

# INFORME TÉCNICO

## Inspección de Seguridad 2020 (DSI.2020)

### Compañía Minera TECK – Carmen de Andacollo (TECK-CdA)



Preparado por:

WOOD, Environment & Infrastructure Solutions (E&IS)

Environment & Infrastructure

Av. Apoquindo 3846, Piso 15

Las Condes, Santiago, Chile

Tel: 56 2 2957 7700

[www.woodplc.com](http://www.woodplc.com)

27 de abril de 2020

**Compañía Minera TECK- Carmen de Andacollo**  
**INGENIERO DE REGISTRO - DEPÓSITO DE RELAVES**  
**PROYECTO N° E40165**

**INFORME TÉCNICO**  
**N° E40165-840-R-TR-027**  
**PARA**  
**INSPECCIÓN DE SEGURIDAD 2020 (DSI.2020) – DEPÓSITO DE RELAVES**

Preparado por:

**WOOD, Environment & Infrastructure Solutions (E&IS)**

Aprobado por:

Jefe de Proyecto	<u>Marco Barrientos</u>	(MB)
Ingeniero de Registro	<u>Luis González</u>	(LG)
Cliente	<u>Juan Carlos Gómez</u>	(JCG)

Rev.	Autor	Emitido para	Fecha	Rev. por	Fecha Aprob.
A	LA	Revisión Interna	11/03/2020	LG	
B	LA	Para el Cliente	30/03/2020	LG / JP / SV	
0	LA	Para Aplicación	27/04/2020	LG / JP	

--	--	--	--	--	--

## Contenido

---

<b>0.0</b>	<b>RESUMEN EJECUTIVO / EXECUTIVE SUMMARY ...</b>	<b>10</b>
<b>1.0</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>22</b>
1.1.	Propósito, alcance del trabajo y metodología.....	22
1.2.	Abreviaturas.....	23
1.3.	Regulaciones aplicables al depósito de relaves.....	24
1.4.	Permisos.....	25
1.5.	Descripción de las Instalaciones.....	26
<b>2.0</b>	<b>CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN 2019.....</b>	<b>28</b>
2.1.	Depositación de Relaves.....	28
2.2.	Capacidad de Almacenamiento Remanente.....	29
2.3.	Construcción y Operación Durante el Período.....	31
2.3.1.	Operación de Agua y Relaves.....	31
2.3.2.	Construcción de Muros.....	31
2.3.3.	Construcción de Sistema de recuperación de Agua desde Laguna....	32
2.4.	Planta y Secciones Transversales Actualizadas.....	33
2.5.	Revisión de Datos y Registros.....	43
2.5.1.	Inspecciones diarias.....	43
2.5.2.	Inspecciones semanales.....	44
2.5.3.	Inspecciones mensuales.....	44
2.5.4.	Inspecciones trimestrales.....	45
2.5.5.	Inspecciones anuales.....	45
2.5.6.	Inspecciones quinquenales.....	45
2.5.7.	En tiempo real.....	45
2.5.8.	Extraordinarias.....	46
<b>3.0</b>	<b>DATOS CLIMÁTICOS Y BALANCE DE AGUAS 2019 .</b>	<b>48</b>
3.1.	Resumen anual de datos climáticos y tendencia.....	48
3.2.	Almacenamiento de la CMP.....	51
3.3.	Volumen de agua descargada (superficial y subterránea).....	56
<b>4.0</b>	<b>RESUMEN INSTRUMENTACIÓN 2019.....</b>	<b>67</b>
4.1.	Piezómetros de cuerda vibrante.....	67
4.1.1.	Etapas de construcción (EPCM) y Comisionamiento.....	67
4.1.2.	Etapas de operación.....	67
4.1.3.	Ubicación de los piezómetros.....	67
4.2.	Instrumentación Complementaria : Campaña de Sondajes.....	68
4.2.1.	Resumen Ejecutivo de la Campaña de Sondajes.....	68
4.2.2.	Instrumentación asociada a la campaña de Sondajes.....	69
4.2.3.	Piezómetros Casagrande.....	70
4.2.4.	Piezómetros de Fibra Óptica.....	71
4.3.	Lecturas Instrumentales 2019.....	82
4.3.1.	Lecturas Piezómetros MN.....	82
4.3.2.	Lecturas Piezómetros MNO.....	84
4.3.3.	Lecturas Piezómetros de Fibra Óptica.....	89
4.3.4.	Lecturas Piezómetros Casagrande.....	92
4.3.5.	Lecturas Piezómetros MO.....	95
4.3.6.	Lecturas Piezómetros MO(S) (revisar salto).....	97
4.3.7.	Conclusión Piezometría.....	99

4.4.	Deformaciones.....	99
4.4.1.	Asentamientos .....	99
4.4.2.	Desplazamiento Vectorial .....	114
<b>5.0</b>	<b>ESTABILIDAD .....</b>	<b>115</b>
<b>6.0</b>	<b>CALIDAD DE AGUA DESCARGADA.....</b>	<b>116</b>
<b>7.0</b>	<b>OBSERVACIONES DEL SITIO.....</b>	<b>117</b>
7.1.	Participantes .....	117
7.2.	Programación.....	117
7.3.	Inspección .....	119
7.3.1.	Extensión de Playas .....	119
7.3.2.	Agrietamiento de la Zona de Transición .....	119
7.3.3.	Filtraciones .....	120
7.3.4.	Muro Norte (MN) – Aguas Arriba .....	120
7.3.5.	Muro Norte (MN) / Aguas Abajo.....	121
7.3.6.	Muro Nororiente (MNO) – Aguas Arriba .....	121
7.3.7.	Muro Nororiente (MNO) – Aguas Abajo.....	121
7.3.8.	Botadero Sur (BS) .....	121
7.3.9.	Muro MO – Aguas Arriba. ....	122
7.3.10.	Muro MO – Aguas Abajo.....	122
7.3.11.	Muro MO(S), Aguas Arriba .....	122
7.3.12.	Muro MO(S), Coronamiento .....	122
7.3.13.	Muro MO(S), Aguas Abajo.....	123
7.3.14.	Muro MS / Aguas Arriba y Estribo Poniente.....	123
7.3.15.	Trincheras – Sistema de recuperación de Aguas Claras.....	123
7.3.16.	Muro Poniente - Fundación. ....	123
7.3.17.	Instrumentación y Monitoreo .....	123
7.3.18.	Niveles de agua.....	123
<b>8.0</b>	<b>EVALUACIÓN DE SEGURIDAD DE LA PRESA.....</b>	<b>125</b>
8.1.	Criterios de Diseño Clave .....	125
8.2.	Modos de Falla .....	126
8.3.	Peligros – Medidas de Diseño/Control .....	130
8.3.1.	Estabilidad física.....	130
8.3.2.	Manejo de Agua Producto de Eventos Extremos.....	135
8.3.3.	Manual de Operación .....	136
8.3.4.	Revisión de la clasificación de la presa .....	137
8.4.	Comportamiento físico .....	137
8.4.1.	Geotécnico .....	137
8.4.2.	Hidráulico.....	138
8.5.	Comportamiento operacional .....	141
8.5.1.	Procedimientos operacionales .....	141
8.5.2.	Incidentes y confiabilidad .....	141
8.5.3.	Mantenimiento .....	148
8.6.	Revisión del Manual de Operaciones .....	148
8.7.	Revisión del Plan de Preparación y Respuesta ante Emergencia.....	149
8.8.	Revisión de Seguridad (DSR) .....	149
8.9.	Actualización de Distancia Peligrosa .....	153
<b>9.0</b>	<b>RESUMEN Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>155</b>
9.1.	Resumen de actividades de construcción durante la visita.....	155
9.2.	Resumen de desempeño.....	155

9.3.	Resumen de cambios en la instalación o condiciones aguas arriba o aguas abajo .....	155
9.4.	Clasificación de consecuencias según CDA (ref. Teck) .....	156
9.5.	Estatus Recomendaciones DSI 2019 .....	157
9.6.	Recomendaciones DSI 2020.....	158
9.6.1.	Longitud de Playas.....	158
9.6.2.	Agrietamientos en la Zona de Transición .....	158
9.6.3.	Filtraciones .....	158
9.6.4.	MN – Aguas Arriba .....	158
9.6.5.	MN – Aguas Abajo .....	159
9.6.6.	MNO – Aguas Arriba.....	159
9.6.7.	MNO – Aguas Abajo .....	160
9.6.8.	BS .....	160
9.6.9.	MO – Aguas Arriba.....	160
9.6.10.	MO – Aguas Abajo .....	160
9.6.11.	MO(S) – Aguas Arriba .....	160
9.6.12.	MO(S) – Aguas Abajo.....	161
9.6.13.	MS – Aguas arriba y Estribo.....	161
9.6.14.	Trincheras.....	161
9.6.15.	MP – Fundaciones. ....	161
9.6.16.	Monitoreo y control.....	161
<b>10.0</b>	<b>DSI 2021 .....</b>	<b>162</b>
<b>11.0</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>163</b>

**Tablas**

Tabla 0-1:	Resumen de Recomendaciones DSI 2020.....	21
Tabla 0-2:	DSI 2020 Recommendations Summary. ....	21
Tabla 1-1:	Documentos de Referencia.....	23
Tabla 1-2:	Nomenclatura y Abreviaturas.....	23
Tabla 1-3:	Gestión de Permisos al 31 de diciembre de 2019 (ref. manual OMS_R4_ Wood). ...	25
Tabla 2-1:	Depositación real versus programada (abr. 2019 – dic. 2019, 275 días corridos).....	28
Tabla 2-2:	Revancha / Tiempo de Operación Remanente, 31 de diciembre de 2019.....	30
Tabla 2-3:	Resumen Relleno Masivo.....	31
Tabla 2-4:	Resumen Corte y Retiro.....	32
Tabla 2-5:	Resumen Relleno de Transición.....	32
Tabla 3-1:	Comparación del volumen disponible del embalse de relaves vs volumen de crecida (ref. presentación Manejo de Crecidas, GRB 2019, Wood).....	51
Tabla 4-1:	Piezómetros de cuerda vibrante instalados .....	68
Tabla 4-2:	Piezómetros .....	70
Tabla 4-3:	Estimación de asentamiento inducido por terremoto 19E, 2019) (ref., Wood). ....	108
Tabla 7-1:	Programación DSI 2020.....	118
Tabla 8-1:	Estatus Criterios de Diseño Clave durante el periodo (ref. manual OMS_R4 AmecFW). ....	125
Tabla 8-2:	Chequeo del Estatus de los Tipos de Falla durante el período 2019 (ref. HAZOP 2017 AmecFW).....	127
Tabla 8-3:	Parámetros de los terremotos MC y Op para el sitio del depósito de relaves Teck CdA (ref. S y S, 2016). ....	132
Tabla 8-4:	Parámetros de los sismos relevantes (ref. USCG y sismógrafo SAG).....	133

Tabla 8-5: Relación de aceleraciones horizontales máximas en el sitio para sismos relevantes vs sismos interplaca de diseño. .... 133

Tabla 8-6: Recomendaciones DSR (1 de 3) (ref. Doc. 5071-0000-RE-INF-001\_R2, ACL). .... 150

Tabla 8-7: Recomendaciones DSR (2 de 3) (ref. Doc. 5071-0000-RE-INF-001\_R2, ACL). .... 151

Tabla 8-8: Recomendaciones DSR (3 de 3) (ref. Doc. 5071-0000-RE-INF-001\_R2, ACL). .... 152

**Figuras**

Figura 2-1: Depositación real versus programada, por descarga (abr. 2019 – dic. 2019, 275 días corridos). .... 28

Figura 2-2: Depositación real versus programada, total por sector (abr. 2019 – dic. 2019, 275 días corridos). .... 29

Figura 2-3: Planta Depósito de Relaves, al 31 de diciembre de 2019 (ref. GA 2019.Q4, Wood). .... 34

Figura 2-4: Sección A - A: Muro Norte (MN), al 31 de diciembre de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q4, Wood). .... 35

Figura 2-5: Sección B - B: Muro Nor Oriente (MNO), al 31 de diciembre de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q4, Wood). .... 36

Figura 2-6: Sección C - C: Botadero Sur (BS), al 31 de diciembre de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q4, Wood). .... 37

Figura 2-7: Sección D - D: Muro Oriente (MO), al 31 de diciembre de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q4, Wood). .... 38

Figura 2-8: Sección E - E: Muro Oriente(Sur) (MO(S)), al 31 de diciembre de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q4, Wood). .... 39

Figura 2-9: Sección F - F: Muro de Cierre (MC), al 31 de diciembre de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q4, Wood). .... 40

Figura 2-10: Sección G - G: Muro Sur (MS), al 31 de diciembre de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q4, Wood). .... 41

Figura 2-11: Sección H - H: Muro Poniente (MP), al 31 de diciembre de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q4, Wood). .... 42

Figura 2-12: Ficha de Inspección Extraordinaria (ref. manual OMS\_R4, Wood). .... 47

Figura 3-1: Esquema Principales Flujos (ref. balance operacional de faena para el Embalse de Relaves, Wood). .... 48

Figura 3-2: Balance Operacional Depósito de Relaves Teck CdA, al 31 de diciembre de 2019 (Histórico 1 de 2) (ref. balance operacional de faena para el Embalse de Relaves, Wood). .... 49

Figura 3-3: Balance Operacional Depósito de Relaves Teck CdA, al 31 de diciembre de 2019 (Histórico 2 de 2) (ref. balance operacional de faena para el Embalse de Relaves, Wood). .... 50

Figura 3-4: Almacenamiento del VMP<sub>3d</sub> y tormentas 24 h, T<sub>50</sub> y T<sub>200</sub> para una Laguna de Agua Claras de 650.000 m<sup>3</sup>, Etapa 4 (ref. presentación Manejo de Crecidas, GRB 2019, Wood). .... 52

Figura 3-5: Almacenamiento del VMP<sub>3d</sub> y tormentas 24 h, T<sub>50</sub> y T<sub>200</sub> para una Laguna de Agua Claras de 650.000 m<sup>3</sup>, Etapa 5 (ref. presentación Manejo de Crecidas, GRB 2019, Wood). .... 53

Figura 3-6: Almacenamiento del VMP<sub>3d</sub> y tormentas 24 h, T<sub>50</sub> y T<sub>200</sub> para una Laguna de Agua Claras de 650.000 m<sup>3</sup>, Etapa 6 (ref. presentación Manejo de Crecidas, GRB 2019, Wood). .... 54

Figura 3-7: Descargas adicionales para alejar Laguna VMP (ref. presentación Manejo de Crecidas, GRB 2019, Wood). .... 55

Figura 3-8: Almacenamiento del VMP<sub>3d</sub>, para una Laguna de Agua Claras de 650.000 m<sup>3</sup> para las etapas E4, E5 y E6 (ref. presentación Manejo de Crecidas, GRB 2019, Wood). .... 56

Figura 3-9: Caudal del Sistema de Drenajes MNO, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). .... 59

Figura 3-10: Caudal de Afloramientos al pie del talud de camino minero, aguas abajo del MNO, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). .... 60

Figura 3-11: Caudal de Afloramientos aguas abajo del MNO, AFL - Poza, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 61

Figura 3-12: Caudal Total sector El Churque, Drenajes (Weir) + Filtraciones (Seep), al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 62

Figura 3-13: Posición Relativa Descargas MN, respecto Sector AFL-Poza, situación con Embalse (ref. Google Earth, Wood). ..... 63

Figura 3-14: Posición Relativa Descargas MN, respecto Sector AFL-Poza, situación sin Embalse (ref. Google Earth, Wood). ..... 64

Figura 3-15: Normalización afloramientos sector “El Churque”: Planta General y Detalles. .... 65

Figura 3-16: Normalización afloramientos sector “El Churque”: Perímetro de Protección Instrumentación. .... 66

Figura 4-1: A) PVC lisos y ranurados; B) Grava; C) Terminación del Pozo ..... 71

Figura 4-2: Plano E40165-840-R-PL-168.000 Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros Cuerda Vibrante MN Planta (2020.03.31). ..... 72

Figura 4-3: Plano E40165-840-R-PL-168.001 Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros Cuerda Vibrante MN, Perfiles (2020.03.31). ..... 73

Figura 4-4: Plano E40165-840-R-PL-169.000 Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros Cuerda Vibrante MNO Planta (2020.03.31). ..... 74

Figura 4-5: Plano E40165-840-R-PL-169.001 Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros MNO Cuerda Vibrante Perfiles (2020.03.31). ..... 75

Figura 4-6: Plano E40165-840-R-PL-170.000 Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros Cuerda Vibrante MO Planta (2020.03.31). ..... 76

Figura 4-7: Plano E40165-840-R-PL-170.000 Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros Cuerda Vibrante MO Perfiles (2020.03.31). ..... 77

Figura 4-8: Plano E40165-840-R-PL-171 Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros Cuerda Vibrante MO(S) Planta y Perfiles (2020.03.31). ..... 78

Figura 4-9: Plano E40165-840-R-PL-056\_R2 As Built: Sondajes Sónicos e Instalaciones Piezómetros MNO y BS, 2018.06.22. .... 79

Figura 4-10: Detalle Habilitación Piezómetros Casagrande (por WSP, elevaciones de Plataforma según Figura 4-9). ..... 80

Figura 4-11: Detalle Habilitación Piezómetros Fibra Óptica (por Wood, elevaciones de Plataforma según Figura 4-9). ..... 81

Figura 4-12: Grafico Piezométrico MN – histórico, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 82

Figura 4-13: Grafico Piezométrico MN, sin El. Laguna – histórico, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 83

Figura 4-14: Grafico Piezométrico MN, PE - 015 – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 83

Figura 4-15: Grafico Piezométrico MN, PE - 016 – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 84

Figura 4-16: Grafico Piezométrico MNO – histórico, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 85

Figura 4-17: Grafico Piezométrico MNO, sin El. Laguna – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 85

Figura 4-18: Grafico Piezométrico MNO, PE - 003 – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 86

Figura 4-19: Grafico Piezométrico MNO, PE - 004 – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 86

Figura 4-20: Grafico Piezométrico MNO, PE - 005 – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 87

Figura 4-21: Grafico Piezométrico MNO, PE - 006 – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 87

Figura 4-22: Grafico Piezométrico MNO, PE - 019 – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 88

Figura 4-23: Grafico Piezométrico MNO, PE - 020 – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 88

Figura 4-24: Grafico Piezométrico instrumentos de fibra óptica MNO / BS – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 90

Figura 4-25: Grafico Piezométrico instrumentos de fibra óptica MNO / BS, sin laguna – histórico, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 90

Figura 4-26: Grafico Piezométrico MNO, DH4 (4100) y DH4 (4200) – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 91

Figura 4-27: Grafico Piezométrico BS, DH6 (6100) y DH6 (6200) – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 91

Figura 4-28: Grafico Piezométrico BS, DH8 (8100) y DH8 (8200) – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 92

Figura 4-29: Hidrograma Piezómetro Casagrande DH-03 MNO, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo permanente, WSP). ..... 93

Figura 4-30: Hidrograma Piezómetro Casagrande DH-03 MNO (detalle), al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo permanente, WSP). ..... 93

Figura 4-31: Hidrograma Piezómetro Casagrande DH-07 BS, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo permanente, WSP). ..... 94

Figura 4-32: Hidrograma Piezómetro Casagrande DH-07 BS (detalle), al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo permanente, WSP). ..... 94

Figura 4-33: Grafico Piezométrico MO – histórico, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 95

Figura 4-34: Gráfico Piezométrico MO, sin El. Laguna – histórico, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 96

Figura 4-35: Grafico Piezométrico MO, PE - 009 – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 96

Figura 4-36: Grafico Piezométrico MO, PE – 009A – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 97

Figura 4-37: Grafico Piezométrico MO, PE – 010 – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 97

Figura 4-38: Grafico Piezométrico MO(S) – histórico, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 98

Figura 4-39: Grafico Piezométrico MO(S), sin El. Laguna – histórico, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 98

Figura 4-40: Monolitos para control de Asentamientos – Etapa 3 (ref. Wood) ..... 100

Figura 4-41: Tipos de Asentamiento Estático (ref. presentación Análisis de asentamientos muros y botadero 2018, AmecFW)..... 101

Figura 4-42: Asentamiento Total (ref. actualización gráfico hasta marzo de 2019, Wood)..... 102

Figura 4-43: Asentamiento por Etapa (ref. actualización grafico asentamientos, Wood)..... 103

Figura 4-44: Perfil MN; MNO; BS; MO (ref. Wood)..... 105

Figura 4-45: Perfil MO(S) (15 mo) (ref. Wood)..... 106

Figura 4-46: Perfil MS (15 mo) (ref. Wood)..... 107

Figura 4-47: Asentamiento Prismas MN (8 mo), PI. E3 (ref. TAPD2017, Teck CdA). ..... 111

Figura 4-48: Asentamiento Prismas MNO (8 mo), PI. E3 (ref. TAPD2017, Teck CdA). ..... 112

Figura 4-49: Asentamiento Prismas BS (8 mo), PI. E3 (ref. TAPD2017, Teck CdA). ..... 112

Figura 4-50: Asentamiento Prismas MO (8 mo), PI. E3 (ref. TAPD2017, Teck CdA). ..... 113

Figura 4-51: Asentamiento Prismas MO(S) (6mo), PI. E3 (ref. TAPD2017, Teck CdA). ..... 113

Figura 7-1: Elevación de la laguna de aguas claras (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). ..... 124

Figura 8-1: Registro sismo 16S.2015 (ref. Acelerógrafo SAG, Teck CdA) ..... 134

Figura 8-2: Registro sismo 19E.2019 (ref. Acelerógrafo SAG, Teck CdA) ..... 134

Figura 8-3: Registro sismo 19E.2019 (ref. Acelerógrafo MNO, GeoMediciones) ..... 135

Figura 8-4: Caudal de Afloramientos MN, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood) ..... 140

Figura 8-5: BS, Movimiento de Tierras propuesto, para erosión de talud sector Rebose TK-042, Plano E40165-840-R-PL-149\_RB (ref. Wood). ..... 143

Figura 8-6: BS, As Built y respaldo de la reparación para erosión de talud sector Rebose TK-042, Plano E40165-840-R-PL-155\_RB (ref. Wood). ..... 144

Figura 8-7: MO, Reparación Talud Aguas Arriba sector D5, Plano E40165-840-R-PL-153\_RB (ref. Wood)..... 146

Figura 8-8: MO, As Built Reparación Talud Aguas Arriba sector D5, Plano E40165-840-R-PL-163\_RB (ref. Wood)..... 147

Figura 8-9: Superficie afectada por ruptura de los muros Etapa 3, 2017.03.14 (ref. estudio de Distancia Peligrosa, Wood) ..... 154

## 0.0 RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento describe las observaciones y resultados de la inspección de seguridad del depósito de relaves (DSI 2020) de la Compañía Minera Teck CdA realizada por Wood durante los días 13 y 14 de enero de 2020, en la que participaron los Sres.: Luis González Caro M. Sc., Ingeniero de Registro, Wood, Santiago de Chile; Mickey Davachi Ph. D, P. Eng, Principal Geotechnical Engineer, Wood, Calgary, Canadá; John Pottie Gerente de Ingeniería Geotécnica, Teck Resources, Santiago de Chile, y Sergio Valdebenito, Gerente Tranque Proyecto QB2, Teck.

El periodo de tiempo corresponde al comprendido entre los días 01 de abril y 31 de diciembre de 2019, ambos días inclusive (275 días corridos).

Se deja establecido que desde el día 14 de octubre hasta el día 04 de diciembre, la producción de la planta concentradora se mantuvo detenida debido al proceso de Huelga Legal, retomándose la operación normal el jueves 05 de diciembre de 2019. La construcción de las obras diferidas del Embalse de Relaves, se mantuvo detenida desde el mismo día 14 de octubre, retomándose en un 50% las actividades el día 08 de noviembre, en un 80% el día 05 de diciembre y el 100% de la actividad de construcción se logró retomar el día 06 de enero de 2020.

El propósito de la inspección fue revisar y evaluar que tan adecuados son el rendimiento y funcionamiento de la TMF en general, con una atención específica sobre la condición física a corto plazo y los resultados de la vigilancia.

La instalación se denomina embalse de relaves Carmen de Andacollo y su desarrollo contempla 6 etapas de crecimiento, para una vida útil de diseño de 21 años, y una

## EXECUTIVE SUMMARY

The current document describes observations and results obtained in the safety inspection of the tailings management facility (DSI 2020), owned by Mining Company Teck CdA and carried out by Wood on January 13 and 14, 2020. The inspection was attended by: Mr. Luis González Caro M.Sc., Engineer of Record, Wood, Santiago, Chile; Mickey Davachi Ph. D, P. Eng, Principal Geotechnical Engineer, Wood, Calgary, Canada; John Pottie Geotechnical Engineering Manager, Teck Resources, Santiago, Chile and Sergio Valdebenito, QB2 Project Tailings Manager, Teck.

The period analyzed spans from April 1 to December 31, 2019, both dates inclusive (275 calendar days).

The plant production was shutdown due to a Legal Strike held from October 14 to December 4. Normal operations were restored on Thursday, December 5, 2019. The construction of the Tailings Management Facility deferred works was stopped on October 14, 50% of the activities were resumed by November 8, 80% of activities continued on December 5, and 100% of the construction activities were successfully resumed on January 6, 2020.

The inspection purpose was to review and assess the TMF's performance and operation suitability, with specific reference to the short term facility physical conditions and monitoring results.

The facility is known as Carmen de Andacollo tailings management facility, including 6 growth stages for a 21 year design

capacidad de almacenamiento de 416 Mt – 297 Mm<sup>3</sup>.

El embalse de relaves está conformado por los muros poniente (MP), norte (MN), nororiente (MNO), oriente (MO) y sur (MS), incluyendo la estructura denominada botadero sur (BS) y un muro pequeño, denominado muro de cierre (MC) que se construye durante la etapa 6, hacia el poniente del estribo sur del muro MO.

Tanto el MS como el tramo sur del MO (MO(S)), están clasificados como estructuras de muy alta (Very High) consecuencia, el resto de los muros se clasifican como estructuras de alta (High) consecuencia.

La estructura contenedora más alta de la TMF corresponde al muro MNO con 108 m de alto, siendo el volumen acumulado al 31 de diciembre de 2019 de 99,07 Mm<sup>3</sup>, clasificando el depósito como categoría C, según la normativa chilena.

Todos los muros son de empréstito, contruidos con material de estéril de mina, mediante el método aguas abajo, protegidos en su talud interno con material de baja permeabilidad (relleno de transición).

Adicionalmente, para la Etapa 1 de los muros MNO, BS y MO y para todas las etapas de los muros MS y MO(S), se contempla la impermeabilización del talud interno mediante geomembrana de HDPE de 1,5 mm de espesor. La base de cada muro contempla un sistema de drenaje (tipo francés) diseñado con factor de seguridad FS = 5, cuyo efluente, durante la operación, es devuelto al proceso de la planta concentradora.

Los muros se construyen geoméricamente con un talud aguas abajo 1,8 (H) / 1 (V), taludes aguas arriba 2,0 (H) / 1 (V) cuando estén impermeabilizados con geomembrana y 1,6 (H) / 1 (V) en caso contrario. El ancho del coronamiento es de 50

lifespan, and a storage capacity of 416 Mt – 297 Mm<sup>3</sup>.

The tailings management facility is formed by the west (MP), north (MN), northeast (MNO), east (MO) and south (MS) dams, including a structure called south dump (BS), and a small dam known as closure dam (MC). The latter will be constructed in stage 6, in the west of MO dam's south abutment.

MS and the south section of MO (MO(S)) dams were classified as Very High consequence structures. The remaining dams were classified as High consequence.

TMF's highest retainment structure is the MNO dam, measuring 108 m high and showing an accumulated volume to December 31, 2019 of 99.07 Mm<sup>3</sup>. As defined by Chilean regulation, the deposit is classified as C category.

All dams have borrowed material and are constructed using mine waste material, by the downstream method. The upstream slopes of the dams is protected by low permeability material (transition backfill).

In addition, Stage 1 of MNO, BS and MO dams and all stages of MS and MO(S) dams considered upstream slope waterproofing, by a 1.5 mm thick HDPE geomembrane. Each dam base considered a drainage system (French type), designed with a safety factor of FS = 5. The seepage flows are returned to the seepage pond during the concentrating process.

Dams are geometrically constructed, using a downstream slope of 1.8 (H) / 1 (V), upstream slope of 2.0 (H) / 1 (V) when waterproofed by geomembrane and 1.6 (H) / 1 (V) otherwise. Crest width is 50 m in

m en etapas de crecimiento intermedias (1 @ 5) y de 30 m mínimo para la etapa final (6).

La elevación final de los muros corresponde a la cota 1.204 msnm y el diseño sísmico recomienda operar con una revancha mínima de 3 m desde la cota de los relaves en contacto con los muros hasta la El. del coronamiento de la etapa de crecimiento diferido en operación.

Durante el periodo se depositaron un total de 10,7 Mt, lo que representa un déficit de 60 días respecto de lo programado, no obstante se considera cumplido el plan de llenado de la TMF, ya que dicho déficit es consistente con el tiempo en que se mantuvo detenida la planta concentradora.

La tasa de crecimiento de la laguna de aguas claras durante el año fue de 3,39 m/año, con lo cual la capacidad remanente para la operación de la Etapa 3 de crecimiento varía entre 0,51 año (muro MN) y 1,55 año (muro BS). Al término del periodo, la revancha hidráulica es de 6,54 m, equivalente a 1,93 año de operación.

Se han depositado un total acumulado de 160,72 Mt de relaves, lo que equivalente a un 39 % de la capacidad de diseño autorizada, presentando una densidad seca de 1,55 t/m<sup>3</sup> superior a la estimada originalmente de 1,40 t/m<sup>3</sup>, lo que permite proyectar de manera conservadora, una capacidad real de almacenamiento de 467,51 Mt, un 12 % superior a la capacidad de diseño.

El volumen de la laguna de aguas claras alcanzó un máximo de 0,46 Mm<sup>3</sup> a mediados de julio de 2019, fecha en la que se verificó la mínima distancia laguna a muro (480 m), y finalizó el año con un stock de agua acumulada 0,40 Mm<sup>3</sup> aproximadamente, lo que se considera dentro de lo contemplado en el diseño.

Durante el periodo se desarrollaron las siguientes actividades de construcción,

intermediate growth stages (1 @ 5) and 30 m minimum for the final stage (6).

Dam final raising corresponds to elevation 1,204 m.a.s.l. and the seismic design recommended operation with 3 m minimum freeboard from tailings elevation in contact with dams to the crest elevation of the deferred growth stage under operation.

During the period, a total of 10.7 Mt was deposited, representing a 60 day deficit of the initial schedule. However, the TMF's filling plan is considered as complied with. Such deficit is consistent with time associated to the plant shutdown.

The operation pond growth rate during the year was 3.39 m/year, therefore the residual operation capacity for the Stage 3 varied between 0.51 year (MN dam) and 1.55 year (BS dam). By the end of the period, the hydraulic freeboard was 6.54 m, equivalent to 1.93 year of operation.

A total of 160.72 Mt tailings have been deposited, equivalent to 39% of the design capacity authorized. The tailings showed a dry density of 1,55 t/m<sup>3</sup> higher than the original estimate of 1,40 t/m<sup>3</sup>. This enable a conservative projection of the actual storage capacity of 467.51 Mt, 12% above design capacity.

The operation pond volume reached a maximum of 0.46 Mm<sup>3</sup> by mid July 2019. Date when minimum pond-dam distance was verified (480 m), finalizing the year with an accumulated water stock of approximately 0.40 Mm<sup>3</sup>, considered as within design.

During this period, some construction activities linked to earthworks were

asociadas al movimiento de tierras: (a) 1,59 Mm<sup>3</sup> (3,02 Mt) de relleno masivo, (b) 51.223 m<sup>3</sup> de corte y retiro y (c) 63.589 m<sup>3</sup> de relleno de transición.

La recuperación de agua desde la laguna de aguas claras se realizó todo el periodo desde la trinchera N°8, la que se proyecta se mantenga en operación hasta el Q2 del año 2020, cuando deberá entrar en operación la trinchera N°9.

La precipitación total anual acumulada para todo el año 2019 fue de 18,5 mm, equivalente a un 13% de la precipitación promedio en el sitio contemplada en el diseño, siendo la evaporación para el mismo periodo de 1.705,50 mm, (balance negativo).

Durante 2019, el embalse puede almacenar de manera segura, tanto la crecida producto de una tormenta de 24h para periodos de retorno T<sub>50</sub>, T<sub>100</sub> y T<sub>200</sub>, como aquella producto de un evento de precipitación máxima probable (PMP) con una duración de 3 días (PMP<sub>3d</sub> = 809 mm).

La instrumentación mediante piezómetros de cuerda vibrante (13 c/u), casagrande (3 c/u) y de fibra óptica (6 c/u), presenta lecturas estables, lo que significa que el nivel freático en el interior de los muros está controlado por el sistema de drenaje basal. Se recomienda la instalación de piezómetros adicionales ubicados aguas arriba en la playa de relave y cercanos a los muros.

Los asentamientos se monitorean trimestralmente mediante nivelaciones cerradas y en tiempo real mediante la estación total destinada del proyecto TAPD2017, pudiéndose indicar que las tendencias arrojadas por ambos sistemas de control son 100% compatibles, lo que se traduce en un monitoreo redundante. Los asentamientos registrados están dentro de los rangos esperados por el diseño.

developed, as detailed below: (a) 1.59 Mm<sup>3</sup> (3.02 Mt) massive rock fill, (b) 51,223 m<sup>3</sup> cutting and removal and (c) 63,589 m<sup>3</sup> transition material.

Water recovery from the operation pond, continued from trench N°8 during the entire period and should continue operation until Q2 of 2020, time when trench N°9 should start operation.

The annual total precipitation accumulated or all of 2019 was 18.5 mm, equivalent to 13% average precipitation on site, as specified in design. Evaporation for the same period was 1,705.50 mm, (negative balance).

During 2019 the deposit could safely store floods caused by 24h storms for T<sub>50</sub>, T<sub>100</sub> and T<sub>200</sub> return periods, and that resulting from maximum probable precipitation events (PMP) of 3 day duration (PMP<sub>3d</sub> = 809 mm).

Instrumentation by means of vibrating wire (13 ea), Casagrande (3 ea) and fiber optic (6 ea) piezometers showed stable readings, which means that phreatic level within dams was controlled by the base drainage system. The installation of additional piezometers is recommended, installed upstream in the tailings beach and near dams.

Settlements were monitored on a quarterly basis, by means of close survey levelling and in real time by the TAPD2017 dedicated total station. Trends obtained in both control systems were 100% compatible, resulting in redundant monitoring. Settlements recorded were within expected ranges, as per design.

Se recomienda ampliar el monitoreo de deformaciones y de piezometría, principalmente en el muro BS.

En la inspección de terreno para el presente informe, no se detectaron condiciones de inestabilidad que comprometan la integridad de los diferentes muros del embalse de relaves, encontrándose en general todos los muros en buen estado.

Teck CdA desarrolla programas de monitoreo de componentes ambientales en diferentes emplazamientos de la faena con el fin de dar cumplimiento a lo requerido por la autoridad ambiental y a los criterios de control internos de la compañía (autocontrol).

La laguna de aguas claras se mantiene bastante lejos de los muros de contención, observándose extensas playas de relaves, en concordancia con la intención del diseño. Se recomienda considerar una longitud de playa mínima de 100 m, y en el corto plazo priorizar la descarga de relaves desde el sector centro y sur del embalse.

Se observaron agrietamientos en la zona de transición en los muros BS, MNO y MO, aunque definitivamente en menor cantidad y tamaño que aquellos detectados en inspecciones anteriores, siendo la causa más probable los esfuerzos de tensión en la zona de aguas arriba de la transición, junto con el asentamiento del enrocado compactado. Las grietas en el talud aguas arriba deben ser rellenadas con arena de tamaño fino o medio, y las grietas en las plataformas deberán ser monitoreadas regularmente, hasta ser reparadas reconstruyendo el material de transición en la zona agrietada, antes que sea cubierto con relave y/o por la escorrentía superficial durante el periodo de lluvias. Del mismo modo, se recomienda realizar un modelo de deformaciones que permita entender más acabadamente el o los mecanismos de formación de las grietas.

Increasing the deformation and piezometric monitoring is recommended, mainly at BS dam.

During the field inspection carried out for this report, no instability conditions were observed, that could jeopardize the integrity of different dams in the tailings management facility. In general terms, all dams were found in good condition.

Teck CdA completes monitoring programs for environmental components at different site locations; in compliance with the request made by the environmental authority and the internal control criteria (auto control) of the company.

The operation pond is maintained far from the dams, and large tailings beaches are observed, in agreement with the design intent. It is recommended a minimum beach length of 100 m and in the short term, prioritize tailings discharge from the center and south sectors.

Cracking was observed in the transition zone of BS, MNO and MO dams. Although definitely lower in amount and size than those observed in previous inspections. The cracks are probably due to shear stress at the upstream transition zone along with the compacted rockfill settlement. Cracks in the upstream slope should be filled with medium and fine sand. Cracks in platforms should be regularly monitored, until repaired, by rebuilding transition material in the cracked area, before they are covered by tailings and/or surface runoffs during storm periods. Likewise, a deformation model is recommended to be developed to fully understand the crack formation mechanism.

Para el monitoreo de los agrietamientos, las longitudes de playa, y aquellos sitios de difícil acceso, se recomienda la utilización de drones.

