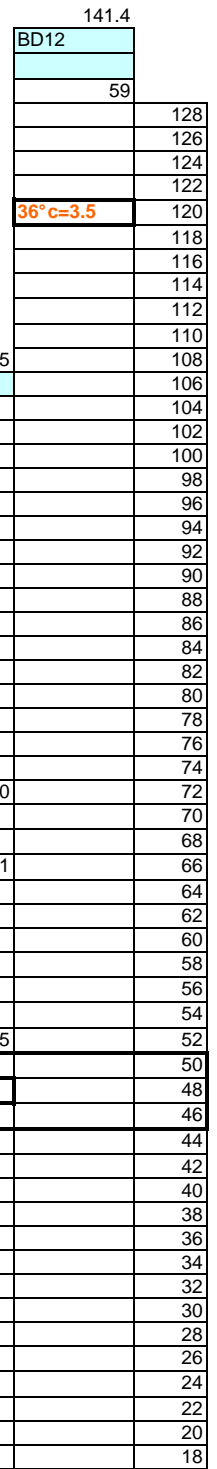
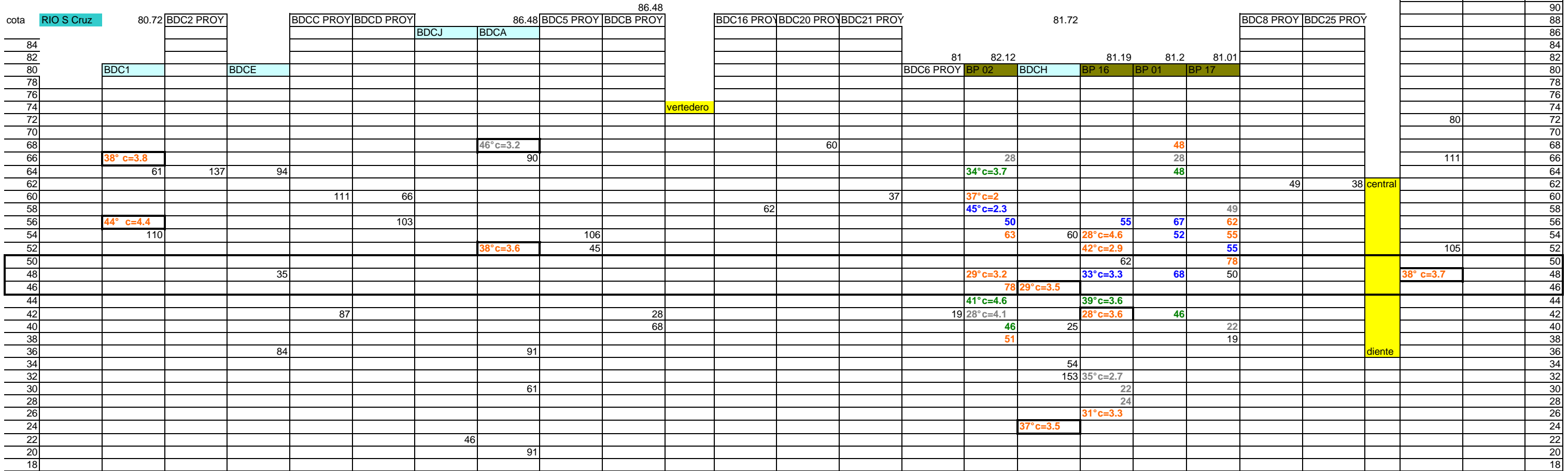
ARENISCA GRIS OSCURA  
ARENISCA ARCILLOSA VERDOSA  
PELITA-ARCILITA VERDOSA MASIVA  
TOBA

34° c=5 trx probetas separadas VALORES AJUSTADOS POR GEOFISICA

41° c=3.6 trx escalonado VALORES AJUSTADOS POR GEOFISICA -ULTRASONIDO

# PERFIL EJE PRESA

TRIAXIALES ESTRATO SUPERIOR NORMALIZADOS A UNA PRESION SIGMA3 DE 0.5 Mpa  
TRIAXIALES ESTRATOS MEDIO E INFERIOR NORMALIZADOS A UNA PRESION SIGMA3 DE 1.2 Mpa  
MODELO HOEK BROWN

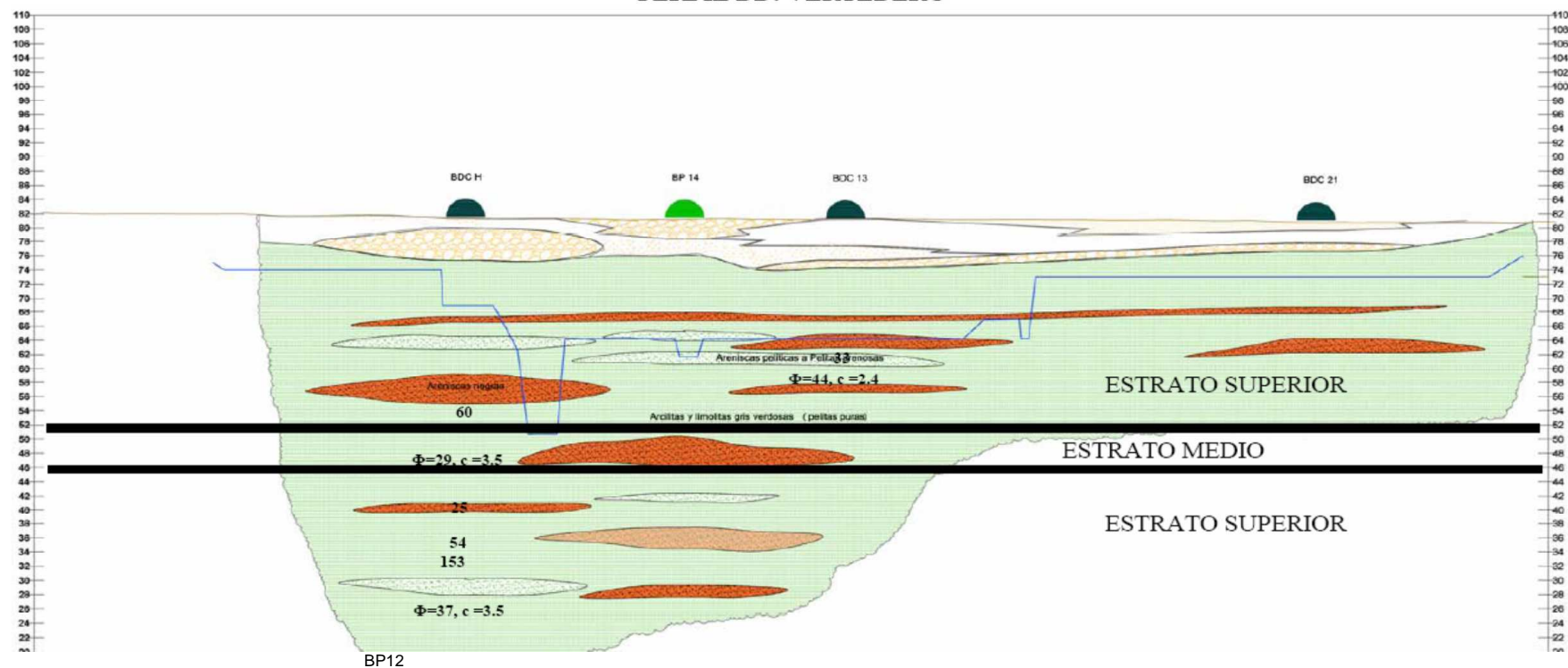


perfil DD paralelo eje obras

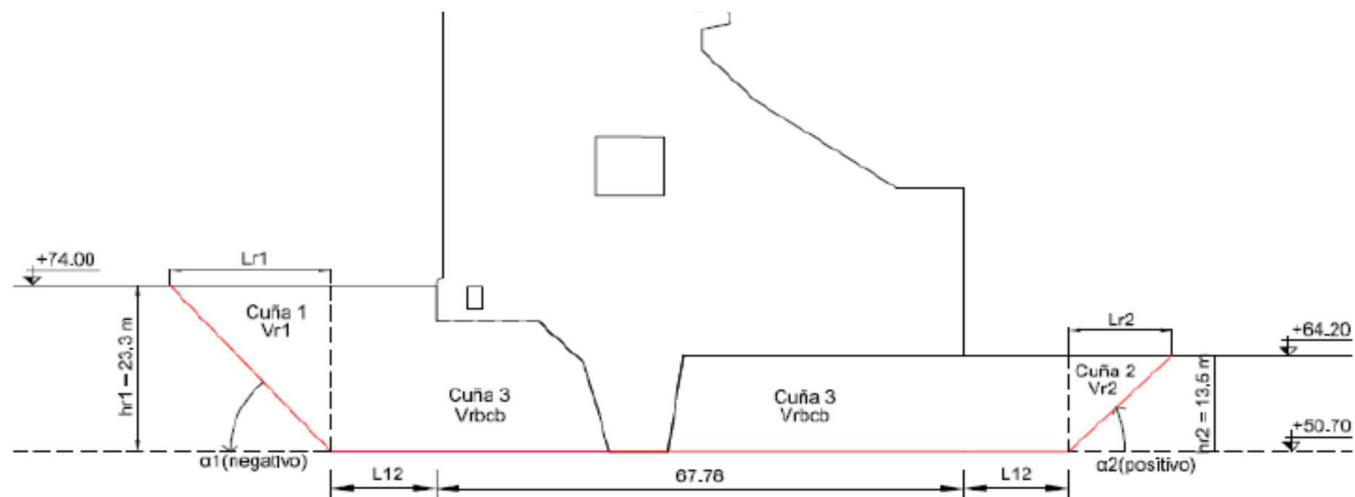
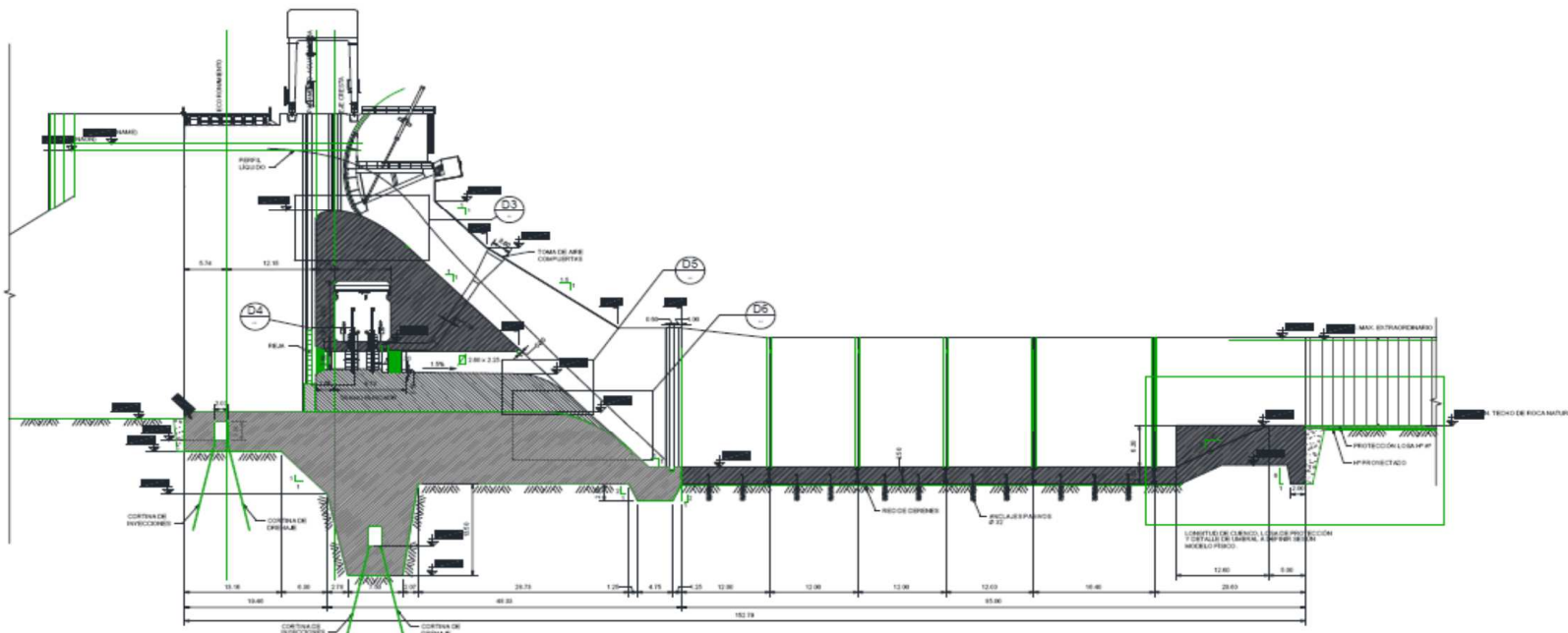
33 Resistencia a compresion simple  
33.5° c=28.5 Resistencia a compresion triaxial

# PERFIL EJE CENTRAL

PERFIL DD: VERTEDERO



cota		BP16	83.3			81.74	81.72	
		81.72	BP14	BDC13		BDC14	BDC21	82
82								82
80		BDCH						80
78								78
76								76
74								74
72								72
70								70
68								68
66								66
64					33			64
62								62
60								60
58								58
56								56
54								54
52								52
50								50
48								48
46								46
44								44
42								42
40								40
38								38
36								36
34								34
32								32
30								30
28								28
26								26
24								24
22								22
20								20
18								18