Se mantienen las filtraciones permanentes observadas al pie aguas abajo del muro MNO del orden de los 14 L/s e intermitentes al pie aguas abajo del muro MN menores a 0,3 L/s, estas últimas están relacionadas directamente con los ciclos de operación de las descargas asociadas al muro MN (D2 y D3). La ausencia de filtraciones permanentes en el resto de los muros (excepto en el muro MNO) se debe principalmente a la elevación actual del pelo de agua de la laguna de agua y a la longitud de las playas de relaves por encima del nivel de agua en la laguna, lo que restringe las potenciales filtraciones, habiéndose verificado a lo largo de la operación pequeños cambios en la tasa de filtración.

El muro MN se encuentra en buenas condiciones y avanzada la construcción del relleno de transición, correspondiente a la Etapa 4 de crecimiento. Se recomienda dejar registro en los protocolos topográficos de construcción (más respaldo fotográfico), respecto del escarificado y humectado de la capa de transición subyacente. Se debe normalizar la condición de los afloramientos aguas abajo del MN, replicando la solución construida durante el año 2018, para los afloramientos y filtraciones aguas abajo del muro MNO.

El muro MNO se encuentra en buenas condiciones, habiendo recién iniciado la colocación del relleno de transición, correspondiente a la Etapa 4 de crecimiento. Se recomienda que el terreno natural sea mapeado geológicamente antes de colocar el relleno en los estribos. Se sugiere revisar el método constructivo del relleno masivo y la posibilidad de construirlo al mismo tiempo que el relleno de transición. Se deberá mantener

Use of drones is recommended for monitoring cracking, beach lengths and sites of difficult access.

Permanent seepage observed downstream the MNO dam continued, in the order of 14 L/s. Intermittent seepage downstream of the MN dam toe is below 0.3 L/s. The latter is directly related to the operation cycles of discharges associated to MN dam (D2 and D3). The absence of permanent seepage in the remaining dams (MNO dam excluded), is mainly caused by the current water level and the tailings beach length, above the pond's water level, which restricts potential flows. During operation, the seepage rate showed minor changes.

The MN dam is in good condition, showing advanced stage of construction of the transition backfill, corresponding to Stage 4 growth. Construction survey protocols should show records (plus photographic supporting documents) of the underlying transition layer scarified and moisturized. The springs condition downstream of the MN should be improved, by repeating the solution constructed in 2018, for springs and seepage downstream of the MNO dam.

The MNO dam is in good condition, placement of the transition backfill just commenced, corresponding to Stage 4 growth. Natural soil should be geologically mapped before placing the abutment backfill. A review of the massive rockfill construction method is recommended to verify the possibility of constructing this at the same time the transition backfill. The alternative of operating through the old D4 discharge should be maintained.

la posibilidad de operar por la descarga D4 antigua.

El muro BS se encuentra en buenas condiciones, habiendo finalizado recientemente el decomisionamiento electromecánico de las instalaciones para la distribución de relaves, a la cota del coronamiento de la Etapa 3, las que ahora se encuentran habilitadas a la cota de coronamiento de la Etapa 5 de crecimiento diferido, permitiendo la distribución gravitacional de los relaves. Se observan agrietamientos en el talud aguas arriba, los que han sido rellenados con arena, de acuerdo a la recomendación de los DSI anteriores. La operación intermitente del rebose del cajón de distribución, ya sea por falla de la bomba de distribución y/o por la presencia de ripios en el relave, erosionó la cara del talud interno de la protección del muro BS en una zona mínima y localizada, comprometiendo el ancho mínimo recomendado por el diseño para el relleno de transición (3 m), sin embargo al momento de la visita, se encontraban finalizados los trabajos de reparación en el área. Cabe destacar que la condición operacional que provocó la erosión en el sector del rebose, fue detectada en tiempo real, tanto por los operadores Teck CdA como por la inspección de terreno Wood, y confirmado de manera remota mediante las cámaras de sistema de monitoreo TAPD2017. Se recomienda que para la plataforma al coronamiento de la Etapa 3, se analice si es suficiente cubrirla solo con el relleno de 2 m de material de transición o si es necesario un revestimiento impermeable (liner).

El muro MO se encuentra en buenas condiciones, en pleno desarrollo está el corte y retiro del relleno masivo suelto desde la cara del talud aguas arriba del muro, correspondiente a la Etapa 4 de crecimiento. Para el periodo se reporta de un incidente menor de desacople de la cañería de relaves, aguas abajo del punto de descarga D5, que

The BS dam is in good condition. Recently, the electromechanical decommissioning of tailings distribution facilities finalized at Stage 3 crest elevation. Facilities were commissioned at crest level, Stage 5 of deferred growth, allowing the tailings gravitational distribution. Some cracks in the upstream slope were observed and filled with sand, as recommended by the previous DSI. Intermittent operation of the overflow tailings discharge, either related to the distribution pump failure and/or gravels present in the tailings, eroded the internal slope face of BS dam protection locally and minimally, compromising the minimum width recommended by design for transition backfill (3 m). However, at the time of visit, all repair activities in the area were finalized. It should be pointed out that the operational condition causing erosion at the overflow discharge zone, was noticed in real time, both by Teck CdA operators and Wood field inspection. This was remotely confirmed by TAPD2017 monitoring equipment. In the case of platform at Stage 3 crest level, analysis is required to confirm if the 2 m transition material backfill is enough or if waterproof liner is required.

The MO dam is in good condition, with cutting and loose massive rock fill removal are being under way from the dam upstream slope face, corresponding to growth Stage 4. A minor incident was reported in this period, the tailings pipeline was decoupled, downstream the D5 discharge point. This resulted in tailings spillage and slope localized erosion, but no

ocasiona un derrame de relaves y la erosión del talud localmente sin causar mayor daño, aunque comprometiendo el ancho mínimo para el relleno de transición especificado en el diseño (3 m), al momento de la visita, se encontraban en pleno desarrollo las actividades de reparación en el área. Se recomienda hacer un detalle de ingeniería para los empalmes del material de transición hacia los estribos norte y sur del muro MO, y realizar calicatas en el estribo sur para revisar el terreno de apoyo. Se recomienda reponer el dado de hormigón a la cañería de descarga del dren central, al pie del talud aguas abajo.

El tramo sur del MO (muro MO(S)) se encuentra en buenas condiciones, habiendo finalizado los rellenos masivos correspondientes a la Etapa 4 de crecimiento. El talud está perfilado, listo para comenzar el despliegue de los geosintéticos, previamente se recomienda retirar del talud, dos (2) clastos con cantos vivos de diámetro superior a 2". Se recomienda retirar el derrame del camino minero para permitir la inspección del estribo sur del muro MO y su empalme con el terreno natural. Como consecuencia del proyecto "Botadero Adosado al Muro", en el contexto de la DIA para la continuidad operacional, se deberá reubicar el aforador de drenajes y su cañería de conducción hacia la planta concentradora.

El muro MS, se encuentra en excelentes condiciones habiéndose completado la construcción del relleno de transición correspondiente a la Etapa 4 de crecimiento diferido. El talud aguas arriba está en pleno proceso de perfilado. Se recomienda finalizar la protección contra la erosión por escurrimiento superficial de ambas zanjas de anclaje laterales, instalando rip rap sobre geotextil.

Se encuentra operando la trinchera N°8 del sistema de recuperación de aguas claras, observándose varias grietas en la plataforma del manifold de descarga de las bombas de agua recuperada, lo anterior debido a la

damage was reported; although the minimum width of transition backfills specified in design (3 m) was compromised. At the time of visit, all repair activities in the area were under way. An engineering detail should be prepared for abutments of transition material for north and south abutments of MO dam. Test pits should be carried out at south abutment to inspect the foundation soil. Concrete block should be replaced in the main drain discharge pipeline, at the downstream slope toe.

The MO south section (MO(S) dam) is in good condition and massive rock fill corresponding to growth Stage 4 is completed. Slope trimming is complete and ready to commence geosynthetics installation. Two (2) sharp edge clasts larger than 2" in diameter should be removed from slope. The mine road spillage should be removed to allow inspection of south abutment at MO dam and its junction with natural terrain. As a consequence of the project "Dump Attached to the Dam", in the context of the DIA for operational continuity, the drainage V-notch Weir and the conduction pipeline to the concentrator plant, must be relocated.

The MS dam is in excellent condition. The construction of the transition backfill was completed, corresponding to the deferred growth Stage 4. The upstream slope is under a trimming process. Protection against erosion should be concluded by surface runoff of both side anchorage ditches, and by installing rip rap on geotextile.

Trench N°8 of the water recovery system is operating. Several cracks were observed in the discharge manifold platform of the recovered water pumps, that occurred due to backfill saturation caused by water level. As a

saturación del relleno por la elevación del pelo de agua, se recomienda modificar (acortar) el manifold y cerrar con barreras duras el acceso de equipos y personas a la zona agrietada de la plataforma operacional.

En el sector donde se emplazará el muro MP, se excavaron dos (2) calicatas encontrándose roca meteorizada aproximadamente a los 3 m. Se recomienda realizar una campaña de exploración, mediante sondajes, testigos y ensayos a lo largo del eje longitudinal del muro proyectado, además de revisar el diseño del muro contemplando las condiciones de cierre.

Wood comprende y respalda plenamente el objetivo de largo plazo de Teck para todas sus instalaciones de relaves, el cual indica que cada TMF alcance el estado landform<sup>1</sup>, con todos los potenciales modos de falla finalmente reducidos a no creíbles. En el contexto de este DSI, el término "no creíble" indica una condición en la que la probabilidad de falla se considera insignificante. Wood actualmente considera cada uno de los muros del embalse de relaves Carmen de Andacollo como estructuras landform dada su geometría y forma de construcción. Los trabajos actualmente en desarrollo enfocados hacia el objetivo de largo plazo, indicarán durante los períodos de los próximos informes DSI anuales, si se ha logrado mantener el estado general landform, junto con la eliminación de cualquier preocupación de falla creíble que contemple el vertimiento de fluidos hacia el exterior de la TMF.

El objetivo a largo plazo de Teck tanto para el depósito de relaves Teck Carmen de Andacollo, como para todas las instalaciones de relaves de Teck que no sean capaces de alcanzar el estado landform, es que todos los modos de falla potenciales no sean creíbles

recommendation, manifold should be modified (shorten), equipment and people access to the cracked zone should be closed by solid fences at the operational platform.

In the area where the MP dam will be located, two (2) test pits were excavated. Weathered rock was found at 3 m. depth. A drilling campaign is recommended by means of boreholes, cores samples and tests along the longitudinal axis of the projected dam. Also, dam design should be reviewed, considering closure conditions.

WOOD understand, and fully support, that Teck's long-term goal for all of the tailings facilities is to reach landform status with all potential failure modes ultimately being reduced to non-credible. In the context of this DSI, the term "non-credible" represents a condition where the likelihood of failure is considered negligible. Wood considers each dam of Carmen de Andacollo tailings management facility a landform structure, given their geometry and construction procedure. Ongoing work aimed at these long-term goals will indicate over subsequent annual reporting periods if the overall landform status has been achieved along with the continued elimination of any credible flow failure concerns.

Teck's long-term goal for the TMF, as it is for all of Teck's tailings facilities that may not be able to achieve landform status, is for all potential failure modes to be non-credible based on maximum consequence loading conditions.

---

<sup>1</sup> Estructura que se asimila a una forma de relieve natural

basados en las condiciones de carga para producir la máxima consecuencia.

Está contemplada la actualización del taller de riesgos, para el año 2020.

Respecto de la estabilidad física, se puede indicar que esta se basa en la calidad (naturaleza) de los materiales que conforman los muros o estructuras soportantes, junto con la geometría de estas. El diseño contempla para todos los muros la colocación en la cara de aguas arriba (interna) de un suelo de granulometría medio fino denominado relleno de transición, emplazando además la laguna de aguas claras alejada de los muros en condición operacional normal, con playas de relaves extensas apoyadas sobre los mismos. Todos los muros tienen un sistema de drenaje y un sistema de monitoreo piezométrico. Esta característica del diseño junto a la predominancia del enrocado estéril, aseguran el control del agua de infiltración y la evacuación controlada de forma de no generar altas presiones de poros que podrían reducir la capacidad resistente del material. La construcción de los muros y obras asociadas tienen un control de calidad y aseguramiento, que velan por el cumplimiento de planos y especificaciones; además de registrar los ajustes y modificaciones que se realizan con la aprobación del Ingeniero de Registro. En opinión de Wood, estas características del diseño junto al control de la construcción y el monitoreo del comportamiento permiten minimizar el nivel de riesgo a niveles aceptables, ante cualquier peligro de estabilidad en estas estructuras.

El día 19 de enero de 2019 a las 22:32 h los muros de la TMF soportaron un sismo interplaca subductivo de magnitud 6,7 (Mw), con epicentro en la costa de la Región de Coquimbo, a 13 km al este de la localidad de Tongoy, con coordenadas epicentrales 71,364 °W y 30,276 °S a una profundidad focal de 63,0 km, según reporta actualmente el USGC. Respecto de la TMF, el epicentro se ubicó a una distancia de 37 km

Risk workshop update is planned for 2020.

Physical stability is based on the quality (nature) of materials forming dams or supporting structures and their geometry. According to design, all dams should have, in the upstream (internal) face, fine grain size distribution soils, known as transition backfill. The operation pond should be located away from dams under normal operational condition, providing long tailings beaches supported on dams. All dams have drainage and a piezometric monitoring systems. The design characteristic and waste rockfill ensure seepage and evacuation control, by avoiding high pore pressures that may reduce the material resistance capacity. Dam construction and associated works have quality control and quality assurance procedures that ensure compliance of drawings and technical specifications. In addition to a procedure to record modifications and adjustments after receiving the Engineer of Record's approval. In Wood's opinion, the design together with a construction control and the performance monitoring minimize the risk to accepted levels, for potential stability risks.

On January 19, 2019 at 10:32 pm, the TMF dams suffered a subduction inter plate earthquake of magnitude 6.7 (Mw), centered off the coast of Region of Coquimbo, 13 km east from Tongoy. The epicentral coordinates were 71.364 °W and 30.276 °S at a focal depth of 63,0 km, as currently reported by USGC. In reference to TMF, the epicenter was located approximately 37 km to the south west. The earthquake magnitude induced an

aproximadamente, hacia el sur-poniente, la magnitud del sismo indujo una aceleración de 0,4964 g (50% de la aceleración máxima inducida en el sitio por el sismo Máximo Creíble). Durante este sismo se generaron grietas en la plataforma al coronamiento de la Etapa 3, tanto en el muro MNO como en el muro BS. Los asentamientos registrados en los monolitos para control de asentamientos post sismo, fueron del orden del 0,01 % de la altura total del relleno. Wood considera satisfactorio el comportamiento de la TMF durante el terremoto y de acuerdo con lo esperado según el diseño.

El manejo del agua superficial es otro aspecto clave en la seguridad / estabilidad de un depósito. El depósito de Teck - CdA no contempla un evacuador de crecidas para el período de operación, si para la etapa de Cierre, lo anterior debido a la baja pluviometría del área, lo reducido de la cuenca aportante, la ubicación relativa de la laguna en un punto alejado de los muros y las revanchas existentes.

El comportamiento geotécnico del área del depósito se considera satisfactorio.

Se deja establecido que la primera inspección DSR para la TMF en estudio, se realizó durante el Q3 del año 2018 y estuvo a cargo de Arcadis Chile (ACL en adelante), habiendo Teck CdA avanzando de manera sistemática en cada una de las recomendaciones.

El comportamiento observado del depósito está de acuerdo con lo esperado en el diseño y la operación de la TMF, la que se han desarrollado siguiendo las recomendaciones del manual OMS. Las deformaciones de los muros a medida que crece el depósito se consideran normales. Las filtraciones que se registran en el depósito están dentro del rango estimado en el diseño.

acceleration of 0.4964 g (50% maximum acceleration induced in site by seismic event). During this earthquake cracks were generated in the crest platform of Stage 3, at MNO and BS dams. Settlements registered in post-earthquake settlement control monoliths were in the order of 0.01 % backfill total height. The TMF performance during the earthquake was considered satisfactory by Wood, and in compliance with design, as expected.

Surface water handling is another key aspect of securing a deposit safety/stability. A flood spillway was not considered in Teck - CdA deposit for the operation period, although one is considered for the Closure stage. All this because of low rainfalls in the area, the reduced size of the contribution basin, the relative pond location at a point distant from the dams and the existing freeboards.

The geotechnical behavior of the deposit area is considered satisfactory.

A first DSR inspection of TMF under study was completed in Q3, 2018 by Arcadis Chile (ACL hereafter). Teck CdA systematically addressed all recommendations.

The deposit performance observed is in accordance with the design and TMF operation. Activities were developed according to recommendations detailed in the OMS manual. Dam deformations observed, as the deposit grows, are considered normal. Seepage through the deposit observed is within the design range.

Tabla 0-1: Resumen de Recomendaciones DSI 2020.

Ítem	Área	Sub Ítem	Estructura	Detalle	Responsable	Fecha
1	Construcción	1.1	TMF	El terreno natural debe ser mapeado geológicamente antes de colocar el relleno masivo en los estribos	Teck CdA - Wood	Permanente
		1.2	TMF	Dejar registro en los protocolos topográficos de construcción y respaldo fotográfico del escarificado y humectado de la capa de transición subyacente	Wood	Permanente
		1.3	TMF	Revisar el método constructivo del relleno masivo y la posibilidad de construirlo al mismo tiempo que el relleno de transición	Teck CdA - Wood	2020.Q4
		1.4	MO	Realizar calicatas en el estribo sur para revisar el terreno de apoyo del relleno de transición	Wood	2020.Q3
		1.5	MO	Reponer el dado de hormigón a la cañería de descarga del dren central, al pie del talud aguas abajo	Teck CdA	2020.Q3
		1.6	MO(S)	Retirar del talud, dos (2) clastos con cantos vivos de diámetro superior a 2"	Wood	2020.Q2
		1.7	MO(S)	Retirar el derrame del camino minero para permitir la inspección del estribo sur del muro MO y su empalme con el terreno natural	Wood	2020.Q4
		1.8	MS	Finalizar la protección contra la erosión por escurrimiento superficial de ambas zanjas de anclaje laterales, instalando rip rap sobre geotextil	Wood	2020.Q4
		1.9	Trinchera #8	Modificar (acortar) el manifold	Teck CdA - Wood	2020.Q1
		1.10	Trinchera #8	Cerrar con barreras duras el acceso de equipos y personas a la zona agrietada de la plataforma operacional	Teck CdA	2020.Q1
2	Mantenimiento	2.1	MN / MNO / BS / MO	Sellar con arena las grietas media a fina en el talud de la capa de transición	Teck CdA / Wood	Permanente
3	Operación	3.1	TMF	En el corto plazo priorizar la descarga de relaves desde el sector centro y sur del embalse	Teck CdA	2020.Q1
		3.2	MNO	Se deberá mantener la posibilidad de operar por la descarga D4 antigua	Teck CdA	2020.Q3
4	Estudios y Diseño	4.1	TMF	Realizar un modelo de deformaciones que permita entender más acabadamente el o los mecanismos de formación de las grietas	Wood	2020.Q4
		4.2	BS	Analizar para la plataforma al coronamiento de la E3, si es suficiente cubrirla solo con el relleno de 2 m de material de transición o si es necesario un revestimiento impermeable (liner)	Wood	2020.Q3
		4.3	MP	Realizar campaña de exploración mediante sondajes, testigos y ensayos a lo largo del eje longitudinal del muro proyectado	Teck CdA - Wood	2021.Q1
		4.4	MP	Revisar el diseño del muro contemplando las condiciones de cierre	Wood	2020.Q4
		4.5	MO	Diseño para la reubicación del aforador de drenajes y su cañería de conducción hacia la planta concentradora	Wood	2020.Q4
		4.6	MO	Hacer un detalle de ingeniería para los empalmes del material de transición hacia los estribos norte y sur	Wood	2020.Q3
		4.7	MN	Diseño para la normalización de los afloramientos aguas abajo del MN, mediante una solución similar a la construida durante el año 2018, para los afloramientos y filtraciones aguas abajo del muro MNO	Wood	2020.Q3
5	Monitoreo, Control y Vigilancia	5.1	TMF	Instalar piezómetros adicionales ubicados aguas arriba en la playa de relave y cercanos a los muros	Teck CdA - Wood	2021
		5.2	TMF	Para el monitoreo de los agrietamientos, las longitudes de playa, y aquellos sitios de difícil acceso, se recomienda la utilización de drones	Teck CdA	2021
		5.3	TMF	El objetivo de largo plazo de Teck para todas sus instalaciones de relaves, es que cada TMF alcance el estado landform, con todos los potenciales modos de falla finalmente reducidos a no creibles	Teck CdA - Wood	Permanente
		5.5	BS	Las grietas en las plataformas deberán ser monitoreadas regularmente, hasta ser reparadas reconstruyendo el material de transición en la zona agrietada, antes que sea cubierto con relave y/o por la escorrentía superficial durante el periodo de lluvias	Teck CdA - Wood	Permanente
		5.6	BS	Ampliar el monitoreo de deformaciones y de piezometría	Teck CdA - Wood	2021
		5.7	TMF	Considerar una longitud de playa mínima de 100 m	Teck - Wood	Permanente

Tabla 0-2: DSI 2020 Recommendations Summary.

Item	Sector	Sub Item	Structure	Detail	Responsible	Date
1	Construction	1.1	TMF	Natural soil should be geologically mapped before placing the abutment rockfill	Teck CdA - Wood	Permanent
		1.2	TMF	Construction survey protocols should show records, plus photographs supporting documents of the underlying transition layer scarified and moisturized	Wood	Permanent
		1.3	TMF	Review the massive rockfill construction method is recommended and to verify the possibility of constructing this at the same time the transition backfill	Teck CdA - Wood	2020.Q4
		1.4	MO	Test pits should be carried out at south abutment to inspect the foundation soil for the Transition backfill	Wood	2020.Q3
		1.5	MO	Concrete block should be replaced in the main drain discharge pipeline, at the downstream slope toe	Teck CdA	2020.Q3
		1.6	MO(S)	Two (2) sharp edge clasts larger than 2" in diameter should be removed from slope	Wood	2020.Q2
		1.7	MO(S)	The mine road spillage should be removed to allow inspection of south abutment at MO dam and its junction with natural terrain	Wood	2020.Q4
		1.8	MS	Protection against erosion should be concluded by surface runoff of both side anchorage ditches, and by installing rip rap on geotextile.	Wood	2020.Q4
		1.9	Trinchera #8	Manifold should be modified (shorten)	Teck CdA - Wood	2020.Q1
		1.10	Trinchera #8	Equipment and people access to the cracked zone should be closed by solid fences at the operational platform	Teck CdA	2020.Q1
2	Maintenance	2.1	MN / MNO / BS / MO	Cracks in the upstream slope should be filled with medium and fine sand	Teck CdA / Wood	Permanent
3	Operation	3.1	TMF	In the short term, prioritize tailings discharge from the center and south sectors	Teck CdA	2020.Q1
		3.2	MNO	The alternative of operating through the old D4 discharge should be maintained.	Teck CdA	2020.Q3
4	Studies and Design	4.1	TMF	A deformation model is recommended to be developed to fully understand the crack formation mechanism	Wood	2020.Q4
		4.2	BS	In the case of platform at Stage 3 crest level, analysis is required to confirm if the 2 m transition material backfill is enough or if waterproof liner is required.	Wood	2020.Q3
		4.3	MP	Drilling campaign by means of boreholes, cores samples and tests along the longitudinal axis of the projected dam	Teck CdA - Wood	2021.Q1
		4.4	MP	Dam design should be reviewed, considering closure conditions	Wood	2020.Q4
		4.5	MO	Design for the relocation of the drainage V-notch Weir and the conduction pipeline to the concentrator plant	Wood	2020.Q4
		4.6	MO	An engineering detail should be prepared for abutments of transition material for north and south abutments	Wood	2020.Q3
		4.7	MN	Design for improvement of the springs condition downstream of the MN, by a similar solution than the constructed in 2018, for springs and seepage downstream of the MNO dam	Wood	2020.Q3
5	Monitoring, Control and Surveillance	5.1	TMF	Installation of additional piezometers is recommended, installed upstream in the tailings beach and near dams	Teck CdA - Wood	2021
		5.2	TMF	Use of drones is recommended for monitoring cracking, beach lengths and sites of difficult access	Teck CdA	2021
		5.3	TMF	Teck's long-term goal for all of the tailings facilities is to reach landform status with all potential failure modes ultimately being reduced to non-credible	Teck CdA - Wood	Permanent
		5.5	BS	Cracks in platforms should be regularly monitored, until repaired, by rebuilding transition material in the cracked area, before they are covered by tailings and/or surface runoffs during storm periods	Teck CdA - Wood	Permanent
		5.6	BS	Increase the deformation and piezometric monitoring	Teck CdA - Wood	2021
5.7	TMF	Minimum beach length of 100 m	Teck - Wood	Permanent		

## 1.0 INTRODUCCIÓN

En el presente informe se describen las observaciones y resultados de la inspección de seguridad (DSI 2020, en adelante) del depósito de relaves de la Compañía Minera Teck Carmen de Andacollo (en adelante Teck CdA) realizada por Wood (ex Amec / ex Amec Foster Wheeler) durante los días 13 y 14 de enero de 2020, en la que participaron los Sres.: Luis González Caro M. Sc., Ingeniero de Registro, Wood, Santiago de Chile; Mickey Davachi Ph. D, P. Eng, Principal Geotechnical Engineer, Wood, Calgary, Canadá. Al igual que en los tres (3) años anteriores, la inspección se realizó en forma conjunta con el Sr. John Pottie Gerente de Ingeniería Geotécnica, Teck Resources, Santiago de Chile, quién fue acompañado durante toda la visita por el Sr. Sergio Valdebenito, Gerente Tranque Proyecto QB2, Teck.

Adicionalmente, el Sr. Sergio Barrera consultor senior de relaves, Wood, Santiago de Chile, visitó la TMF los días 07 y 08 de enero de 2020, previo a la realización del DSI propiamente tal. Sus observaciones de terreno también están incluidas en el presente informe. Cabe destacar que la inspección de terreno se realiza habitualmente el mes de abril de cada año, pero se ha adelantado de modo de alinear la operación Teck CdA, con el resto de las operaciones Teck en el mundo, con el objetivo de disponer del informe final a fines del mes de marzo de cada año.

El periodo de tiempo que es materia de análisis en el presente reporte técnico corresponde a aquel comprendido entre los días 01 de abril y el 31 de diciembre de 2019, ambos días inclusive, lo que equivale a 275 días corridos. En todos los casos cuando a lo largo del texto se indique “al periodo” o “el periodo”, siempre se estará haciendo referencia de manera específica a dicho lapso, y de manera general al año 2019.

Se deja establecido que desde el día 14 de octubre hasta el día 04 de diciembre, la producción de la planta concentradora se mantuvo detenida debido al proceso de Huelga Legal, retomándose la operación normal el jueves 05 de diciembre de 2019. La construcción de las obras diferidas del Embalse de Relaves, también se mantuvo detenida desde el mismo día 14 de octubre, pero se retomaron las actividades a un 50% el día 08 de noviembre, y a un 80% el día 05 de diciembre. El 100% de la actividad de construcción se logra retomar el día 06 de enero de 2020.

### 1.1. Propósito, alcance del trabajo y metodología

El propósito de la inspección fue realizar y evaluar que tan adecuados son el rendimiento y funcionamiento de la TMF en general, con una atención específica sobre la condición física a corto plazo y los resultados de la vigilancia. Para lograr lo anterior se utilizan como referencia los siguientes documentos:

**Tabla 1-1: Documentos de Referencia.**

Organismo	Descripción	Capítulo	Fecha
Teck	Guía para estructuras de retención de Relaves y Agua	5.2.3	Enero 2019
Teck	Gobernanza de Relaves en Teck	-	Marzo 2019
CDA	Dam Safety Guidelines 2007	-	2013 Edition

## 1.2. Abreviaturas

A continuación, se presenta la nomenclatura utilizada a lo largo del documento.

**Tabla 1-2: Nomenclatura y Abreviaturas.**

Ítem	Descripción
TMF	Depósito de Relaves (Instalaciones para manejo de Relaves)
MN	Muro norte
MNO	Muro nororiente
BS	Botadero sur
MO	Muro oriente
MO(S)	Sección sur del muro oriente
MC	Muro de cierre
MS	Muro sur
MP	Muro poniente
Psc	Piscina colectora de drenajes
Tch	Trinchera recuperación de agua
Afl	Afloramiento de agua
Chq	El Churque
R.Masivo	Relleno masivo
R.Trsc	Relleno de transición
R.Rec	Relleno de rectificación
GSt	Geosintéticos
GMn	Geomembrana
GTx	Geotextil
Ha	Hectárea
msnm	Metros sobre el nivel del mar
m <sup>3</sup> / Mm <sup>3</sup>	Metros cúbicos / Millones de metros cúbicos
t / Mt	Toneladas / Millones de toneladas
tpd / ktpd	Toneladas por día / kilo toneladas por día
mo	Meses
PI.	Plataforma
EI.	Elevación
GRB	Geotechnical Review Board
SNGM	Sernageomin
MOP	Ministerio de Obras Públicas
DGA	Dirección General de Aguas
RCA	Resolución de Calificación Ambiental
Teck CdA	Compañía Minera Teck - Carmen de Andacollo
Teck	Teck Corporativo
VOp	Variables Operacionales
EOR	Ingeniero de Registro

Ítem	Descripción
Wood	ex Amec / ex Amec Foster Wheeler
MAC	Asociación Canadiense de Minería
CDA	Asociación Canadiense de Presas
DIA	Declaración de Impacto Ambiental
PMP / CMP / VMP	Precipitación / Crecida / Volumen Máximo Probable en la cuenca del embalse
Thrust MCE (o MC)	Terremoto Interplaca Subductivo Máximo Creíble
Intraplaca MCE (o MC)	Terremoto Intraplaca de Profundidad Intermedia Máximo Creíble
Thrust Op	Terremoto Interplaca Subductivo Operacional
Intraplaca Op	Terremoto Intraplaca de Profundidad Intermedia Operacional
SMC	Sismo Máximo Creíble
E1, E2, E3, E4, E5, E6	Etapas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 de crecimiento

### 1.3. Regulaciones aplicables al depósito de relaves

En Chile el diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves está regulado por el Decreto Supremo 248. Este decreto divide los depósitos en cinco tipos principales: (1) tranques, (2) embalses, (3) relaves espesados, (4) relaves en pasta y (5) relaves filtrados. El depósito Carmen de Andacollo, por estar constituido sus muros con material de empréstito, más específicamente estéril de mina, entra en la categoría (2).

La normativa chilena no considera un análisis de riesgo (o las consecuencias de una liberación descontrolada de relaves, pulpa de relaves y/o agua) para clasificar el depósito, y que luego se utilice para definir los criterios de seguridad de las obras asociadas. Sin embargo, establece una distinción en la altura y tipo del muro para definir el nivel del análisis de estabilidad requerido para verificar la seguridad de la estructura. En el caso del embalse de relaves de Teck CdA, además del análisis estático, se requiere un análisis dinámico de estabilidad, para el que se adopta el acelerograma sintético del SMC debido a que los muros sobrepasan los 15 m de altura. Además, debe verificarse la estabilidad mediante un análisis post - sismo. En todos los análisis de carácter pseudo - estático se estipulan los factores de seguridad mínimos. Asimismo, el artículo 14 del DS 248 exige la estimación de la denominada distancia peligrosa, consistente en la determinación geométrica de la distancia, en kilómetros, que recorrería el relave depositado en caso de colapso del depósito.

Para el manejo de las aguas naturales afluentes y efluentes del embalse, aplican las recomendaciones de la DGA. Este organismo entrega criterios de diseño para el dimensionamiento de los canales de desvío de las aguas naturales, así como para el evacuador de seguridad de manejo de aguas al interior del embalse en el caso que se requiriese. El decreto 50 (MOP, 2015) establece las condiciones técnicas que deberán cumplirse en el proyecto, construcción y operación de embalses de capacidad superior a 50.000 m<sup>3</sup> o cuyo muro tenga más de 5,00 m de altura, y según el artículo 12 del mencionado decreto, el embalse Teck Carmen de Andacollo corresponde a una obra

categoría C (grandes) debido a que tiene más de 30 m de altura de muro o más de 60 Mm<sup>3</sup> de capacidad. Para esta categoría, se establece que la crecida de diseño para obras de evacuación y desagüe tiene un periodo de retorno de 10.000 años y el diseño debe ser verificado para la CMP (Art. 30 letras b y c, respectivamente). El reglamento también señala que en el caso que la CMP sea menor a la crecida asociada a un período de retorno de 10.000 años, se deberá usar este último valor como crecida de diseño. Cabe destacar que, durante la operación, el depósito de relaves Teck CdA no requiere un evacuador debido a la reducida cuenca aportante y la gran revancha que permite almacenar varias veces el volumen de la crecida de diseño (ítem 3.2 más adelante).

El reglamento de la DGA en su Artículo 30 letra d, también establece criterios para la revancha hidráulica mínima, entendida como la diferencia de elevaciones entre el coronamiento del muro y el nivel de aguas generado por la crecida de diseño, destacando la necesidad de incluir los siguientes aspectos adicionales en la estimación: (i) efecto del viento sobre la laguna, (ii) altura de la ola, (iii) asentamiento estático del muro, y finalmente (iv) asentamiento sísmico del muro; dejando establecido que el valor mínimo aceptado para la revancha será de 1,0 m. cuando del cálculo se obtengan valores inferiores a esa cifra.

### 1.4. Permisos

El estatus de los permisos para la TMF, se detalla a continuación.

**Tabla 1-3: Gestión de Permisos al 31 de diciembre de 2019 (ref. manual OMS\_R4\_ Wood).**

Organismo	Descripción	Resolución N°	Fecha
COREMA	Resolución de Calificación Ambiental Proyecto Hipógeno	RCA 104	2007.06.13
DGA (MOP)	Construcción de Obras Hidráulicas, aprueba proyecto fase I	1.677	2008.07.08
	Recepción de Obras Hidráulicas, recepciona la construcción de la fase I	24	2010.01.12
	Construcción de Obras Hidráulicas, aprueba proyecto fase II	2.115	2013.07.15
	Recepción de Obras Hidráulicas, recepciona la construcción de la Etapa 2	198	2014.01.22
	Solicitud de modificación Cauce de la Plataforma Tubería de Recirculación de Aguas Claras y Camino Depósito de Relaves	235	2018.03.14
SNGM	Proyecto de Construcción depósito de Relaves (fase I)	923	2007.10.17
	Proyecto de Construcción depósito de Relaves (fase II)	1.050	2008.12.20
	Puesta en Servicio de Depósito de relaves	167	2010.01.19
	Plan de Cierre	1.680	2015.06.24
	Actualización Plan de Cierre	2.948	2019.11.26
SEREMI de SALUD	Proyecto Construcción Depósito de Relaves	5.985	2009.10.27
	Puesta en Servicio de Depósito de Relaves	946	2010.03.15

## 1.5. Descripción de las Instalaciones

La instalación se denomina embalse de relaves Carmen de Andacollo y su desarrollo contempla 6 etapas de crecimiento, para satisfacer la vida útil de diseño de 21 años, con una capacidad de almacenamiento según los permisos vigentes de 416 Mt – 297 Mm<sup>3</sup>.

El embalse de relaves está conformado por los muros poniente (MP), norte (MN), nororiente (MNO), oriente (MO) y sur (MS), incluyendo la estructura denominada botadero sur (BS) y un muro pequeño, denominado muro de cierre (MC) que se construye durante la etapa 6, hacia el poniente del estribo sur del Muro Oriente final.

Tanto el muro sur como el tramo sur del muro oriente, están clasificados como estructuras de muy alta (Very High) consecuencia de acuerdo con la Canadian Dam Association (CDA), el resto de los muros se clasifican como estructuras de alta (High) consecuencia. Esta clasificación fue desarrollada por Teck durante el año 2014.

Todos los muros son de empréstito, contruidos con material de estéril de mina, mediante el método aguas abajo, protegidos en su talud interno con material de baja permeabilidad (relleno de transición).

Adicionalmente, la Etapa 1 del MNO, BS y MO (hasta la cota El. 1.117 msnm) y todas las etapas del MS y MO(S), contemplan la impermeabilización del talud interno mediante geomembrana de HDPE de 1,5 mm de espesor. La base de cada muro contempla un sistema de drenaje (tipo francés) diseñado con factor de seguridad FS = 5, cuyo efluente es devuelto al proceso de la planta concentradora.

Los muros se construyen geoméricamente con un talud aguas abajo 1,8 (H) / 1 (V), taludes aguas arriba 2,0 (H) / 1 (V) cuando estén impermeabilizados con geomembrana y 1,6 (H) / 1 (V) cuando estén cubiertos solo con relleno de transición. El ancho de coronamiento mínimo es de 50 m en etapas de crecimiento intermedias (1 @ 5) y de 30 m mínimo para la etapa final (6).

La elevación final de los muros corresponde a la cota 1.204 msnm y el diseño sísmico recomienda operar con una revancha mínima de 3 m desde la cota de los relaves en contacto con los muros hasta la El. del coronamiento de la etapa diferida en operación, basado en el análisis de estabilidad dinámica utilizando acelerograma correspondiente al SMC, documento # 211-1IT-R-080, de fecha 09 de mayo de 2007.

Las principales obras que conforman el manejo de relave y la TMF en general corresponden a las siguientes:

- Muros del depósito, construidos con estéril de mina.
- Sistema de transporte (Impulsión y Distribución) de relave.
- Sistema de recuperación de aguas desde la laguna de clarificación.
- Sistema de agua para lavado y dilución.
- Sistema de drenaje.

## 2.0 CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN 2019

### 2.1. Depositación de Relaves

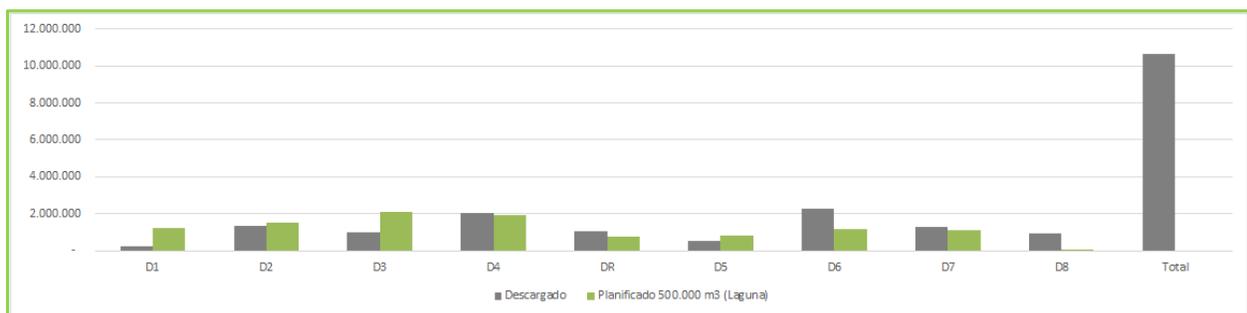
A continuación, se resumen los datos de depositación real y programada de acuerdo con el plan de llenado vigente actualizado el Q3 del año 2019, mediante el documento # E40165-840-R-TR-020\_R0: “Actualización Plan de Llenado – Depósito de Relaves 2019”. Se presenta una sola tabla de control, para la condición de volumen operacional de laguna de 500.000 m<sup>3</sup>, y que corresponde al caso desarrollado en el plan.

Como se puede apreciar en la Tabla 2-1, para el periodo programado de 275 días comprendido entre los meses de abril a diciembre de 2019, existe un déficit en la depositación equivalente a 60 días, lo que es consistente con el lapso en que se mantuvo detenida la planta durante el mismo período, los que se pueden desglosar en 52 días de huelga legal y 5 días en septiembre por la parada de planta programada, más días adicionales por detenciones menores para la reparación / mantención del espesador y otras actividades. Considerando estas detenciones, se puede indicar que el periodo efectivo de operación equivale a un 59% de un año normal, considerando que durante un año normal se producen cerca de 18 Mt de relaves al año.

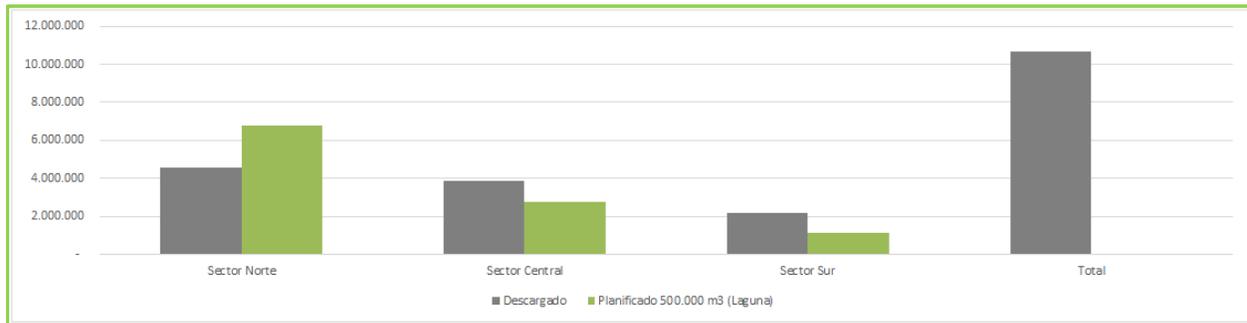
**Tabla 2-1: Depositación real versus programada (abr. 2019 – dic. 2019, 275 días corridos).**

Laguna 500.000 m <sup>3</sup>											Total
Descarga	[#]	1	2	3	4	RS	5	6	7	8	
Acum. Periodo	[t]	229.738	1.321.867	993.527	2.043.365	1.061.326	535.295	2.296.306	1.277.476	906.079	10.664.979
Planificado	[%]	11	14	20	18	7	8	11	11	0	100
Restante	[t]	1.202.063	1.531.644	2.088.412	1.943.354	761.556	841.551	1.144.467	1.134.867	17.066	10.664.979
Operando Real / Descarga		972.325	209.777	1.094.885	- 100.011	- 299.770	306.256	- 1.151.839	- 142.609	- 889.013	0
Operando Real / Zona		5	27	20	41	21	11	46	26	18	215
Planificado / Zona	[d]	93				79			44		215
Restante (+/- 1)		174				71			30		275
		82				-8			-14		60

**Figura 2-1: Depositación real versus programada, por descarga (abr. 2019 – dic. 2019, 275 días corridos).**



**Figura 2-2: Depositación real versus programada, total por sector (abr. 2019 – dic. 2019, 275 días corridos).**



Comparando la condición de depositación real que se verificó durante el periodo respecto del plan de llenado vigente, se tiene que para el sector norte del embalse (descargas D1 @ D4) se puede apreciar una diferencia del orden de los 82 días de depositación (déficit) entre cómo se planificó y como se operaron realmente las descargas, 22 días se distribuyeron entre los sectores centro y sur del embalse y los restantes 60 días se justifican según el párrafo anterior.

Del mismo modo, para el sector central del embalse (descargas D5, D6 y rebose) esta diferencia es del orden los 8 días (exceso) y para el sector sur del embalse (descargas D7 @ D8) se verifica una diferencia de 14 días de depositación (exceso).

Dadas ciertas restricciones operacionales y de construcción que se verificaron durante el periodo, el cumplimiento del plan de llenado se considera satisfactorio.

## 2.2. Capacidad de Almacenamiento Remanente

La capacidad remanente del depósito de relaves en su condición actual se debe referenciar a la elevación del coronamiento de la Etapa 3 (El. 1.149,5 msnm) y a la tasa de aumento de elevación del nivel del pelo de agua de la laguna de aguas claras durante el año 2019 que fue de 2,91 m neto durante el año, equivalente a 3,39 m/año al momento de descontar los 52 días de parada no programada con motivo de la huelga legal.

De acuerdo con el DS 248, se define la revancha como: *la diferencia menor, en cota, entre la línea de coronamiento del muro de contención y la superficie inmediatamente vecina de la fracción lamosa o de la superficie del agua, que se produce en los tranques y embalses de relaves.*

En función de la tasa de aumento detallada, en la Tabla 2-2 se indican las revanchas y tiempos remanentes de operación para la Etapa 3 de crecimiento diferido, en cada uno de los muros del embalse, al 31 de diciembre de 2019:

Tabla 2-2: Revancha / Tiempo de Operación Remanente, 31 de diciembre de 2019

Coronamiento E3: 1.149,50 [msnm]				
Crecimiento: 3,39 [m/año]				
Muro	El. Playa [msnm]	Revancha [m]	Remanente	
			[año]	[meses]
MN	1.147,770	1,730	0,51	6,12
MNO	1.146,310	3,190	0,94	11,29
MO	1.145,401	4,099	1,21	14,51
BS	1.144,260	5,240	1,55	18,55
MO(S)	1.144,850	4,650	1,37	16,46
MS	1.145,110	4,390	1,29	15,54

Respecto de la revancha hidráulica, la cota del pelo de agua de la laguna de aguas claras al término del periodo corresponde a la El. 1.142,956 msnm lo que equivale a un remanente de 6,54 m, equivalente a 1,93 años de operación, que incluye la revancha operacional y el volumen disponible para almacenar la Crecida Máxima.

Respecto del volumen remanente, al 31 de diciembre de 2019 se han depositado 160,72 Mt de relaves en el embalse, el diseño de la TMF considera una capacidad final de 416 Mt, por lo que el depósito a su término deberá contar con a lo menos una capacidad de almacenamiento remanente de 255,28 Mt. Respecto del volumen ocupado por los relaves dentro del depósito, la batimetría del 19 de diciembre de 2019 arrojó un total de 99,07 Mm<sup>3</sup> acumulados, lo que permite calcular un valor para la densidad seca de los relaves depositados ( $D_s$ ) en torno a 1,62 t/m<sup>3</sup>. Tal como se indicó en los documentos DSI anteriores, este valor se considera alto, sin embargo, la revisión desarrollada durante marzo de 2017, de los antecedentes y la metodología realizado por Wood, a la empresa encargada de realizar los controles batimétricos y levantamiento de playas (Gesecology), no presenta desviaciones que pudieran sugerir que dicho valor esté erróneo en sus procesos de cálculo. Durante el año 2018, Wood revisó los hitos topográficos para monitoreo y control del embalse de relaves, descartándose que hubiera error en la elevación de alguno de los puntos de referencia, que pudiera ser traspasado al levantamiento general. Durante el trimestre Q4 del año 2018, se desarrolló trabajo de campo conjunto Gesecology / Wood, para la oficialización del valor de densidad seca, que deberá ser utilizado en los futuros diseños, definiéndose el valor de referencia 1,55 t/m<sup>3</sup> al término del año 2018.

Utilizando dicha densidad estos 255,28 Mt de relaves restantes a disponer al término de la vida útil proyectada del depósito, ocuparán un volumen de 164,70 Mm<sup>3</sup>, esto sumado a los 99,07 Mm<sup>3</sup> ya depositados arroja un volumen total utilizado de 263,77 Mm<sup>3</sup>, si lo comparamos con los 297 Mm<sup>3</sup> indicados en el diseño, en la Etapa 6 de crecimiento diferido el depósito tendría capacidad suficiente para admitir a lo menos 51,51 Mt (33,23 Mm<sup>3</sup>) adicionales, totalizando un máximo teórico de 467,51 Mt, es decir un 12% más que la capacidad estimada por el diseño.

## 2.3. Construcción y Operación Durante el Período

### 2.3.1. Operación de Agua y Relaves

La TMF operó dentro de los límites definidos por la E3 de crecimiento, recibiendo un total de 10,66 Mt de relaves durante el periodo, mediante las nueve (9) descargas distribuidas al coronamiento de dicha etapa (El. 1.149,5 msnm) acumulando un total de 160,72 Mt al día 31 de diciembre de 2019. El embalse de relaves se divide en tres (3) sectores de depositación, el sector norte que concentró un 43% de la descarga anual de relaves y los sectores centro y sur que recibieron un 37% y un 20% respectivamente, con variaciones del + 6%, + 2% y - 8 % respecto del periodo anterior, estas variaciones reflejan que los trabajos de construcción del periodo se han concentrado en el frente sur del depósito.

El volumen de la laguna de aguas claras alcanzó un máximo de 0,46 Mm<sup>3</sup> a mediados de julio de 2019, fecha en la que se verificó la mínima distancia laguna a muro (480 m), en tanto, la elevación del pelo de agua de la laguna varió entre las cotas El. 1140,044 msnm. y El. 1.142,956 msnm. (2,91 m de incremento). Al 31 de diciembre de 2019 el stock de agua acumulada en la laguna es de 400.206 m<sup>3</sup> aproximadamente, lo que se considera dentro de lo contemplado en el diseño.

### 2.3.2. Construcción de Muros

- a) Relleno Masivo: durante el periodo la flota de mina de Teck CdA construyó un total de 1,59 Mm<sup>3</sup> de relleno masivo específicamente para el Etapa 4, lo que equivale aproximadamente a 3,02 Mt de estéril seleccionado. Los muros que se construyeron durante el periodo fueron el MN, MNO, MO y MO(S), el resumen del periodo por muro se detalla a continuación:

**Tabla 2-3: Resumen Relleno Masivo.**

Muro	Durante el Periodo		Total Acumulado	Descripción de los Trabajos
	Volumen [m3]	Tonelaje [t]	Volumen [m3]	
MN	85.501	162.452	3.601.884	Finaliza Construcción E4, parcela aguas abajo
MNO	137.930	262.067	18.570.262	Finaliza Construcción E4, Estribo Sur empalme Pl. Tk-042
MO	348.160	661.504	5.464.710	Finaliza Construcción E4, Inicia Construcción E5 parcela Aguas Abajo
MO(S)	1.018.799	1.935.718	3.489.974	Finaliza Construcción E4, al pie de la E5
MS		-	1.014.411	Sin avance
<b>Total</b>	<b>1.590.390</b>	<b>3.021.741</b>	<b>32.141.241</b>	

- b) Corte y Retiro: el contratista local Cooptrans desarrolla durante el periodo la continuación de trabajos asociados al corte y retiro del relleno masivo suelto desde la cara de los muros del embalse de relaves, para la E4 de crecimiento del embalse de relaves, previo a la construcción de los rellenos de transición respectivos. A continuación, se presenta el resumen para el periodo:

**Tabla 2-4: Resumen Corte y Retiro.**

			Trabajo Efectivo	Volumen	Rendimiento
Muro	Inicio	Término	[d]	[m3]	[m3/d]
MNO	08-jul-19	10-dic-19	85	51.223	603
		<b>Total</b>	<b>85</b>	<b>51.223</b>	

- c) Relleno de Transición: Posterior al trabajo de corte y retiro, corresponde la construcción del relleno de transición sobre la cara de los muros del Embalse. El contratista local Rentamaq desarrolla durante el periodo los trabajos asociados al relleno de transición, para la E4 de crecimiento del embalse de relaves. A continuación, se presenta el resumen para el periodo:

**Tabla 2-5: Resumen Relleno de Transición.**

Muro	Inicio	Término	Trabajo Efectivo	Volumen	Rendimiento	Capas	Cota Final
	[aaaa-mm-dd]	[d]					
MN	2019-07-09	2019-12-31	69	15.895	230	16	1.155,90
MNO	2019-12-20	2019-12-31	7	451	64	Nivelante	1.148,40
MS	2019-04-01	2019-09-10	118	47.243	400	33	1.162,50
		<b>Total</b>	<b>194</b>	<b>63.589</b>			

- d) Perfilado: Posterior a la colocación del relleno de transición en los muros MO(S) y MS, se retiró el sobre ancho de construcción. Sobre esta superficie perfilada y uniforme, se colocarán los geosintéticos.
- e) Impermeabilización: durante el año no se desarrollaron trabajos asociados a la impermeabilización con geosintéticos de los muros del embalse de relaves.
- f) Drenajes: durante el año no se desarrollaron trabajos asociados a la construcción del sistema de drenaje de los muros del embalse de relaves.
- g) Trincheras: durante el periodo se desarrollaron mallas de perforaciones de pozos para tronaduras en la trinchera N° 9 y N° 10
- h) Conducción de agua recuperada: durante el periodo se inician los trabajos de construcción de obras de arte en las quebradas que atraviesa la plataforma de la cañería de agua recuperada.

### 2.3.3. Construcción de Sistema de recuperación de Agua desde Laguna

Las bombas flotantes que recuperan el agua desde la laguna de aguas claras y que la devuelven al proceso de la planta concentradora, operan en la trinchera #8 desde el Q3 del año 2017, y se proyecta que esté operativa hasta el Q2 del año 2020. La construcción de la siguiente trinchera, está programada para el Q1 del año 2020, con la excavación en roca mediante tronadura.

## 2.4. **Planta y Secciones Transversales Actualizadas**

En las siguientes figuras se presenta la geometría de los muros del depósito actualizada al 31 de diciembre de 2019.

Figura 2-3: Planta Depósito de Relaves, al 31 de diciembre de 2019 (ref. GA 2019.Q4, Wood).

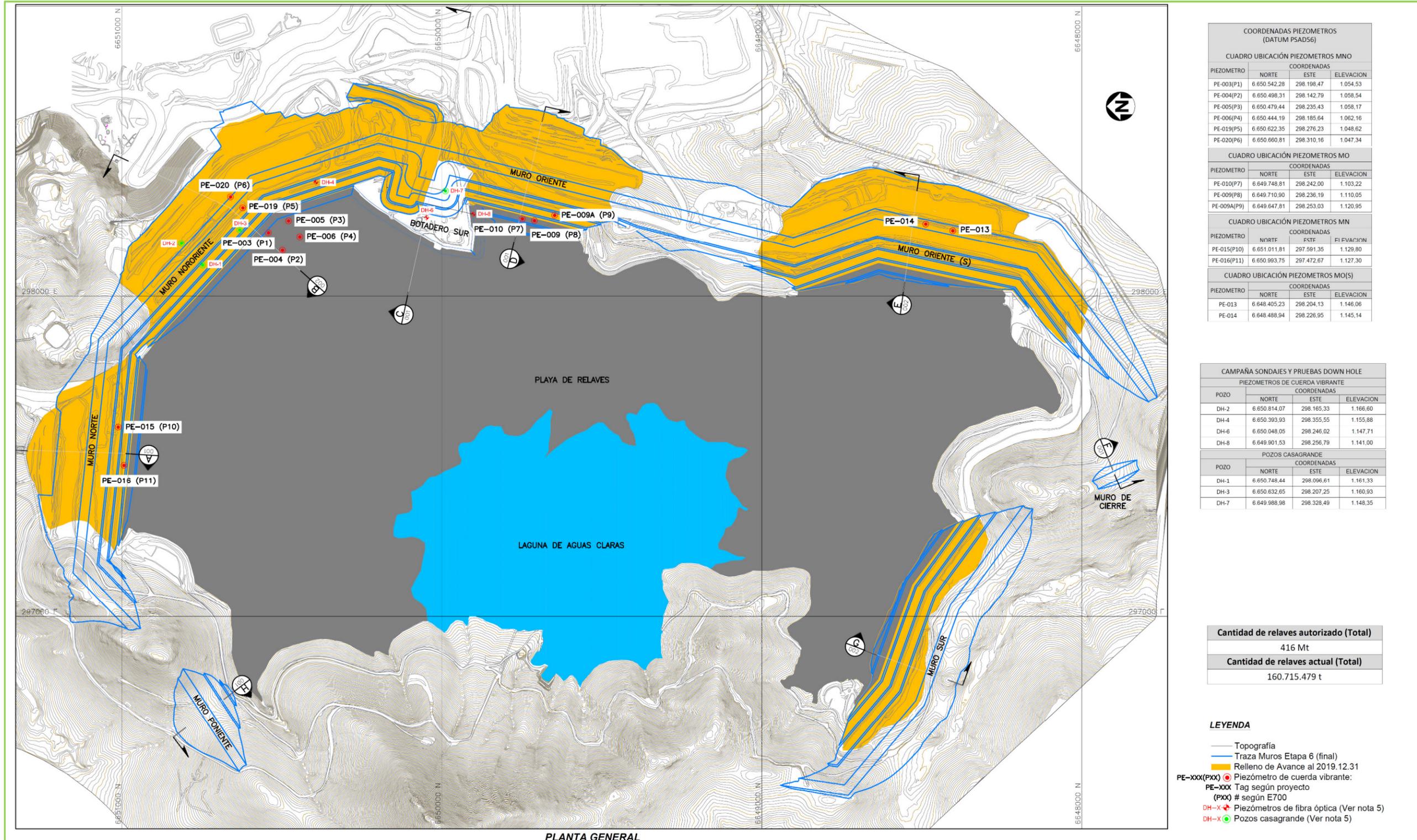
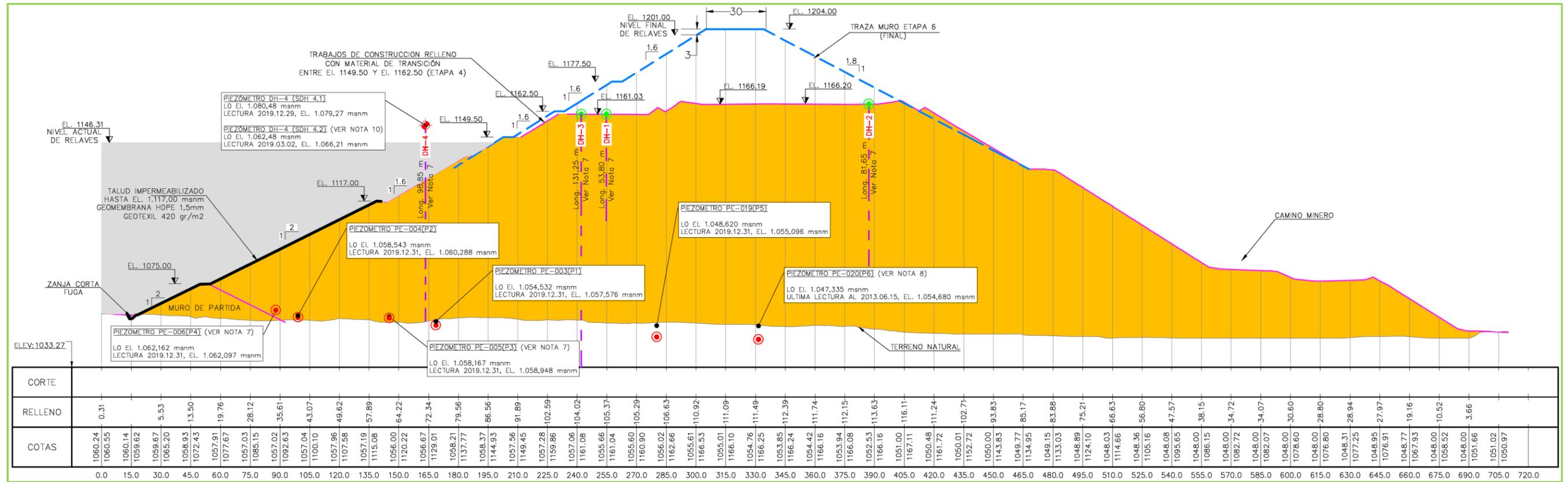




Figura 2-5: Sección B - B: Muro Nor Oriente (MNO), al 31 de diciembre de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q4, Wood).



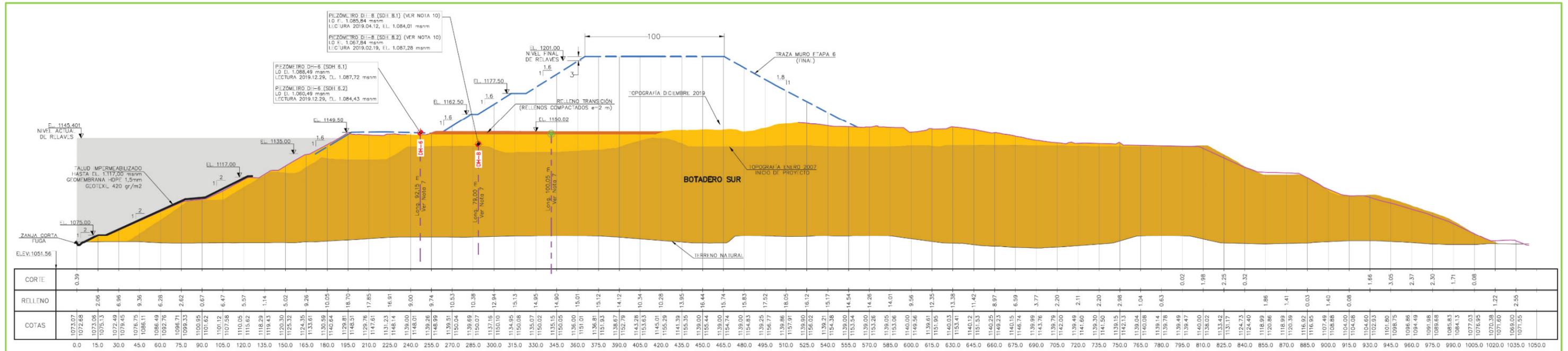
Nota Impermeabilización: Se impermeabilizó con Geomembrana el talud aguas arriba hasta la cota El 1.117 msnm. (Etapa 1);

Nota 7: Los piezómetros indicados en las secciones se muestran referencialmente, debido a que no pasan exactamente por el perfil tomado, siendo las elevaciones las reales en el sitio, para su emplazamiento relativo respecto de la Sección B – B, ver la Figura 2-3;

Nota 8: A partir de junio 2013, se pierde la señal del piezómetro PE-020 (P6); y

Nota: El 10 de marzo de 2019, se pierde la señal del piezómetro 4200 (DH04), instalado en la roca de fundación dentro del sondaje DH-04.

Figura 2-6: Sección C - C: Botadero Sur (BS), al 31 de diciembre de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q4, Wood).



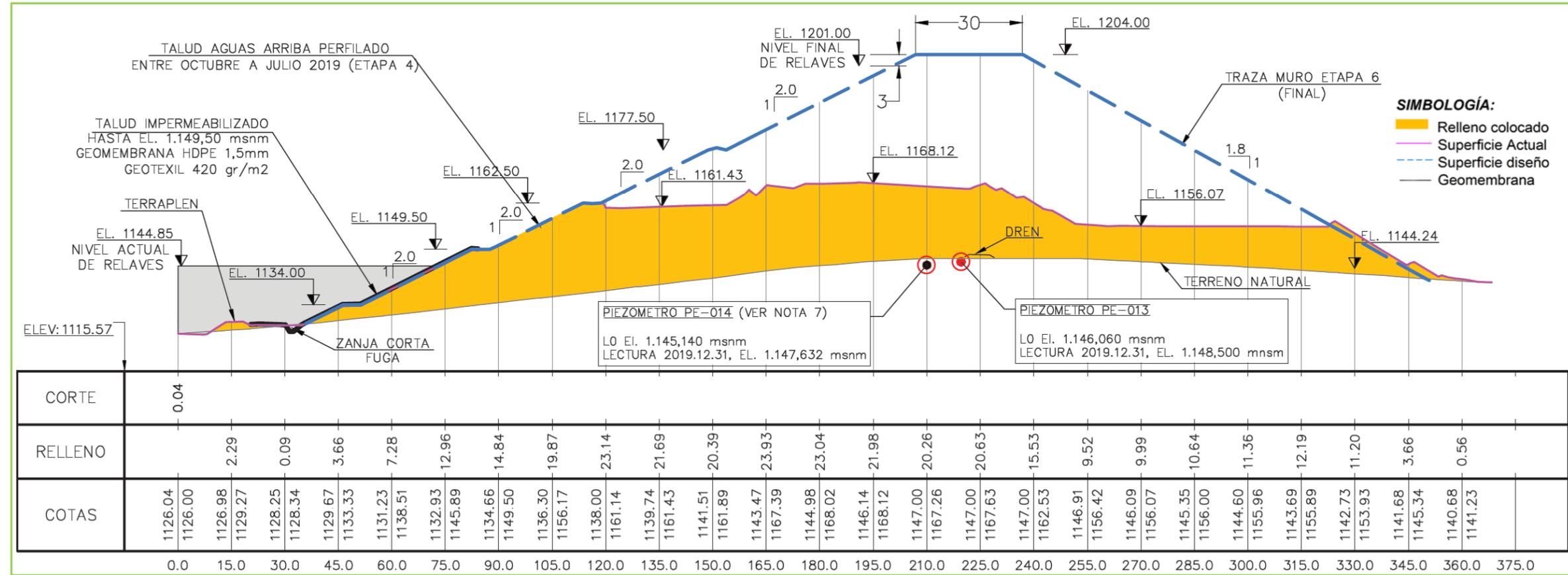
Nota Impermeabilización: Se impermeabilizó con Geomembrana el talud aguas arriba hasta la cota El 1.117 msnm. (Etapa 1);

Nota 7: Los piezómetros indicados en las secciones se muestran referencialmente, debido a que no pasan exactamente por el perfil tomado, siendo las elevaciones las reales en el sitio, para su emplazamiento relativo respecto de la Sección C – C, ver la Figura 2-3; y

Nota: A partir del 24 de febrero de 2019, se pierde la señal del piezómetro 8200 (DH08), instalado en la roca de fundación dentro del sondaje DH-08.



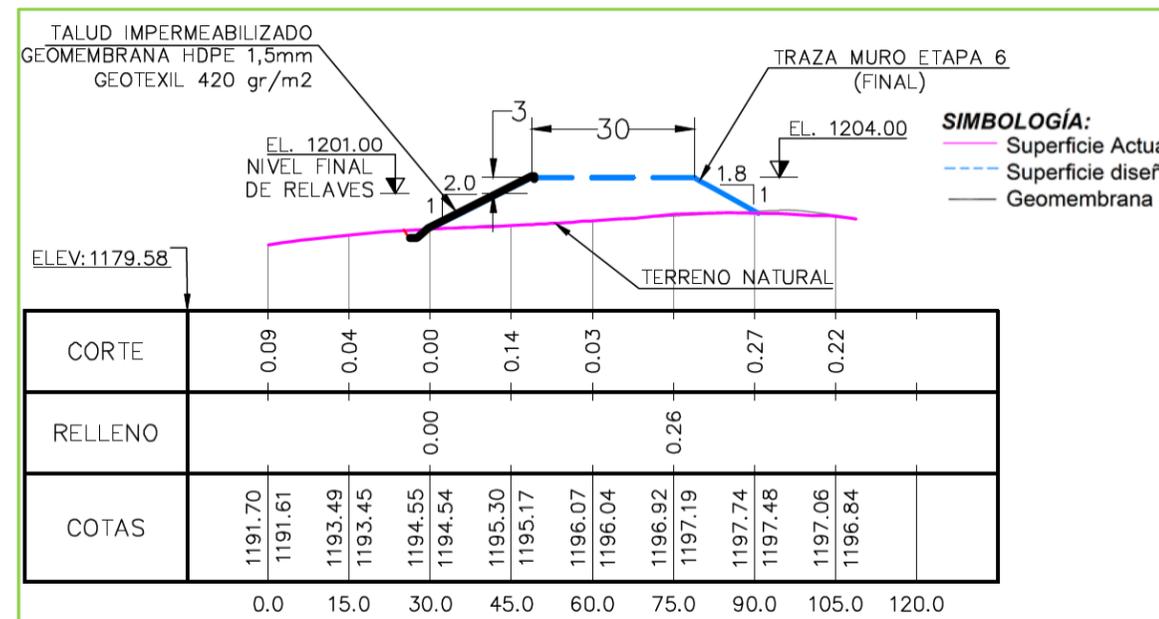
Figura 2-8: Sección E - E: Muro Oriente(Sur) (MO(S)), al 31 de diciembre de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q4, Wood).



Nota: Se impermeabiliza con Geomembrana la cara completa del talud aguas arriba; y

Nota 7: Los piezómetros indicados en las secciones se muestran referencialmente, debido a que no pasan exactamente por el perfil tomado, siendo las elevaciones las reales en el sitio, para su emplazamiento relativo respecto de la Sección E – E, ver la Figura 2-3.

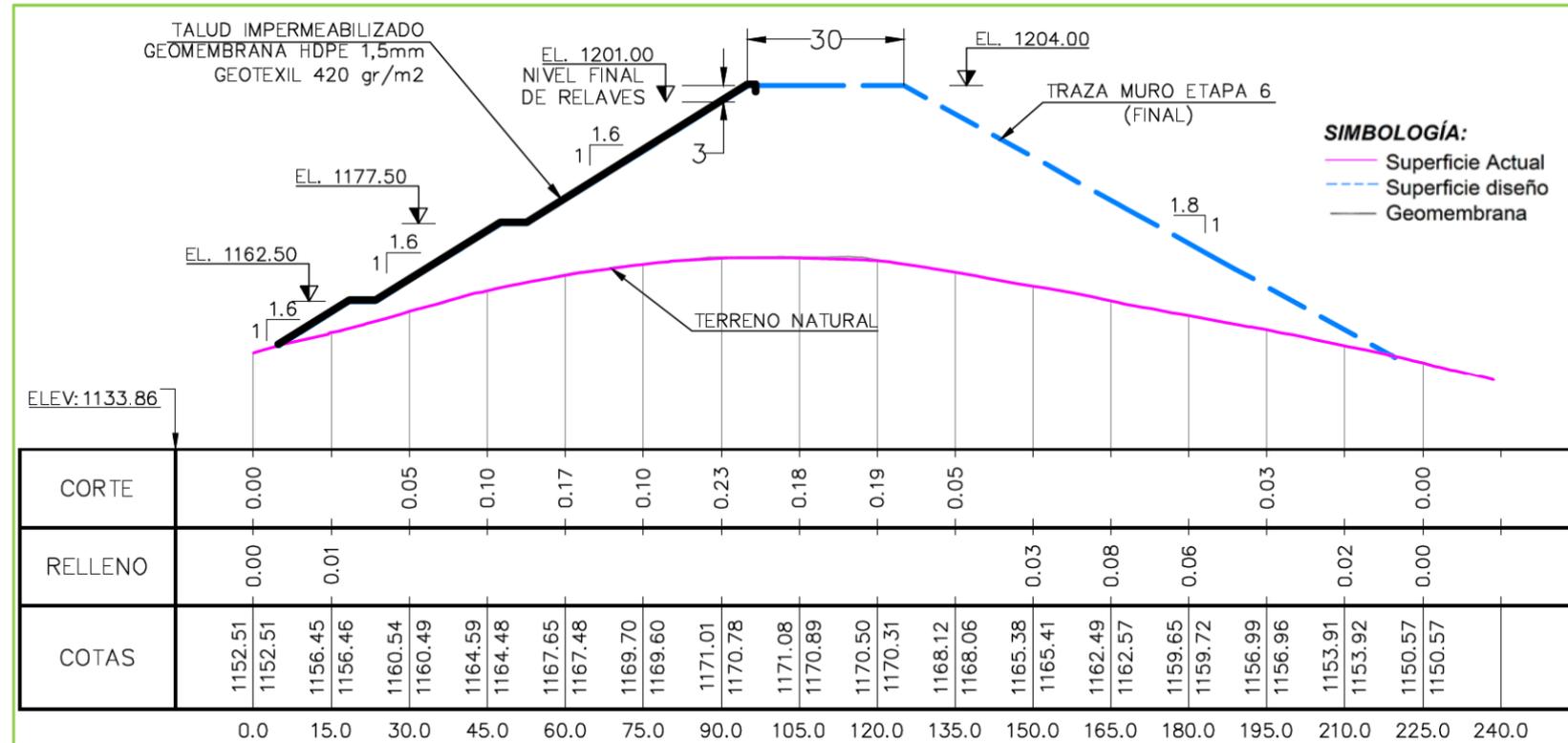
Figura 2-9: Sección F - F: Muro de Cierre (MC), al 31 de diciembre de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q4, Wood).



Nota emplazamiento: este muro se ubica entre el estribo sur del MO(S) y el estribo oriente del MS (ver Figura 2-2).



Figura 2-11: Sección H - H: Muro Poniente (MP), al 31 de diciembre de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q4, Wood).



Nota: Se impermeabiliza completa con Geomembrana la cara del talud aguas arriba; y

Nota inicio Construcción: No presenta rellenos al momento de la visita de terreno, inicia construcción durante el año 2020.

## 2.5. Revisión de Datos y Registros

### 2.5.1. Inspecciones diarias

Como parte de las actividades asociadas al QA/QC de la construcción de la TMF, Wood realiza inspecciones diarias en los frentes de construcción, las cuales, al término de cada jornada, son reportadas al departamento de Agua / Relaves y a la superintendencia de Recursos Hídricos Teck CdA, mediante un correo electrónico denominado “Reporte de Actividades Diarias”. Las inspecciones incluyen, pero no se limitan, a:

- Rellenos masivos ejecutados por operaciones Mina de Teck CdA. Se realiza control de sobre tamaños, control topográfico de espesor de capas construidas y/o por construir, control topográfico del alineamiento aguas arriba y/o aguas abajo según corresponda, controles de compactación mediante reemplazo de agua (macrodensidad, anillo de 2 m de diámetro) realizados por el Laboratorio de Mecánica de Suelos de Terreno a cargo de la fundación Invecc, cada 200.000 m<sup>3</sup> de relleno masivo colocado y otros controles según se requiera;
- Rellenos de transición y/o rectificación ejecutados por contratistas de construcción, controles de compactación y granulometría de los materiales (realizados por laboratorio Invecc);
- Instalación de geosintéticos en la cara aguas arriba de los muros, piscinas, sistemas de captación y conducción de drenajes;
- Excavación y relleno de zanjas corta fugas, de anclaje superior, de anclaje inferior y de anclaje lateral;
- Construcción de sistema colector y de control de filtraciones (drenajes). Sin actividad de construcción al momento de la visita;
- Instalación y de instrumentación geotécnica; y
- Respaldo fotográfico.

Asociadas al seguimiento operacional del Embalse, Wood realiza inspecciones diarias que incluyen:

- Control de la elevación de la laguna de aguas claras;
- Control de la elevación del relave en contacto con la descarga operativa;
- Control y registro del caudal de filtraciones (afloramientos y drenajes); y
- Control y registro de puntos de descarga operativos.

Asociadas al seguimiento de seguridad del Embalse, personal de Wood (el supervisor de control de calidad geotécnico) una (1) vez al día) y personal de Teck CdA

(operadores de relaves) tres (3) veces al día, realizan un recorrido general de las instalaciones, reportando en tiempo real cualquier desviación, al departamento de Agua y Relaves Teck CdA. En el caso de Wood dicha reportabilidad queda registrada mediante “Reporte de Actividades Diarias” y en el caso de Teck CdA queda registrada mediante los formularios de inspección sugeridos en el manual OMS.

### 2.5.2. Inspecciones semanales

Asociadas al seguimiento operacional del Embalse, Wood realiza inspecciones semanales, las que incluyen:

- Control y registro de las lecturas piezométricas.