PARAMETROS DE RESISTENCIA ESTRATO SUPERIOR

ARENISCA GRIS OSCURA

ARENISCA ARCILLOSA VERDOSA

PELITA-ARCILITA VERDOSA MASIVA

TOBA

SUPERIOR ARRIBA DE COTA 52

BDCA	46	3.2
BP16	35	2.7
BP02	28	4.1

BP02	40	3.7
------	----	-----

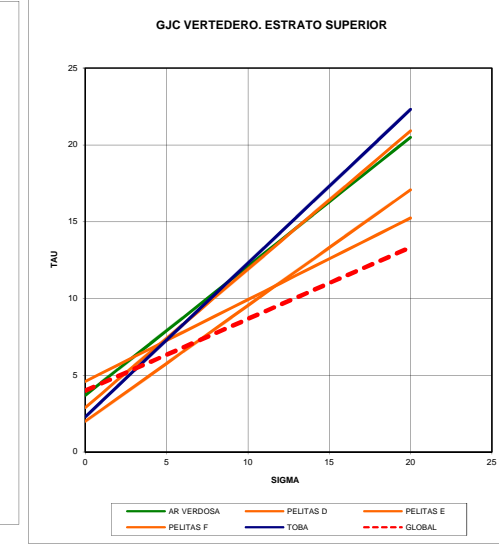
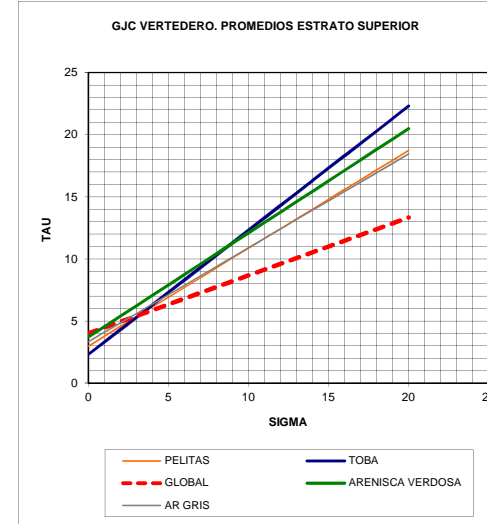
BP02	D	37	2
BP16	E	28	4.6
BP16	F	42	2.9
BDC13	M	44	2.4

BP02	45	2.3
------	----	-----

GLOBAL 25 4

TENSIONES	BDCA	BP16	BP02	BP02	BP02	BP16	BP16	BDC13	BP02	GLOBAL
0	3.20	2.70	4.10	3.7	2	4.6	2.9	2.40	2.3	4.00
1	4.24	3.40	4.63	4.54	2.75	5.13	3.80	3.37	3.30	4.47
2	5.27	4.10	5.16	5.38	3.51	5.66	4.70	4.33	4.30	4.93
3	6.31	4.80	5.70	6.22	4.26	6.20	5.60	5.30	5.30	5.40
4	7.34	5.50	6.23	7.06	5.01	6.73	6.50	6.26	6.30	5.87
5	8.38	6.20	6.76	7.90	5.77	7.26	7.40	7.23	7.30	6.33
6	9.41	6.90	7.29	8.73	6.52	7.79	8.30	8.19	8.30	6.80
7	10.45	7.60	7.82	9.57	7.27	8.32	9.20	9.16	9.30	7.26
8	11.48	8.30	8.35	10.41	8.03	8.85	10.10	10.13	10.30	7.73
9	12.52	9.00	8.89	11.25	8.78	9.39	11.00	11.09	11.30	8.20
10	13.56	9.70	9.42	12.09	9.54	9.92	11.90	12.06	12.30	8.66
11	14.59	10.40	9.95	12.93	10.29	10.45	12.80	13.02	13.30	9.13
12	15.63	11.10	10.48	13.77	11.04	10.98	13.70	13.99	14.30	9.60
13	16.66	11.80	11.01	14.61	11.80	11.51	14.61	14.95	15.30	10.06
14	17.70	12.50	11.54	15.45	12.55	12.04	15.51	15.92	16.30	10.53
15	18.73	13.20	12.08	16.29	13.30	12.58	16.41	16.89	17.30	10.99
16	19.77	13.90	12.61	17.13	14.06	13.11	17.31	17.85	18.30	11.46
17	20.80	14.60	13.14	17.96	14.81	13.64	18.21	18.82	19.30	11.93
18	21.84	15.30	13.67	18.80	15.56	14.17	19.11	19.78	20.30	12.39
19	22.88	16.00	14.20	19.64	16.32	14.70	20.01	20.75	21.30	12.86
20	23.91	16.70	14.73	20.48	17.07	15.23	20.91	21.71	22.30	13.33

PROMEDIOS	PELITAS	AR GRIS	TOBA	ARENISCA V	GLOBAL
2.98	3.33	2.30	3.7	4.00	
3.76	4.09	3.30	4.54	4.47	
4.55	4.84	4.30	5.38	4.93	
5.34	5.60	5.30	6.22	5.40	
6.13	6.36	6.30	7.06	5.87	
6.91	7.11	7.30	7.90	6.33	
7.70	7.87	8.30	8.73	6.80	
8.49	8.62	9.30	9.57	7.26	
9.28	9.38	10.30	10.41	7.73	
10.07	10.14	11.30	11.25	8.20	
10.85	10.89	12.30	12.09	8.66	
11.64	11.65	13.30	12.93	9.13	
12.43	12.40	14.30	13.77	9.60	
13.22	13.16	15.30	14.61	10.06	
14.00	13.91	16.30	15.45	10.53	
14.79	14.67	17.30	16.29	10.99	
15.58	15.43	18.30	17.13	11.46	
16.37	16.18	19.30	17.96	11.93	
17.16	16.94	20.30	18.80	12.39	
17.94	17.69	21.30	19.64	12.86	
18.73	18.45	22.30	20.48	13.33	



SUPERIOR	PELITAS	20
	TOBACEAS	1
	AREN VER	2
	AREN GRIS	5

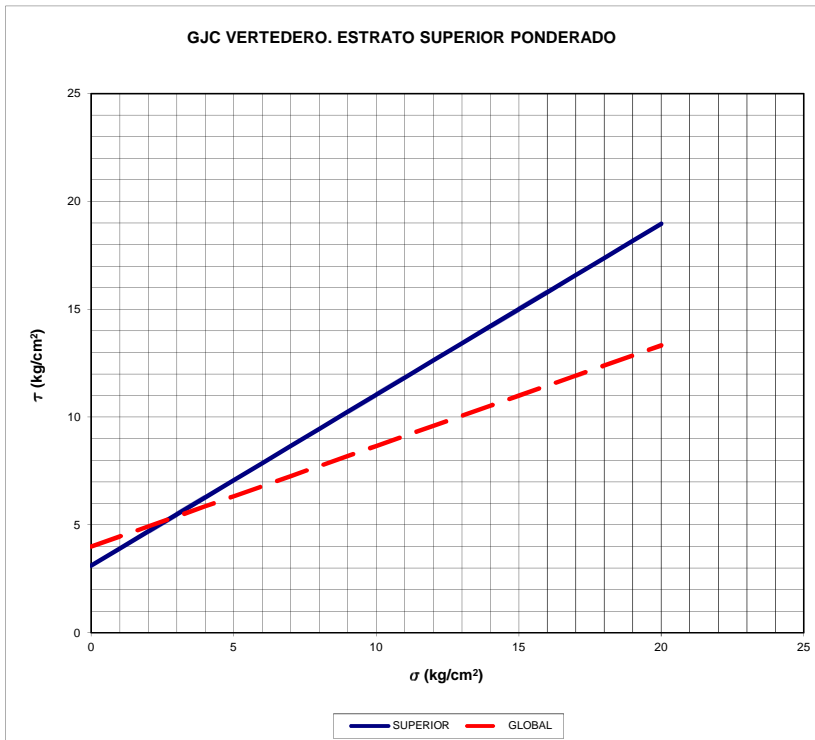
PROMEDIO PONDERADO

1	2	2	3	4	1	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	PROMEDIO
AR GRIS	AR GRIS	AR GRIS	AR GRIS	AR GRIS	ARENISCA V	ARENISCA V	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	TOBA	
3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.7	3.7	3.17	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.30	3.11
4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.54	4.54	3.90	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.30	3.91
4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	5.38	5.38	4.62	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.30	4.70
5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	6.22	6.22	5.35	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.30	5.49
6.36	6.36	6.36	6.36	6.36	7.06	7.06	6.08	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.30	6.28
7.11	7.11	7.11	7.11	7.11	7.90	7.90	6.81	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91	7.30	7.08
7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	8.73	8.73	7.54	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	8.30	7.87
8.62	8.62	8.62	8.62	8.62	9.57	9.57	8.27	8.49	8.49	8.49	8.49	8.49	8.49	8.49	8.49	8.49	8.49	8.49	9.30	8.66
9.38	9.38	9.38	9.38	9.38	10.41	10.41	9.00	9.28	9.28	9.28	9.28	9.28	9.28	9.28	9.28	9.28	9.28	9.28	10.30	9.45
10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	11.25	11.25	9.72	10.07	10.07	10.07	10.07	10.07	10.07	10.07	10.07	10.07	10.07	10.07	11.30	10.25
10.89	10.89	10.89	10.89	10.89	12.09	12.09	10.45	10.85	10.85	10.85	10.85	10.85	10.85	10.85	10.85	10.85	10.85	10.85	12.30	11.04
11.65	11.65	11.65	11.65	11.65	12.93	12.93	11.18	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	13.30	11.83
12.40	12.40	12.40	12.40	12.40	13.77	13.77	11.91	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	14.30	12.62
13.16	13.16	13.16	13.16	13.16	14.61	14.61	12.64	13.22	13.22	13.22	13.22	13.22	13.22	13.22	13.22	13.22	13.22	13.22	15.30	13.42
13.91	13.91	13.91	13.91	13.91	15.45	15.45	13.37	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	16.30	14.21
14.67	14.67	14.67	14.67	14.67	16.29	16.29	14.10	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	17.30	15.00
15.43	15.43	15.43	15.43	15.43	17.13	17.13	14.82	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	18.30	15.79
16.18	16.18	16.18	16.18	16.18	17.96	17.96	15.55	16.37	16.37	16.37	16.37	16.37	16.37	16.37	16.37	16.37	16.37	16.37	19.30	16.59
16.94	16.94	16.94	16.94	16.94	18.80	18.80	16.28	17.16	17.16	17.16	17.16	17.16	17.16	17.16	17.16	17.16	17.16	17.16	20.30	17.38
17.69	17.69	17.69	17.69	17.69	19.64	19.64	17.01	17.94	17.94	17.94	17.94	17.94	17.94	17.94	17.94	17.94	17.94	17.94	21.30	18.17
18.45	18.45	18.45	18.45	18.45	20.48	20.48	17.74	18.73	18.73	18.73	18.73	18.73	18.73	18.73	18.73	18.73	18.73	18.73	22.30	18.96

TENSIONES	SUPERIOR	GLOBAL
0	3.11	4.00
1	3.91	4.47
2	4.70	4.93
3	5.49	5.40
4	6.28	5.87
5	7.08	6.33
6	7.87	6.80
7	8.66	7.26
8	9.45	7.73
9	10.25	8.20
10	11.04	8.66
11	11.83	9.13
12	12.62	9.60
13	13.42	10.06
14	14.21	10.53
15	15.00	10.99
16	15.79	11.46
17	16.59	11.93
18	17.38	12.39
19	18.17	12.86
20	18.96	13.33

PHI	38.4
C	3.11

TENSIONES	SUPERIOR
0	3.11
1	3.90
2	4.70
3	5.49
4	6.28
5	7.07
6	7.87
7	8.66
8	9.45
9	10.24
10	11.04
11	11.83
12	12.62
13	13.41
14	14.21
15	15.00
16	15.79
17	16.58
18	17.38
19	18.17
20	18.96



ESTRATO SUPERIOR

**PARAMETROS DE RESISTENCIA**

ARENISCA GRIS OSCURA

INFERIOR DEBAJO DE COTA 46

BP16	B	35	2.7
BP02	C	28	4.1

ARENISCA GRIS OSCURA

**ESTRATO INFERIOR**

ARENISCA ARCILLOSA VERDOSA

BP16	B	39	3.6
BP02	C	41	4.6

ARENISCA ARCILLOSA VERDOSA

PELITA-ARCILITA VERDOSA MASIVA

BP16	J	28	3.6
BP16	K	31	3.3
BDCH	L	37	3.5

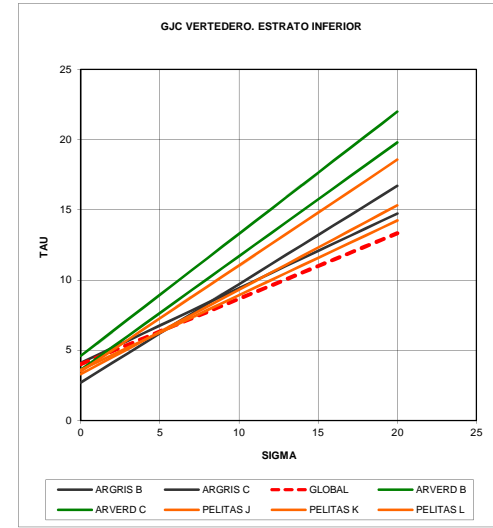
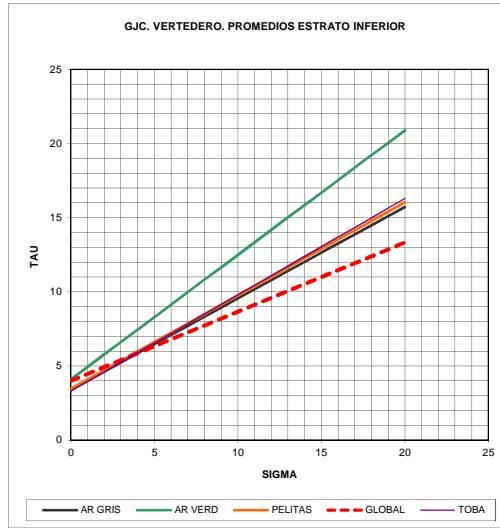
PELITA-ARCILITA VERDOSA MASIVA

TOBA

BP16	33	3.3	ADOPTADO
------	----	-----	----------

TENSIONES	BP16 ARGRIS B	BP02 ARGRIS C	BP16 TOBA	BP16 ARVERD B	BP02 ARVERD C	BP16 PELITAS J	BP16 PELITAS K	BDCH PELITAS L	GLOBAL
0	2.7	4.1	3.30	3.60	4.60	3.60	3.30	3.50	4
1	3.40	4.63	3.95	4.41	5.47	4.13	3.90	4.25	4.47
2	4.10	5.16	4.60	5.22	6.34	4.66	4.50	5.01	4.93
3	4.80	5.70	5.25	6.03	7.21	5.20	5.10	5.76	5.40
4	5.50	6.23	5.90	6.84	8.08	5.73	5.70	6.51	5.87
5	6.20	6.76	6.55	7.65	8.95	6.26	6.30	7.27	6.33
6	6.90	7.29	7.20	8.46	9.82	6.79	6.91	8.02	6.80
7	7.60	7.82	7.85	9.27	10.69	7.32	7.51	8.77	7.26
8	8.30	8.35	8.50	10.08	11.55	7.85	8.11	9.53	7.73
9	9.00	8.89	9.14	10.89	12.42	8.39	8.71	10.28	8.20
10	9.70	9.42	9.79	11.70	13.29	8.92	9.31	11.04	8.66
11	10.40	9.95	10.44	12.51	14.16	9.45	9.91	11.79	9.13
12	11.10	10.48	11.09	13.32	15.03	9.98	10.51	12.54	9.60
13	11.80	11.01	11.74	14.13	15.90	10.51	11.11	13.30	10.06
14	12.50	11.54	12.39	14.94	16.77	11.04	11.71	14.05	10.53
15	13.20	12.08	13.04	15.75	17.64	11.58	12.31	14.80	10.99
16	13.90	12.61	13.69	16.56	18.51	12.11	12.91	15.56	11.46
17	14.60	13.14	14.34	17.37	19.38	12.64	13.51	16.31	11.93
18	15.30	13.67	14.99	18.18	20.25	13.17	14.12	17.06	12.39
19	16.00	14.20	15.64	18.99	21.12	13.70	14.72	17.82	12.86
20	16.70	14.73	16.29	19.80	21.99	14.23	15.32	18.57	13.33

PROMEDIOS	AR GRIS	AR VERD	PELITAS	TOBA	GLOBAL
3.40	4.10	3.47	3.30	4.00	
4.02	4.94	4.10	3.95	4.47	
4.63	5.78	4.72	4.60	4.93	
5.25	6.62	5.35	5.25	5.40	
5.86	7.46	5.98	5.90	5.87	
6.48	8.30	6.61	6.55	6.33	
7.10	9.14	7.24	7.20	6.80	
7.71	9.98	7.87	7.85	7.26	
8.33	10.82	8.50	8.50	7.73	
8.94	11.66	9.13	9.14	8.20	
9.56	12.50	9.75	9.79	8.66	
10.18	13.33	10.38	10.44	9.13	
10.79	14.17	11.01	11.09	9.60	
11.41	15.01	11.64	11.74	10.06	
12.02	15.85	12.27	12.39	10.53	
12.64	16.69	12.90	13.04	10.99	
13.26	17.53	13.53	13.69	11.46	
13.87	18.37	14.15	14.34	11.93	
14.49	19.21	14.78	14.99	12.39	
15.10	20.05	15.41	15.64	12.86	
15.72	20.89	16.04	16.29	13.33	



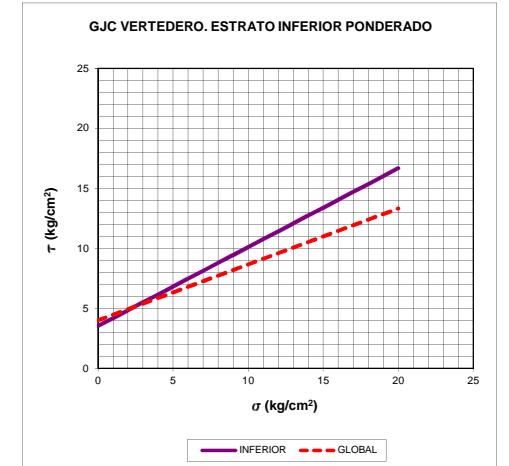
INFERIOR	AREN VER		22	3
	AREN GRIS			3
	TOBACEAS			2
	PELITAS		24	14

**ESTRATO MEDIO**

**PONDERACION**

1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	PROMEDIO
AR VERD	AR VERD	AR VERD	AR GRIS	AR GRIS	AR GRIS	TOBA	TOBA	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS
4.1	4.1	4.1	3.4	3.40	3.40	3.30	3.30	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.53
4.94	4.94	4.94	4.02	4.02	4.02	3.95	3.95	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.19
5.78	5.78	5.78	4.63	4.63	4.63	4.60	4.60	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.85
6.62	6.62	6.62	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.50
7.46	7.46	7.46	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	6.16
8.30	8.30	8.30	6.48	6.48	6.48	6.55	6.55	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.82
9.14	9.14	9.14	7.10	7.10	7.10	7.20	7.20	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.47
9.98	9.98	9.98	7.71	7.71	7.71	7.85	7.85	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	8.13
10.82	10.82	10.82	8.33	8.33	8.33	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.79
11.66	11.66	11.66	8.94	8.94	8.94	9.14	9.14	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.45
12.50	12.50	12.50	9.56	9.56	9.56	9.79	9.79	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	10.10
13.33	13.33	13.33	10.18	10.18	10.18	10.44	10.44	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.76
14.17	14.17	14.17	10.79	10.79	10.79	11.09	11.09	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.42
15.01	15.01	15.01	11.41	11.41	11.41	11.74	11.74	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	12.08
15.85	15.85	15.85	12.02	12.02	12.02	12.39	12.39	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.74
16.69	16.69	16.69	12.64	12.64	12.64	13.04	13.04	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	13.39
17.53	17.53	17.53	13.26	13.26	13.26	13.69	13.69	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	14.05
18.37	18.37	18.37	13.87	13.87	13.87	14.34	14.34	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.71
19.21	19.21	19.21	14.49	14.49	14.49	14.99	14.99	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	15.37
20.05	20.05	20.05	15.10	15.10	15.10	15.64	15.64	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	16.02
20.89	20.89	20.89	15.72	15.72	15.72	16.29	16.29	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.68

TENSIONES	INFERIOR	GLOBAL
0	3.53	4.00
1	4.19	4.47
2	4.84	4.93
3	5.50	5.40
4	6.16	5.87
5	6.82	6.33
6	7.47	6.80
7	8.13	7.26
8	8.79	7.73
9	9.45	8.20
10	10.10	8.66
11	10.76	9.13
12	11.42	9.60
13	12.08	10.06
14	12.74	10.53
15	13.39	10.99
16	14.05	11.46
17	14.71	11.93
18	15.37	12.39
19	16.02	12.86
20	16.68	13.33



PHI	33.33
C	3.53

TENSIONES	INFERIOR
0	3.53
1	4.19
2	4.85
3	5.50
4	6.16
5	6.82
6	7.48
7	8.13
8	8.79
9	9.45
10	10.11
11	10.76
12	11.42
13	12.08
14	12.74
15	13.39
16	14.05
17	14.71
18	15.37
19	16.02
20	16.68

**PARAMETROS DE RESISTENCIA**

ARENISCA GRIS OSCURA

INFERIOR	DEBAJO DE COTA 46		
BP16	B	35	2.7
BP02	C	28	4.1

ARENISCA GRIS OSCURA

**ESTRATO INFERIOR**

ARENISCA ARCILLOSA VERDOSA

BP16	B	39	3.6
BP02	C	41	4.6

ARENISCA ARCILLOSA VERDOSA

PELITA-ARCILITA VERDOSA MASIVA

BP16	J	28	3.6
BP16	K	31	3.3
BDCH	L	37	3.5

PELITA-ARCILITA VERDOSA MASIVA

TOBA

BP16	33	3.3	ADOPTADO
------	----	-----	----------

TENSIONES	BP16 ARGRIS B	BP02 ARGRIS C	BP16 TOBA	BP16 ARVERD B	BP02 ARVERD C	BP16 PELITAS J	BP16 PELITAS K	BDCH PELITAS L	GLOBAL
0	2.7	4.1	3.30	3.60	4.60	3.60	3.30	3.50	4
1	3.40	4.63	3.95	4.41	5.47	4.13	3.90	4.25	4.47
2	4.10	5.16	4.60	5.22	6.34	4.66	4.50	5.01	4.93
3	4.80	5.70	5.25	6.03	7.21	5.20	5.10	5.76	5.40
4	5.50	6.23	5.90	6.84	8.08	5.73	5.70	6.51	5.87
5	6.20	6.76	6.55	7.65	8.95	6.26	6.30	7.27	6.33
6	6.90	7.29	7.20	8.46	9.82	6.79	6.91	8.02	6.80
7	7.60	7.82	7.85	9.27	10.69	7.32	7.51	8.77	7.26
8	8.30	8.35	8.50	10.08	11.55	7.85	8.11	9.53	7.73
9	9.00	8.89	9.14	10.89	12.42	8.39	8.71	10.28	8.20
10	9.70	9.42	9.79	11.70	13.29	8.92	9.31	11.04	8.66
11	10.40	9.95	10.44	12.51	14.16	9.45	9.91	11.79	9.13
12	11.10	10.48	11.09	13.32	15.03	9.98	10.51	12.54	9.60
13	11.80	11.01	11.74	14.13	15.90	10.51	11.11	13.30	10.06
14	12.50	11.54	12.39	14.94	16.77	11.04	11.71	14.05	10.53
15	13.20	12.08	13.04	15.75	17.64	11.58	12.31	14.80	10.99
16	13.90	12.61	13.69	16.56	18.51	12.11	12.91	15.56	11.46
17	14.60	13.14	14.34	17.37	19.38	12.64	13.51	16.31	11.93
18	15.30	13.67	14.99	18.18	20.25	13.17	14.12	17.06	12.39
19	16.00	14.20	15.64	18.99	21.12	13.70	14.72	17.82	12.86
20	16.70	14.73	16.29	19.80	21.99	14.23	15.32	18.57	13.33

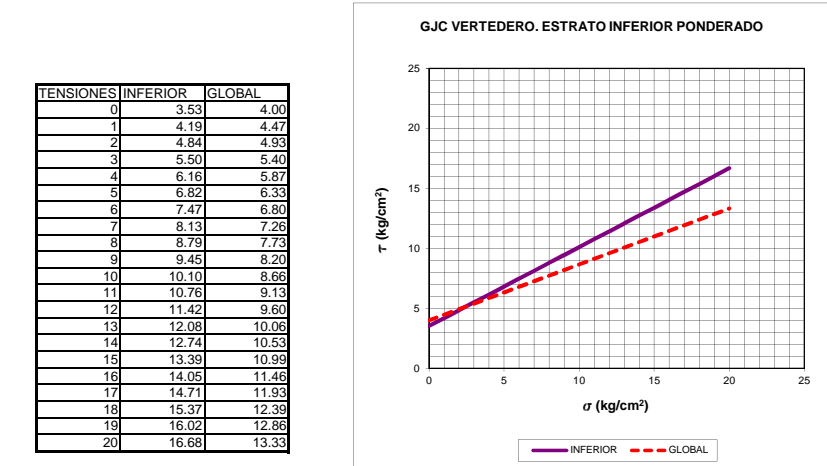
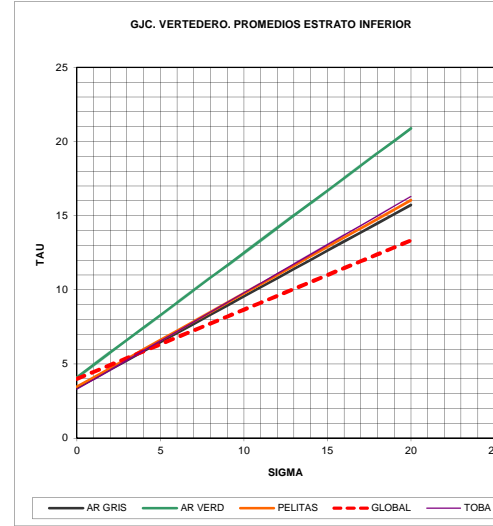
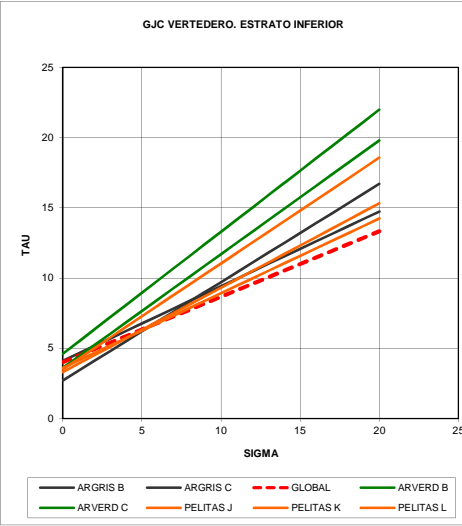
PROMEDIOS	AR GRIS	AR VERD	PELITAS	TOBA	GLOBAL
3.40	4.10	3.47	3.30	4.00	
4.02	4.94	4.10	3.95	4.47	
4.63	5.78	4.72	4.60	4.93	
5.25	6.62	5.35	5.25	5.40	
5.86	7.46	5.98	5.90	5.87	
6.48	8.30	6.61	6.55	6.33	
7.10	9.14	7.24	7.20	6.80	
7.71	9.98	7.87	7.85	7.26	
8.33	10.82	8.50	8.50	7.73	
8.94	11.66	9.13	9.14	8.20	
9.56	12.50	9.75	9.79	8.66	
10.18	13.33	10.38	10.44	9.13	
10.79	14.17	11.01	11.09	9.60	
11.41	15.01	11.64	11.74	10.06	
12.02	15.85	12.27	12.39	10.53	
12.64	16.69	12.90	13.04	10.99	
13.26	17.53	13.53	13.69	11.46	
13.87	18.37	14.15	14.34	11.93	
14.49	19.21	14.78	14.99	12.39	
15.10	20.05	15.41	15.64	12.86	
15.72	20.89	16.04	16.29	13.33	