Asociadas al seguimiento de seguridad del Depósito de Relaves, de manera semanal el personal de Wood realiza una inspección detallada, del tipo caminata de uno (1) o dos (2) de los muros que conforman la TMF. Las inspecciones quedan registradas en formularios específicos, idénticos a los utilizados durante la inspección realizada DSI 2020 (ver Anexos B1 a B6) y se realizan a pie, incluyendo:

- Talud Aguas Arriba / Playa de Relaves;
- Coronamiento;
- Talud aguas Abajo;
- Estribo Izquierdo del Muro (mirando hacia aguas abajo);
- Estribo Derecho del Muro (mirando hacia aguas abajo);
- Drenaje Aguas Abajo y Obras Colectoras de Filtraciones; y
- Instrumentación.

### 2.5.3. Inspecciones mensuales

Asociadas al seguimiento operacional del Embalse, Teck CdA realiza inspecciones mensuales que incluyen:

- Control batimétrico y levantamiento de Playas; y
- Actualización del Balance de Agua.

Asociadas al seguimiento de seguridad del Depósito de Relaves, personal de Wood completa mensualmente una inspección detallada caminando de todos los muros, según lo descrito en el ítem 2.5.2, las que se documentan en formularios específicos, idénticos a los utilizados durante la inspección realizada DSI 2020 (ver Anexos B1 a B6).

#### 2.5.4. Inspecciones trimestrales

Asociadas al seguimiento de seguridad del Embalse, Teck CdA, realiza trimestralmente:

- Reporte de Estabilidad Geotécnica Corporativo.

Asociadas al seguimiento de seguridad del Depósito de Relaves, personal de Wood realiza una inspección trimestral que incluye:

- Nivelación de los monolitos para control de asentamientos en todos los muros; y
- Rescate de los datos almacenados en el Acelerógrafo del MNO.

#### 2.5.5. Inspecciones anuales

Asociadas al seguimiento de seguridad del Depósito de Relaves, el EOR (Luis Gonzalez Caro, Wood), realiza una inspección anual que incluye:

- Inspección de Seguridad del Depósito (DSI, por sus siglas en inglés).

El detalle de los hallazgos relativos al inspección DSI 2020, se pueden encontrar en el capítulo 7.0.

#### 2.5.6. Inspecciones quinquenales

Asociadas al seguimiento de seguridad del Depósito de Relaves, personal experto externo a la TMF, debe realizar una revisión cada cinco (5) años, de acuerdo con la más alta clasificación de consecuencias de algún muro, que incluye:

- Revisión de Seguridad del Depósito (DSR, por sus siglas en inglés).

El último DSR se realizó el año 2018 y el detalle de la declaración (statement), así como el plan de acciones específicas ante sus recomendaciones se pueden encontrar en el capítulo 8.8.

#### 2.5.7. En tiempo real

Durante el periodo Teck CdA da marcha al monitoreo, contemplado en el proyecto TAPD2017, y que consiste en tecnología aplicada al depósito de relaves para el monitoreo continuo y en línea, mediante:

- Televigilancia por medio de cámaras de alta definición;
- Aplicación tecnológica al proceso de monitoreo de asentamientos y desplazamientos en los muros, con estación total robotizada, para lo que se instalaron 39 prismas distribuidos principalmente al coronamiento de la E3 de crecimiento diferido (El. 1.149,5 msnm), sobre la plataforma operacional respectiva;

- Aplicación de telemetría para la captura de las cotas piezométricas y control de agrietamientos por medio de extensómetros, en forma inalámbrica y en tiempo real. Monitoreo de instrumentación, incluyendo 8 piezómetros de cuerda vibrante y 4 extensómetros;
- Medición de deformaciones sobre la mina Carmen de Andacollo (incluye depósito de relaves); y
- Centralización de la información en software especializado Aris-G.

### 2.5.8. Extraordinarias

Para las inspecciones de seguridad extraordinarias se utilizará documento específico “Formulario de Inspección Extraordinaria, Situación Depósito de Relaves” (ver Figura 2-12). Estas inspecciones deben realizarse después de ocurrido un evento extraordinario como:

- Sismo > 6 (Mw);
- Lluvia > 30 mm/d;
- Viento fuerte;
- Explosión; y
- Otra condición inusual (por ejemplo, nieve).

Figura 2-12: Ficha de Inspección Extraordinaria (ref. manual OMS\_R4, Wood).

<b>Teck</b>		Ficha de Inspección Extraordinaria		<b>wood.</b> Hoja _1_ de _2_	
<b>Situación Depósitos de Relaves</b>					
Empresa: <u>Compañía Minera Teck Carmen de Andacollo</u>		Este:	297.500		
Nombre de Faena: <u>Compañía Minera Teck Carmen de Andacollo</u>		Coordenadas	Norte:	6.650.000	
Nombre, RUT, Email y Dirección del Representante Legal: <u>Manuel Ronaldo Novoa Villegas; 9.516.897-3;</u>			Datum:	PSAD 56	
Camino a Chepiquilla S/N, Andacollo; manuel.novoa@teck.com		Telefono contacto:			
Nombre del depósito de relaves: <u>Depósito Relaves Carmen de Andacollo</u>		Fecha:			
Ubicación (región, provincia, comuna): <u>Coquimbo, Elqui, Andacollo</u>		Altura Muro:		(m)	
Tipo de depósito:	<input checked="" type="checkbox"/> Embalse <input type="checkbox"/> Tranque <input type="checkbox"/> Filtrado <input type="checkbox"/> Espesado	Cota muro de partida:		1.075,00 (m.s.n.m)	
Activo	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	Angulo de talud externo:		1,8 grados	
Método de Construcción	<input type="checkbox"/> Aguas arriba <input checked="" type="checkbox"/> Aguas Abajo <input type="checkbox"/> Eje Central	Pendiente muro (H:V):		1,6 / 1	
<b>ESTADO GENERAL DEL DEPÓSITO DE RELAVES</b>					
<b>Muro</b>					
Estado de saturación	<input type="checkbox"/> Seco <input type="checkbox"/> Húmedo <input type="checkbox"/> Saturado	Foto		Foto	
Carcavas	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	Profundidad (m)			
Impermeabilización aguas arriba muro	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	Largo (m)			
Altura de revancha de cada muro	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Detalle: de cada muro			
	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Muro1 (MN):			
	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Muro2 (MNO):			
	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Muro3 (BS):			
	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Muro4 (MO):			
Pie del Talud	<input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> Socavamiento	Foto		Foto	
Estado Coronamiento	<input type="checkbox"/> Seco <input type="checkbox"/> Saturado	Ancho (m)			
Observaciones: (presencia de grietas, erosión, filtraciones, carcavas, etc)					
<b>Laguna de Aguas Claras</b>					
Ubicación respecto al muro	<input type="checkbox"/> < 100 mts <input type="checkbox"/> > 100 m <input type="checkbox"/> metros				
Area de la Laguna:	(m <sup>2</sup> )				
Longitud playa:	(m)				
Funcionamiento Bombas	<input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Sin Funcionar				
Observaciones (Sistema eléctrico Normal / Generador - Agua Sobrenadante):					

<b>Teck</b>		Ficha de Inspección Extraordinaria		<b>wood.</b> Hoja _2_ de _2_	
<b>Situación Depósitos de Relaves</b>					
<b>Drenes</b>					
Funcionamiento	<input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> < normal <input type="checkbox"/> > a lo normal				
Agua de drenaje:	<input type="checkbox"/> Clara <input type="checkbox"/> Semiturbia <input type="checkbox"/> turbia				
Observaciones		Foto			
<b>Piezómetros</b>					
Tipo de piezometro	<input type="checkbox"/> Cuerda vibrante <input type="checkbox"/> Casagrande				
Cantidad	<input type="checkbox"/> C. Vibrante <input type="checkbox"/> Casagrande				
Estado	<input type="checkbox"/> Operativo <input type="checkbox"/> No Operativo				
Cota del Nivel freatico: (m.s.n.m)					
Piezometro P1 (PE-003):	<input type="checkbox"/>	Piezometro P2 (PE-004):	<input type="checkbox"/>	Piezometro P3 (PE-005):	<input type="checkbox"/>
Piezometro P4 (PE-006):	<input type="checkbox"/>	Piezometro P5 (PE-019):	<input type="checkbox"/>	Piezometro P6 (PE-020):	<input type="checkbox"/>
Piezometro P7 (PE-010):	<input type="checkbox"/>	Piezometro P8 (PE-009):	<input type="checkbox"/>	Piezometro P9 (PE-009A):	<input type="checkbox"/>
Piezometro P10 (PE-015):	<input type="checkbox"/>	Piezometro P11 (PE-016):	<input type="checkbox"/>	Piezometro	<input type="checkbox"/>
<b>Control Sismográfico</b>					
Acelerografo (unidad)	<input type="checkbox"/>	Celdas de asentamiento	<input type="checkbox"/>	Placas de corrimiento	<input type="checkbox"/>
<b>Otra Obras</b>					
Vertedero de emergencia	<input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Con sedimento <input type="checkbox"/> Relleno				
Canal de contorno	<input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Con sedimento <input type="checkbox"/> Relleno				
Piscina de emergencia	<input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Con sedimento <input type="checkbox"/> Relleno				
Sistema de bombeo	<input type="checkbox"/> Operativo <input type="checkbox"/> No Operativo				
Situación de cauces	<input type="checkbox"/> Alejado del muro <input type="checkbox"/> Cercano al muro				
<b>Distancia Peligrosa</b>					
Distancia	<input type="checkbox"/> (km)				
Plano hoya hidrográfica afectada por la trayectoria más probable del relave en caso de fallar el depósito:					
Plano					
Estimación del % de humedad del muro (en tres puntos 1/3 y 2/3 de la altura del muro) <input type="checkbox"/> %					
Nombre Responsable Minera: Manuel Novoa Villegas					
Firma					

### 3.0 DATOS CLIMÁTICOS Y BALANCE DE AGUAS 2019

#### 3.1. Resumen anual de datos climáticos y tendencia

Desde el 12 de julio de 2015, los datos de precipitación corresponden a los rescatados en la estación Andacollo [Collowara], publicados por el Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), [www.ceazamet.cl](http://www.ceazamet.cl), ver Figura 3-3, nota 5.

La precipitación total acumulada en 12 meses fue de 18,5 mm (enero 2019 @ diciembre 2019), representando un 47% respecto de la precipitación registrada en el periodo anterior, y se a su vez equivale a un 13% de la precipitación promedio en el sitio, contemplada en el diseño.

Respecto de la evaporación medida en tanque tipo A, alcanzó los 1.705,50 mm para los mismos 12 meses (4,67 mm/día en promedio) lo que equivale a un 85% del promedio del periodo de control anterior.

Tal como se indicó anteriormente, puede apreciarse que existe un balance negativo importante, esto implica que se debe realizar un adecuado manejo del depósito para minimizar las pérdidas por evaporación desde playas y laguna. Para ello, siempre es recomendable mantener una laguna de dimensiones cercanas a la mínima (250.000 m<sup>3</sup>) y ciclos de descarga adecuados que minimicen las pérdidas por re-saturación de playas. Se deben evitar las descargas simultáneas, metodología de operación no contemplada dentro de los criterios de diseño de la TMF.

A continuación, se presenta el balance de agua operacional histórico, que se actualiza en el sitio desde el inicio de la operación. En la Figura 3-2 se presenta el resumen de los datos mensuales históricos, y en la Figura 3-3 se presentan los datos meteorológicos de entrada del balance, así como las distintas constantes y criterios que se han aplicado, desde el año 2010 en adelante.

**Figura 3-1: Esquema Principales Flujos (ref. balance operacional de faena para el Embalse de Relaves, Wood).**

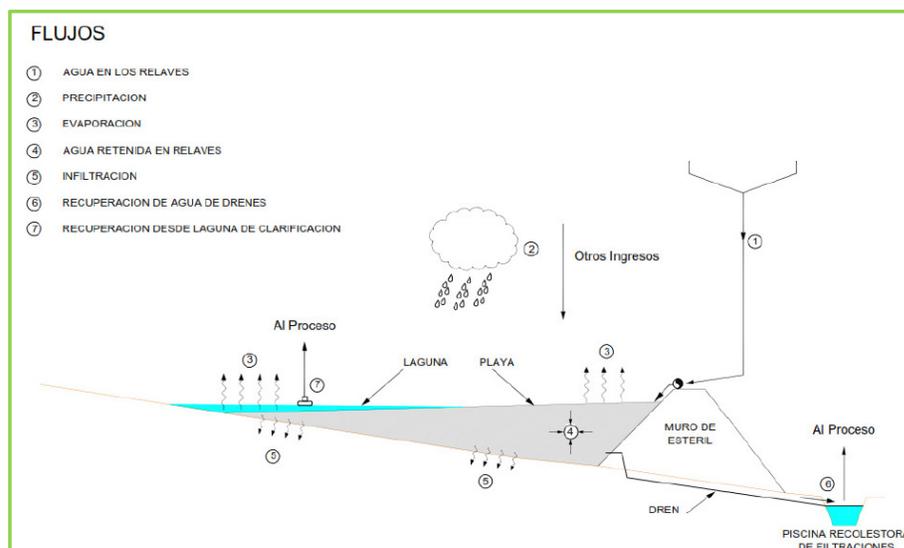
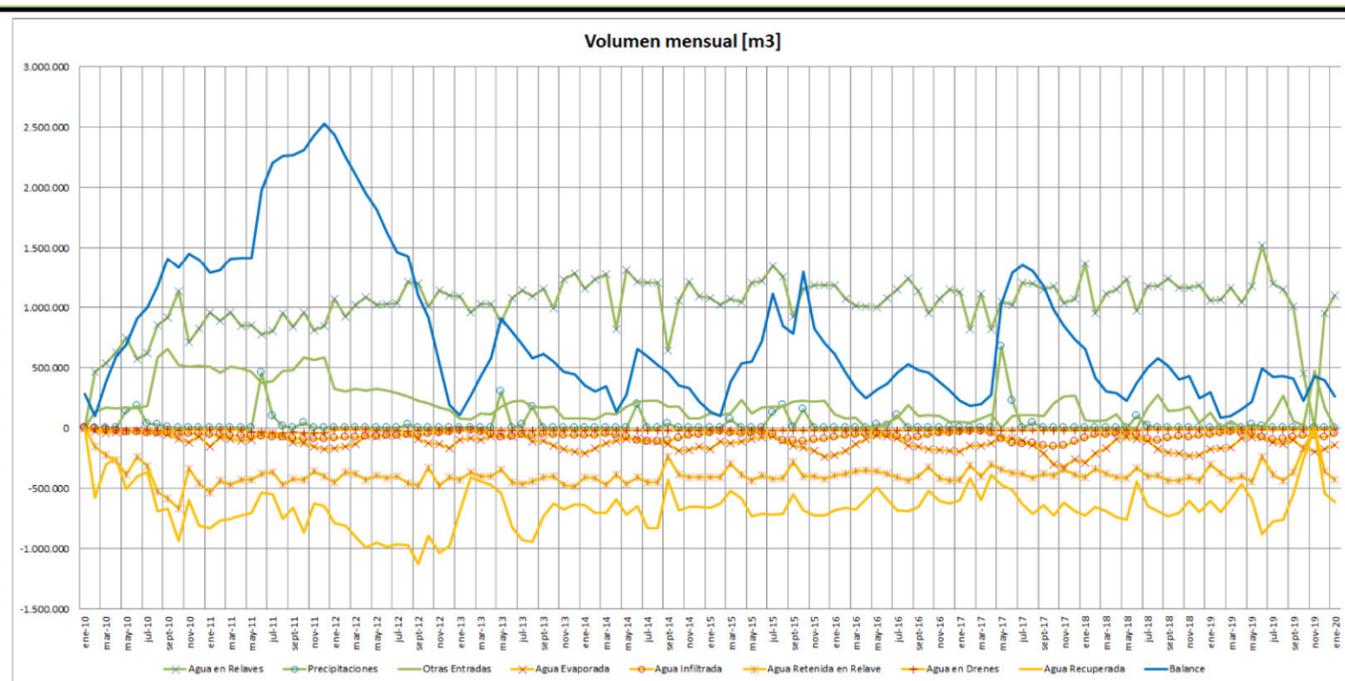


Figura 3-2: Balance Operacional Depósito de Relaves Teck CdA, al 31 de diciembre de 2019 (Histórico 1 de 2) (ref. balance operacional de faena para el Embalse de Relaves, Wood).

AÑO 2010													
Entrada / Salida	ene-10	feb-10	mar-10	abr-10	may-10	jun-10	jul-10	ago-10	sep-10	oct-10	nov-10	dic-10	Total
Agua en Relaves	467.550	535.663	632.384	747.667	570.103	623.815	855.936	919.752	1.134.082	710.980	826.937	8.024.870	
Precipitaciones	0	275	0	0	143.155	188.202	40.004	33.074	10.158	0	1.203	2.412	418.483
Agua Evaporada	25.242	36.300	33.990	28.432	21.118	22.087	36.087	54.187	87.619	114.561	66.487	526.110	
Agua Infiltrada	4.271	13.532	21.449	29.916	34.645	36.479	41.146	40.839	43.524	44.851	48.599	359.252	
Agua Retenida en Relave	153.947	220.305	264.993	384.523	238.262	316.427	521.859	580.374	663.961	332.241	456.779	4.133.671	
Agua en Drenes	5.457	9.327	17.980	17.299	17.780	16.691	15.472	14.337	14.723	13.699	14.001	156.765	
Agua Recuperada	576.285	301.622	248.400	504.552	398.520	362.571	686.520	666.648	930.412	598.212	806.520	6.080.262	
Otras Entradas	137.500	170.500	165.000	170.500	168.000	186.000	586.000	660.000	527.000	510.000	516.500	3.797.000	
<b>Balance</b>	<b>282.990</b>	<b>101.473</b>	<b>386.429</b>	<b>597.001</b>	<b>693.602</b>	<b>909.582</b>	<b>1.005.147</b>	<b>1.179.074</b>	<b>1.412.598</b>	<b>1.333.442</b>	<b>1.452.060</b>	<b>1.405.523</b>	



AÑO 2018													
Entrada / Salida	ene-18	feb-18	mar-18	abr-18	may-18	jun-18	jul-18	ago-18	sep-18	oct-18	nov-18	dic-18	Total
Agua en Relaves	1.366.499	956.962	1.118.390	1.149.141	1.234.604	973.284	1.181.874	1.177.053	1.245.097	1.162.433	1.163.760	1.184.444	13.913.603
Precipitaciones	0	0	0	0	0	99.923	24.347	0	990	0	0	0	125.260
Agua Evaporada	287.979	205.006	166.093	86.953	74.836	91.683	104.678	176.649	197.917	206.268	228.366	220.223	2.045.550
Agua Infiltrada	83.086	55.410	52.371	37.422	35.529	56.152	85.568	100.278	83.406	69.778	71.391	56.964	787.750
Agua Retenida en Relave	402.356	331.286	378.876	405.094	411.629	326.231	401.527	394.397	432.123	433.725	401.752	430.315	4.750.310
Agua en Drenes	16.717	14.621	16.499	15.927	16.459	14.815	13.781	13.865	13.463	13.420	13.393	13.690	176.853
Agua Recuperada	719.589	653.259	684.422	734.572	754.414	441.885	645.588	685.555	729.534	697.923	605.427	691.621	8.043.790
Otras Entradas	67.066	60.576	67.066	115.383	0	171.690	274.703	144.240	149.048	180.300	46.578	0	1.276.650
<b>Balance</b>	<b>660.988</b>	<b>418.745</b>	<b>305.030</b>	<b>289.586</b>	<b>230.931</b>	<b>373.373</b>	<b>500.142</b>	<b>582.153</b>	<b>516.037</b>	<b>406.474</b>	<b>430.294</b>	<b>240.418</b>	

AÑO 2019													
Entrada / Salida	ene-19	feb-19	mar-19	abr-19	may-19	jun-19	jul-19	ago-19	sept-19	oct-19	nov-19	dic-19	Total
Agua en Relaves	1.060.664	1.066.420	1.165.046	1.043.551	1.180.027	1.525.708	1.201.194	1.149.676	1.010.354	452.633	0	955.614	11.810.888
Precipitaciones	0	0	1.579	0	33.483	19.091	0	5.926	0	0	0	0	60.080
Agua Evaporada	-176.181	-166.647	-158.652	-80.642	-74.547	-70.828	-117.723	-129.054	-95.347	-165.368	-196.696	-175.146	-1.609.934
Agua Infiltrada	-49.916	-36.063	-28.750	-40.776	-40.776	-70.875	-92.786	-86.427	-73.171	-63.692	-60.879	-73.634	-705.500
Agua Retenida en Relave	-297.142	-367.637	-427.326	-394.949	-436.961	-237.954	-385.107	-432.021	-365.787	-167.698	0	-358.239	-3.870.821
Agua en Drenes	-13.746	-12.541	-13.797	-13.306	-13.587	-13.191	-13.662	-12.822	-12.822	-13.373	-13.020	-13.338	-159.743
Agua Recuperada	601.263	692.583	585.145	464.106	589.928	874.365	773.625	754.454	542.956	249.869	0	541.640	6.669.934
Otras Entradas	128.088	0	56.344	0	0	116.444	267.821	56.344	24.416	0	0	0	1.296.760
<b>Balance</b>	<b>298.914</b>	<b>89.863</b>	<b>99.163</b>	<b>161.082</b>	<b>218.794</b>	<b>493.279</b>	<b>428.013</b>	<b>430.195</b>	<b>412.735</b>	<b>229.883</b>	<b>431.792</b>	<b>400.202</b>	



Amec Foster Wheeler  
Environment & Infrastructure



Compañía Minera Teck  
Carmen de Andacollo

Amec Foster Wheeler

INGENIERO DE REGISTRO  
ETAPA 4  
BALANCE DE AGUA OPERACIONAL HISTORICO  
EMBALSE DE RELAVES

Nº PLANO-CLIENTE:  
Nº PROYECTO: E40165 ESCALA: SE PLANO: E40165-840-R-PL-053.000 REV: K

Figura 3-3: Balance Operacional Depósito de Relaves Teck CdA, al 31 de diciembre de 2019 (Histórico 2 de 2) (ref. balance operacional de faena para el Embalse de Relaves, Wood).

NOTAS:

- 1.- Tasa de Evaporación hasta el 31 de agosto de 2011, según Tabla 1 'Evaporación Media Mensual' (ref. Balance Hídrico de Chile', MOP – DGA, 1987),
- 2.- Tasa de Evaporación desde el 01 de septiembre de 2011, según datos obtenidos en estaciones meteorológicas de faena (ex Garita y Mina), mostrados en gráfico 'Evaporación Diaria [mm]',
- 3.- Precipitación hasta el 30 de diciembre de 2011, según Tabla 2 'Precipitación Media Mensual', obtenida de la estadística disponible entre los años 1963 – 1997 (ref. 'Informe Estudio Hidrológico, Informe Final Línea Base' (05 0983 01), Proyecto Hipógeno, preparado por SIGA Consultores S.A., para CMA, Noviembre 2.005),
- 4.- Precipitación entre el 31 de diciembre de 2001 y el 11 de julio de 2015, según datos obtenidos en estación meteorológica de faena (ex Garita), mostrados en gráfico 'Precipitación Diaria [mm]',
- 5.- Precipitación desde el 12 de julio de 2015, según datos para Andacollo entregados por el Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), [www.ceazamet.cl](http://www.ceazamet.cl),
- 6.- Permeabilidad Terreno Natural:  $4,6 \times 10^{-4}$  cm/s, según Tabla 3 'Pruebas de Infiltración' medidos in situ (ref. Informe Técnico 'Laguna inicial para Puesta en Marcha' proyecto Hipógeno, 2007.03.03),
- 7.- Permeabilidad Relaves:  $5,6 \times 10^{-5}$  cm/s, según Tabla 4 'Ensayo Cilindros Concéntricos Detalle de Infiltración' medidos in situ (ref. Informe de Ensayo N° ST. 13 – 8084, 2013.03.18, 19 y 20). Cae señalar que esta media en el sector de playa cerca de la D5, es decir es representativa de la fracción más gruesa del relave.
- 8.- Para la Evaporación, Coeficiente de Tanque:  $K_t = 0,85$ ,
- 9.- Para la Evaporación, Coeficiente de Laguna:  $K_l = 1$ ,
- 10.- Para la Evaporación, Coeficiente de Playa:  $K_p = 0,26$ ,
- 11.- Otras entradas: se refiere a otros ingresos de agua de proceso al embalse tales como agua de lavado de la línea de distribución y/o agua de dilución en el cajón de distribución de relave.
- 12.- La Infiltración del embalse se infiere indirectamente mediante la siguiente formula:

$$\text{Infiltración [m}^3/\text{d]} = P_{BL} * S_{Lac} * 864 \text{ [s-m/cm-d]}$$

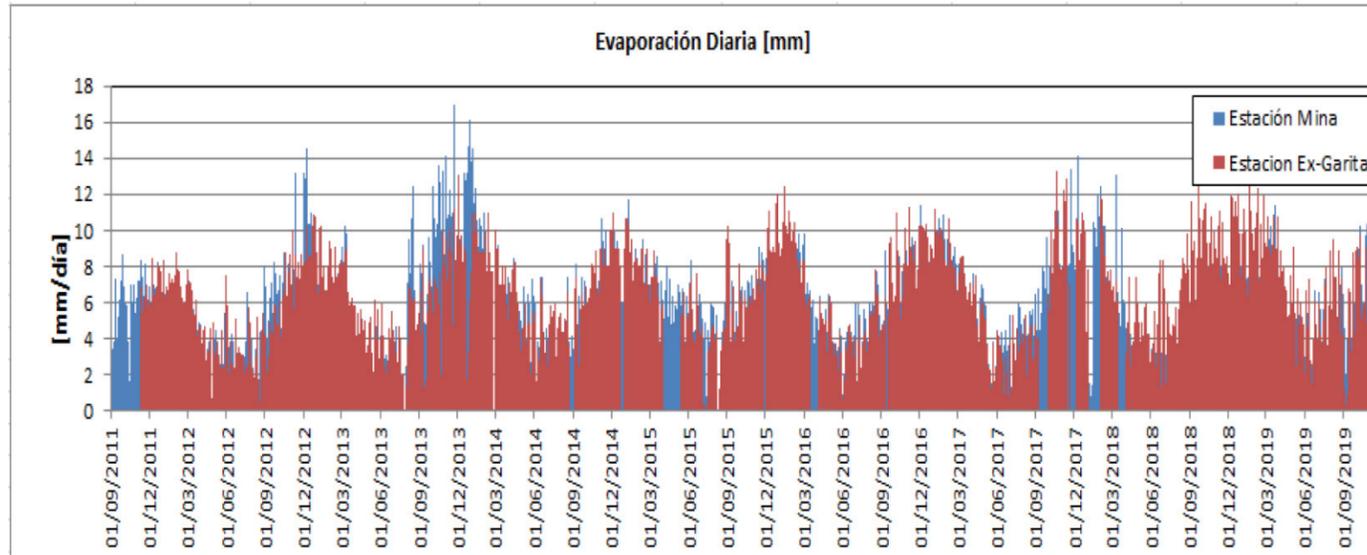
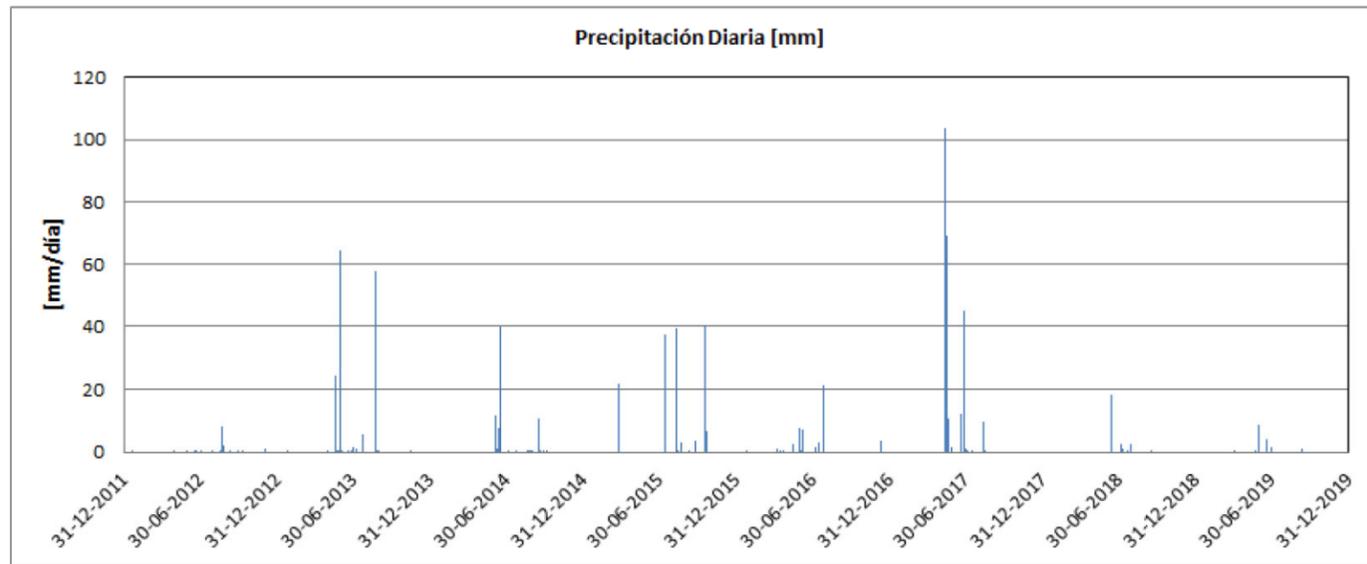
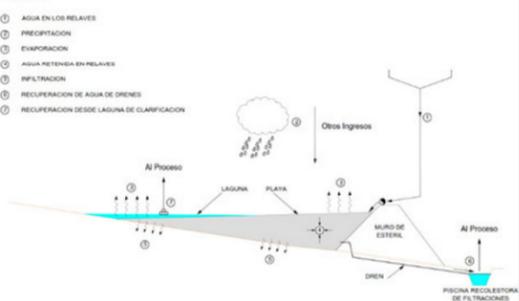
donde:

$S_{Lac}$  : Superficie de Laguna [m<sup>2</sup>];

$P_{BL}$  : Permeabilidad Bajo Laguna =  $4,6 \times 10^{-6}$  [cm/s];

La permeabilidad bajo laguna se estima a partir del tipo de terreno sobre el cual se posiciona la laguna de aguas claras, es decir roca meteorizada con mínima cobertura de terreno natural y cubierta de la fracción más fina del relave, distinta de la indicada en la nota 7,

FLUJOS



EVAPORACIÓN MEDIA MENSUAL

TABLA 1

MES	mm/mes
Enero	330,8
Febrero	278,0
Marzo	236,2
Abril	159,4
Mayo	106,6
Junio	67,8
Julio	66,8
Agosto	98,7
Septiembre	141,5
Octubre	219,2
Noviembre	270,1
Diciembre	324,9
Total Anual	2.300,0

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL

TABLA 2

MES	mm/mes
Enero	0,1
Febrero	0,0
Marzo	1,8
Abril	4,9
Mayo	15,5
Junio	35,9
Julio	50,8
Agosto	24,8
Septiembre	5,9
Octubre	3,0
Noviembre	1,3
Diciembre	0,0
Total Anual	139,2

PRUEBAS DE INFILTRACIÓN

TABLA 3

Piscina N°	Permeabilidad K (cm/s)	
	Suelo en estado Natural	Suelo Superficialmente Compactado
1	8.3E-04	6.1E-04
2	5.3E-04	4.7E-04
3	2.5E-04	5.3E-04
4	2.2E-04	1.4E-04
Promedio	4.6E-04	4.4E-04

ENSAYO CILINDROS CONCENRICOS

DETALLE DE INFILTRACION

TABLA 4

Tiempo (seg.)	Intervalo (seg.)	Variación nivel de agua (mm.)		
		M-1	M-2	M-3
3600	3600	0	0	0
7200	3600	0	1	2
10800	3600	2	2	3
14400	3600	2	2	4
18000	3600	2	2	4
21600	3600	2	3	4
25200	3600	2	3	5
Estado del suelo		Húmedo		
Infiltración mm/hrs		2,0		

Amec Foster Wheeler

INGENIERO DE REGISTRO  
ETAPA 4  
BALANCE DE AGUA OPERACIONAL HISTORICO  
EMBALSE DE RELAVES – RESPALDOS

N° PLANO CLIENTE: \_\_\_\_\_

N° PROYECTO: E40165 ESCALA: SE PLANO N°: E40165-840-R-PL-053.001 REV. K

### 3.2. Almacenamiento de la CMP

El embalse de relaves de Teck CdA para las etapas de crecimiento críticas identificadas como las etapas 4, 5 y 6, puede albergar holgadamente la crecida producto de un evento de PMP con una duración de 3 días, estimada mediante el método de Stowhas (presentación Manejo de Crecidas, GRB 2019, Wood), donde la  $PMP_{24h} = 444$  mm, y la  $PMP_{3d} = 809$  mm, valores que Wood considera conservadores.

**Tabla 3-1: Comparación del volumen disponible del embalse de relaves vs volumen de crecida (ref. presentación Manejo de Crecidas, GRB 2019, Wood).**

Periodo retorno	Etapa de crecimiento TMF			Precipitación
	4	5	6	
	Volumen			
	[m3]			
[años]	Mínimo Embalse Disponible			[mm]
	8.700.000	10.600.000	14.700.000	
	Crecida			
$T_{50}$ (24h)	425.879	417.540	384.596	147
$T_{100}$ (24h)	510.765	506.606	467.924	166
$T_{200}$ (24h)	592.877	593.313	549.171	184
$T_{10.000}$ (PMP <sub>3d</sub> )	3.700.000	4.040.000	3.700.000	809

En las Figuras 3-4 a 3-6, se presentan los resultados gráficos del modelamiento para el almacenar el VMP, generado por la  $PMP_{3d}$ , así como para tormentas de 24 h y periodos de retorno  $T_{50}$  y  $T_{200}$  durante las etapas 4 a 6 de crecimiento de la TMF, contemplando el volumen máximo operacional de la laguna de aguas claras ( $650.000 \text{ m}^3$ ), lo que se considera el escenario más desfavorable. Para todos los casos considerados se verifica la revancha operacional comprometida de 3 m, entre la playa de relaves en contacto con el muro y el coronamiento de este.

Como se puede apreciar en las mencionadas figuras, el embalse de relaves Teck CdA puede contener de manera holgada y muy alejada de los muros, la laguna generada por los niveles de inundación producto de las tormentas de 24 h, para periodos de retorno de  $T_{50}$ ,  $T_{100}$  y  $T_{200}$ , los que, a juicio de Wood, representan eventos de ocurrencia más probable durante el ciclo de la vida útil de la TMF.

Adicionalmente, para el caso del VMP, en las Figuras 3-4 a 3-6 se destaca con franjas de color rojo, aquellos sectores que quedan en contacto con la laguna producto de la crecida almacenada. Para alejar la laguna de la cara aguas arriba de los muros, en el evento de almacenar el VMP durante la operación, se considera instalar descargas adicionales las que se muestran en la Figura 3-7 destacadas en color amarillo.

Figura 3-4: Almacenamiento del VMP<sub>3d</sub> y tormentas 24 h, T<sub>50</sub> y T<sub>200</sub> para una Laguna de Agua Claras de 650.000 m<sup>3</sup>, Etapa 4 (ref. presentación Manejo de Crecidas, GRB 2019, Wood).

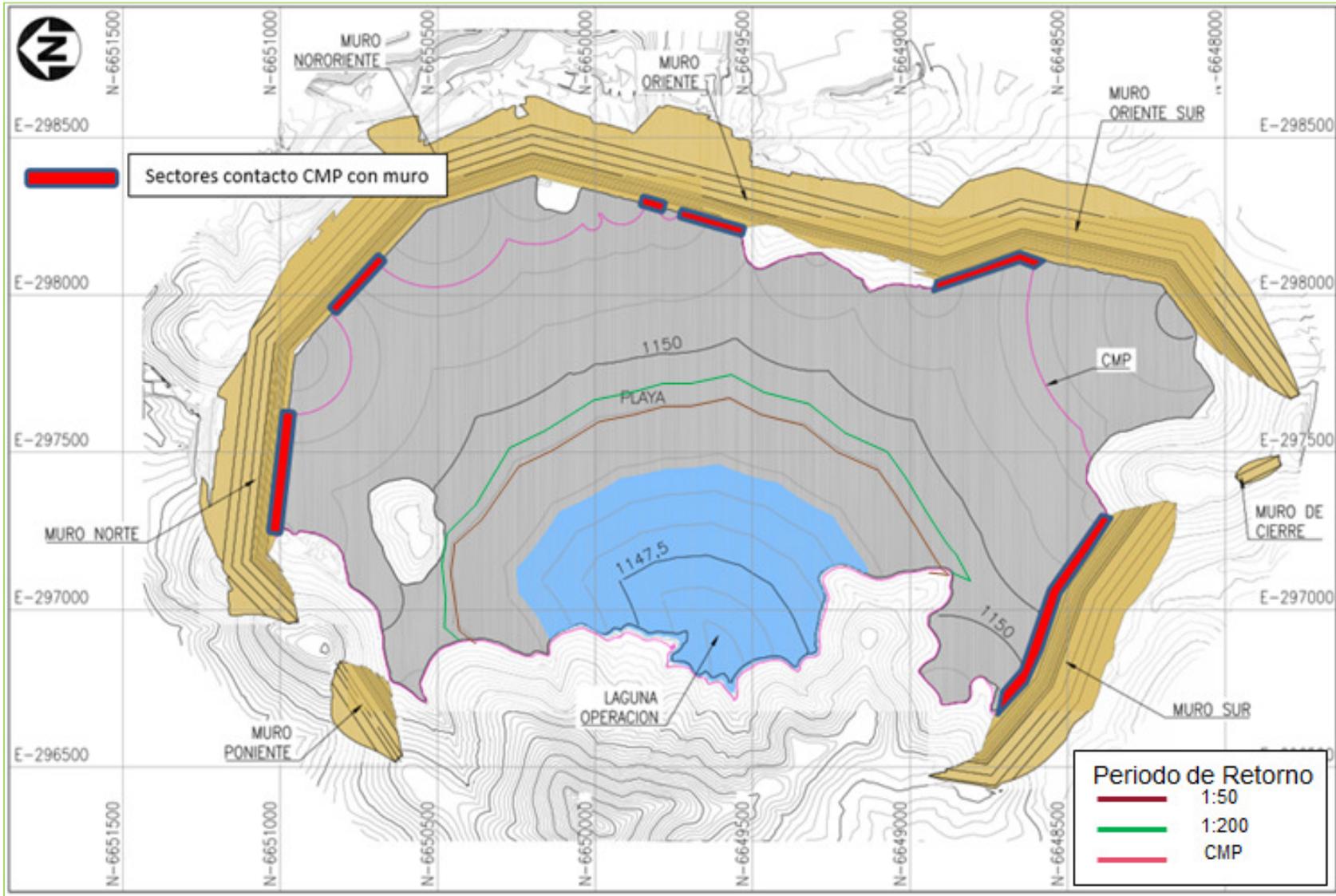


Figura 3-5: Almacenamiento del VMP<sub>3d</sub> y tormentas 24 h, T<sub>50</sub> y T<sub>200</sub> para una Laguna de Agua Claras de 650.000 m<sup>3</sup>, Etapa 5 (ref. presentación Manejo de Crecidas, GRB 2019, Wood).