INFERIOR	AREN VER		22	3
	AREN GRIS			3
	TOBACEAS			2
	PELITAS		24	14

**ESTRATO INFERIOR**

**PONDERACION**

1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	PROMEDIO
AR VERD	AR VERD	AR VERD	AR GRIS	AR GRIS	AR GRIS	TOBA	TOBA	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS
4.1	4.1	4.1	3.4	3.40	3.40	3.30	3.30	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.53
4.94	4.94	4.94	4.02	4.02	4.02	3.95	3.95	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.19
5.78	5.78	5.78	4.63	4.63	4.63	4.60	4.60	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.85
6.62	6.62	6.62	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.50
7.46	7.46	7.46	5.86	5.86	5.86	5.90	5.90	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	6.16
8.30	8.30	8.30	6.48	6.48	6.48	6.55	6.55	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.82
9.14	9.14	9.14	7.10	7.10	7.10	7.20	7.20	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.47
9.98	9.98	9.98	7.71	7.71	7.71	7.85	7.85	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	8.13
10.82	10.82	10.82	8.33	8.33	8.33	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.79
11.66	11.66	11.66	8.94	8.94	8.94	9.14	9.14	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.45
12.50	12.50	12.50	9.56	9.56	9.56	9.79	9.79	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	10.10
13.33	13.33	13.33	10.18	10.18	10.18	10.44	10.44	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.76
14.17	14.17	14.17	10.79	10.79	10.79	11.09	11.09	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.42
15.01	15.01	15.01	11.41	11.41	11.41	11.74	11.74	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	12.08
15.85	15.85	15.85	12.02	12.02	12.02	12.39	12.39	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.74
16.69	16.69	16.69	12.64	12.64	12.64	13.04	13.04	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	13.39
17.53	17.53	17.53	13.26	13.26	13.26	13.69	13.69	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	14.05
18.37	18.37	18.37	13.87	13.87	13.87	14.34	14.34	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.71
19.21	19.21	19.21	14.49	14.49	14.49	14.99	14.99	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	15.37
20.05	20.05	20.05	15.10	15.10	15.10	15.64	15.64	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	16.02
20.89	20.89	20.89	15.72	15.72	15.72	16.29	16.29	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.68



PHI	33.33
C	3.53

TENSIONES	INFERIOR
0	3.53
1	4.19
2	4.85
3	5.50
4	6.16
5	6.82
6	7.48
7	8.13
8	8.79
9	9.45
10	10.11
11	10.76
12	11.42
13	12.08
14	12.74
15	13.39
16	14.05
17	14.71
18	15.37
19	16.02
20	16.68

**PARAMETROS DE RESISTENCIA**

**ESTRATO DEBIL**

TENSIONES	BDCA	BP16	BP02
	A GRIS A	A GRIS B	A GRIS C
0	3.20	2.70	4.10
1	4.24	3.40	4.63
2	5.27	4.10	5.16
3	6.31	4.80	5.70
4	7.34	5.50	6.23
5	8.38	6.20	6.76
6	9.41	6.90	7.29
7	10.45	7.60	7.82
8	11.48	8.30	8.35
9	12.52	9.00	8.89
10	13.56	9.70	9.42
11	14.59	10.40	9.95
12	15.63	11.10	10.48
13	16.66	11.80	11.01
14	17.70	12.50	11.54
15	18.73	13.20	12.08
16	19.77	13.90	12.61
17	20.80	14.60	13.14
18	21.84	15.30	13.67
19	22.88	16.00	14.20
20	23.91	16.70	14.73

PROMEDIOS
AR GRIS
3.33
4.09
4.84
5.60
6.36
7.11
7.87
8.62
9.38
10.14
10.89
11.65
12.40
13.16
13.91
14.67
15.43
16.18
16.94
17.69
18.45

PHI	37.09
C	0

PHI	37.09
C	3.33

**TENSIONES Arenisca Gris Arenisca Gris MINIMO**

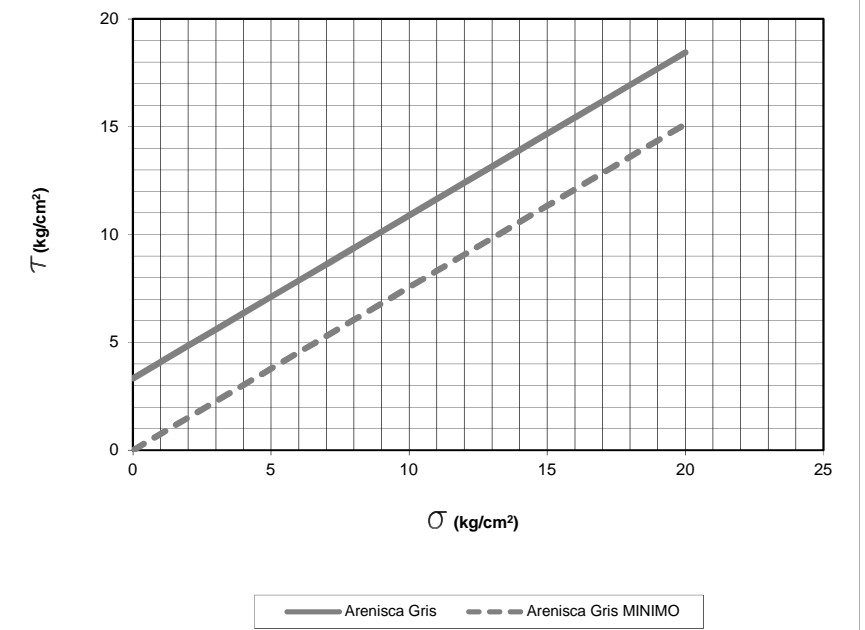
0	3.33	0.00
1	4.09	0.76
2	4.84	1.51
3	5.60	2.27
4	6.36	3.02
5	7.11	3.78
6	7.87	4.54
7	8.62	5.29
8	9.38	6.05
9	10.14	6.80
10	10.89	7.56
11	11.65	8.32
12	12.40	9.07
13	13.16	9.83
14	13.91	10.58
15	14.67	11.34
16	15.43	12.10
17	16.18	12.85
18	16.94	13.61
19	17.69	14.36
20	18.45	15.12

TENSIONES	SUPERIOR
0	3.33
1	4.09
2	4.84
3	5.60
4	6.35
5	7.11
6	7.87
7	8.62
8	9.38
9	10.13
10	10.89
11	11.65
12	12.40
13	13.16
14	13.91
15	14.67
16	15.43
17	16.18
18	16.94
19	17.69
20	18.45

	PHI	C
PONDERADO	37	3.3
MINIMO	37	0

**ESTRATO DÉBIL**

**GJC. PROMEDIOS ESTRATO DEBIL**



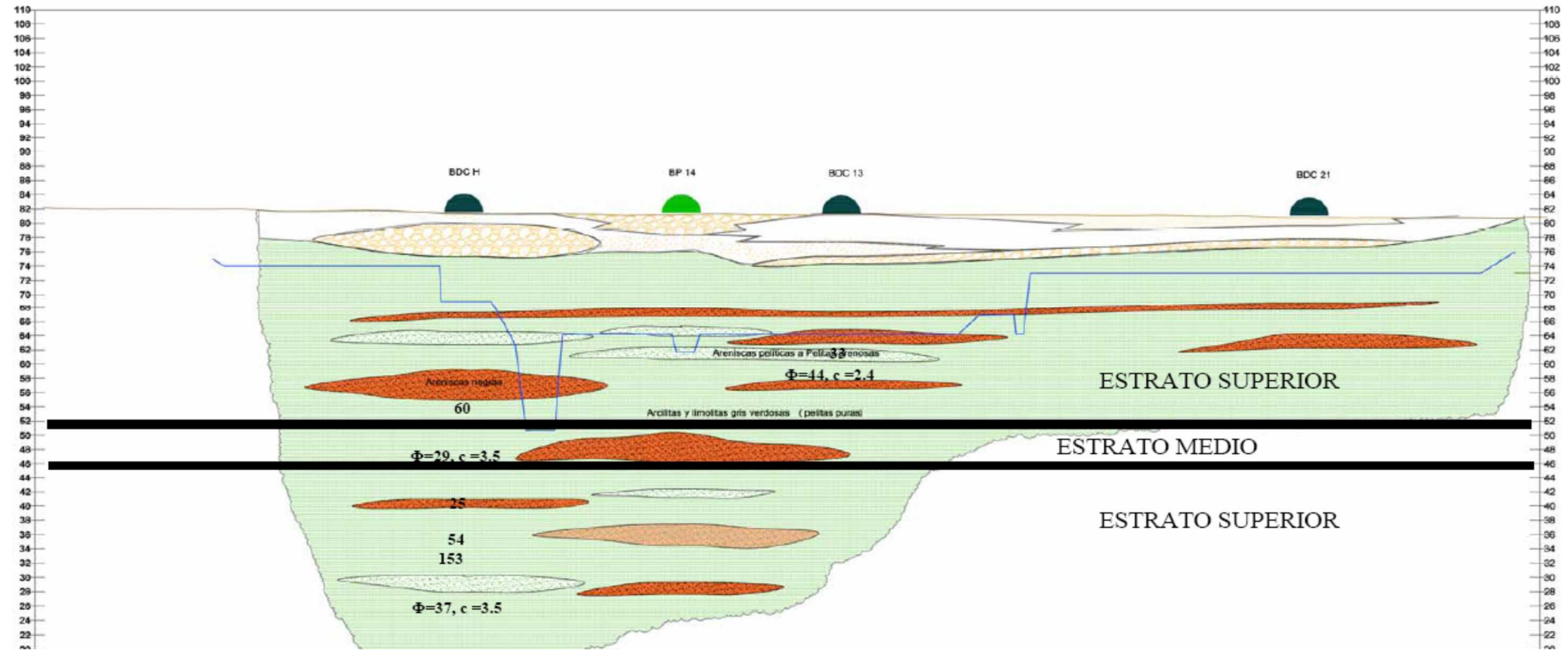
ESTIMACION ESTRATOS

ESTRATO	LITOLOGIA	COTA	ESPESOR	
SUPERFICIE		82		
SEDIMENTOS				
		72	10	
SUPERIOR			20	
	PELITAS			12
	TOBACEAS			1
	AREN VER			2
	AREN GRIS			5
		52		
MEDIO			6	
	AREN GRIS			3
	PELITAS			3
		46		
INFERIOR			22	
	AREN VER			3
	AREN GRIS			3
	TOBACEAS			2
	PELITAS			14
		24		
			48	48

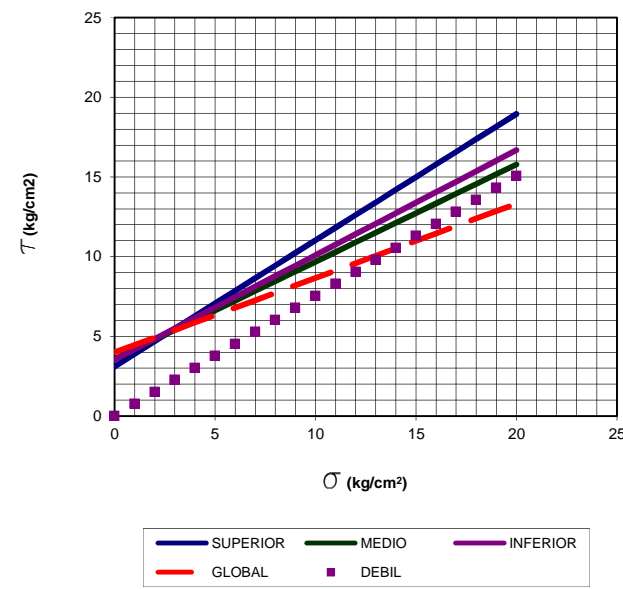
	SUPERIOR	MEDIO	INFERIOR	DEBIL	GLOBAL
PHI [°]	38.4	31.4	33.33	37	25
c [kg/cm2]	3.11	3.58	3.53	0	4