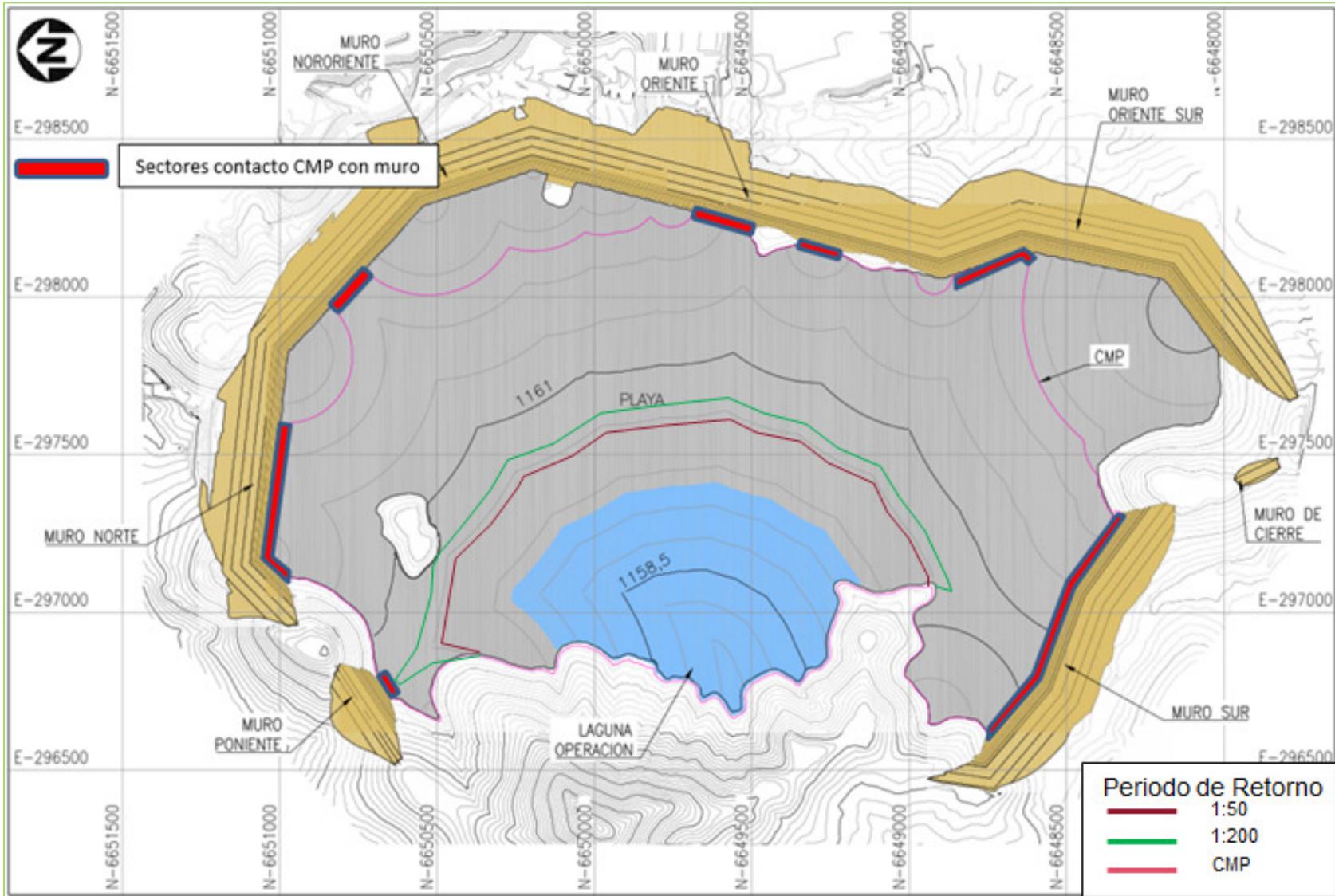


Figura 3-6: Almacenamiento del VMP<sub>3d</sub> y tormentas 24 h, T<sub>50</sub> y T<sub>200</sub> para una Laguna de Agua Claras de 650.000 m<sup>3</sup>, Etapa 6 (ref. presentación Manejo de Crecidas, GRB 2019, Wood).

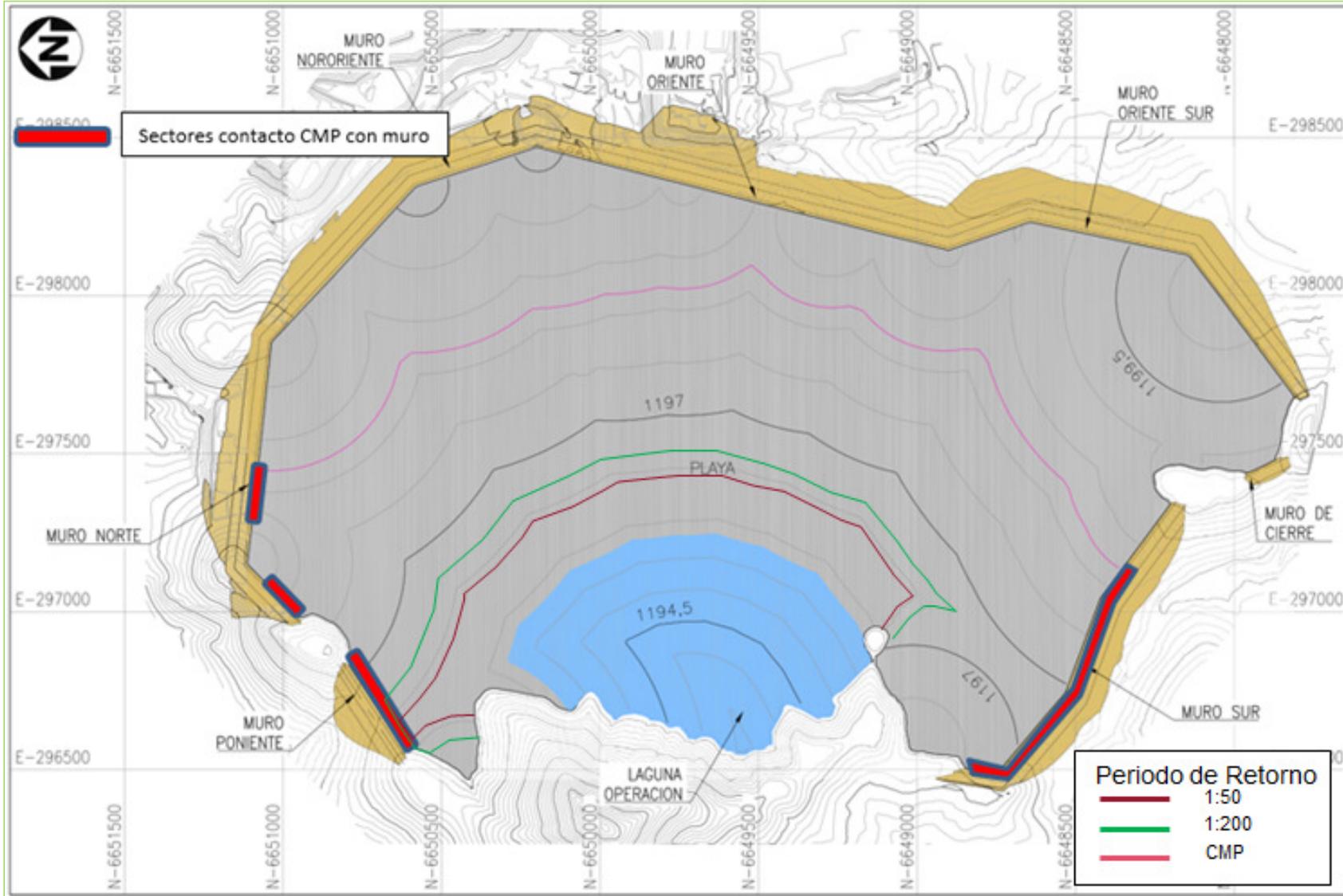
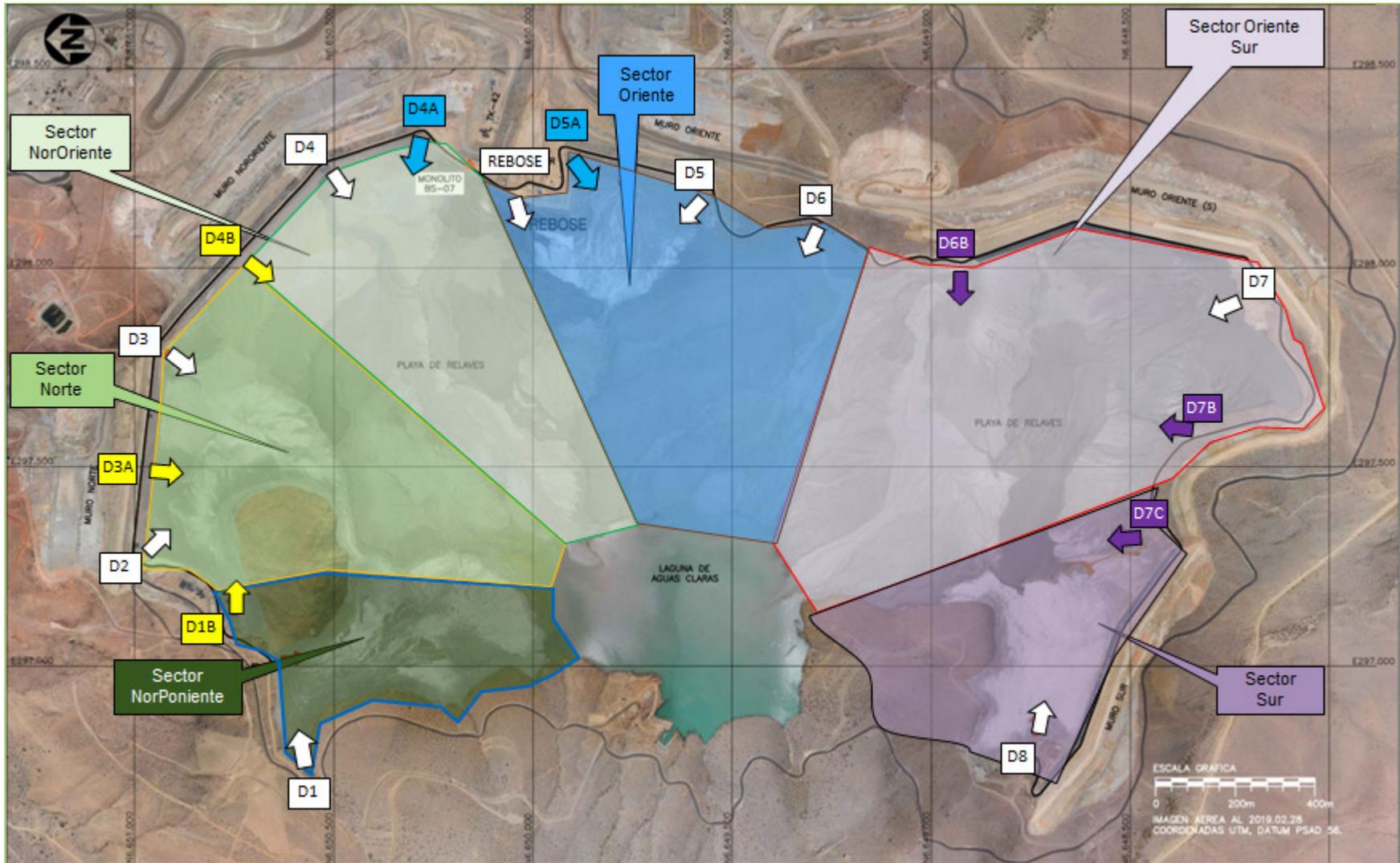
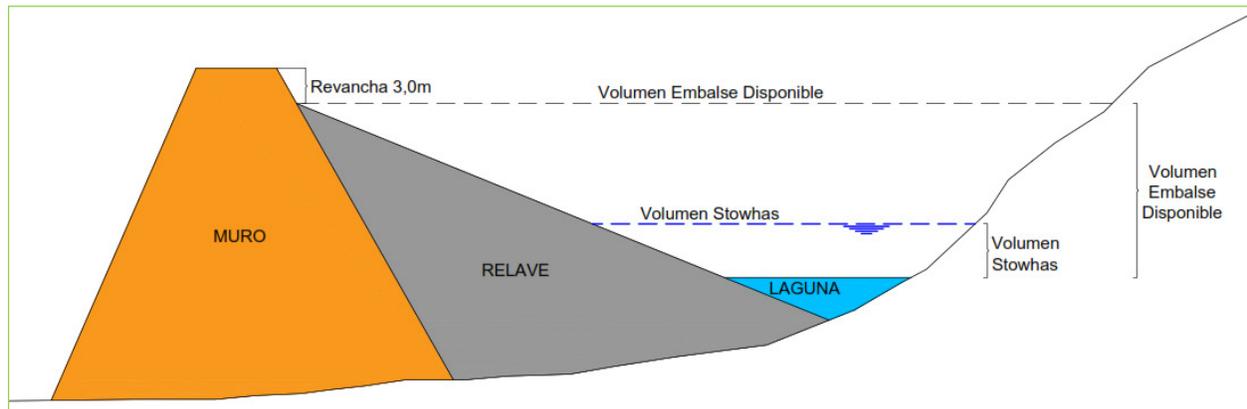


Figura 3-7: Descargas adicionales para alejar Laguna VMP (ref. presentación Manejo de Crecidas, GRB 2019, Wood).



En la Figura 3-8 (sin escala y solo a modo ilustrativo) se puede apreciar la sección referencial, respecto de la capacidad de acumulación del embalse de relaves y la VMP

**Figura 3-8: Almacenamiento del VMP<sub>3d</sub>, para una Laguna de Agua Claras de 650.000 m<sup>3</sup> para las etapas E4, E5 y E6 (ref. presentación Manejo de Crecidas, GRB 2019, Wood).**



### 3.3. Volumen de agua descargada (superficial y subterránea)

Diariamente se monitorea el flujo de drenaje del sistema colector de filtraciones tanto aguas abajo del MNO (denominado Piscina El Churque), como aguas abajo del MO en el cajón aforador ubicado hacia el sur oriente del BS. El agua descargada se recupera y reutiliza en el proceso de la planta concentradora. El resumen histórico de los flujos de agua registrados en el MNO se detalla en las Figuras 3-9 a 3-12, el punto alto que se aprecia para el año 2015 corresponde al terremoto 8,3 (Mw) del miércoles 16 de septiembre. El 13 de noviembre de 2013, la elevación del pelo de agua en la laguna de aguas claras alcanzó la cota de coronamiento de la Etapa 1 (El. 1.117 msnm.) sobre la cual no se encuentra impermeabilizada la cara del talud aguas arriba del muro, lo anterior queda claramente reflejado en la Figura 3-9, ya que a partir de fines de noviembre / inicios de diciembre de 2013, el caudal de filtración cambia su tendencia de ser constante por debajo de los 6 L/s, para comenzar a aumentar gradualmente en una curva que sigue un patrón bastante similar al de la elevación de la laguna de aguas claras. Dicho patrón de crecimiento solo se ve modificado por el evento del terremoto del 16S. A comienzos del año 2018, se reemplazó la placa aforadora del vertedero en V, por filtración detectada en agosto de 2017.

Del mismo modo, a comienzos del año 2018, se normalizó la condición de los afloramientos de aguas superficiales que no son captados por el sistema de drenaje del MNO. En el sector El Churque, los nuevos sistemas de captación, conducción, y medición de caudales de afloramiento, se encuentran recibidos y protocolizados, los trabajos se realizaron basado en el diseño Amec del año 2010 (actualizado el año 2017) y siguiendo con las observaciones tanto del GRB (reunión #3, año 2013) como del consultor de hidrogeología (WSP octubre 2017). Estos trabajos incluyeron el punto denominado poza AFL, que capta y conduce las aguas descargadas en el sector de la cañería corrugada D 1.000 mm que se implementó como obra temprana del TMF.

Desde la fecha de normalización del sistema de medida para el aforador de drenajes del MNO a mediados de junio de 2018, los caudales totales que se registran en el sector

El Churque, han variado con valores peak desde un mínimo de 12,69 L/s hasta un máximo de 14,94 L/s, se indica que al término del periodo el flujo total es de 14,08 L/s. Según muestra la figura 3-9 (Caudal de Drenajes MNO, al 31 de diciembre de 2019), se puede apreciar un flujo aproximadamente constante levemente por sobre los 5 L/s, desde la fecha de la normalización de los sistemas de aforo y lectura (año 2018), hasta el Q3 del año 2019, momento en el cual el flujo disminuye para mantenerse constante levemente por debajo de los 5 L/s, si bien la variación es mínima, esta coincide con el periodo en que se mantuvo detenida la planta concentradora. Estos caudales están dentro del rango de flujos de filtración estimados en la etapa de diseño. Respecto de lo anterior y en concordancia a lo indicado en el capítulo 5.3.2 del DSR (Arcadis Chile, 2018), se puede indicar que tanto el volumen de afloramientos como los efluentes de los drenes tienen el potencial de incrementarse a lo largo del tiempo, con el aumento de la carga relacionada al crecimiento del relave (ver capítulo 7.3.3).

La figura 3-10 muestra la evolución en el tiempo de los flujos de afloramiento al pie del camino minero aguas abajo del MNO, los que, hasta comienzos del año 2018, se medían mediante un método indirecto, y cuyo sistema de aforo se encuentra normalizado desde el Q1 del año 2018. A diferencia de lo que se puede apreciar en el comportamiento de los drenajes del MNO (ver Figura 3-9), se puede apreciar que la leve tendencia al alza en el flujo que presentaba este afloramiento durante el periodo anterior, se revierte durante el año 2019, manteniéndose constante levemente por sobre los 5 L/s hasta el término del periodo, y sin variación aparente atribuible al periodo de huelga legal.

La Figura 3-11 muestra el flujo histórico del punto de afloramiento, denominado AFL - Poza, que comenzó a medirse de manera indirecta a partir de mayo del año 2017, y cuyo sistema de aforo, al igual que en el caso de los afloramientos descritos en el párrafo anterior, se encuentra normalizado desde comienzos del año 2018. Del mismo modo que en el caso de los afloramientos al pie del camino minero, se puede apreciar que la leve tendencia al alza en el flujo declarada en el periodo anterior, se revierte para permanecer prácticamente constante durante el año 2019, para luego, durante el mes de diciembre incrementarse.

Cabe destacar que durante el periodo en que la planta concentradora se mantuvo detenida, se descargó de manera controlada un total de 383.982 m<sup>3</sup> de agua, desde la posición de la descarga D3, desglosados de la siguiente manera: un 13% producto del dewatering de la mina desde el día 14 al día 30 de noviembre y un 87% de agua fresca, desde el día 14 de noviembre hasta el día 05 de diciembre. Este volumen de agua incorporado al embalse permitió compensar las pérdidas durante el periodo de huelga en que no se descargó relaves, mejorando así la disponibilidad de agua de proceso para la planta concentradora durante el periodo estival que presenta las mayores pérdidas por evaporación. En opinión de Wood, la posición relativa de la D3, respecto del punto de afloramiento AFL – Poza, ambos en el entorno al cerro Arenas, puede explicar el leve aumento del flujo medido en el sistema de aforo, ya que previo a la construcción de la TMF, la quebrada El Churque recibe aporte desde la ladera sur del Cerro Arenas, según se puede apreciar en la Figura 3-14, que es donde se emplazan las Descargas D3.

Para el caso de la Figura 3-12, que muestra el flujo de agua total del sector El Churque (la suma aritmética de los flujos presentados en las Figuras 3-9 a 3-11) las líneas verticales de color café, representan la ocurrencia de los sismos 16S de 2015 y 19E de 2019, respectivamente.

Las Figuras 3-15 y 3-16, muestra las mejoras realizadas en el sector El Churque y que permiten registrar los flujos diariamente mediante aforadores destinados (tipo V-Notch), además de proteger contra la escorrentía superficial tanto el acelerógrafo, como el data logger de los piezómetros del MNO.

Figura 3-9: Caudal del Sistema de Drenajes MNO, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood)

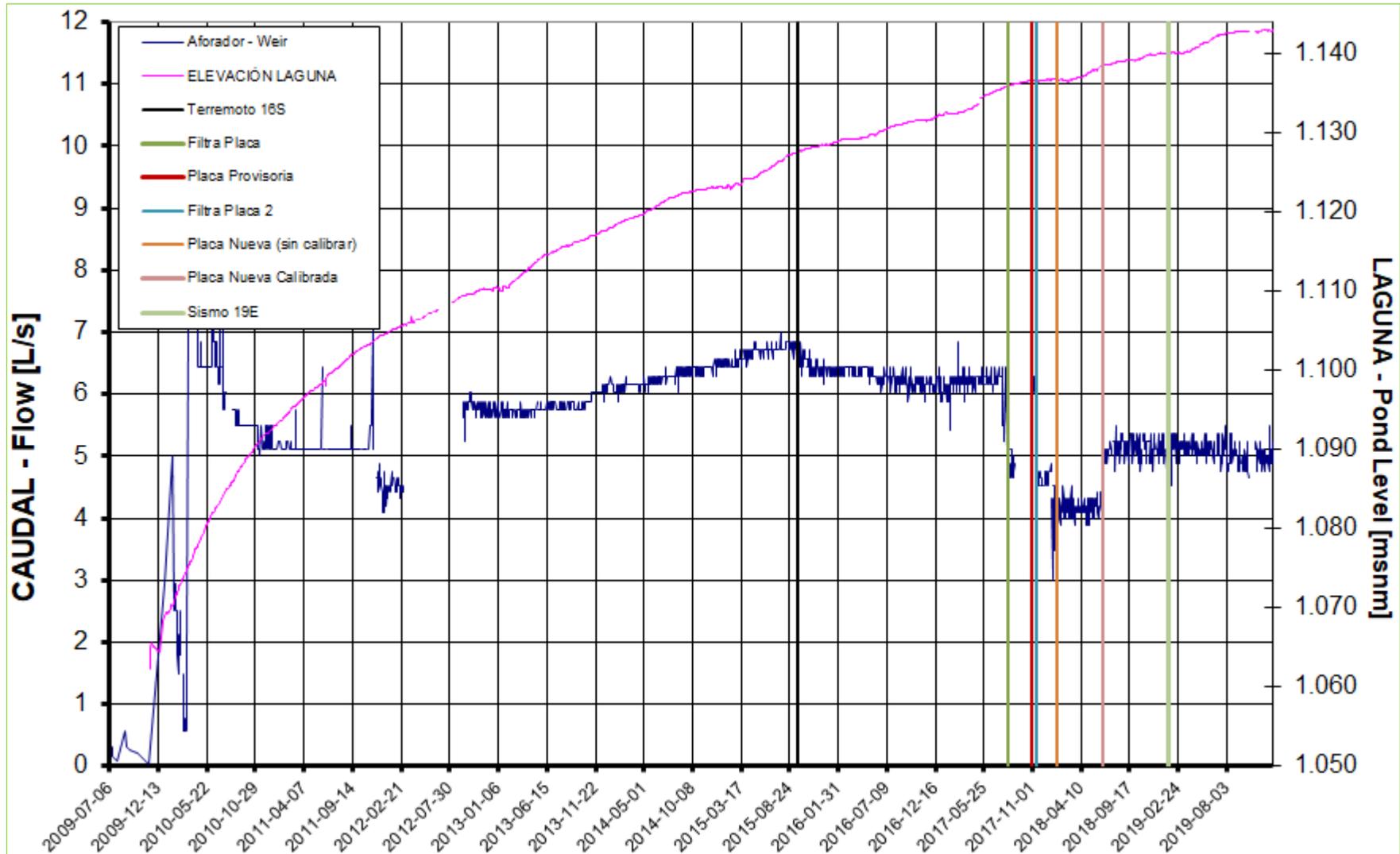


Figura 3-10: Caudal de Afloramientos al pie del talud de camino minero, aguas abajo del MNO, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).

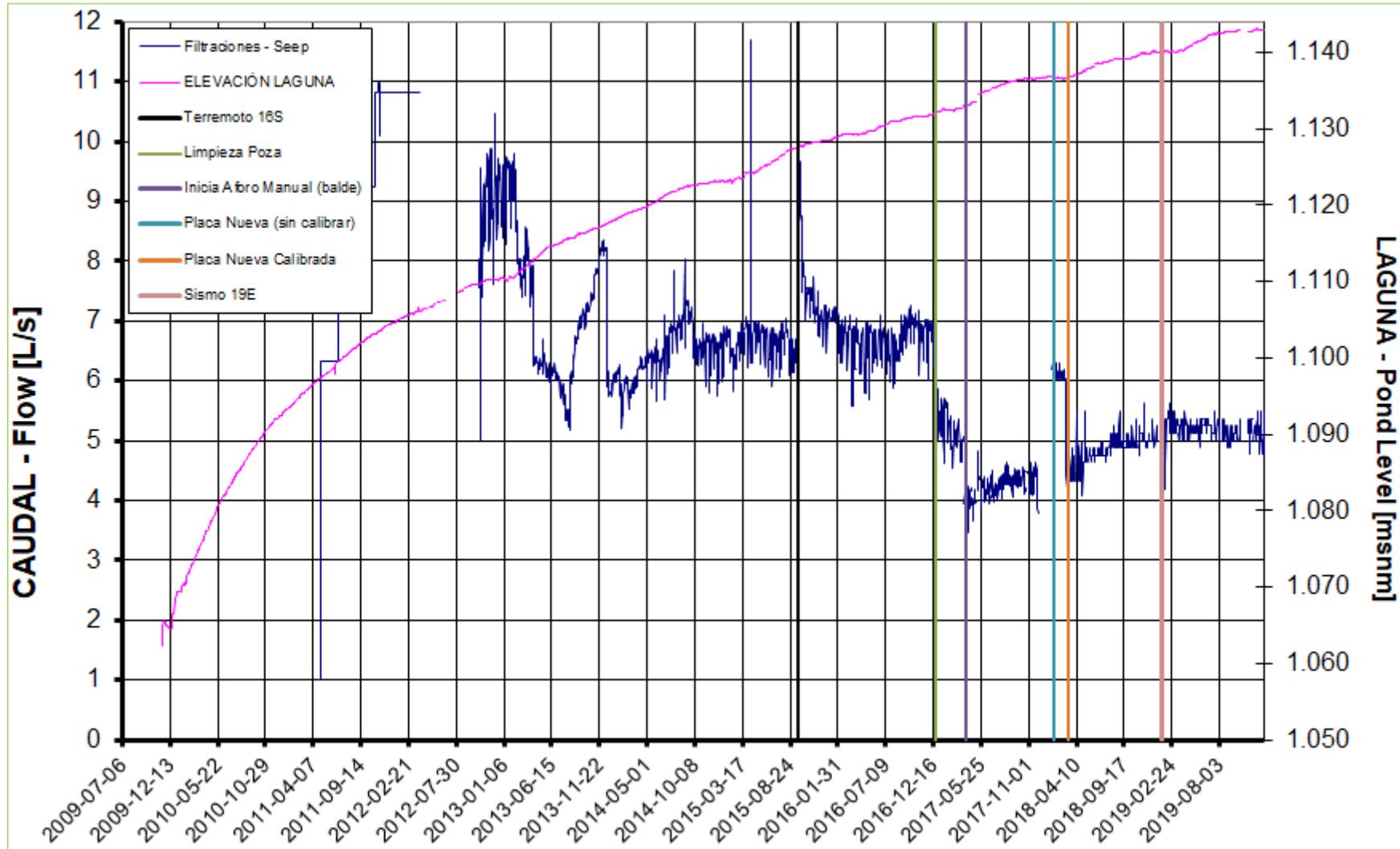


Figura 3-11: Caudal de Afloramientos aguas abajo del MNO, AFL - Poza, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).

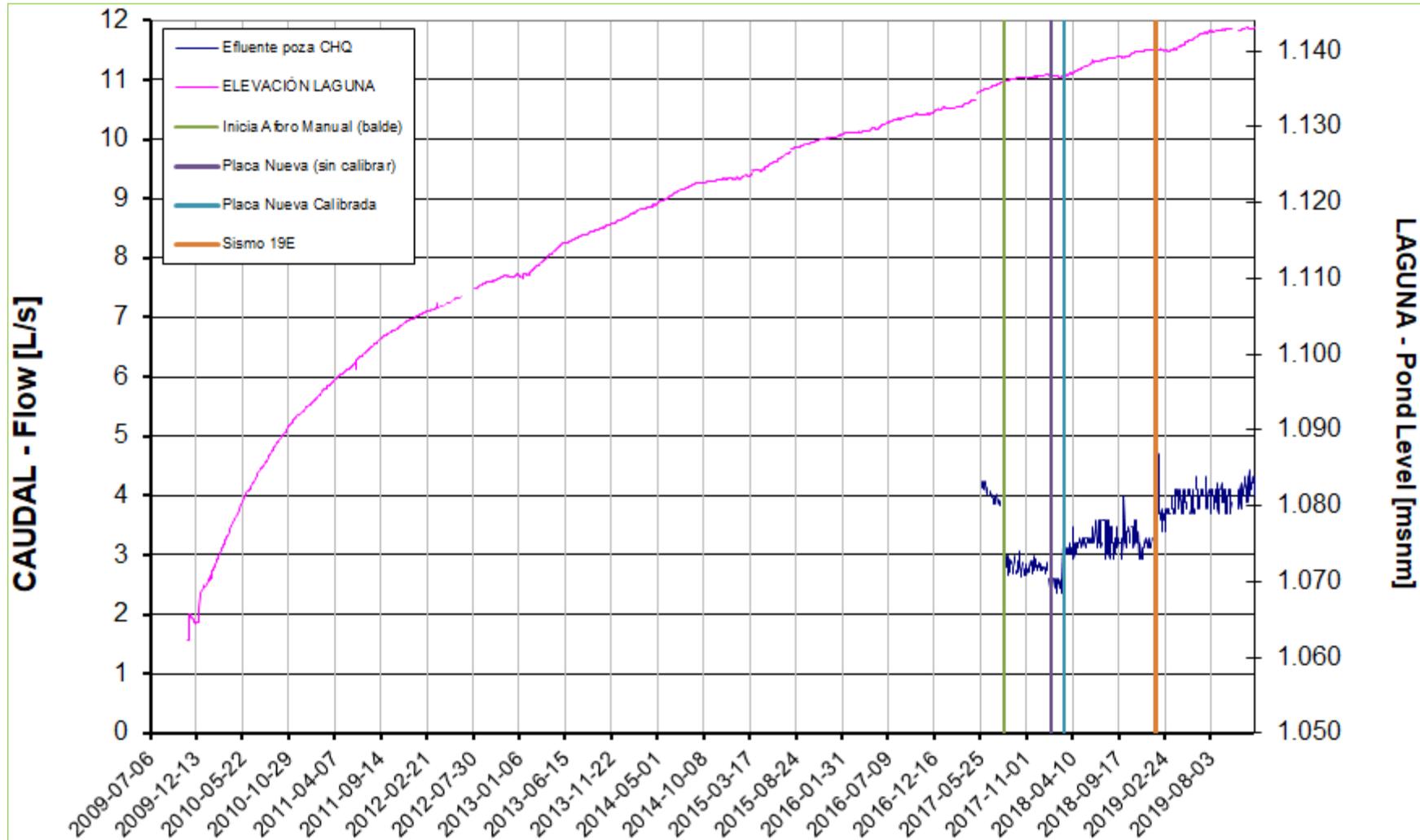


Figura 3-12: Caudal Total sector El Churque, Drenajes (Weir) + Filtraciones (Seep), al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).

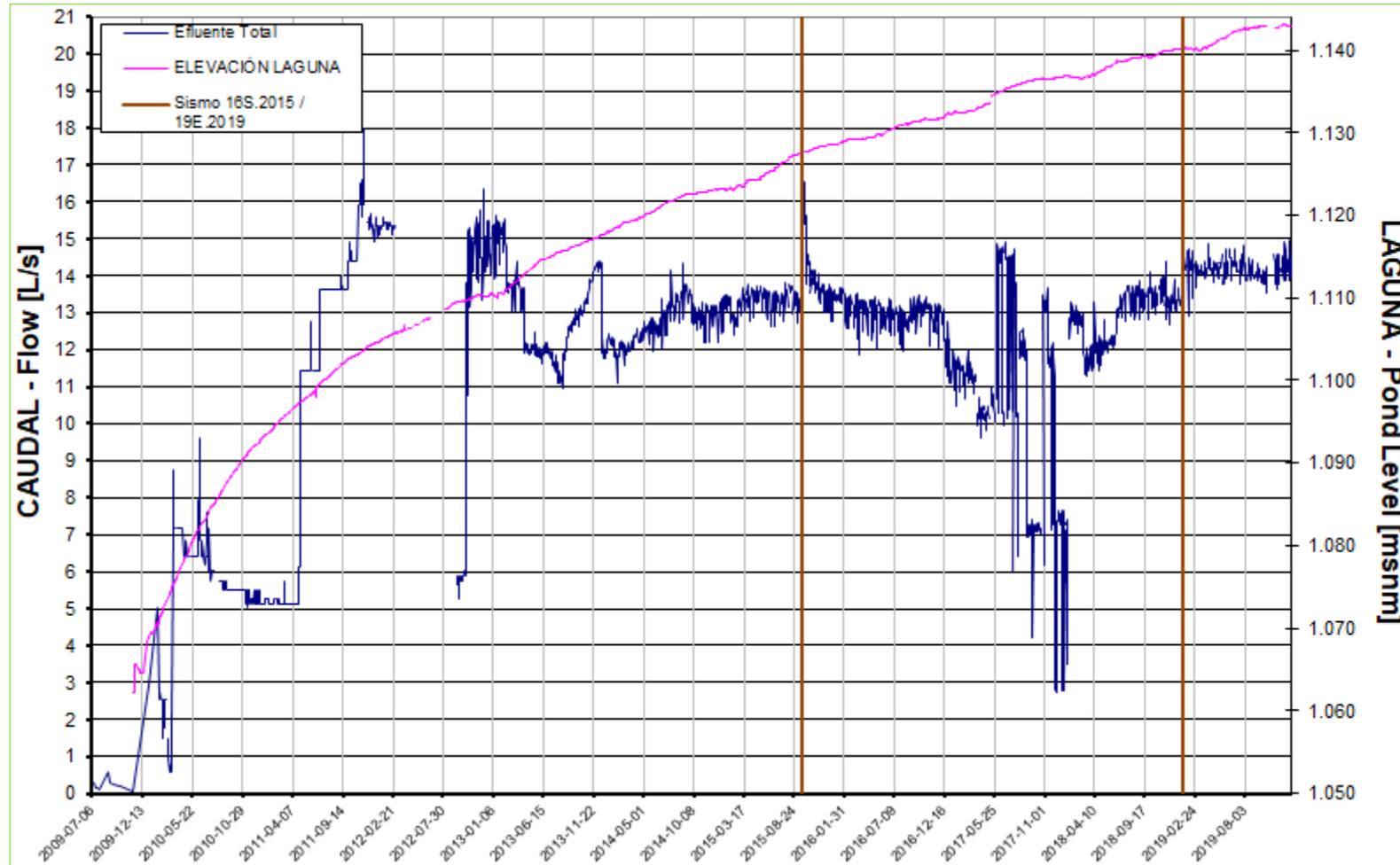


Figura 3-13: Posición Relativa Descargas MN, respecto Sector AFL-Poza, situación con Embalse (ref. Google Earth, Wood).



Figura 3-14: Posición Relativa Descargas MN, respecto Sector AFL-Poza, situación sin Embalse (ref. Google Earth, Wood).



Figura 3-15: Normalización afloramientos sector "El Churque": Planta General y Detalles.

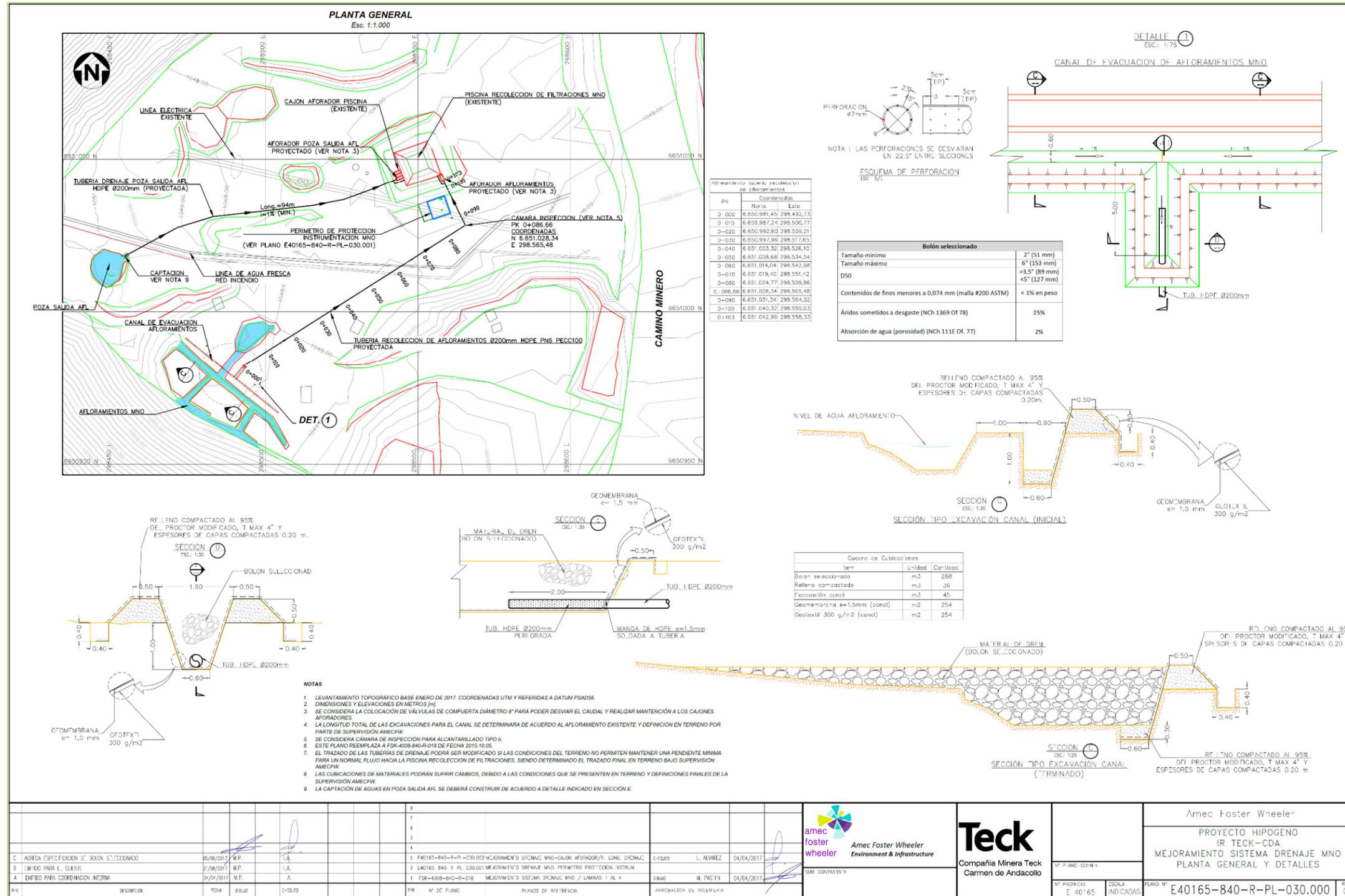
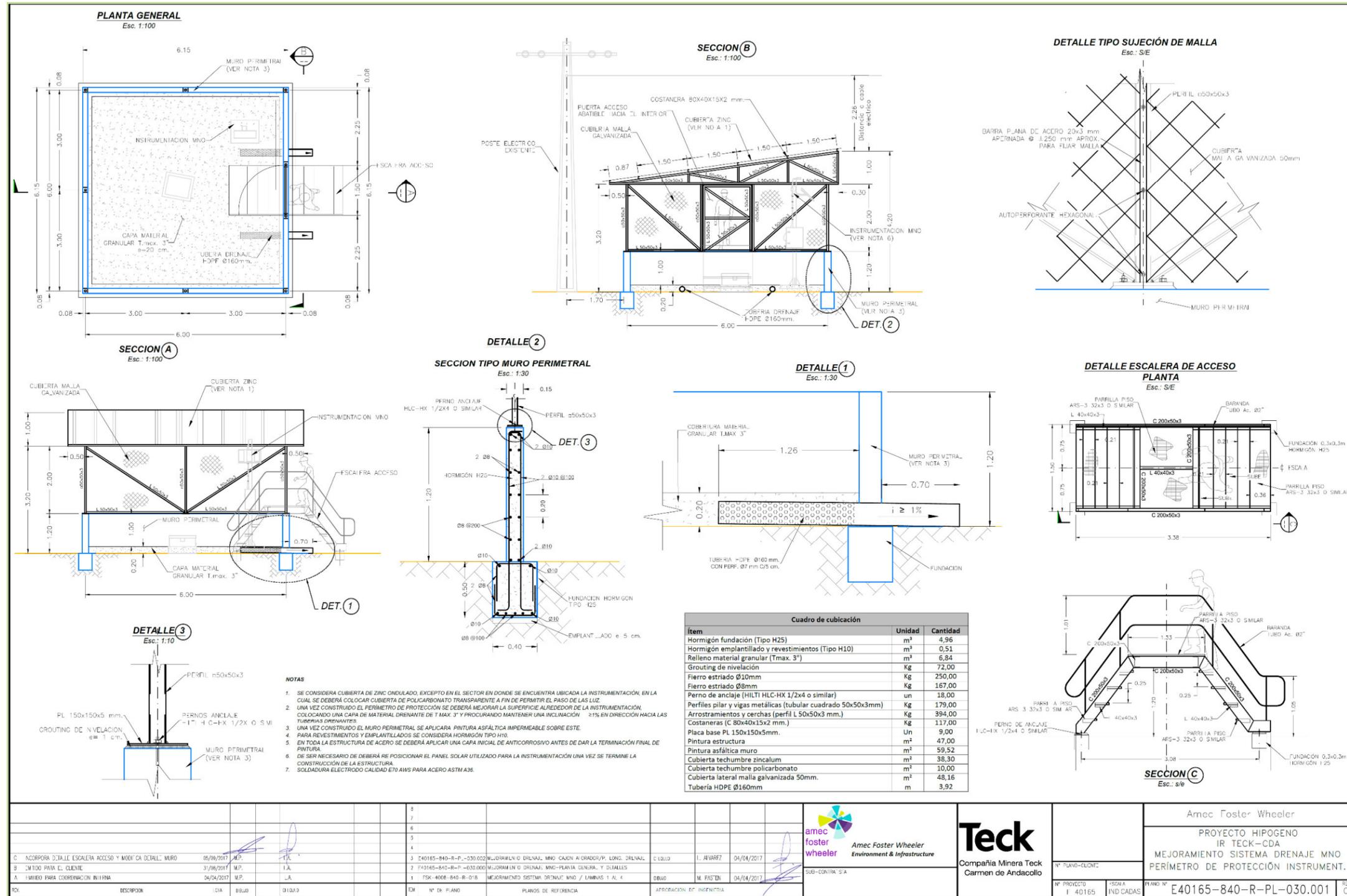


Figura 3-16: Normalización afloramientos sector "El Churque": Perímetro de Protección Instrumentación.



## 4.0 RESUMEN INSTRUMENTACIÓN 2019

### 4.1. Piezómetros de cuerda vibrante

Los muros auscultados corresponden al MN, MNO, MO y MO(S), cuya instrumentación se instaló como parte de las obras tempranas de la construcción de la TMF. Los instrumentos son piezómetros de cuerda vibrante tipo RST VW2100 con termistor integrado.

A continuación, se describe la secuencia de instalación y comienzo de análisis de las mediciones de la instrumentación de los muros del depósito de relaves.

#### 4.1.1. Etapa de construcción (EPCM) y Comisionamiento

Los primeros instrumentos fueron instalados como parte de las obras tempranas correspondientes a la construcción del muro de anclaje y Etapa 1 del MNO en el año 2008 (PE-003, PE-004, PE-005 y PE-006). Posteriormente, durante julio de 2009 se instalaron los piezómetros del MO (PE-009 y PE-010), como parte de los trabajos asociados a la misma Etapa 1.

Durante el periodo de construcción, se realiza seguimiento de la operatividad de la instrumentación y registro de las mediciones, pero no se realiza interpretación alguna, dado que aún no comenzaba la operación del depósito.

Durante el proceso de comisionamiento del depósito de relaves, iniciado en octubre de 2009 (entrega de instalaciones a Teck CdA), y finalizado en febrero de 2010 (puesta en marcha), no se realizó el registro de mediciones de piezómetros.

#### 4.1.2. Etapa de operación

La puesta en marcha de la planta se verificó el 02 de febrero de 2010 y como parte de los trabajos correspondiente a la Etapa 2 de crecimiento del depósito de relaves, en abril de 2010 se instalaron los piezómetros del MN (PE-015 y PE-016) y en enero de 2011 se instaló un piezómetro adicional en el MO (PE-009A).

En abril del año 2016 se instalaron los piezómetros del MO(S) (PE-013 y PE-014).

Durante el año 2018, se instalaron y habilitaron tanto en el MNO como en el BS piezómetros de fibra óptica y Casagrande, en los sondeos de la campaña respectiva (ver capítulo 4.2).

Respecto del registro de lecturas históricos, no se dispone de lecturas piezométricas, entre los meses de abril y agosto del año 2012.

#### 4.1.3. Ubicación de los piezómetros

La planta de disposición general de los piezómetros de los muros del depósito de relaves se muestra en la Figura 2-3 (Planta) y las secciones se muestran en las Figuras 2-4 a 2-11. La ubicación de los piezómetros, los muros en los que se instalaron y sus

coordenadas y elevaciones de instalación, se resumen en la Tabla 4-1, en donde L0 es la lectura 0, bruta en unidades B.

**Tabla 4-1: Piezómetros de cuerda vibrante instalados**

INSTRUMENTO		LECTURA L0	CT	LOCALIZACIÓN		
TAG	SERIAL					
PE-003	VW6867	9154,7	1054,532	N 6.650.542,280	E 298.198,469	DREN LATERAL AAB MNO E1
PE-004	VW6866	7777,1	1058,543	N 6.650.498,306	E 298.142,786	RM MNO AAR DREN E1
PE-005	VW6865	8076,9	1058,167	N 6.650.479,435	E 298.235,431	DREN LATERAL AAR MNO E1
PE-006	VW6864	8829,9	1062,162	N 6.650.444,191	E 298.185,643	RM MNO AAR DREN E1
PE-019	VW8334	8997,6	1048,620	N 6.650.622,353	E 298.276,232	DREN CENTRAL MNO AAR E1
PE-020	VW8333	9073,7	1047,335	N 6.650.660,807	E 298.310,157	DREN CENTRAL MNO AAB E1
PE-010	VW8331	9065,1	1103,219	N 6.649.748,810	E 298.241,998	DREN CENTRAL MO E1
PE-009	VW8332	9006,4	1110,050	N 6.649.710,899	E 298.236,185	DREN LATERAL MO E1
PE-009A	VW16738	8711,8	1120,95	N 6.649.647.807	E 298.253.031	DREN LATERAL MO E2
PE-013	100C15107	4108,1	1.146,06	N 6.648.405,231	E 298.204,126	DREN LATERAL 3 (S) MO(S) E3
PE-014	100C15108	4110	1.145,14	N 6.648.488,935	E 298.226,954	DREN LATERAL 3 (N) MO(S) E3
PE-015	VW12772	9061,8	1129,804	N 6,651,011,805	E 297,591,350	DREN LATERAL (O) MN E2
PE-016	VW12773	8923,0	1127,300	N 6.650.993,750	E 297.472,667	DREN LATERAL (P) MN E2

Debido a una intervención del banco ducto por parte de la empresa INCOPESA durante los trabajos de construcción del dren central del MO, el día 25 de septiembre de 2010, se cortaron los cables del piezómetro PE-010, el cual fue descubierto para verificar su estado, siendo reubicado a las coordenadas Datum PSAD 56 huso 19 N: 6.649.748,663; E: 298.242,317, y cota de instalación CT de 1.103,739 msnm, por la empresa Geomediciones, el 25 de octubre de 2010.

La ubicación final de los instrumentos, como también el trazado de los bancoductos se detallan en los siguientes planos As Built (Figuras 4-2 a 4-8).

## 4.2. Instrumentación Complementaria : Campaña de Sondajes

### 4.2.1. Resumen Ejecutivo de la Campaña de Sondajes

Como parte del control del comportamiento del depósito y verificación del diseño, se identificó la necesidad de efectuar exploraciones adicionales en el Muro Nororiente (MNO) y Botadero Sur (BS) en base a la perforación de sondajes, con el objetivo de mejorar el conocimiento y obtener información complementaria de geotecnia, hidrogeología y geoquímica de las obras señaladas.

La campaña de exploraciones, desarrollada el primer semestre de 2018, fue un trabajo interdisciplinario en la que participaron varias empresas, de acuerdo a sus especialidades: Superex en la perforación de los pozos; WSP en los trabajos de geoquímica e hidrogeología, incluyendo piezómetros de Casagrande; Geomediciones en la instalación y puesta en marcha de los sensores de fibra óptica; Aguaex en las investigaciones sísmicas (ensayos down hole y geofísica superficial de refracción) y Wood en el rol de Supervisión Técnica y Coordinación General de los trabajos e Investigaciones Geotécnicas.

En total se perforaron 8 sondajes sumando 733,55 metros lineales útiles de exploración, lo que se hizo mediante dos sondas sónicas y una perforadora diamantina: 83% de las

perforaciones fueron hechas utilizando el método sónico, en tanto que el 17% fueron hechas utilizando el método diamantino, todas ellas con recuperación de testigos.

Todos los testigos fueron logueados y fotografiados; de los 733,55 metros perforados, 592,00 metros (81%) correspondieron a suelos (rellenos) y 141,55 metros (19%) correspondieron a roca.

Las estadísticas señalan la siguiente distribución general en los rellenos: 85% de gravas; 9% de arenas, y 6% de arcillas y limos, cada uno de ellos con sus diferentes subclases. Los sondajes DH-2, DH-3, DH-4, DH-6, DH-7 y DH-8 penetraron la roca fundamental. La litología de la roca corresponde a una andesita, de textura micro porfídica a ocasionalmente porfídica, de color comúnmente gris marrón, también blanquecino o rojizo.

En todos los sondajes se ejecutaron pruebas de penetración estándar (SPT) en los rellenos, hasta una profundidad máxima de 60 metros. En total se practicaron 29 ensayos, de los cuales en 12 se obtuvo un Valor-N, y en 17 se aplicaron criterios de rechazo.

Respecto de las exploraciones geofísicas, en total se realizaron 4 ensayos Down-Hole al interior de los sondajes (DH-1, DH-4, DH-6 y DH-7), y, en superficie, tres (3) perfiles de tomografía sísmica de refracción-Vp y 2 perfiles AMOS-Vs, sumando 213 m lineales de ensayos Down-Hole, 611 m de Refracción-Vp y 368 m de AMOS-Vs.

Durante el proceso de perforación de cada sondaje, es decir, a pie de pozo, se efectuaron dos tipos de muestreos, de humedad en suelos e hidroquímica del agua de perforación. Adicionalmente, mediante un instrumento multiparámetro se tomaron diversos parámetros hidroquímicos del agua, tales como temperatura, pH, conductividad, TDS y ORP. En la testigoteca de Teck CdA se efectuaron muestreos para ensayos geoquímicos y para ensayos geotécnicos. Las actividades de análisis de laboratorio de todos los muestreos están actualmente en progreso.

El pozo DH-5 se perforó con mucha dificultad hasta los 35,7 metros, para finalmente derrumbarse. Se perforó un pozo gemelo denominado DH-5A aledaño al pozo DH-5, también abandonándose a los 96,8 metros por sucesivos cortes de barras y atrapés de herramienta. Por lo tanto, finalmente, los pozos DH-1, DH-2, DH-3 y DH-7 fueron implementados con piezómetros del tipo Casagrande mientras que los pozos DH-4, DH-6 y DH-8 fueron habilitados con piezómetros de fibra óptica (FOP). Todos ellos quedaron operativos. Para mayor detalle ver Documento N° E40165-840-TR-019: "Informe Constructivo Sondajes Sónicos Muro Nororiente y Botadero Sur".

#### **4.2.2. Instrumentación asociada a la campaña de Sondajes**

Una vez finalizada la perforación de los sondajes, se habilitaron los pozos con piezómetros Casagrande o Fibra Óptica, según sea el caso. La habilitación con piezómetros Casagrande fue realizada por WSP y los trabajos de habilitación con Fibra Óptica fueron ejecutados por Geomediciones, siempre bajo la supervisión y coordinación de Wood.

En ambos casos, hubo un diseño preliminar propuesto (WSP / Geomediciones), con recomendaciones de profundidades de sensores propuestas por Wood, los que fueron consecuentemente ajustados a las características reales de terreno encontradas durante la perforación, como por ejemplo: el tipo de material, derrumbes u obturaciones de las paredes del pozo, admisiones de agua o mezclas, etc.

La Tabla 4-2 presenta los tipos de piezómetros construidos en cada sondaje según se indica.

**Tabla 4-2: Piezómetros**

Sondaje	Tipo Piezómetro
DH-1	Casagrande
DH-2	Casagrande
DH-3	Casagrande
DH-4	Fibra Óptica
DH-5A	-
DH-6	Fibra Óptica
DH-7	Casagrande
DH-8	Fibra Óptica

### 4.2.3. Piezómetros Casagrande

De acuerdo con lo mostrado en la Tabla 4-2, los pozos DH-1, DH-2, DH-3 y DH-7 han sido implementados con piezómetros del tipo Casagrande.

En la construcción de los piezómetros Casagrande se utilizaron elementos típicos tales como tubos de 3 metros de PVC liso y ranurado de 2" (excepto de 1"1/2 en el pozo DH-1), bentonita en pellets 3/8", terminaciones de punta de lápiz y grava seleccionada. En la construcción del sello sanitario se utilizó una mezcla de arena, bentonita y agua. En la Figura 4-1 se muestran algunos de los elementos utilizados en la construcción de los piezómetros Casagrande.

A modo informativo, en la Figura 4-10 se muestran los diseños constructivos finales de la instalación de los piezómetros Casagrande.

Figura 4-1: A) PVC lisos y ranurados; B) Grava; C) Terminación del Pozo



#### 4.2.4. Piezómetros de Fibra Óptica

Como se muestra en la Tabla 4-1, los pozos DH-4, DH-6 y DH-8 fueron implementados con piezómetros de fibra óptica (FOP en adelante), manufacturados por Roctest (Canadá), y corresponden al modelo FOP-F con cables de 7 mm.

En general, la instalación consistió en colocar dos (2) sensores por pozo, a distintas profundidades, adosados a tuberías Tremie. Posteriormente los pozos se rellenaron con lechada, en la parte inferior del pozo, y completados con grava fina hasta la superficie. A modo ilustrativo, en el Figura 4-11 se incluyen los diseños constructivos finales de la instalación de los piezómetros FOP.

Finalmente se realizaron lecturas funcionales de los sensores para verificar que ellos están operativos, quedando conectado el jumper (conector óptico) para futuras lecturas.

La actividad de adquisición, habilitación y puesta en marcha de la piezometría por fibra óptica estuvo a cargo de la empresa Geomediciones.

Figura 4-2: Plano E40165-840-R-PL-168.000 Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros Cuerda Vibrante MN Planta (2020.03.31).

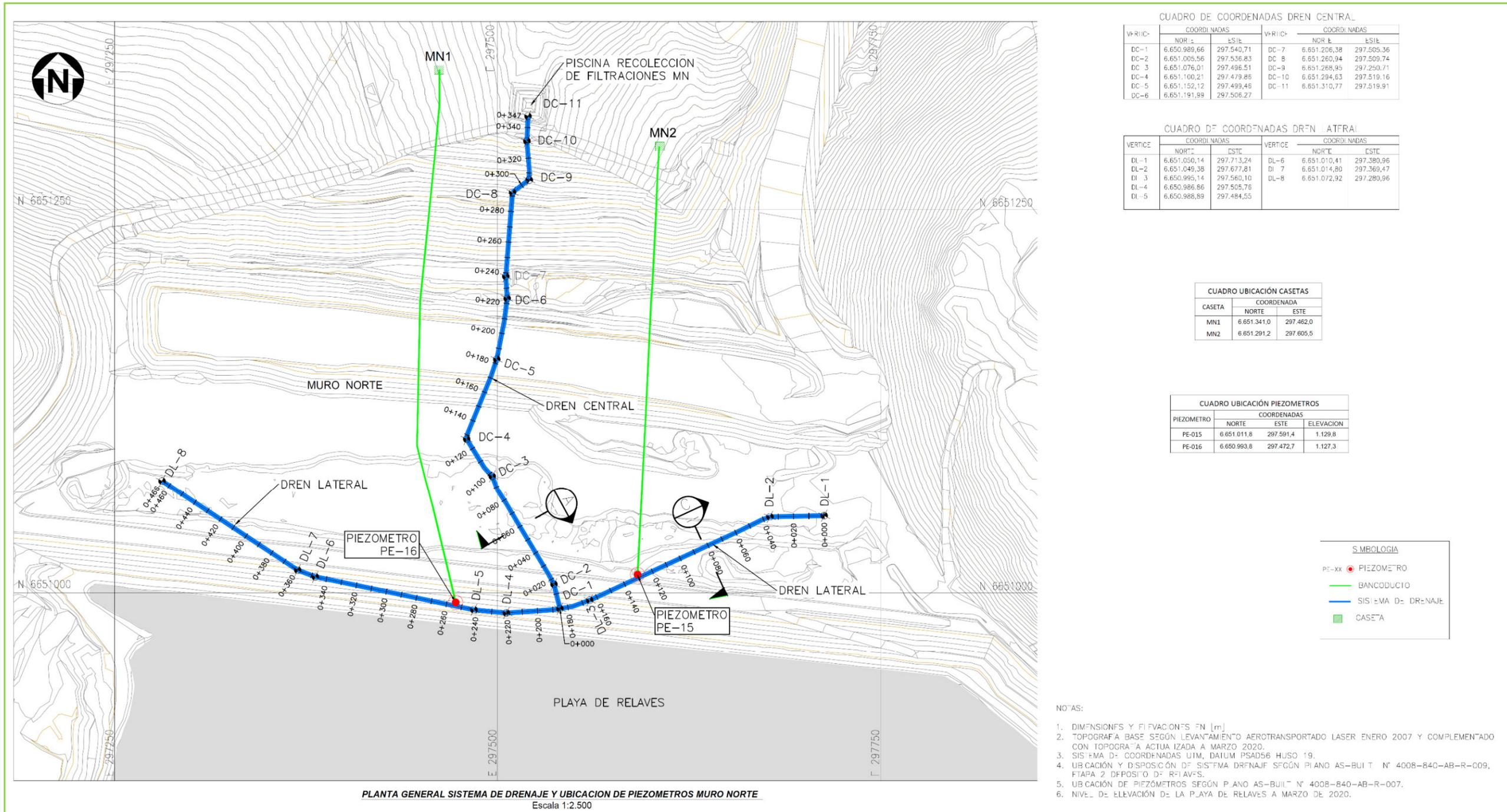




Figura 4-4: Plano E40165-840-R-PL-169.000 Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros Cuerda Vibrante MNO Planta (2020.03.31).

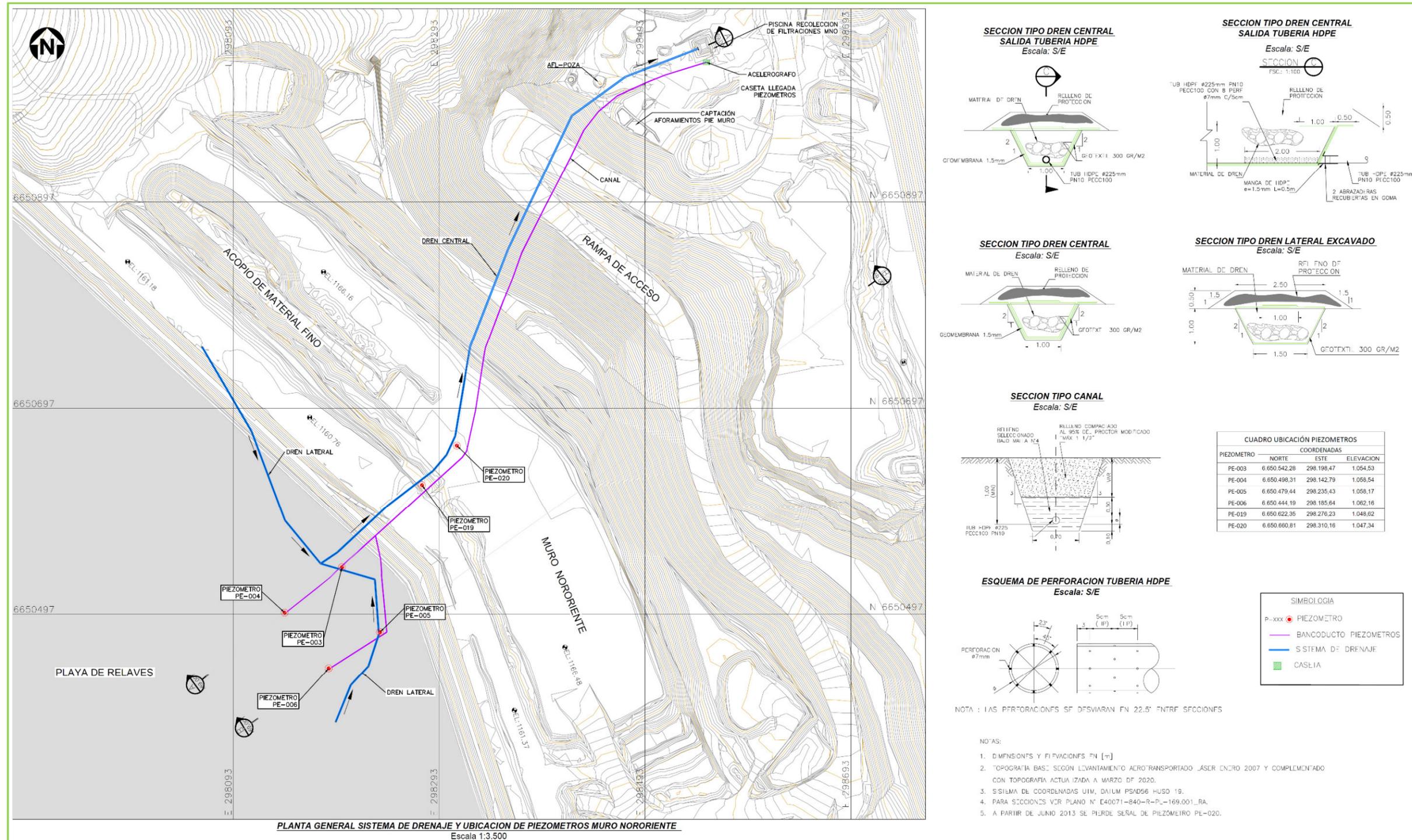


Figura 4-5: Plano E40165-840-R-PL-169.001 Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros MNO Cuerda Vibrante Perfiles (2020.03.31).

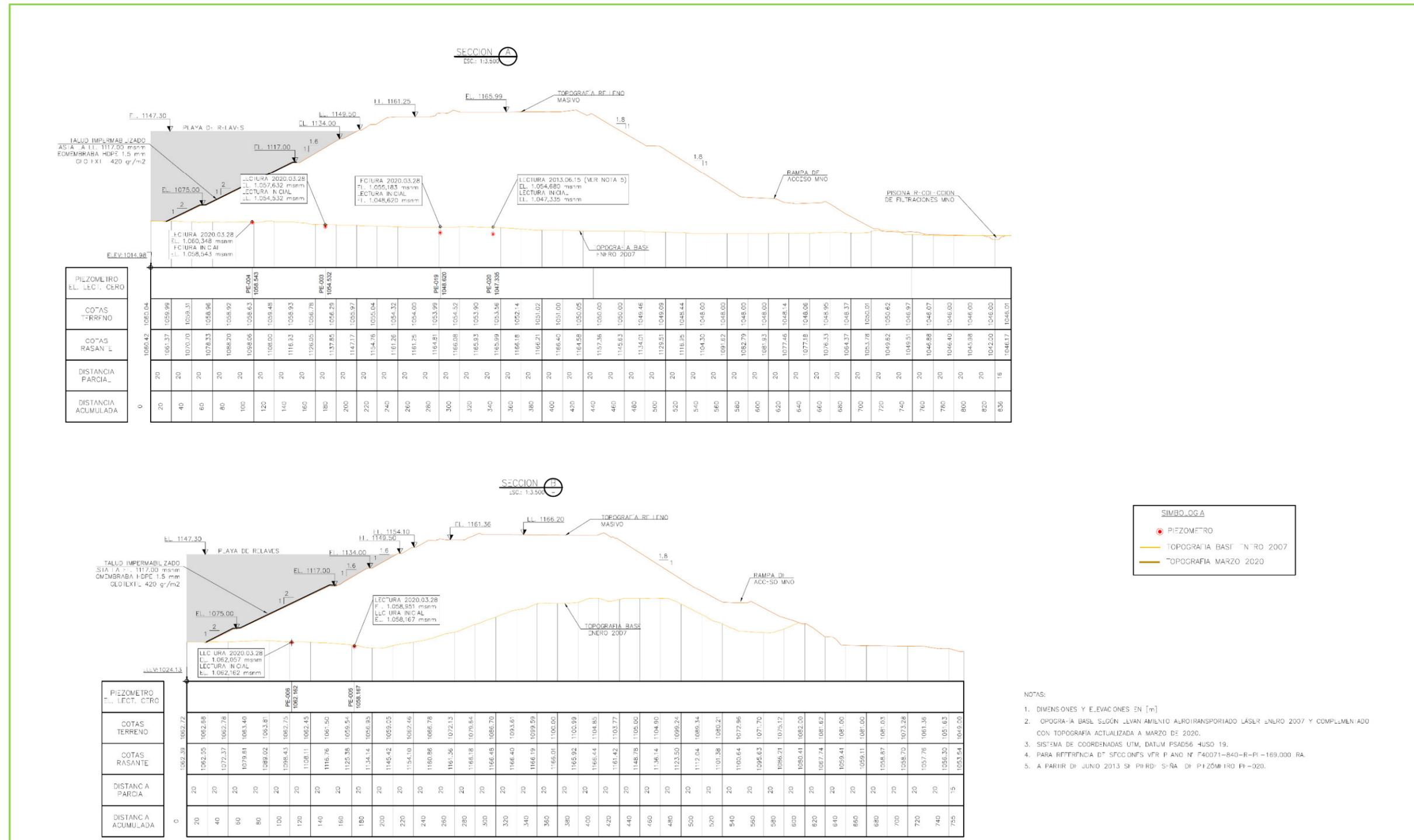


Figura 4-6: Plano E40165-840-R-PL-170.000 Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros Cuerda Vibrante MO Planta (2020.03.31).

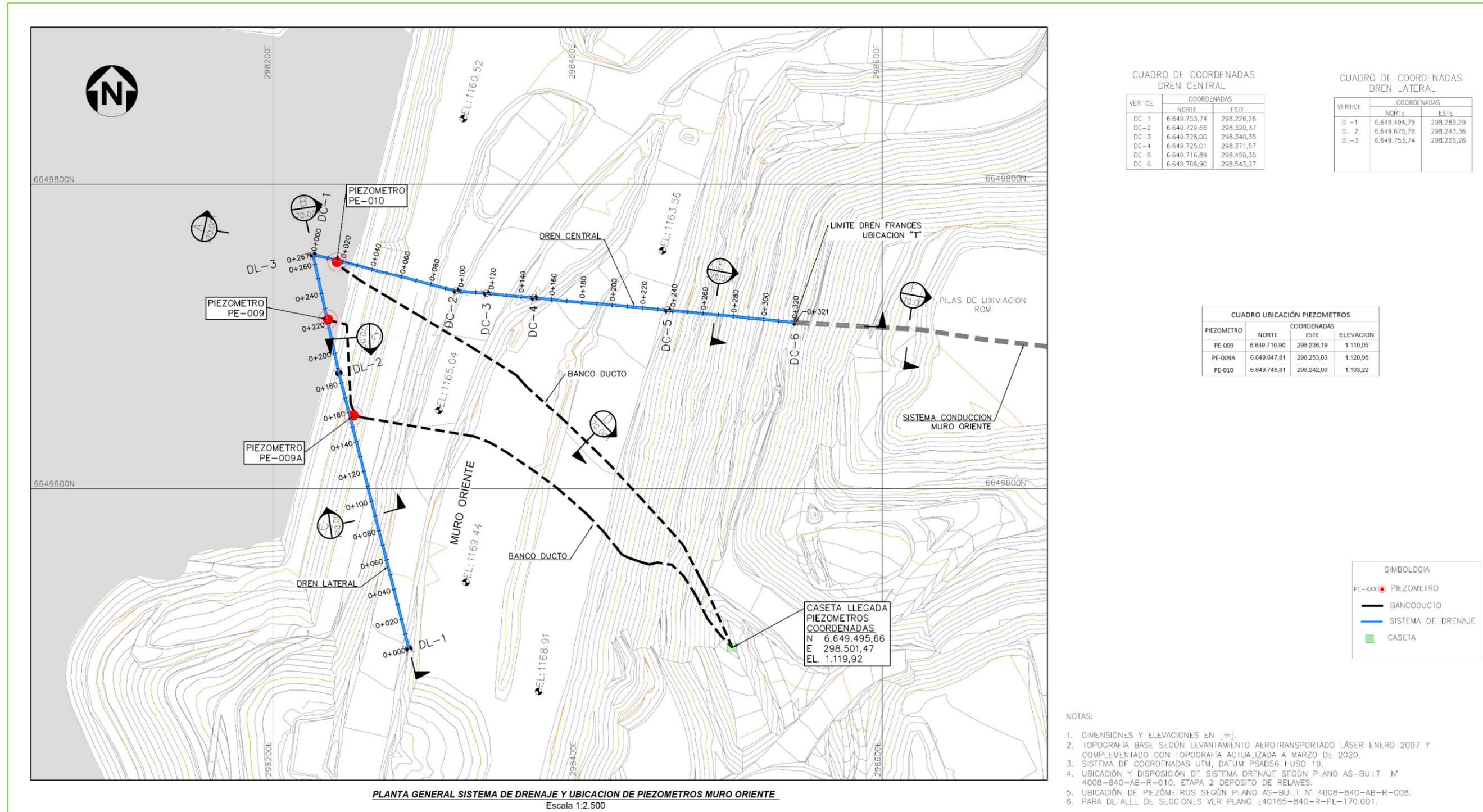




Figura 4-8: Plano E40165-840-R-PL-171 Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros Cuerda Vibrante MO(S) Planta y Perfiles (2020.03.31).

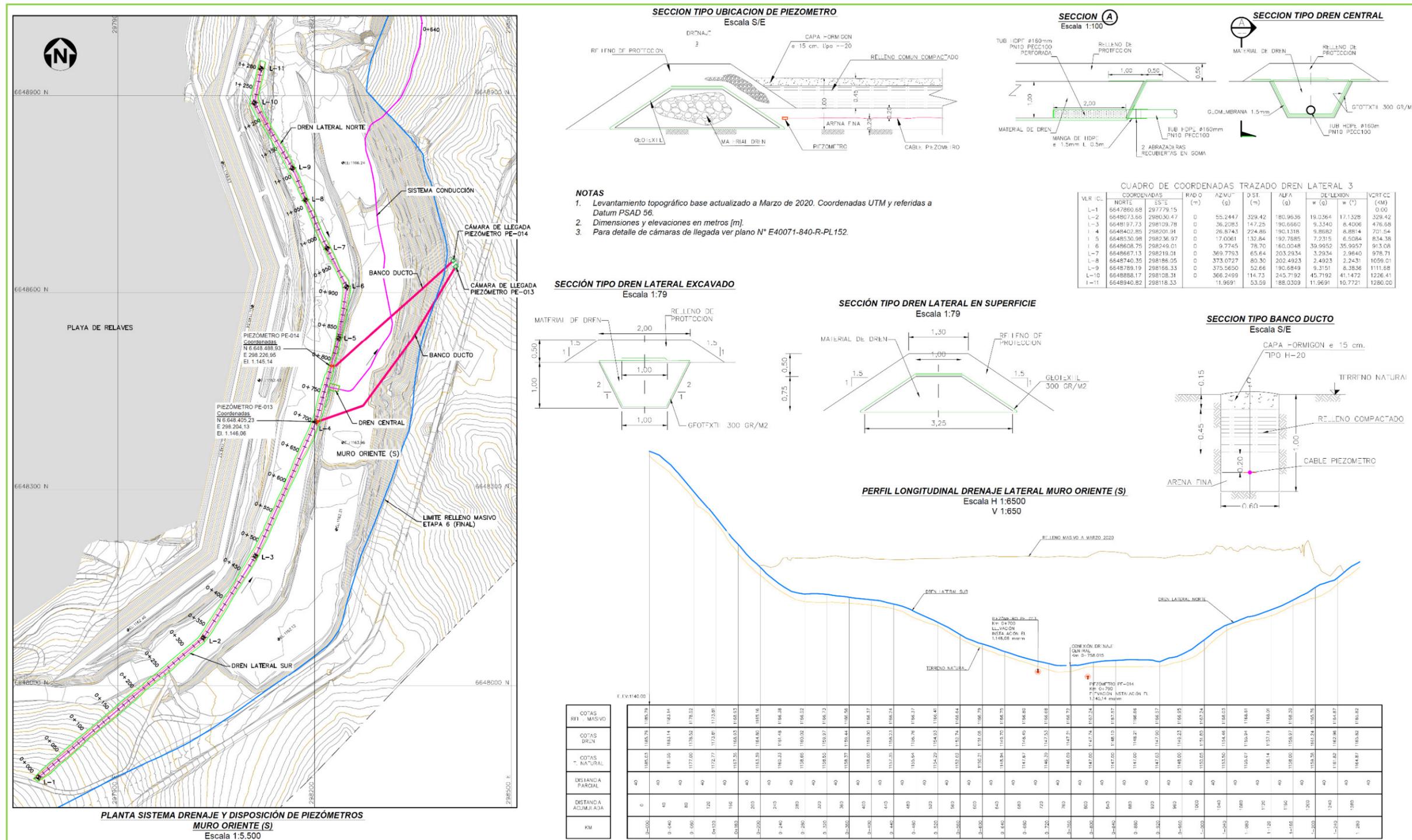


Figura 4-9: Plano E40165-840-R-PL-056\_R2 As Built: Sondajes Sónicos e Instalaciones Piezómetros MNO y BS, 2018.06.22.