TENSIONES	SUPERIOR	MEDIO	INFERIOR	DEBIL	GLOBAL
0	3.11	3.58	3.53	0.00	4.00
1	3.90	4.19	4.19	0.75	4.47
2	4.70	4.80	4.85	1.51	4.93
3	5.49	5.41	5.50	2.26	5.40
4	6.28	6.02	6.16	3.01	5.87
5	7.07	6.63	6.82	3.77	6.33
6	7.87	7.24	7.48	4.52	6.80
7	8.66	7.85	8.13	5.27	7.26
8	9.45	8.46	8.79	6.03	7.73
9	10.24	9.07	9.45	6.78	8.20
10	11.04	9.68	10.11	7.54	8.66
11	11.83	10.29	10.76	8.29	9.13
12	12.62	10.90	11.42	9.04	9.60
13	13.41	11.52	12.08	9.80	10.06
14	14.21	12.13	12.74	10.55	10.53
15	15.00	12.74	13.39	11.30	10.99
16	15.79	13.35	14.05	12.06	11.46
17	16.58	13.96	14.71	12.81	11.93
18	17.38	14.57	15.37	13.56	12.39
19	18.17	15.18	16.02	14.32	12.86
20	18.96	15.79	16.68	15.07	13.33

PERFIL DD: VERTEDERO



GJC VERTEDERO. ESTRATOS PONDERADOS



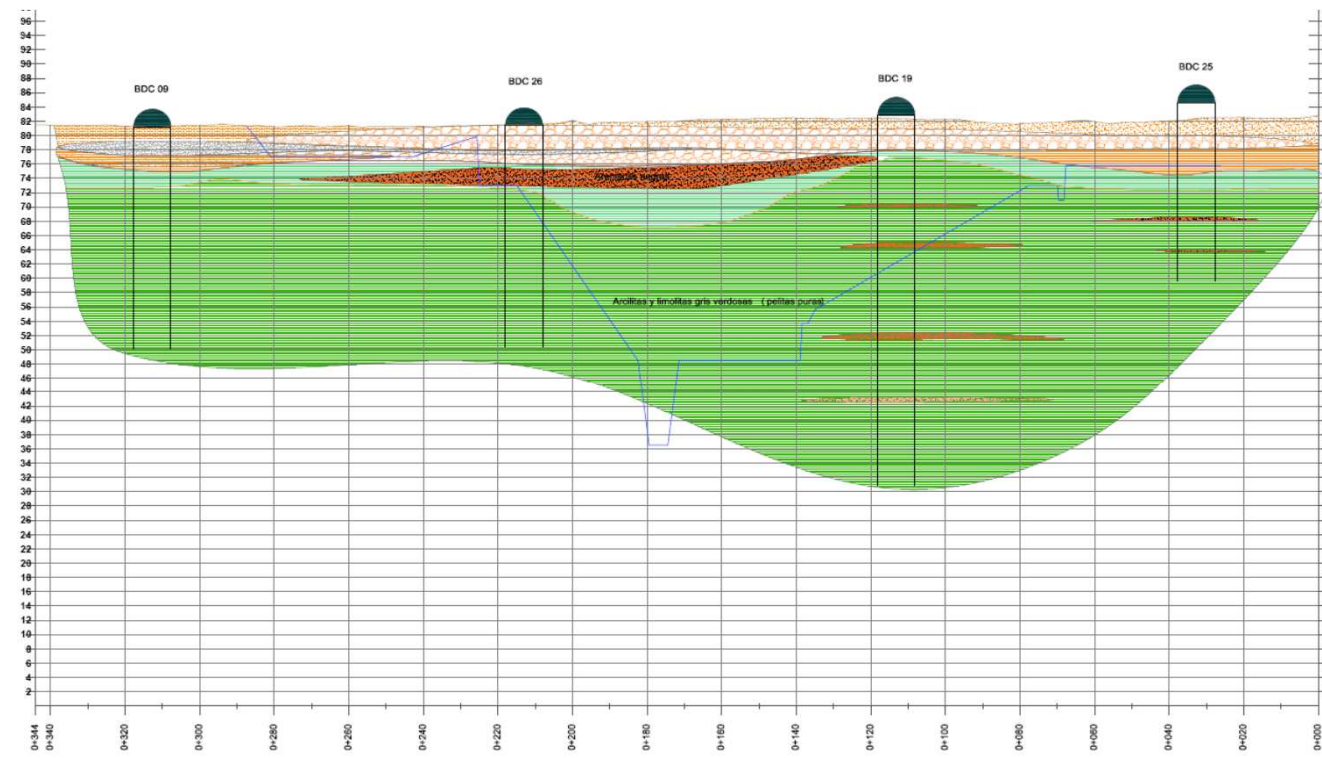
PONDERACIÓN





perfil FF paralelo eje obras

33 Resistencia a compresion simple  
 33.5°c=28.5 Resistencia a compresion triaxial



cota BDC9		BDC26		BP19		BDC19		BDC25		
82										88
80										86
78										84
76										82
74										80
72										78
70										76
68										74
66										72
64										70
62										68
60								38		66
58										64
56										62
54										60
52										58
50										56
48										54
46										52
44										50
42										48
40										46
38										44
36										42
34										40
32										38
30										36
28										34
26										32
24										30
22										28
20										26
18										24

EJE MURO

COMPARACION DE PARAMETROS DE RESISTENCIA

ARENISCA GRIS OSCURA

ARENISCA ARCILLOSA VERDOSA

PELITA-ARCILITA VERDOSA MASIVA

TOBA

SUPERIOR ARRIBA DE COTA 52

BDC13	46	3.2
BP16	35	2.7
BP02	28	4.1

BP02	40	3.7
------	----	-----

A	38	3.8
B	44	4.4
C	38	3.6
D	37	2
E	28	4.5
F	42	2.9
M	44	2.4
GENERICO	25	4

BP02	45	2.3
------	----	-----

MEDIO ENTRE COTA 46 Y 52

ajustados	29	3.2
	29	3.5
	38	3.7

	33	3.3
--	----	-----

INFERIOR DEBAJO DE COTA 46

	35	2.7
	28	4.1

	39	3.6
	41	4.6

	28	3.6
	31	3.3
	37	3.5

ARENISCA GRIS OSCURA

ARENISCA ARCILLOSA VERDOSA

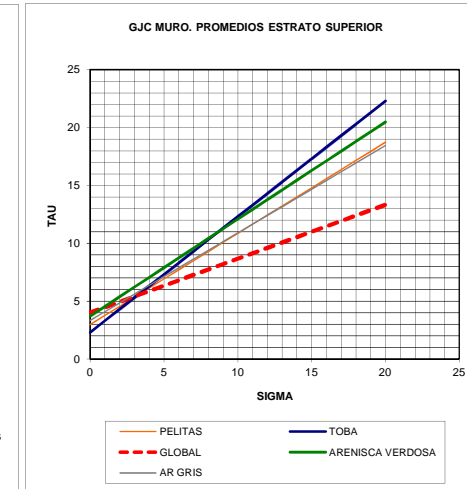
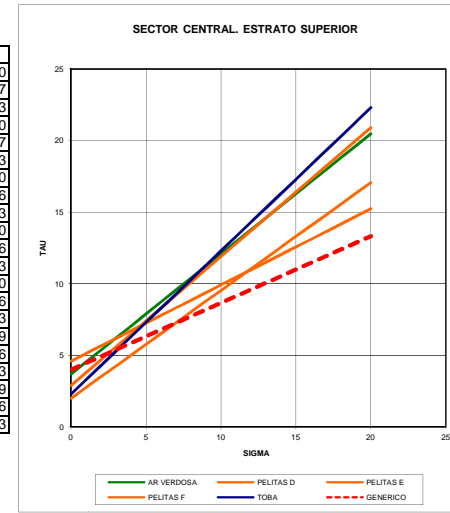
PELITA-ARCILITA VERDOSA MASIVA

TOBA

TENSIONES	BDC13	BP16	BP02	BP02	BP16	BP16	BDC13	BP02	TOBA	GENERICO
0	3.20	2.70	4.10	3.7	2	4.6	2.9	2.40	2.3	4.00
1	4.24	3.40	4.63	4.54	2.75	5.13	3.80	3.37	3.30	4.47
2	5.27	4.10	5.16	5.38	3.51	5.66	4.70	4.33	4.30	4.93
3	6.31	4.80	5.70	6.22	4.26	6.20	5.60	5.30	5.30	5.40
4	7.34	5.50	6.23	7.06	5.01	6.73	6.50	6.26	6.30	5.87
5	8.38	6.20	6.76	7.90	5.77	7.26	7.40	7.23	7.30	6.33
6	9.41	6.90	7.29	8.73	6.52	7.79	8.30	8.19	8.30	6.80
7	10.45	7.60	7.82	9.57	7.27	8.32	9.20	9.16	9.30	7.26
8	11.48	8.30	8.35	10.41	8.03	8.85	10.10	10.13	10.30	7.73
9	12.52	9.00	8.89	11.25	8.78	9.39	11.00	11.09	11.30	8.20
10	13.56	9.70	9.42	12.09	9.54	9.92	11.90	12.06	12.30	8.66
11	14.59	10.40	9.95	12.93	10.29	10.45	12.80	13.02	13.30	9.13
12	15.63	11.10	10.48	13.77	11.04	10.98	13.70	13.99	14.30	9.60
13	16.66	11.80	11.01	14.61	11.80	11.51	14.61	14.95	15.30	10.06
14	17.70	12.50	11.54	15.45	12.55	12.04	15.51	15.92	16.30	10.53
15	18.73	13.20	12.08	16.29	13.30	12.58	16.41	16.89	17.30	10.99
16	19.77	13.90	12.61	17.13	14.06	13.11	17.31	17.85	18.30	11.46
17	20.80	14.60	13.14	17.96	14.81	13.64	18.21	18.82	19.30	11.93
18	21.84	15.30	13.67	18.80	15.56	14.17	19.11	19.78	20.30	12.39
19	22.88	16.00	14.20	19.64	16.32	14.70	20.01	20.75	21.30	12.86
20	23.91	16.70	14.73	20.48	17.07	15.23	20.91	21.71	22.30	13.33

PROMEDIOS

PELITAS	AR GRIS	TOBA	ARENISCA V	GLOBAL
2.98	3.33	2.30	3.7	4.00
3.76	4.09	3.30	4.54	4.47
4.55	4.84	4.30	5.38	4.93
5.34	5.60	5.30	6.22	5.40
6.13	6.36	6.30	7.06	5.87
6.91	7.11	7.30	7.90	6.33
7.70	7.87	8.30	8.73	6.80
8.49	8.62	9.30	9.57	7.26
9.28	9.38	10.30	10.41	7.73
10.07	10.14	11.30	11.25	8.20
10.85	10.89	12.30	12.09	8.66
11.64	11.65	13.30	12.93	9.13
12.43	12.40	14.30	13.77	9.60
13.22	13.16	15.30	14.61	10.06
14.00	13.91	16.30	15.45	10.53
14.79	14.67	17.30	16.29	10.99
15.58	15.43	18.30	17.13	11.46
16.37	16.18	19.30	17.96	11.93
17.16	16.94	20.30	18.80	12.39
17.94	17.69	21.30	19.64	12.86
18.73	18.45	22.30	20.48	13.33



TENSIONES

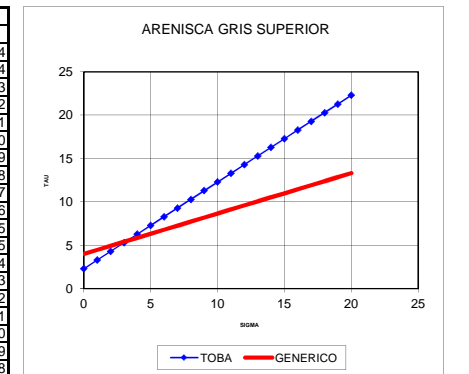
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20

SUPERIOR

PELITAS	18
TOBACEAS	1
AREN VER	1
AREN GRIS	4

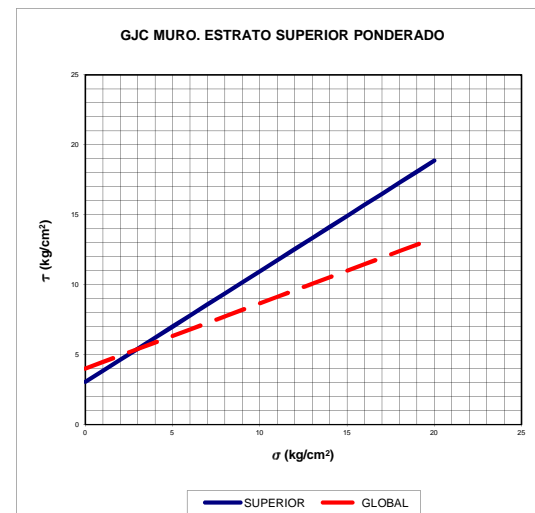
PROMEDIO PONDERADO

1	2	3	4	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	1	PROMEDIO
AR GRIS	AR GRIS	AR GRIS	AR GRIS	ARENISCA V	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	TOBA		
3.33	3.33	3.33	3.33	3.7	3.17	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.30	3.04
4.09	4.09	4.09	4.09	4.54	3.90	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.30	3.84
4.84	4.84	4.84	4.84	5.38	4.62	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.30	4.63
5.60	5.60	5.60	5.60	6.22	5.35	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.30	5.42
6.36	6.36	6.36	6.36	7.06	6.08	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.30	6.21
7.11	7.11	7.11	7.11	7.90	6.81	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91	7.30	7.00
7.87	7.87	7.87	7.87	8.73	7.54	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	8.30	7.79
8.62	8.62	8.62	8.62	9.57	8.27	8.49	8.49	8.49	8.49	8.49	8.49	8.49	8.49	8.49	8.49	8.49	8.49	8.49	8.49	8.49	8.49	8.49	9.30	8.58
9.38	9.38	9.38	9.38	10.41	9.00	9.28	9.28	9.28	9.28	9.28	9.28	9.28	9.28	9.28	9.28	9.28	9.28	9.28	9.28	9.28	9.28	9.28	10.30	9.37
10.14	10.14	10.14	10.14	11.25	9.72	10.07	10.07	10.07	10.07	10.07	10.07	10.07	10.07	10.07	10.07	10.07	10.07	10.07	10.07	10.07	10.07	10.07	11.30	10.16
10.89	10.89	10.89	10.89	12.09	10.45	10.85	10.85	10.85	10.85	10.85	10.85	10.85	10.85	10.85	10.85	10.85	10.85	10.85	10.85	10.85	10.85	10.85	12.30	10.95
11.65	11.65	11.65	11.65	12.93	11.18	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	13.30	11.75
12.40	12.40	12.40	12.40	13.77	11.91	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	14.30	12.54
13.16	13.16	13.16	13.16	14.61	12.64	13.22	13.22	13.22	13.22	13.22	13.22	13.22	13.22	13.22	13.22	13.22	13.22	13.22	13.22	13.22	13.22	13.22	15.30	13.33
13.91	13.91	13.91	13.91	15.45	13.37	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	16.30	14.12
14.67	14.67	14.67	14.67	16.29	14.10	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	17.30	14.91
15.43	15.43	15.43	15.43	17.13	14.82	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	15.58	18.30	15.70
16.18	16.18	16.18	16.18	17.96	15.55	16.37	16.37	16.37	16.37	16.37	16.37	16.37	16.37	16.37	16.37	16.37	16.37	16.37	16.37	16.37	16.37	16.37	19.30	16.49
16.94	16.94	16.94	16.94	18.80	16.28	17.16	17.16	17.16	17.16	17.16	17.16	17.16	17.16	17.16	17.16	17.16	17.16	17.16	17.16	17.16	17.16	17.16	20.30	17.28
17.69	17.69	17.69	17.69	19.64	17.01	17.94	17.94	17.94	17.94	17.94	17.94	17.94	17.94	17.94	17.94	17.94	17.94	17.94	17.94	17.94	17.94	17.94	21.30	18.07
18.45	18.45	18.45	18.45	20.48	17.74	18.73	18.73	18.73	18.73	18.73	18.73	18.73	18.73	18.73	18.73	18.73	18.73	18.73	18.73	18.73	18.73	18.73	22.30	18.86



TENSIONES SUPERIOR GLOBAL

0	3.04	4.00
1	3.84	4.47
2	4.63	4.93
3	5.42	5.40
4	6.21	5.87
5	7.00	6.33
6	7.79	6.80
7	8.58	7.26
8	9.37	7.73
9	10.16	8.20
10	10.95	8.66
11	11.75	9.13
12	12.54	9.60
13	13.33	10.06
14	14.12	10.53
15	14.91	10.99
16	15.70	11.46
17	16.49	11.93
18	17.28	12.39
19	18.07	12.86
20	18.86	13.33



ESTRATO SUPERIOR

COMPARACION DE PARAMETROS DE RESISTENCIA

ARENISCA GRIS OSCURA

ARENISCA ARCILLOSA VERDOSA

PELITA-ARCILITA VERDOSA MASIVA

TOBA

SUPERIOR ARRIBA DE COTA 52

42	7
----	---

34	4.6
----	-----

A	38	3.8
B	44	4.4
C	38	3.6

38	3.6
----	-----

D	28	2.7
E	24	6.5
F	35	4

GENERICO 25 4

BP16	33	3.3
------	----	-----

MEDIO ENTRE COTA 46 Y 52

BP16	B	35	2.7	ADOPTADO
BP02	C	28	4.1	

BP02	G	29	3.2
BDCH	H	29	3.5
BDC15	I	38	3.7

INFERIOR DEBAJO DE COTA 46

35	2.7
28	4.1

39	3.6
41	4.6

J	28	3.6
K	31	3.3
L	37	3.5

ESTRATO MEDIO

ARENISCA GRIS OSCURA

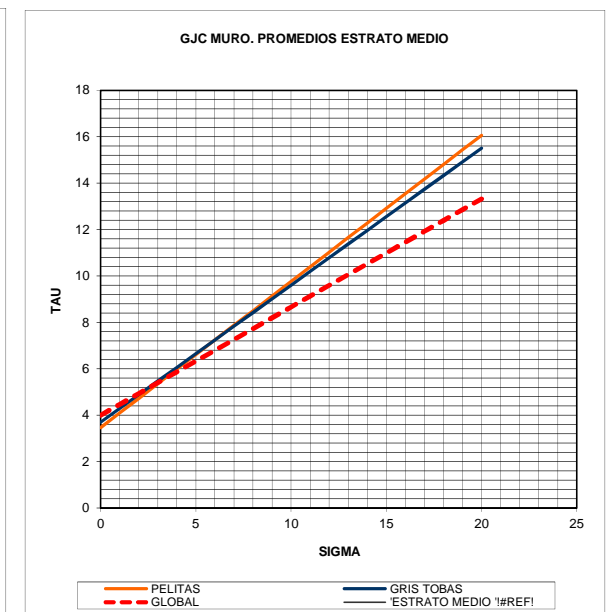
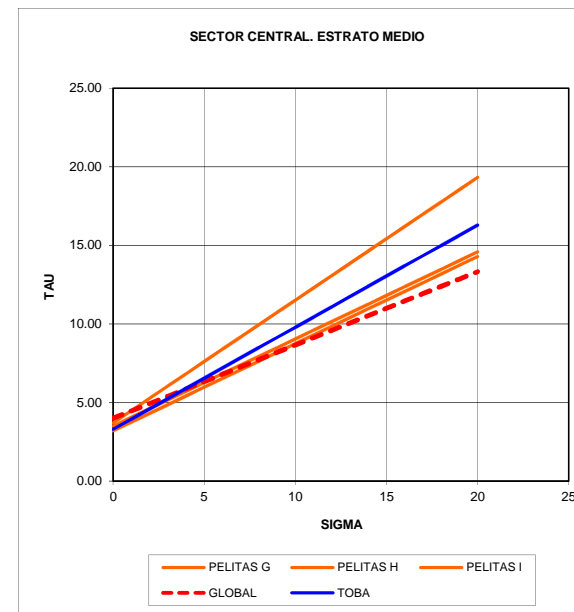
ARENISCA ARCILLOSA VERDOSA

PELITA-ARCILITA VERDOSA MASIVA

BP16		BP02	
TENSIONES	ARGRIS B	ARGRIS C	
0	2.70	4.10	
1	3.40	4.63	
2	4.10	5.16	
3	4.80	5.70	
4	5.50	6.23	
5	6.20	6.76	
6	6.90	7.29	
7	7.60	7.82	
8	8.30	8.35	
9	9.00	8.89	
10	9.70	9.42	
11	10.40	9.95	
12	11.10	10.48	
13	11.80	11.01	
14	12.50	11.54	
15	13.20	12.08	
16	13.90	12.61	
17	14.60	13.14	
18	15.30	13.67	
19	16.00	14.20	
20	16.70	14.73	

BP02		BDCH		BDC15		BP16		BP02		BP16		GLOBAL	
TENSIONES	PELITAS G	PELITAS H	PELITAS I	ARGRIS B	ARGRIS C	TOBA							
0	3.20	3.50	3.70	2.70	4.10	3.3							4
1	3.75	4.05	4.48	3.40	4.63	3.95							4.47
2	4.31	4.61	5.26	4.10	5.16	4.60							4.93
3	4.86	5.16	6.04	4.80	5.70	5.25							5.40
4	5.42	5.72	6.83	5.50	6.23	5.90							5.87
5	5.97	6.27	7.61	6.20	6.76	6.55							6.33
6	6.53	6.83	8.39	6.90	7.29	7.20							6.80
7	7.08	7.38	9.17	7.60	7.82	7.85							7.26
8	7.63	7.93	9.95	8.30	8.35	8.50							7.73
9	8.19	8.49	10.73	9.00	8.89	9.14							8.20
10	8.74	9.04	11.51	9.70	9.42	9.79							8.66
11	9.30	9.60	12.29	10.40	9.95	10.44							9.13
12	9.85	10.15	13.08	11.10	10.48	11.09							9.60
13	10.41	10.71	13.86	11.80	11.01	11.74							10.06
14	10.96	11.26	14.64	12.50	11.54	12.39							10.53
15	11.51	11.81	15.42	13.20	12.08	13.04							10.99
16	12.07	12.37	16.20	13.90	12.61	13.69							11.46
17	12.62	12.92	16.98	14.60	13.14	14.34							11.93
18	13.18	13.48	17.76	15.30	13.67	14.99							12.39
19	13.73	14.03	18.54	16.00	14.20	15.64							12.86
20	14.29	14.59	19.33	16.70	14.73	16.29							13.33

PROMEDIOS		
PELITAS	GRIS TOBAS	GLOBAL
3.47	3.70	4.00
4.10	4.29	4.47
4.73	4.88	4.93
5.36	5.47	5.40
5.99	6.06	5.87
6.62	6.65	6.33
7.25	7.24	6.80
7.88	7.83	7.26
8.51	8.42	7.73
9.14	9.02	8.20
9.77	9.61	8.66
10.40	10.20	9.13
11.03	10.79	9.60
11.66	11.38	10.06
12.29	11.97	10.53
12.92	12.56	10.99
13.55	13.15	11.46
14.18	13.74	11.93
14.81	14.33	12.39
15.44	14.92	12.86
16.07	15.51	13.33

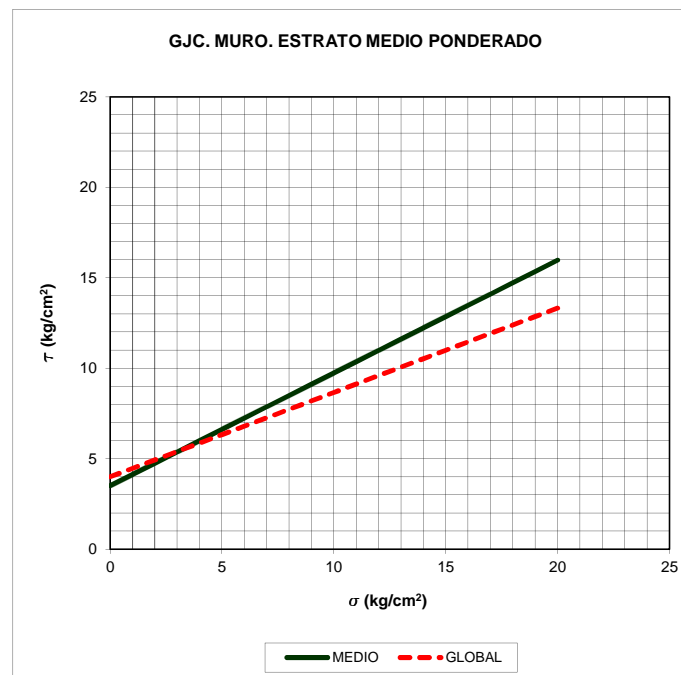


MEDIO			6
	AREN TOB		1
	PELITAS		5
		46	

PONDERACION POR ESTRATO

1		1		2		3		4		5		PROMEDIO	
AR GRIS TOB	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS
3.70	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.51
4.29	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.13
4.88	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.75
5.47	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36	5.36	5.38
6.06	5.99	5.99	5.99	5.99	5.99	5.99	5.99	5.99	5.99	5.99	5.99	5.99	6.00
6.65	6.62	6.62	6.62	6.62	6.62	6.62	6.62	6.62	6.62	6.62	6.62	6.62	6.62
7.24	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25
7.83	7.88	7.88	7.88	7.88	7.88	7.88	7.88	7.88	7.88	7.88	7.88	7.88	7.87
8.42	8.51	8.51	8.51	8.51	8.51	8.51	8.51	8.51	8.51	8.51	8.51	8.51	8.49
9.02	9.14	9.14	9.14	9.14	9.14	9.14	9.14	9.14	9.14	9.14	9.14	9.14	9.12
9.61	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.74
10.20	10.40	10.40	10.40	10.40	10.40	10.40	10.40	10.40	10.40	10.40	10.40	10.40	10.36
10.79	11.03	11.03	11.03	11.03	11.03	11.03	11.03	11.03	11.03	11.03	11.03	11.03	10.99
11.38	11.66	11.66	11.66	11.66	11.66	11.66	11.66	11.66	11.66	11.66	11.66	11.66	11.61
11.97	12.29	12.29	12.29	12.29	12.29	12.29	12.29	12.29	12.29	12.29	12.29	12.29	12.23
12.56	12.92	12.92	12.92	12.92	12.92	12.92	12.92	12.92	12.92	12.92	12.92	12.92	12.86
13.15	13.55	13.55	13.55	13.55	13.55	13.55	13.55	13.55	13.55	13.55	13.55	13.55	13.48
13.74	14.18	14.18	14.18	14.18	14.18	14.18	14.18	14.18	14.18	14.18	14.18	14.18	14.10
14.33	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81	14.81	14.73
14.92	15.44	15.44	15.44	15.44	15.44	15.44	15.44	15.44	15.44	15.44	15.44	15.44	15.35
15.51	16.07	16.07	16.07	16.07	16.07	16.07	16.07	16.07	16.07	16.07	16.07	16.07	15.97