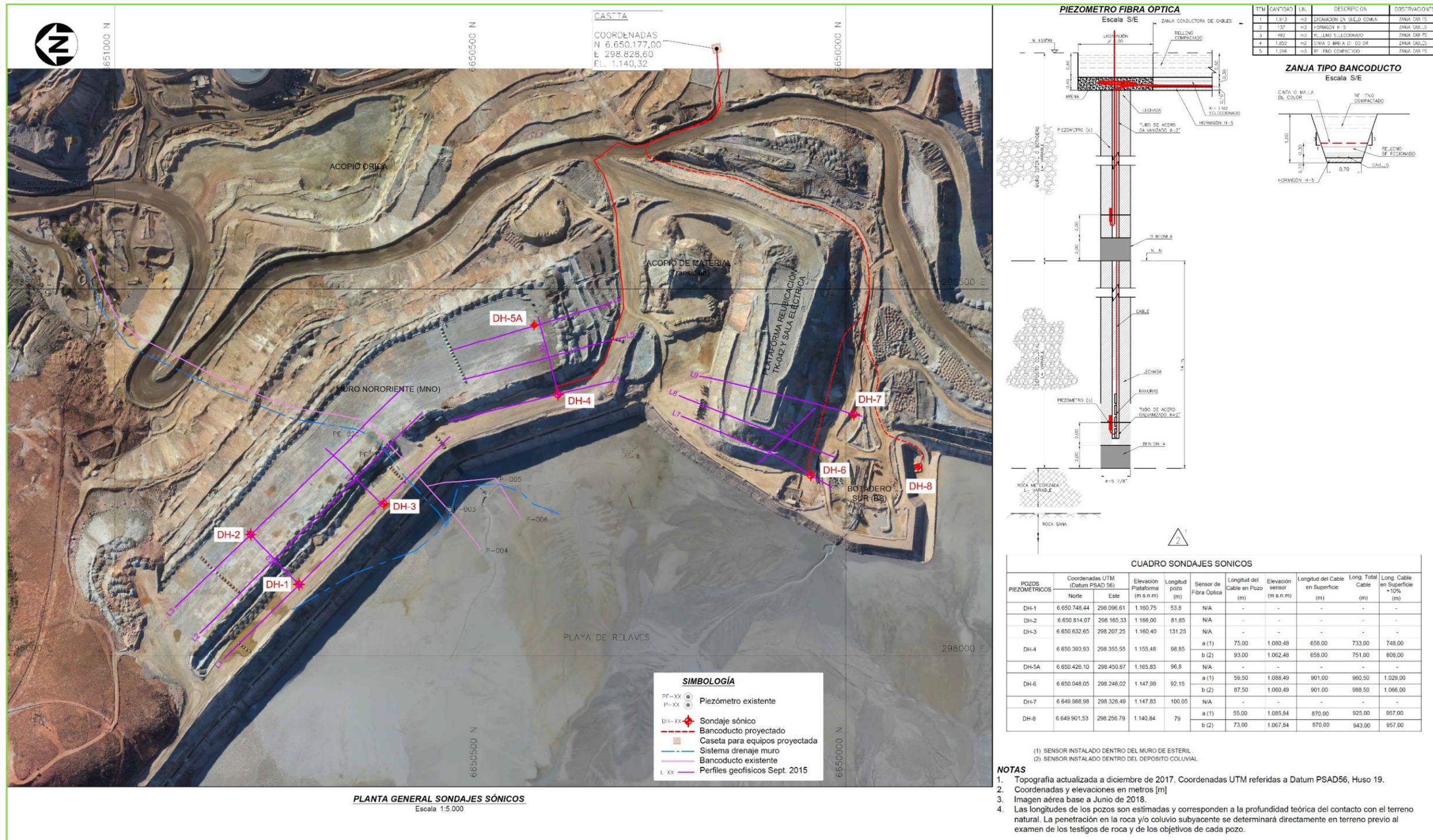


Figura 4-10: Detalle Habilitación Piezómetros Casagrande (por WSP, elevaciones de Plataforma según Figura 4-9).

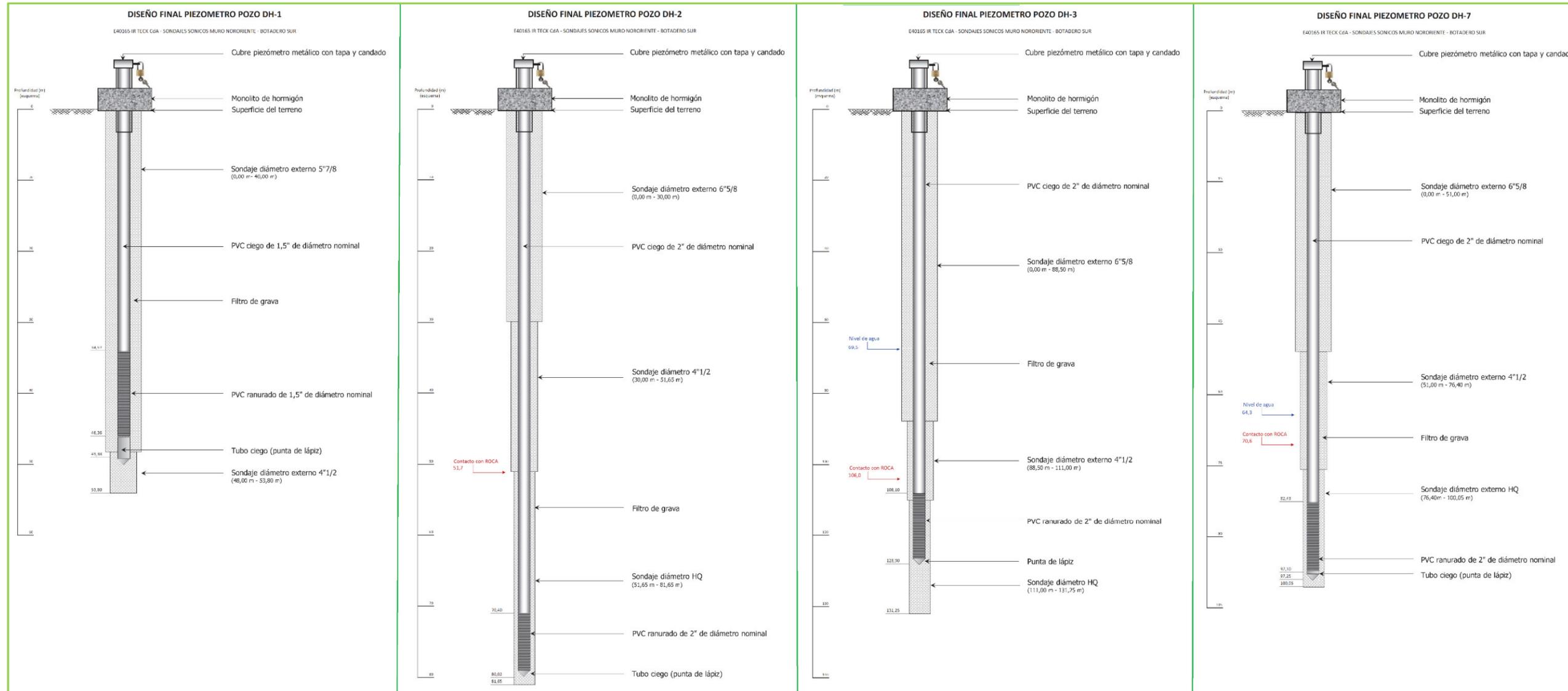
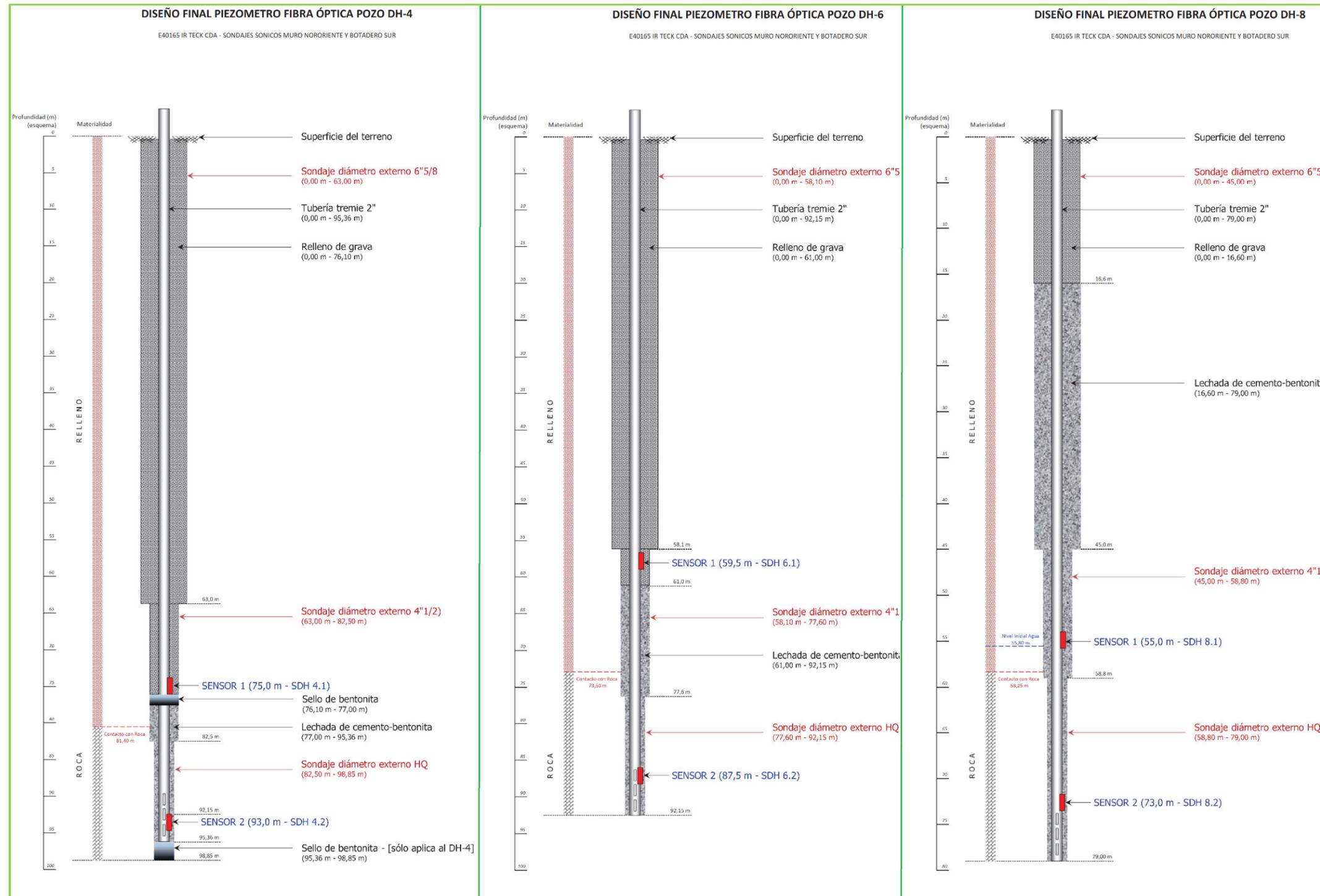


Figura 4-11: Detalle Habilitación Piezómetros Fibra Óptica (por Wood, elevaciones de Plataforma según Figura 4-9).



### 4.3. Lecturas Instrumentales 2019

#### 4.3.1. Lecturas Piezómetros MN

Respecto de los dos (2) piezómetros instalados en la fundación del MN (PE-015 y PE-016), al momento de escribir el presente informe, se encuentran instalados a una cota bajo la El. de la playa de relaves en contacto con el muro, y sus lecturas coinciden con la cota de la elevación instrumental, lo que indica que no hay nivel de agua que sea detectado sobre el instrumento, por lo que no presentan actividad que se pueda relacionar con la operación de la TMF.

Del mismo modo, dichos piezómetros no presentan actividad al momento de activarse los afloramientos relacionados con la operación de las descargas D2 / D3 y precipitaciones, aguas abajo del MN ver capítulo 8.4.2

**Figura 4-12: Grafico Piezométrico MN – histórico, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).**

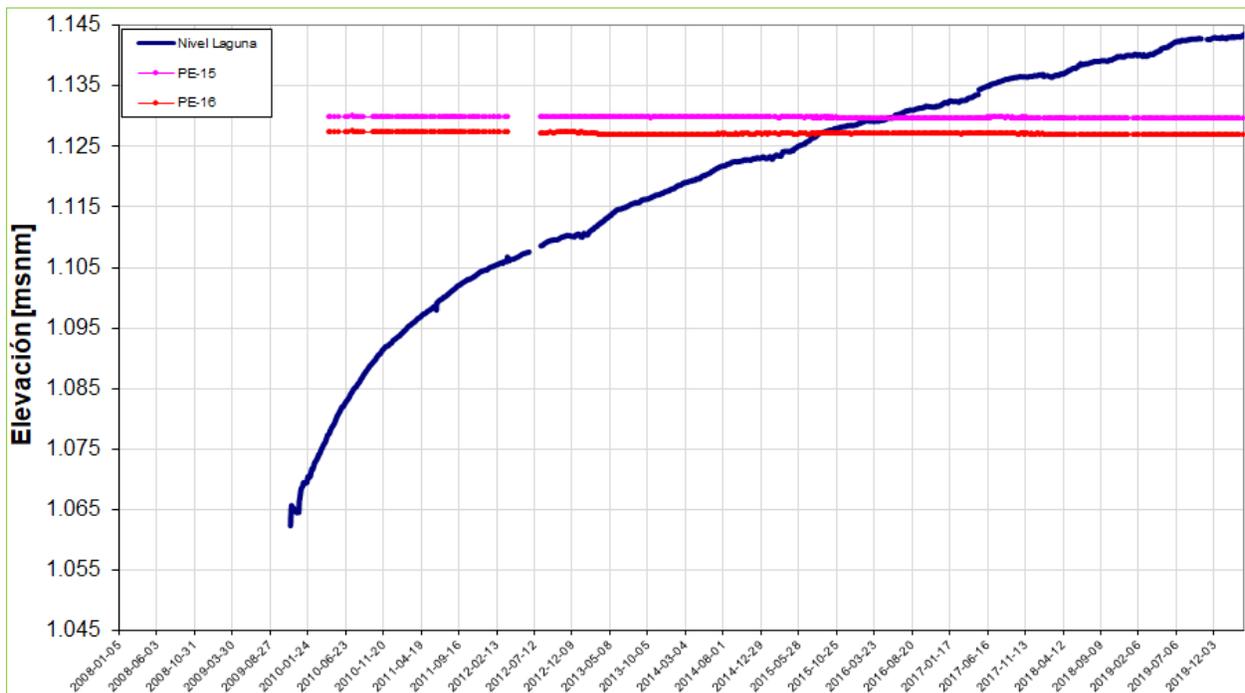


Figura 4-13: Grafico Piezométrico MN, sin EI. Laguna – histórico, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).

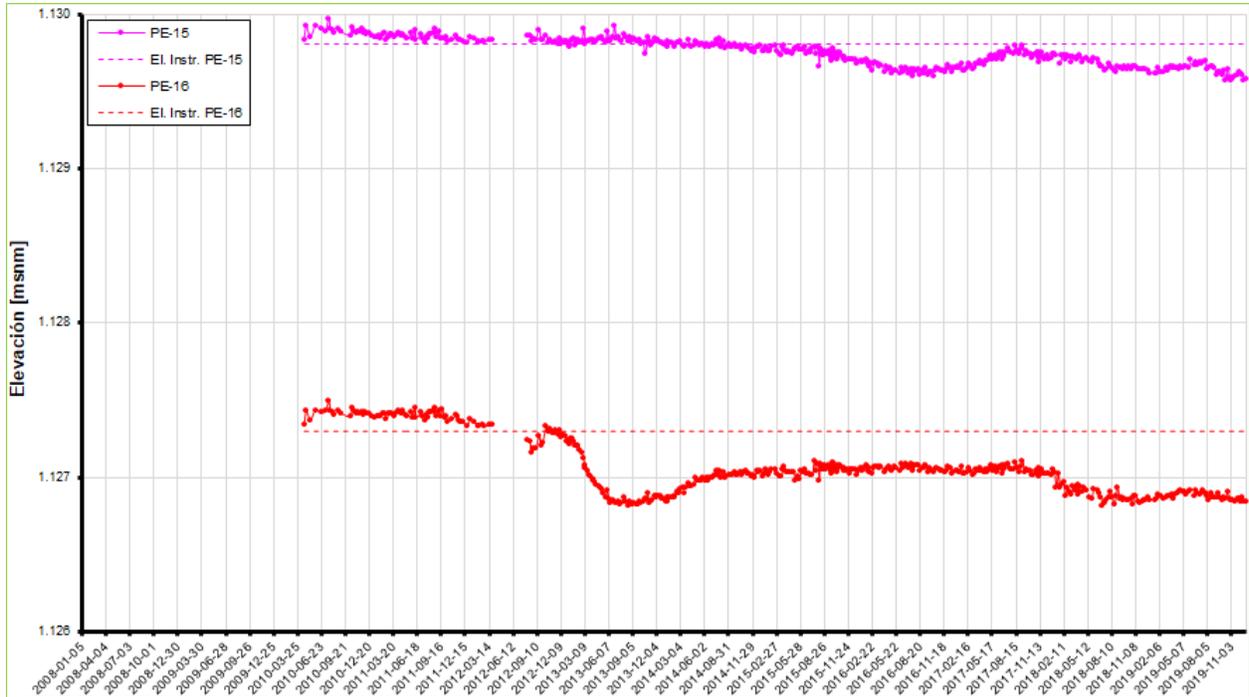


Figura 4-14: Grafico Piezométrico MN, PE - 015 – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).

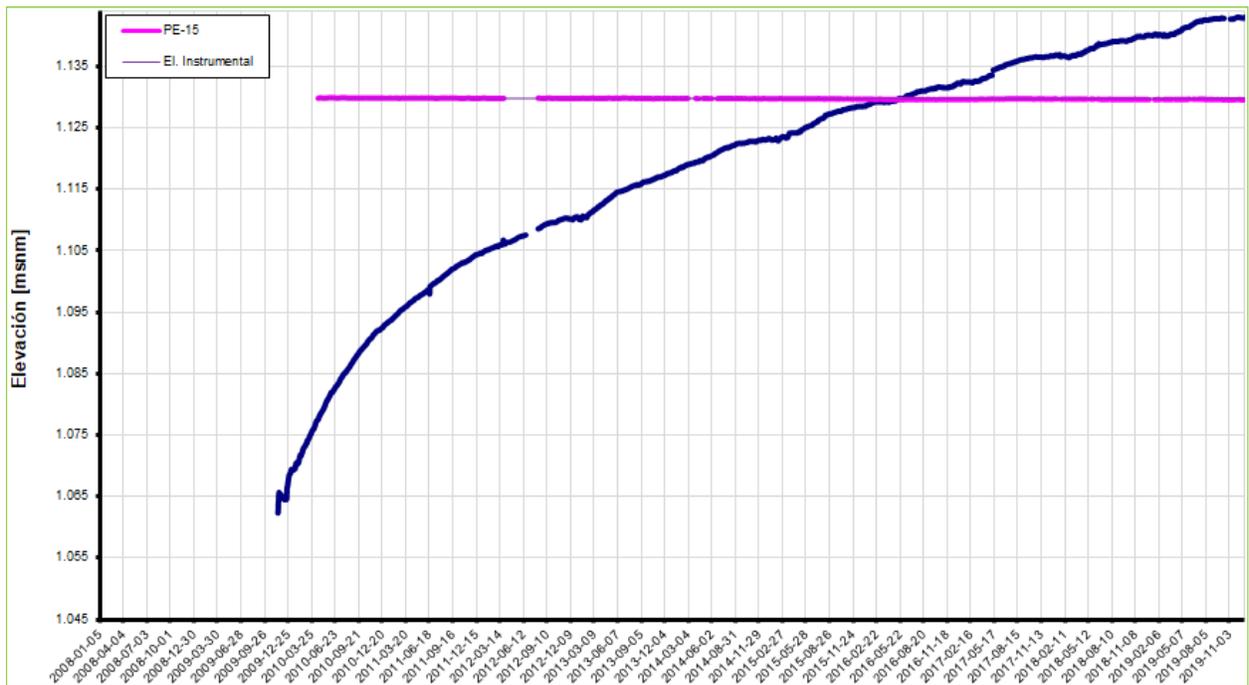
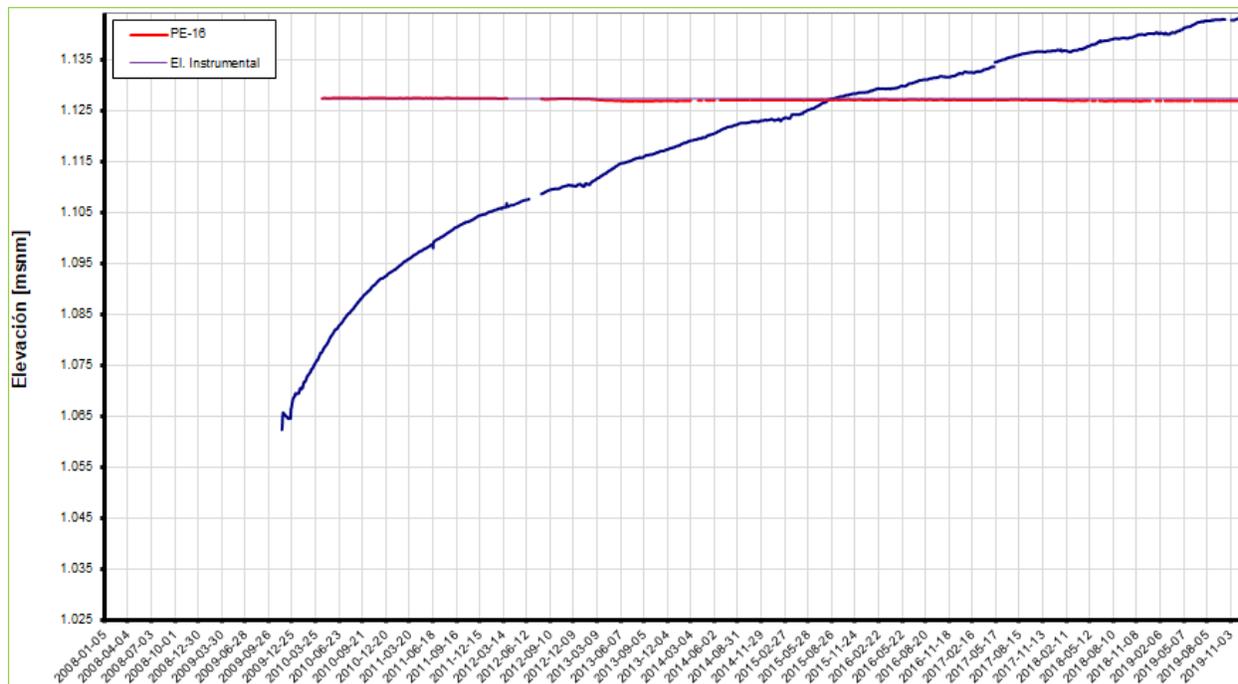


Figura 4-15: Grafico Piezométrico MN, PE - 016 – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).



### 4.3.2. Lecturas Piezómetros MNO

El piezómetro PE-020, está dañado y presenta lecturas espurias desde mediados de 2013, el resto de los piezómetros, se encuentran operativos. Los piezómetros, PE-003, PE-004 y PE-019, presentan un comportamiento estable con aumento sostenido del nivel piezométrico, a una tasa de + 0,06 cm/d, +0,06 cm/d y +0,07 cm/d respectivamente, en tanto los dos (2) piezómetros restantes, PE-005 y PE-006 presentan actividad desde comienzos del año 2019 y fines del año 2018 respectivamente, con una tasa de incremento de + 0,00 cm/d y + 0,01 cm/d respectivamente. Esta tendencia de incremento gradual pero baja de los niveles piezométricos en el tiempo se considera relacionado con el crecimiento del depósito y nivel de la laguna de aguas claras, y el efecto de las playas húmedas cercana a los muros, ya sea por la operación propia de los puntos de descarga, como por lagunas parasitas temporales que se forman como parte de la operación de la TMF.

Respecto de los piezómetros PE-19 y PE-20, se deja establecido que están instalados a la cola (aguas abajo) del sistema de drenaje del MNO en el tramo denominado dren central. Para todos los muros el dren central cumple la función de conducción del agua captada por los drenes laterales, pero no es impermeable en todo su perímetro, permitiendo la captación de agua solo por la parte superior (top) del dren, de manera de deprimir el nivel freático hacia aguas abajo de los muros en caso de ser necesario, ya que están diseñados y construidos para mantener drenado el muro.

Todos los piezómetros del MNO, detectaron el sismo 6,7 (Mw) de fecha 19 de enero de 2019, la mayor caída se verificó en el PE-004 y fue de 30 cm.

Figura 4-16: Grafico Piezométrico MNO – histórico, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).

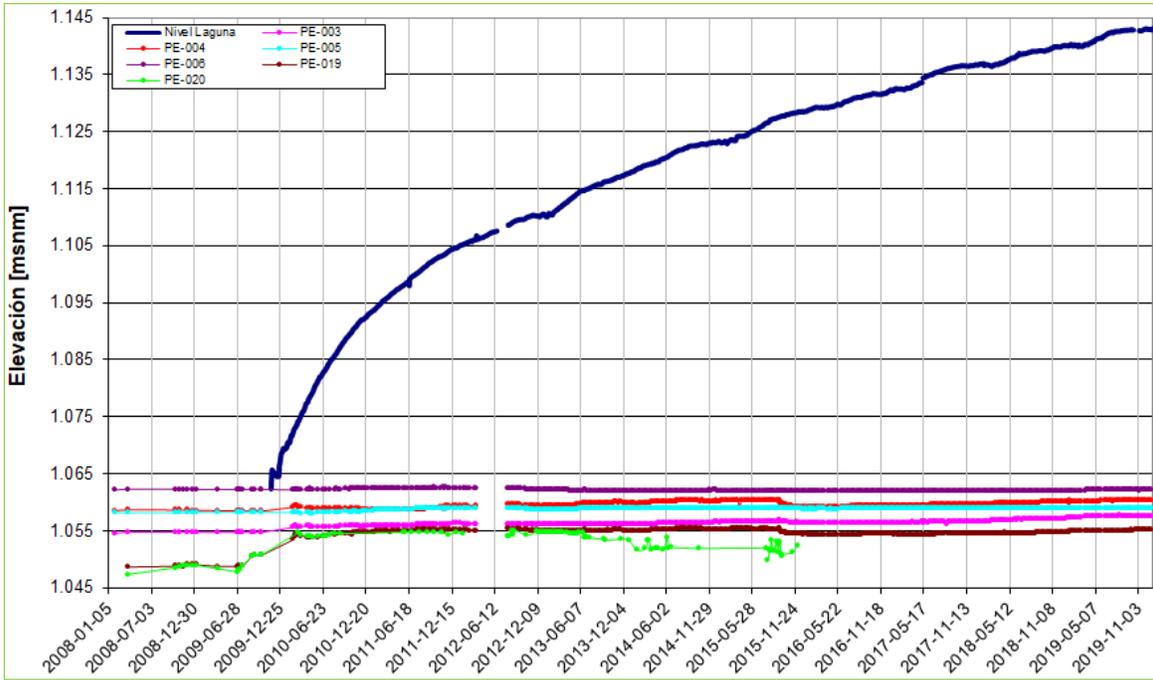
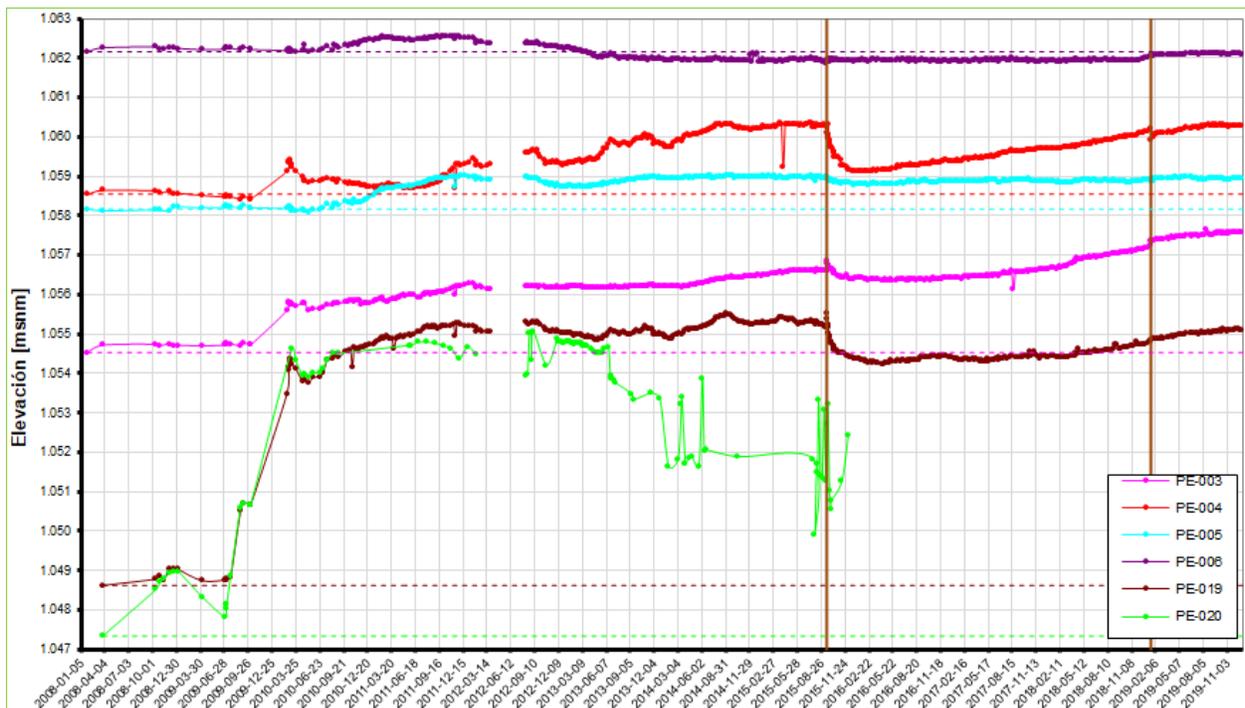


Figura 4-17: Grafico Piezométrico MNO, sin El. Laguna – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).



En el caso de la Figura 4-17, las líneas verticales de color café representan los sismos 16S del año 2015 y 19E del año 2019, respectivamente, las líneas segmentadas corresponden a la elevación instrumental del piezómetro respectivo.

Figura 4-18: Grafico Piezométrico MNO, PE - 003 – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).

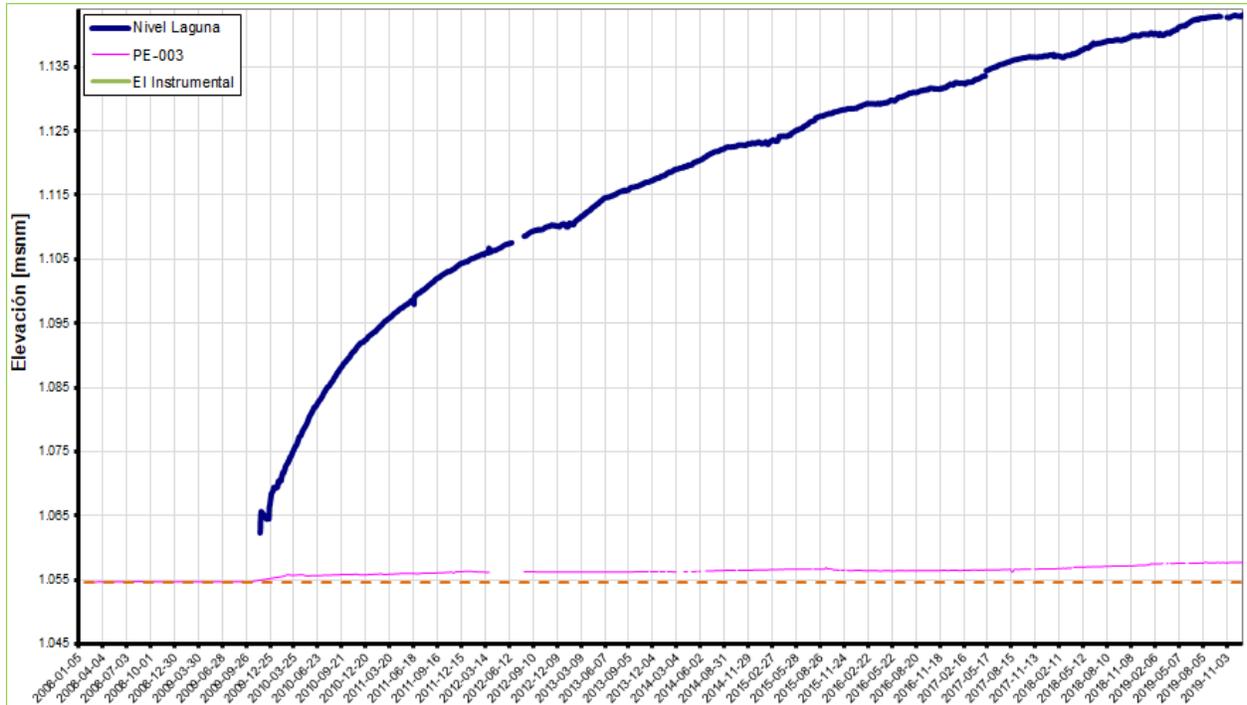


Figura 4-19: Grafico Piezométrico MNO, PE - 004 – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).

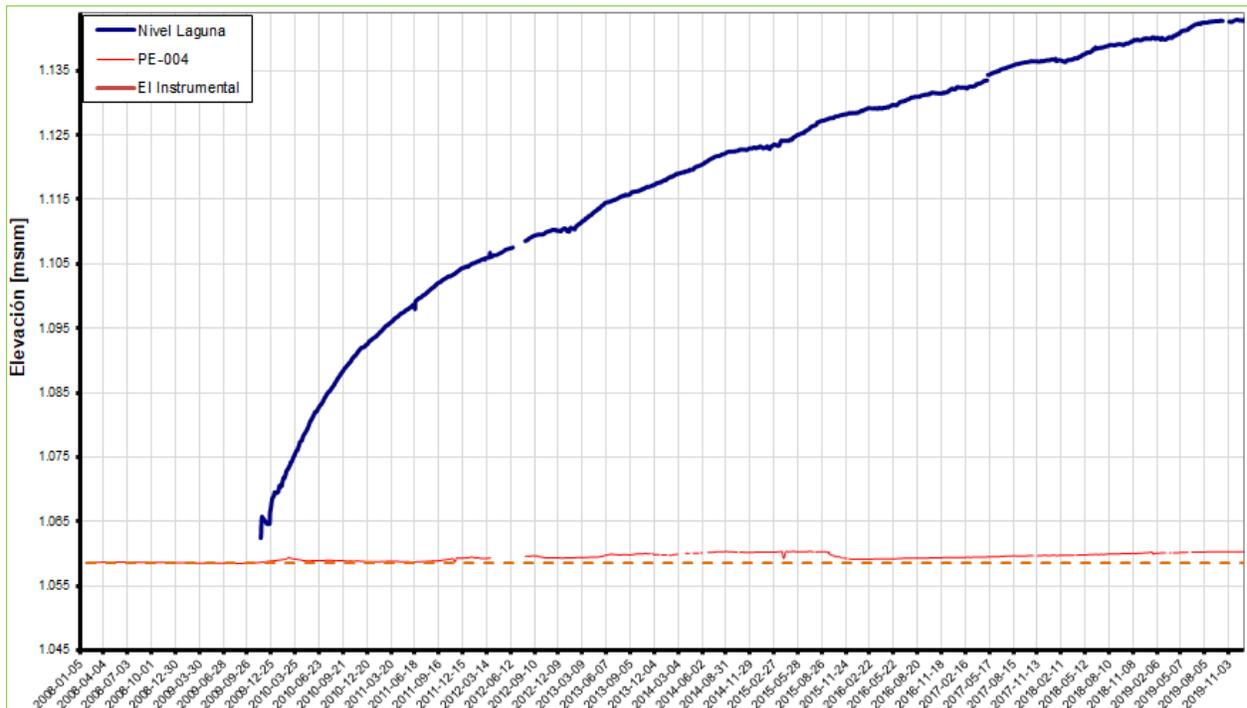


Figura 4-20: Grafico Piezométrico MNO, PE - 005 – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).