TENSIONES	MEDIO	GLOBAL
0	3.51	4.00
1	4.13	4.47
2	4.75	4.93
3	5.38	5.40
4	6.00	5.87
5	6.62	6.33
6	7.25	6.80
7	7.87	7.26
8	8.49	7.73
9	9.12	8.20
10	9.74	8.66
11	10.36	9.13
12	10.99	9.60
13	11.61	10.06
14	12.23	10.53
15	12.86	10.99
16	13.48	11.46
17	14.10	11.93
18	14.73	12.39
19	15.35	12.86
20	15.97	13.33



PHI	31.93
C	3.51

TENSIONES	MEDIO
0	3.51
1	4.13
2	4.76
3	5.38
4	6.00
5	6.63
6	7.25
7	7.87
8	8.50
9	9.12
10	9.74
11	10.36
12	10.99
13	11.61
14	12.23
15	12.86
16	13.48
17	14.10
18	14.73
19	15.35
20	15.97

COMPARACION DE PARAMETROS DE RESISTENCIA

ARENISCA GRIS OSCURA

ARENISCA ARCILLOSA VERDOSA

PELITA-ARCILITA VERDOSA MASIVA

TOBA

SUPERIOR ARRIBA DE COTA 52

A	42	7
---	----	---

A	34	4.6
---	----	-----

A	38	3.8
B	44	4.4
C	38	3.6

	38	3.6
--	----	-----

MEDIO ENTRE COTA 46 Y 52

D	28	2.7
E	24	6.5
F	35	4

GENERICICO 25 4

	33	3.3
--	----	-----

ESTRATO INFERIOR

INFERIOR DEBAJO DE COTA 46

BP16	B	35	2.7
BP02	C	28	4.1

BP16	B	39	3.6
BP02	C	41	4.6

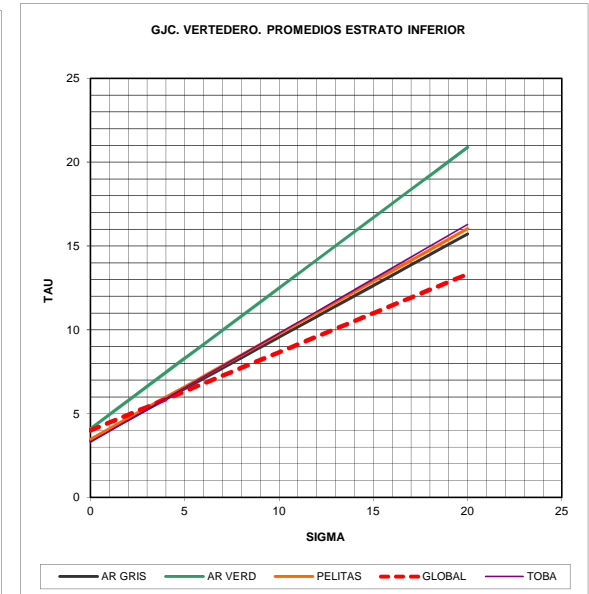
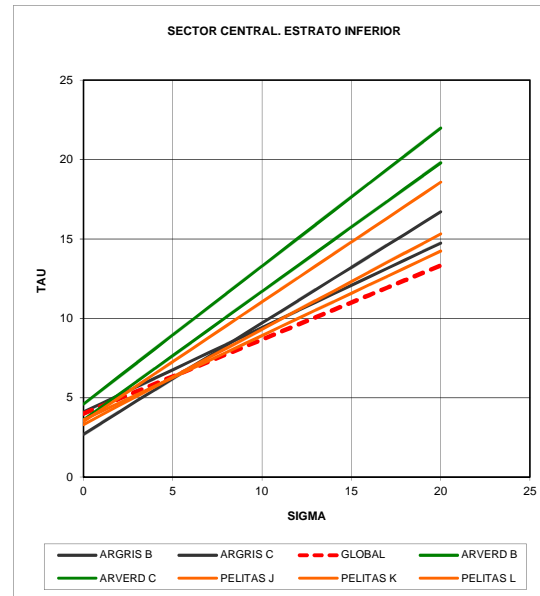
BP16	J	28	3.6
BP16	K	31	3.3
BDCH	L	37	3.5

TOBA

BP16	33	3.3	ADOPTADO
------	----	-----	----------

TENSIONES	BP16	BP02	BP16	BP16	BP02	BP16	BP16	BDCH	GLOBAL
	ARGRIS B	ARGRIS C	TOBA	ARVERD B	ARVERD C	PELITAS J	PELITAS K	PELITAS L	
0	2.7	4.1	3.30	3.60	4.60	3.60	3.30	3.50	4
1	3.40	4.63	3.95	4.41	5.47	4.13	3.90	4.25	4.47
2	4.10	5.16	4.60	5.22	6.34	4.66	4.50	5.01	4.93
3	4.80	5.70	5.25	6.03	7.21	5.20	5.10	5.76	5.40
4	5.50	6.23	5.90	6.84	8.08	5.73	5.70	6.51	5.87
5	6.20	6.76	6.55	7.65	8.95	6.26	6.30	7.27	6.33
6	6.90	7.29	7.20	8.46	9.82	6.79	6.91	8.02	6.80
7	7.60	7.82	7.85	9.27	10.69	7.32	7.51	8.77	7.26
8	8.30	8.35	8.50	10.08	11.55	7.85	8.11	9.53	7.73
9	9.00	8.89	9.14	10.89	12.42	8.39	8.71	10.28	8.20
10	9.70	9.42	9.79	11.70	13.29	8.92	9.31	11.04	8.66
11	10.40	9.95	10.44	12.51	14.16	9.45	9.91	11.79	9.13
12	11.10	10.48	11.09	13.32	15.03	9.98	10.51	12.54	9.60
13	11.80	11.01	11.74	14.13	15.90	10.51	11.11	13.30	10.06
14	12.50	11.54	12.39	14.94	16.77	11.04	11.71	14.05	10.53
15	13.20	12.08	13.04	15.75	17.64	11.58	12.31	14.80	10.99
16	13.90	12.61	13.69	16.56	18.51	12.11	12.91	15.56	11.46
17	14.60	13.14	14.34	17.37	19.38	12.64	13.51	16.31	11.93
18	15.30	13.67	14.99	18.18	20.25	13.17	14.12	17.06	12.39
19	16.00	14.20	15.64	18.99	21.12	13.70	14.72	17.82	12.86
20	16.70	14.73	16.29	19.80	21.99	14.23	15.32	18.57	13.33

PROMEDIOS	AR GRIS	AR VERD	PELITAS	TOBA	GLOBAL
3.40	4.10	3.47	3.30	4.00	
4.02	4.94	4.10	3.95	4.47	
4.63	5.78	4.72	4.60	4.93	
5.25	6.62	5.35	5.25	5.40	
5.86	7.46	5.98	5.90	5.87	
6.48	8.30	6.61	6.55	6.33	
7.10	9.14	7.24	7.20	6.80	
7.71	9.98	7.87	7.85	7.26	
8.33	10.82	8.50	8.50	7.73	
8.94	11.66	9.13	9.14	8.20	
9.56	12.50	9.75	9.79	8.66	
10.18	13.33	10.38	10.44	9.13	
10.79	14.17	11.01	11.09	9.60	
11.41	15.01	11.64	11.74	10.06	
12.02	15.85	12.27	12.39	10.53	
12.64	16.69	12.90	13.04	10.99	
13.26	17.53	13.53	13.69	11.46	
13.87	18.37	14.15	14.34	11.93	
14.49	19.21	14.78	14.99	12.39	
15.10	20.05	15.41	15.64	12.86	
15.72	20.89	16.04	16.29	13.33	

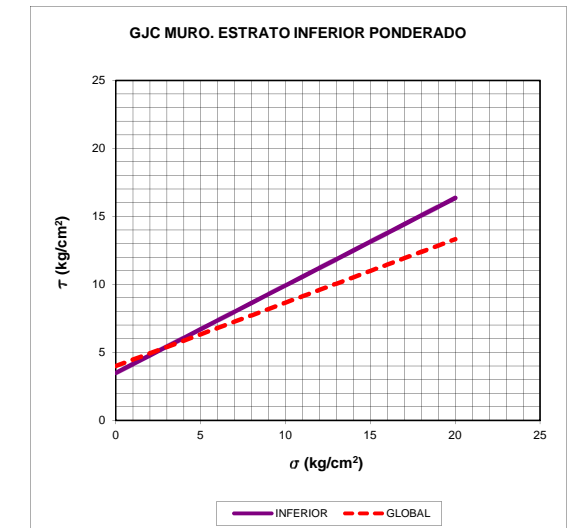


INFERIOR	AREN VER	TOBACEAS	PELITAS	GLOBAL
			30	16
	1	1		
				14

PONDERACION

AR VERD	TOBA	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PELITAS	PROMEDIO
4.1	3.30	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	#DIV/0!
4.94	3.95	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	#DIV/0!
5.78	4.60	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	#DIV/0!
6.62	5.25	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	#DIV/0!
7.46	5.90	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	#DIV/0!
8.30	6.55	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	6.61	#DIV/0!
9.14	7.20	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	#DIV/0!
9.98	7.85	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87	#DIV/0!
10.82	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	#DIV/0!
11.66	9.14	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	9.13	#DIV/0!
12.50	9.79	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	#DIV/0!
13.33	10.44	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	#DIV/0!
14.17	11.09	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	11.01	#DIV/0!
15.01	11.74	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64	#DIV/0!
15.85	12.39	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	12.27	#DIV/0!
16.69	13.04	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	#DIV/0!
17.53	13.69	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	13.53	#DIV/0!
18.37	14.34	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	#DIV/0!
19.21	14.99	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78	#DIV/0!
20.05	15.64	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	15.41	#DIV/0!
20.89	16.29	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	#DIV/0!

TENSIONES	INFERIOR	GLOBAL
0	3.50	4.00
1	4.14	4.47
2	4.78	4.93
3	5.43	5.40
4	6.07	5.87
5	6.71	6.33
6	7.35	6.80
7	8.00	7.26
8	8.64	7.73
9	9.28	8.20
10	9.93	8.66
11	10.57	9.13
12	11.21	9.60
13	11.86	10.06
14	12.50	10.53
15	13.14	10.99
16	13.79	11.46
17	14.43	11.93
18	15.07	12.39
19	15.72	12.86
20	16.36	13.33



PHI	32.75
C	3.5

TENSIONES	INFERIOR
0	3.5
1	4.14
2	4.78
3	5.43
4	6.07
5	6.72
6	7.36
7	8.00
8	8.65
9	9.29
10	9.93
11	10.58
12	11.22
13	11.86
14	12.51
15	13.15
16	13.79
17	14.43
18	15.08
19	15.72
20	16.36

COMPARACION DE PARAMETROS DE RESISTENCIA

ARENISCA GRIS OSCURA

SUPERIOR ARRIBA DE COTA 52

BDCA	46	3.2
BP16	35	2.7
BP02	28	4.1

MEDIO ENTRE COTA 46 Y 52

ARENISCA ARCILLOSA VERDOSA

BP02	40	3.7
------	----	-----

PELITA-ARCILITA VERDOSA MASIVA

A	38	3.8
B	44	4.4
C	38	3.6

TOBA

BP02	45	2.3
------	----	-----

ajustados

	29	3.2
	29	3.5
	37	3.5

	33	3.3
--	----	-----

ARENISCA GRIS OSCURA

ARENISCA ARCILLOSA VERDOSA

PELITA-ARCILITA VERDOSA MASIVA

TOBA

TENSIONES	BDCA	BP16	BP02	BP02	BP02	BP16	BP16	BDC13	BP02	GENERICO
	A GRIS A	A GRIS B	A GRIS C	AR VERDOS	PELITAS D	PELITAS E	PELITAS F	PELITAS M	TOBA	
0	3.20	2.70	4.10	3.7	2	4.6	2.9	2.40	2.3	4.00
1	4.24	3.40	4.63	4.54	2.75	5.13	3.80	3.37	3.30	4.47
2	5.27	4.10	5.16	5.38	3.51	5.66	4.70	4.33	4.30	4.93
3	6.31	4.80	5.70	6.22	4.26	6.20	5.60	5.30	5.30	5.40
4	7.34	5.50	6.23	7.06	5.01	6.73	6.50	6.26	6.30	5.87
5	8.38	6.20	6.76	7.90	5.77	7.26	7.40	7.23	7.30	6.33
6	9.41	6.90	7.29	8.73	6.52	7.79	8.30	8.19	8.30	6.80
7	10.45	7.60	7.82	9.57	7.27	8.32	9.20	9.16	9.30	7.26
8	11.48	8.30	8.35	10.41	8.03	8.85	10.10	10.13	10.30	7.73
9	12.52	9.00	8.89	11.25	8.78	9.39	11.00	11.09	11.30	8.20
10	13.56	9.70	9.42	12.09	9.54	9.92	11.90	12.06	12.30	8.66
11	14.59	10.40	9.95	12.93	10.29	10.45	12.80	13.02	13.30	9.13
12	15.63	11.10	10.48	13.77	11.04	10.98	13.70	13.99	14.30	9.60
13	16.66	11.80	11.01	14.61	11.80	11.51	14.61	14.95	15.30	10.06
14	17.70	12.50	11.54	15.45	12.55	12.04	15.51	15.92	16.30	10.53
15	18.73	13.20	12.08	16.29	13.30	12.58	16.41	16.89	17.30	10.99
16	19.77	13.90	12.61	17.13	14.06	13.11	17.31	17.85	18.30	11.46
17	20.80	14.60	13.14	17.96	14.81	13.64	18.21	18.82	19.30	11.93
18	21.84	15.30	13.67	18.80	15.56	14.17	19.11	19.78	20.30	12.39
19	22.88	16.00	14.20	19.64	16.32	14.70	20.01	20.75	21.30	12.86
20	23.91	16.70	14.73	20.48	17.07	15.23	20.91	21.71	22.30	13.33

PROMEDIOS

PELITAS	AR GRIS	TOBA	ARENISCA V	GLOBAL
2.98	3.33	2.30	3.7	4.00
3.76	4.09	3.30	4.54	4.47
4.55	4.84	4.30	5.38	4.93
5.34	5.60	5.30	6.22	5.40
6.13	6.36	6.30	7.06	5.87
6.91	7.11	7.30	7.90	6.33
7.70	7.87	8.30	8.73	6.80
8.49	8.62	9.30	9.57	7.26
9.28	9.38	10.30	10.41	7.73
10.07	10.14	11.30	11.25	8.20
10.85	10.89	12.30	12.09	8.66
11.64	11.65	13.30	12.93	9.13
12.43	12.40	14.30	13.77	9.60
13.22	13.16	15.30	14.61	10.06
14.00	13.91	16.30	15.45	10.53
14.79	14.67	17.30	16.29	10.99
15.58	15.43	18.30	17.13	11.46
16.37	16.18	19.30	17.96	11.93
17.16	16.94	20.30	18.80	12.39
17.94	17.69	21.30	19.64	12.86
18.73	18.45	22.30	20.48	13.33

TENSIONES	GENERICO
0	4
1	4.46630766
2	4.93261532
3	5.39892297
4	5.86523063
5	6.33153829
6	6.79784595
7	7.26415361
8	7.73046127
9	8.19676892
10	8.66307658
11	9.12938424
12	9.5956919
13	10.0619996
14	10.5283072
15	10.9946149
16	11.4609225
17	11.9272302
18	12.3935378
19	12.8598455
20	13.3261532

PHI	37.09	PHI	37.09
C	0	C	3.33

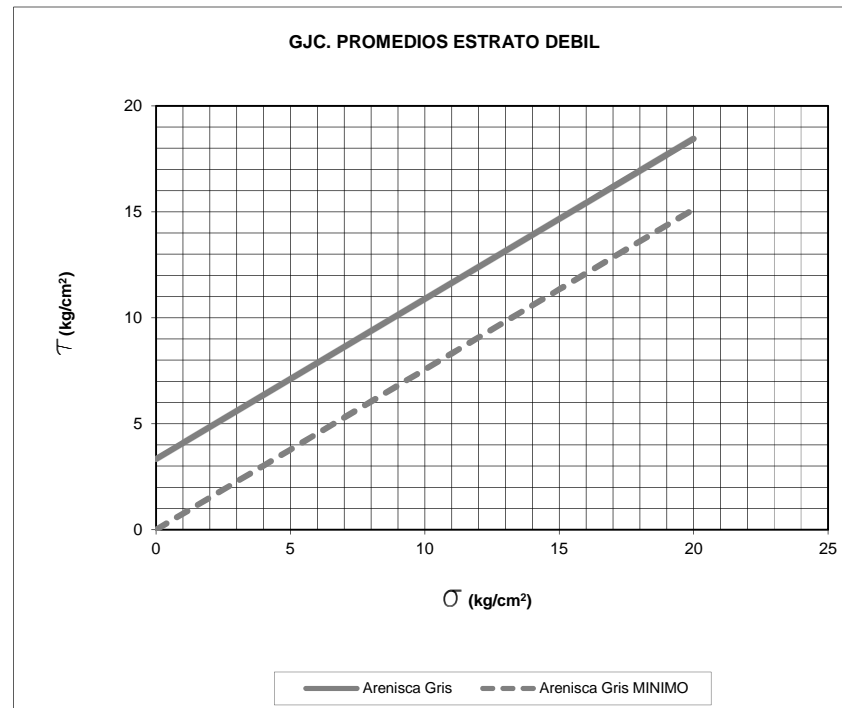
TENSIONES Arenisca Gris Arenisca Gris MINIMO

TENSIONES	ARENISCA GRIS	ARENISCA GRIS MINIMO
0	3.33	0.00
1	4.09	0.76
2	4.84	1.51
3	5.60	2.27
4	6.36	3.02
5	7.11	3.78
6	7.87	4.54
7	8.62	5.29
8	9.38	6.05
9	10.14	6.80
10	10.89	7.56
11	11.65	8.32
12	12.40	9.07
13	13.16	9.83
14	13.91	10.58
15	14.67	11.34
16	15.43	12.10
17	16.18	12.85
18	16.94	13.61
19	17.69	14.36
20	18.45	15.12

TENSIONES SUPERIOR

TENSIONES	SUPERIOR
0	3.33
1	4.09
2	4.84
3	5.60
4	6.35
5	7.11
6	7.87
7	8.62
8	9.38
9	10.13
10	10.89
11	11.65
12	12.40
13	13.16
14	13.91
15	14.67
16	15.43
17	16.18
18	16.94
19	17.69
20	18.45

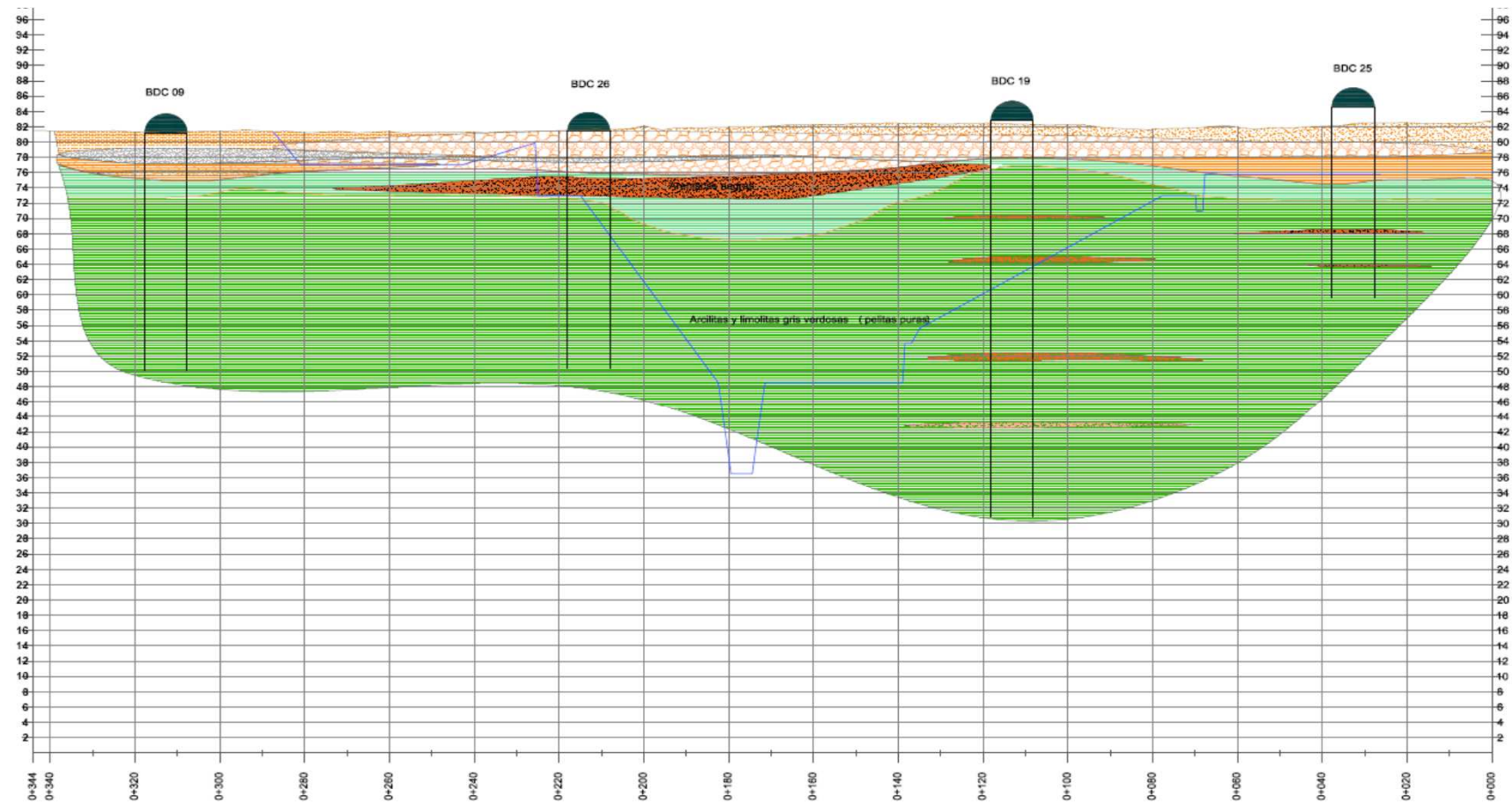
	PHI	C
PONDERADO	37	3.3
MINIMO	37	0



**ESTRATO DÉBIL**

ESTIMACION ESTRATOS

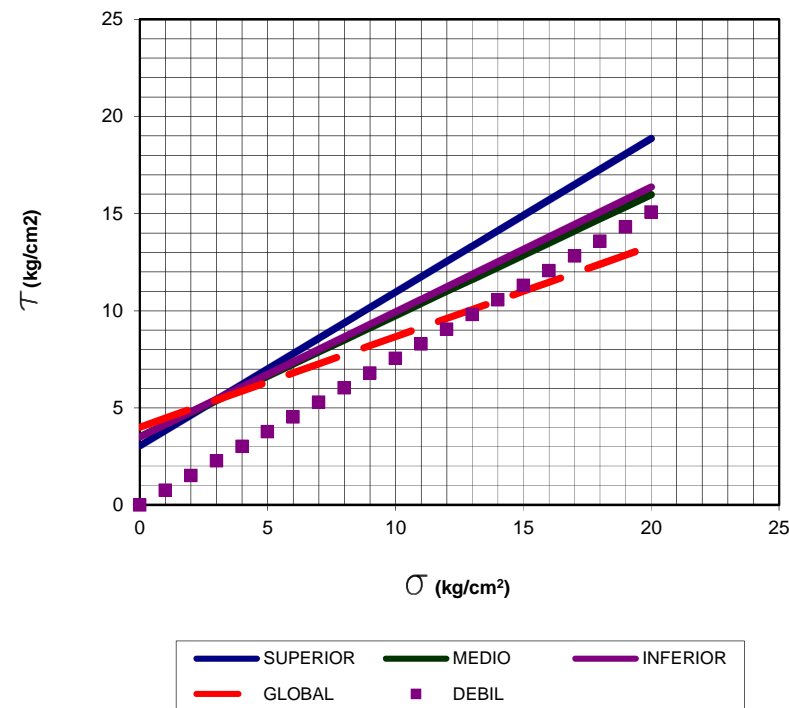
ESTRATO	LITOLOGIA	COTA	ESPESOR	
SUPERFICIE		82		
SEDIMENTOS				
		76	6	
SUPERIOR			24	
	PELITAS			18
	TOBACEAS			1
	AREN VER			1
	AREN GRIS			4
		52		
MEDIO			6	
	AREN TOB			1
	PELITAS			5
		46		
INFERIOR			16	
	AREN VER			1
	TOBACEAS			1
	PELITAS			14
		30		
			46	46



	SUPERIOR	MEDIO	INFERIOR	DEBIL	GLOBAL
PHI [°]	38.35	31.93	32.75	37	25
c [kg/cm <sup>2</sup> ]	3.04	3.51	3.5	0	4

TENSIONES	SUPERIOR	MEDIO	INFERIOR	DEBIL	GLOBAL
0	3.04	3.51	3.50	0.00	4.00
1	3.83	4.13	4.14	0.75	4.47
2	4.62	4.76	4.79	1.51	4.93
3	5.41	5.38	5.43	2.26	5.40
4	6.20	6.00	6.07	3.01	5.87
5	7.00	6.63	6.72	3.77	6.33
6	7.79	7.25	7.36	4.52	6.80
7	8.58	7.87	8.00	5.27	7.26
8	9.37	8.50	8.65	6.03	7.73
9	10.16	9.12	9.29	6.78	8.20
10	10.95	9.74	9.93	7.54	8.66
11	11.74	10.36	10.58	8.29	9.13
12	12.53	10.99	11.22	9.04	9.60
13	13.33	11.61	11.86	9.80	10.06
14	14.12	12.23	12.51	10.55	10.53
15	14.91	12.86	13.15	11.30	10.99
16	15.70	13.48	13.79	12.06	11.46
17	16.49	14.10	14.43	12.81	11.93
18	17.28	14.73	15.08	13.56	12.39
19	18.07	15.35	15.72	14.32	12.86
20	18.86	15.97	16.36	15.07	13.33

GJC MURO. ESTRATOS PONDERADOS



PONDERACIÓN