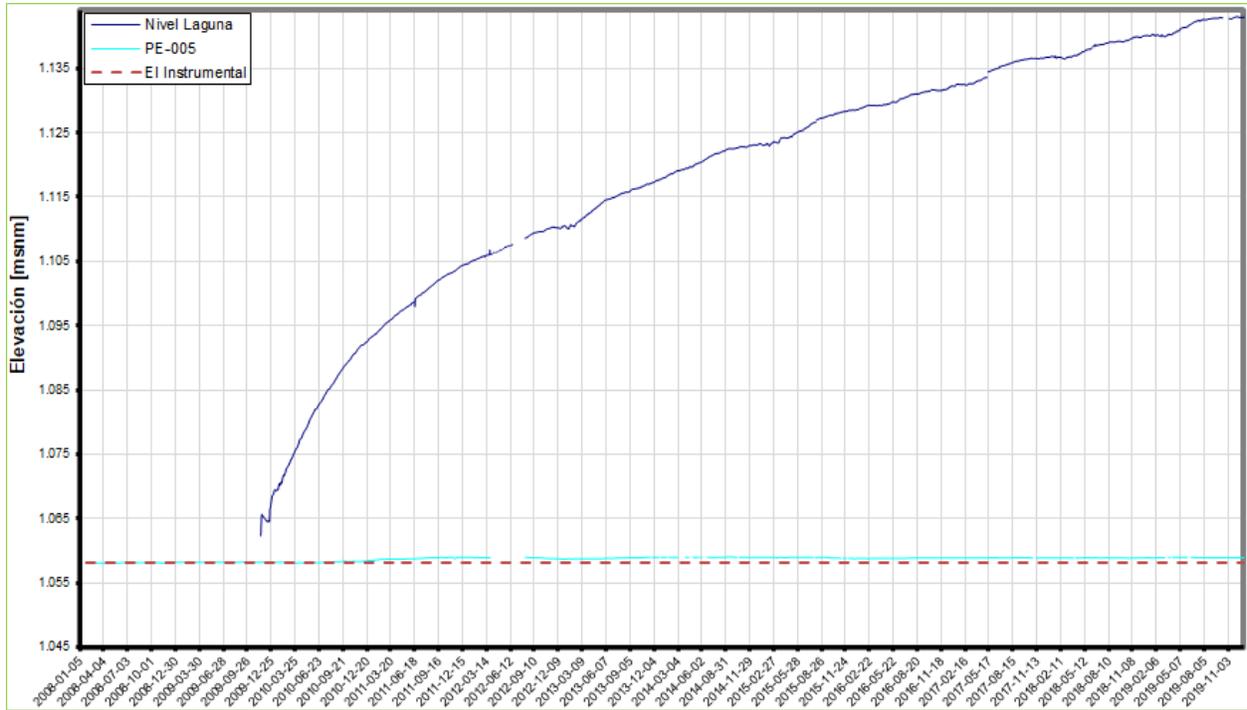


Figura 4-21: Grafico Piezométrico MNO, PE - 006 – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).

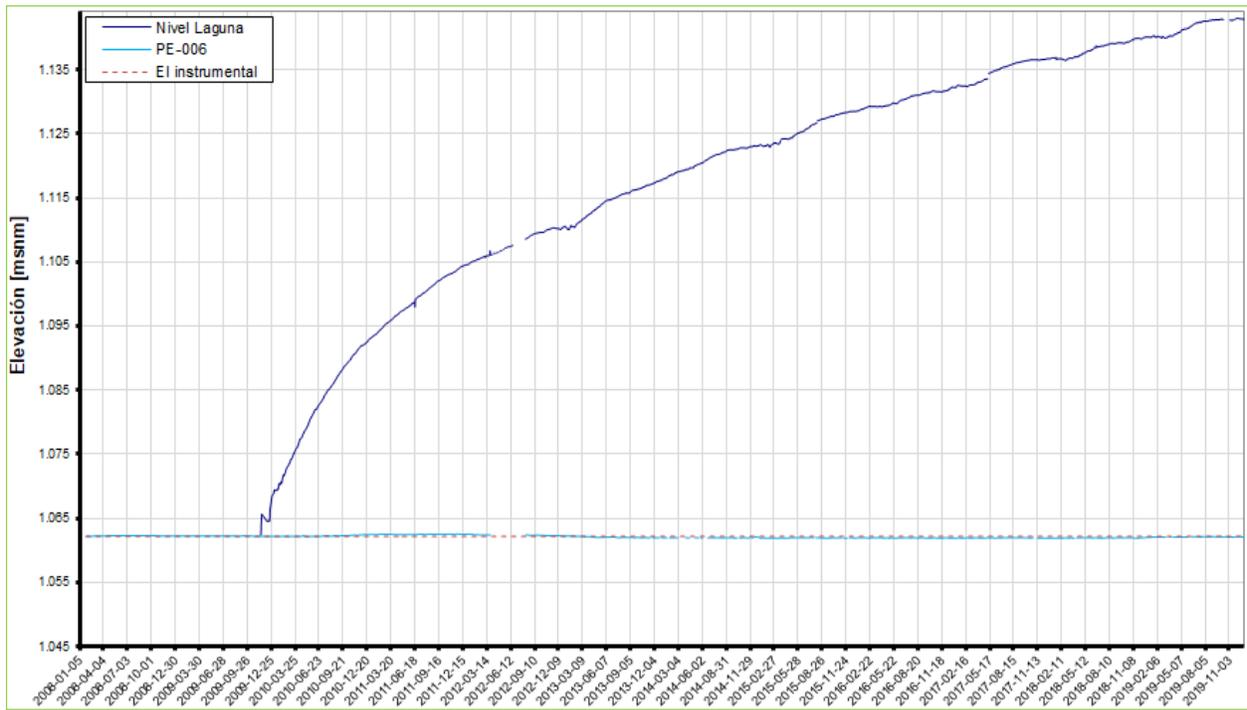


Figura 4-22: Grafico Piezométrico MNO, PE - 019 – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).

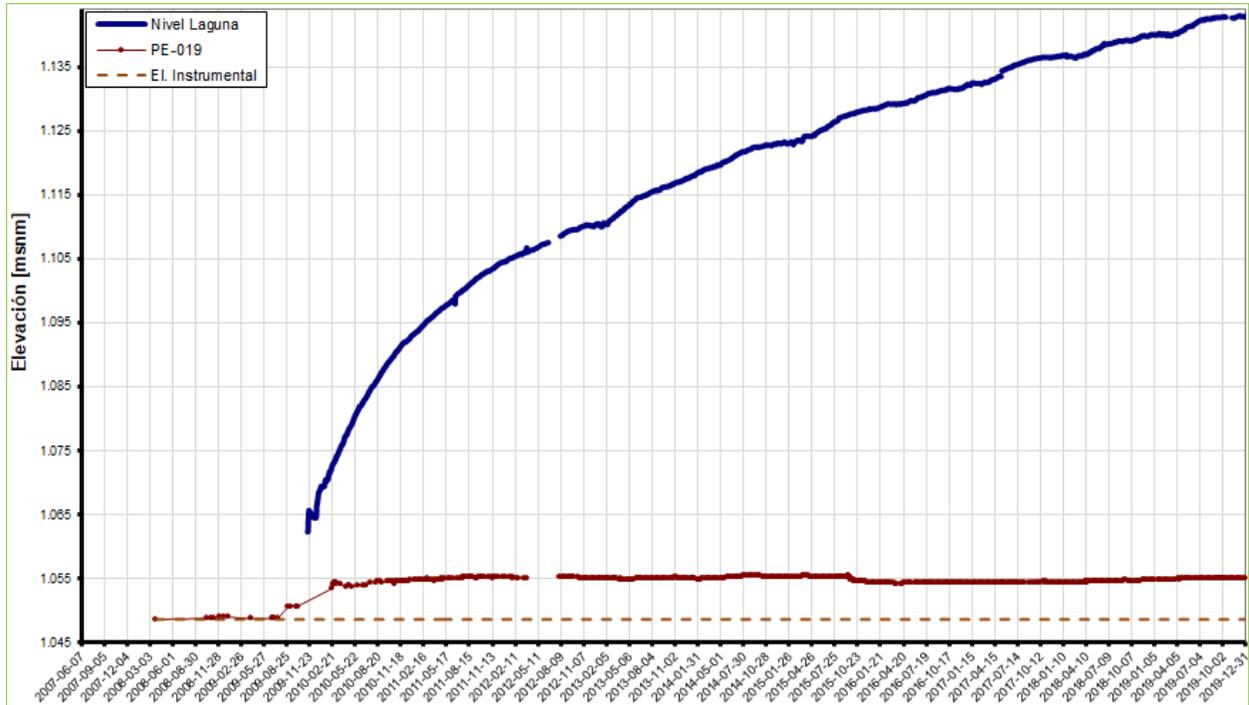
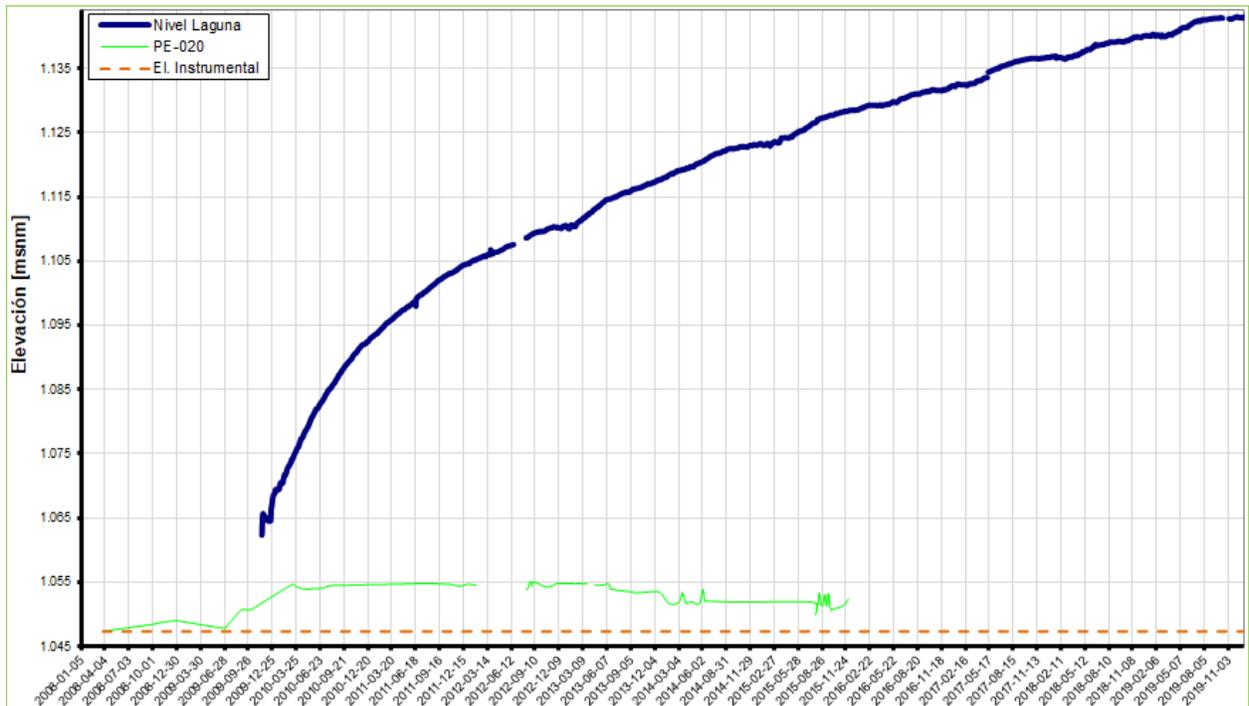


Figura 4-23: Grafico Piezométrico MNO, PE - 020 – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).



Respecto de la Figuras 4-22 y 4-23, cabe señalar que la El. instrumental para los piezómetros PE-19 y PE-20 se encuentra aproximadamente 4,0 m por debajo de la rasante del dren, a diferencia del resto de los piezómetros para los cuales la El. instrumental coincide con la rasante del dren respectivo. Por lo tanto, el nivel freático en [mca] (metros columna de agua) en ellos medido, debe ser leído y utilizado considerando dicha condición de montaje. La rasante del dren coincide con el nivel de la fundación del muro MNO  $\pm$  60 cm

### 4.3.3. Lecturas Piezómetros de Fibra Óptica

Al momento de escribir el presente documento, de los seis (6) piezómetros de fibra óptica instalados al término de la campaña de perforaciones 2018, se ha perdido señal en tres (3) instrumentos. Geomediciones ha revisado esta condición en el sitio a través de pruebas de eco óptico, y han podido determinar que en el caso de los piezómetros del sondaje DH-08 (Pl. El 1.141 msnm BS) existiría una discontinuidad de la fibra en las inmediaciones de la salida del pozo, y que en el caso del piezómetro profundo del sondaje DH-04, la discontinuidad estaría dentro de la perforación misma, por lo tanto no son recuperables.

Respecto de las lecturas piezométricas en el caso DH-04, se puede apreciar que durante el periodo, el instrumento instalado en el relleno no detecta nivel piezométrico.

En el caso del DH-06, el piezómetro instalado en el relleno del BS (piezómetro superior) no muestra actividad, sin embargo, aquel piezómetro instalado en la roca de fundación (piezómetro inferior) presenta actividad permanentemente descendiendo 35 cm a una tasa de - 0,13 cm/d durante el periodo. Para el periodo anterior este piezómetro arrojó lecturas piezométricas que incluso alcanzaban el nivel de instalación del piezómetro superior, y que no era detectado por este último instrumento, esto es consistente con el hecho que al momento de perforar sónicamente los pozos, no se detectó agua en el relleno del Botadero Sur.

Con base en los antecedentes presentados y considerando principalmente que los niveles piezométricos se evidenciaron una vez que se perforó el terreno natural de fundación, es posible establecer que la roca sobre la que se funda el Botadero Sur constituye una vía preferencial de escurrimiento, la que podría darse producto de un contraste significativo entre su conductividad hidráulica y la del material que conforma el botadero. En consecuencia, el agua en la base del botadero genera una sub-presión sobre el material del botadero.

Como antecedente adicional se puede indicar que, según ensayos de laboratorio ejecutados sobre muestras extraídas durante la perforación de los sondajes (mediante método sónico), la humedad del relleno, en las cercanías del contacto con el terreno natural de fundación, oscilaba entre 4% y 8%, es decir material no saturado.

Figura 4-24: Grafico Piezométrico instrumentos de fibra óptica MNO / BS – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).

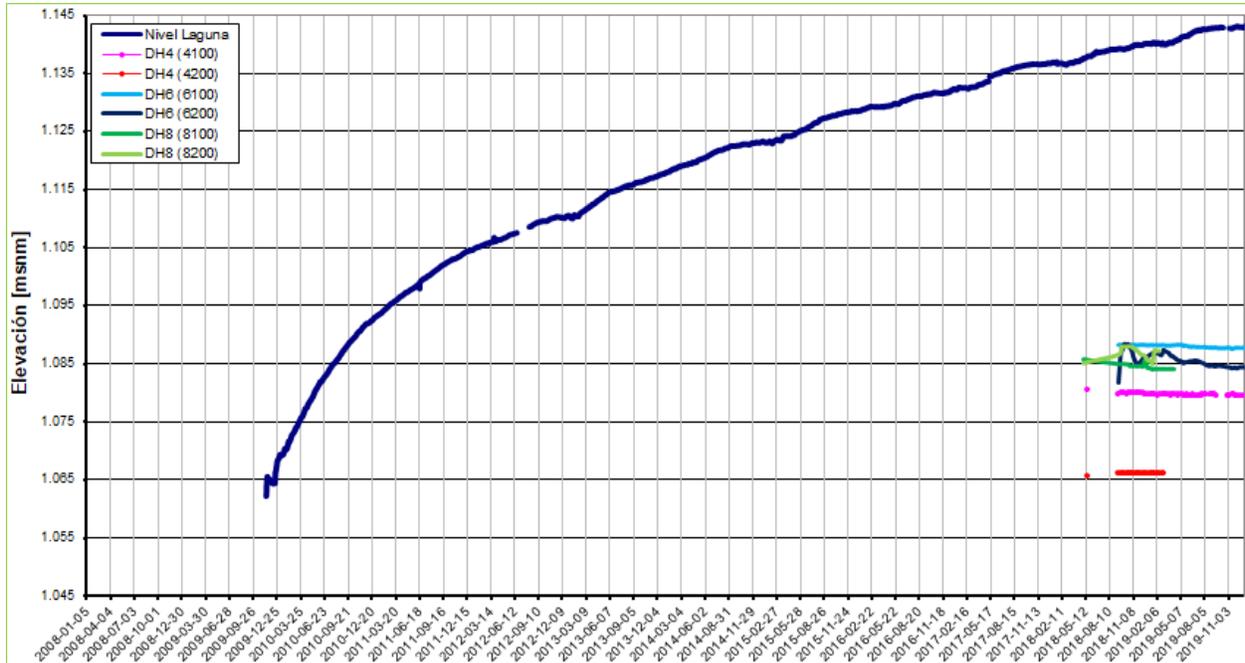
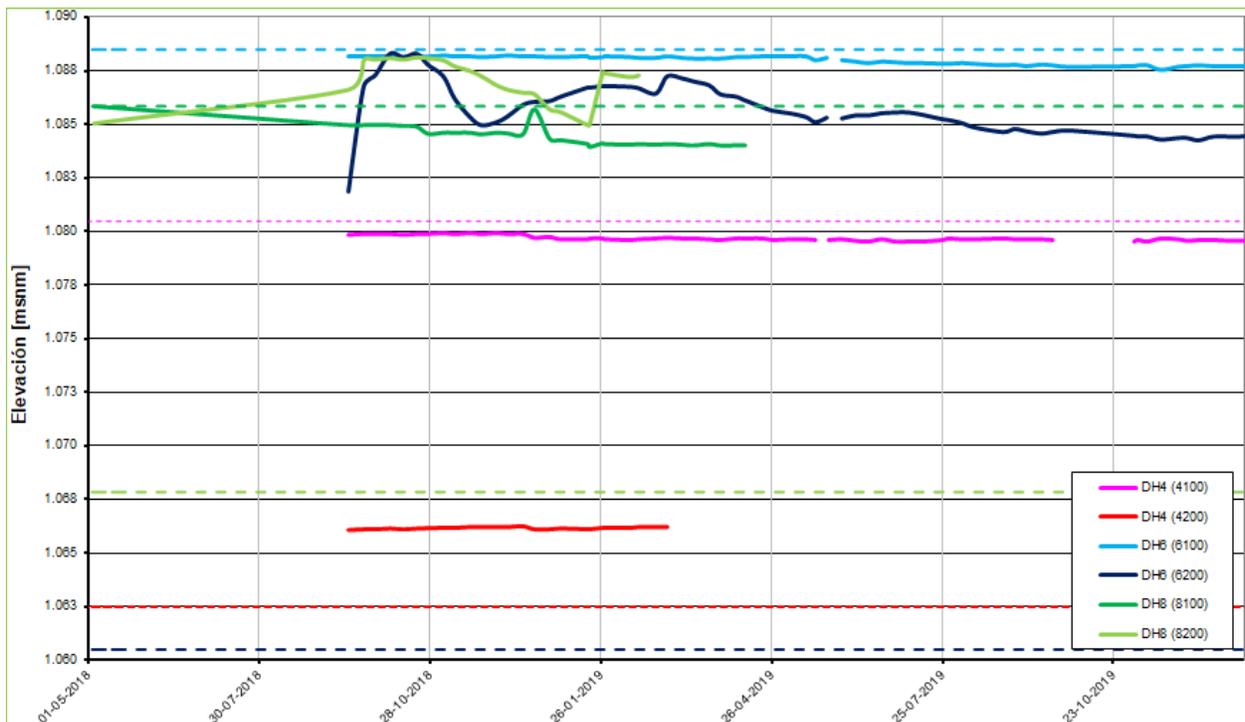
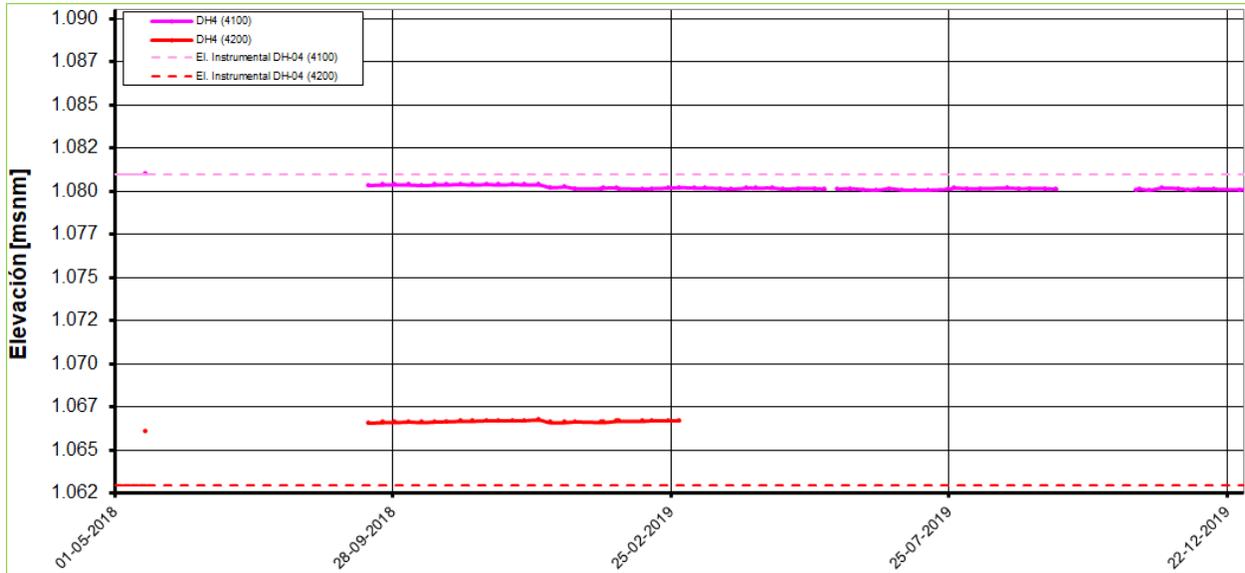


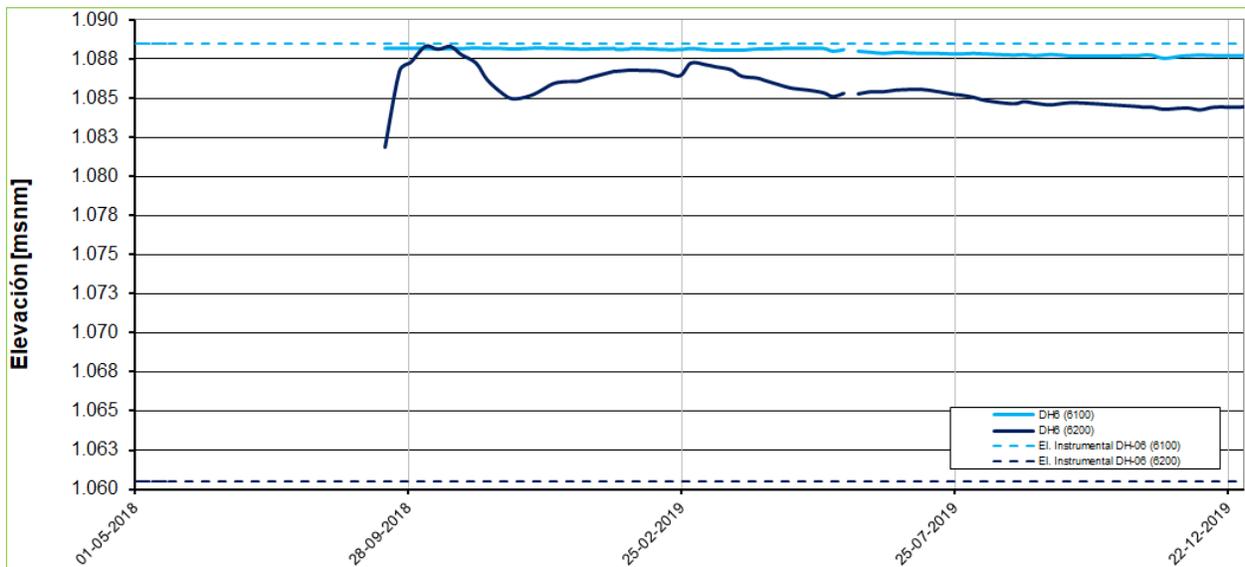
Figura 4-25: Grafico Piezométrico instrumentos de fibra óptica MNO / BS, sin laguna – histórico, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).



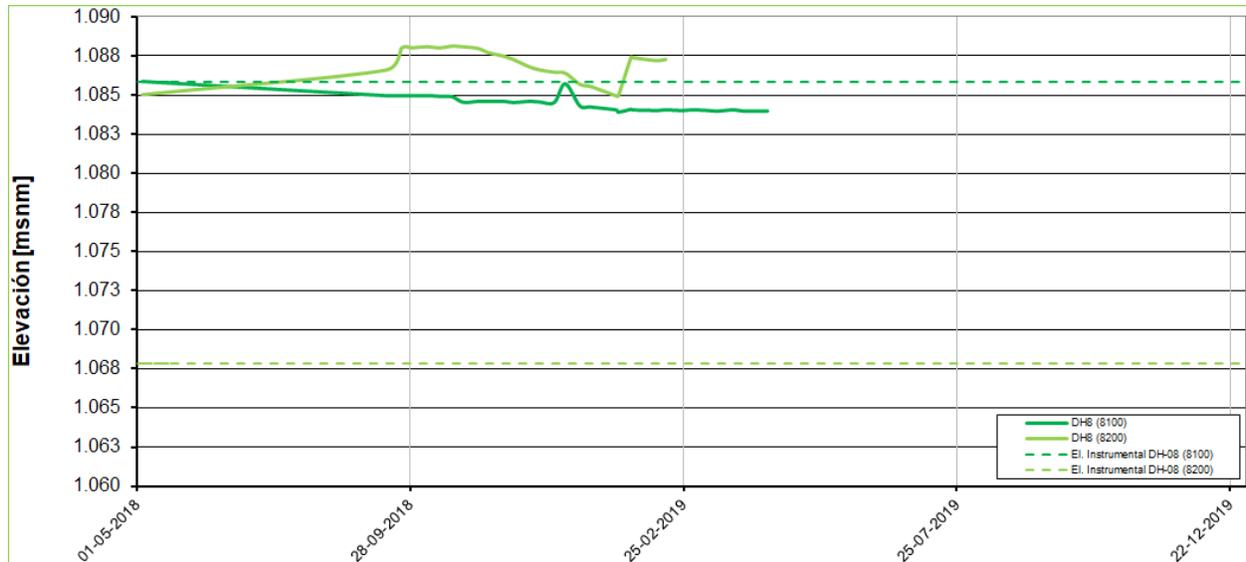
**Figura 4-26: Grafico Piezométrico MNO, DH4 (4100) y DH4 (4200) – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).**



**Figura 4-27: Grafico Piezométrico BS, DH6 (6100) y DH6 (6200) – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).**



**Figura 4-28: Grafico Piezométrico BS, DH8 (8100) y DH8 (8200) – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).**



#### 4.3.4. Lecturas Piezómetros Casagrande

Respecto del piezómetro Casagrande habilitado en el pozo DH-03, presenta un comportamiento similar al descrito por los piezómetros de cuerda vibrante instalados en la fundación del MNO, detectando un nivel piezométrico al nivel de la fundación del muro, y con una tendencia moderada pero constante al aumento del nivel piezométrico, incrementándose el nivel de agua levemente en el orden de + 0,1 cm/d, desde agosto 2019, con un nivel dinámico al final del periodo ubicado a 8,71 m de profundidad bajo la fundación del muro (terreno natural).

Figura 4-29: Hidrograma Piezómetro Casagrande DH-03 MNO, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo permanente, WSP).

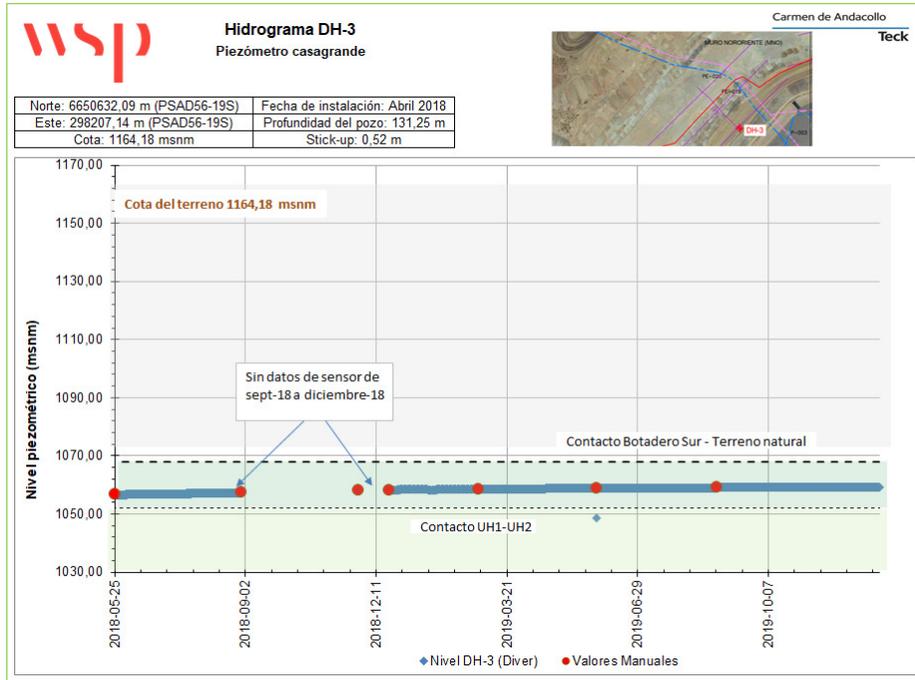
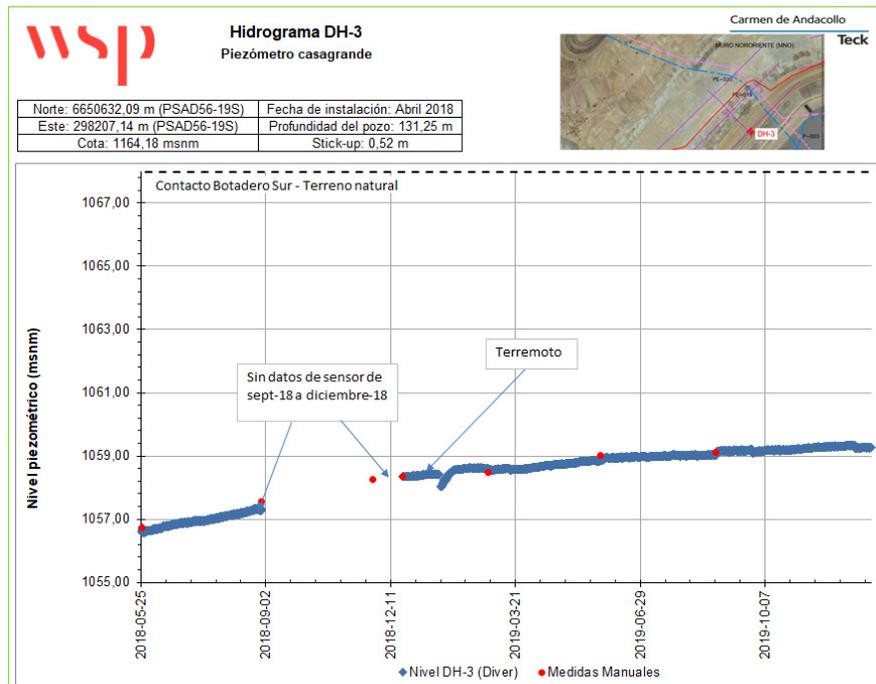


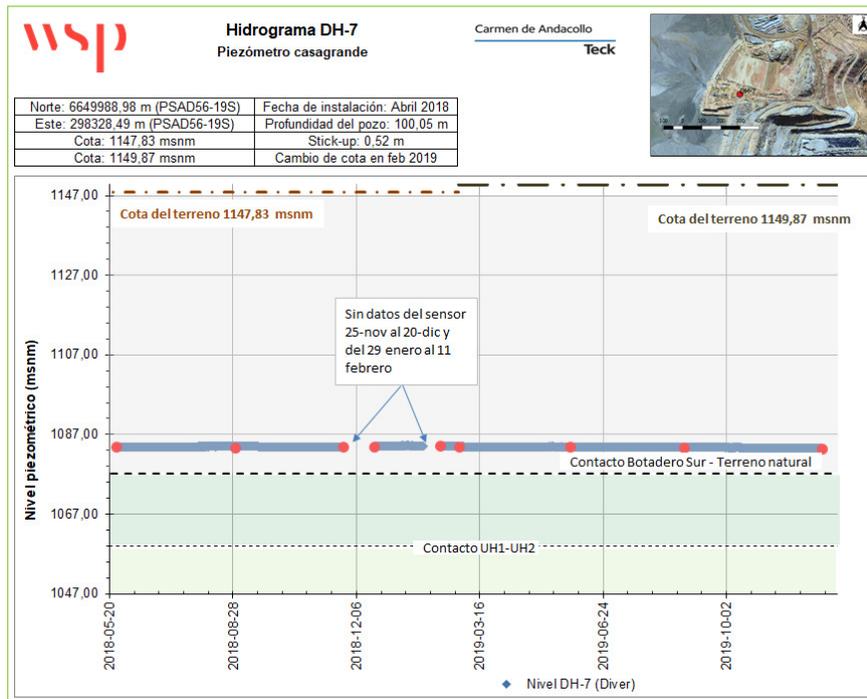
Figura 4-30: Hidrograma Piezómetro Casagrande DH-03 MNO (detalle), al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo permanente, WSP).



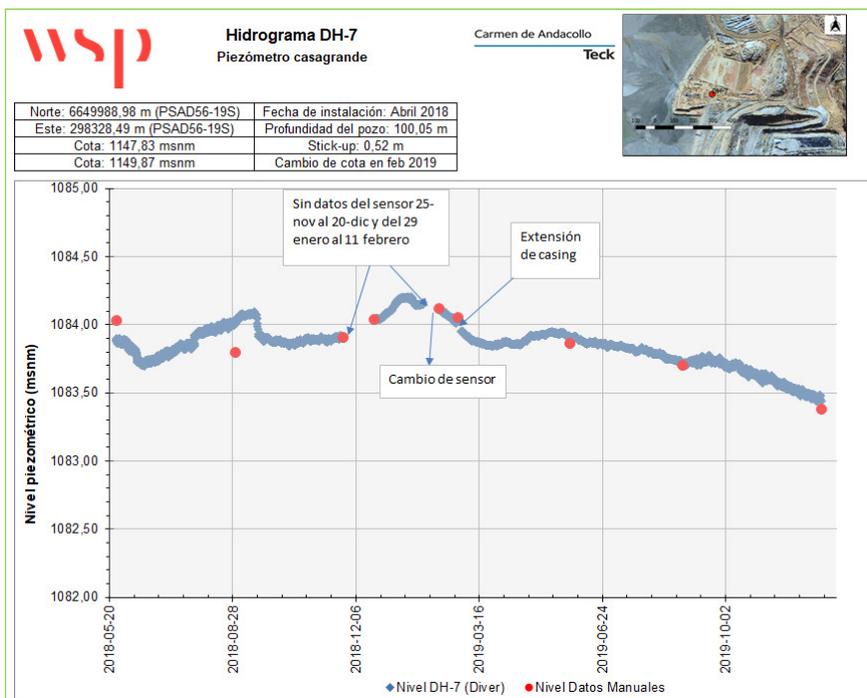
Respecto del piezómetro Casagrande habilitado en el pozo DH-07, presenta un comportamiento similar al descrito por el piezómetro de Fibra óptica instalado en el BS, DH – 06 (4200), detectando presión de agua un par de metros sobre el nivel de

fundación del BS, ver ítem 4.3.3. El nivel del DH-7 ha ido bajando el orden de  $-0,3$  cm/d en promedio desde agosto 2019.

**Figura 4-31: Hidrograma Piezómetro Casagrande DH-07 BS, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo permanente, WSP).**



**Figura 4-32: Hidrograma Piezómetro Casagrande DH-07 BS (detalle), al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo permanente, WSP).**



4.3.5. Lecturas Piezómetros MO

Hasta mayo de 2018, el piezómetro PE-009A presentó un comportamiento estable con aumento sostenido del nivel piezométrico, hoy el instrumento no presenta actividad. Respecto de los dos (2) piezómetros restantes no presentan actividad que se pueda relacionar con la operación de la TMF. Para la ubicación del PE-009A, ver Figuras 4-6 y 4-7. Si bien al momento de la visita, la cañería de descarga del sistema de drenaje al cajón aforador estaba seca, se han reportado pequeños flujos intermitentes de agua conducidas por la misma. Estos flujos se están analizando desde el punto de vista de la calidad del agua de manera de identificar el origen.

Figura 4-33: Grafico Piezométrico MO – histórico, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).

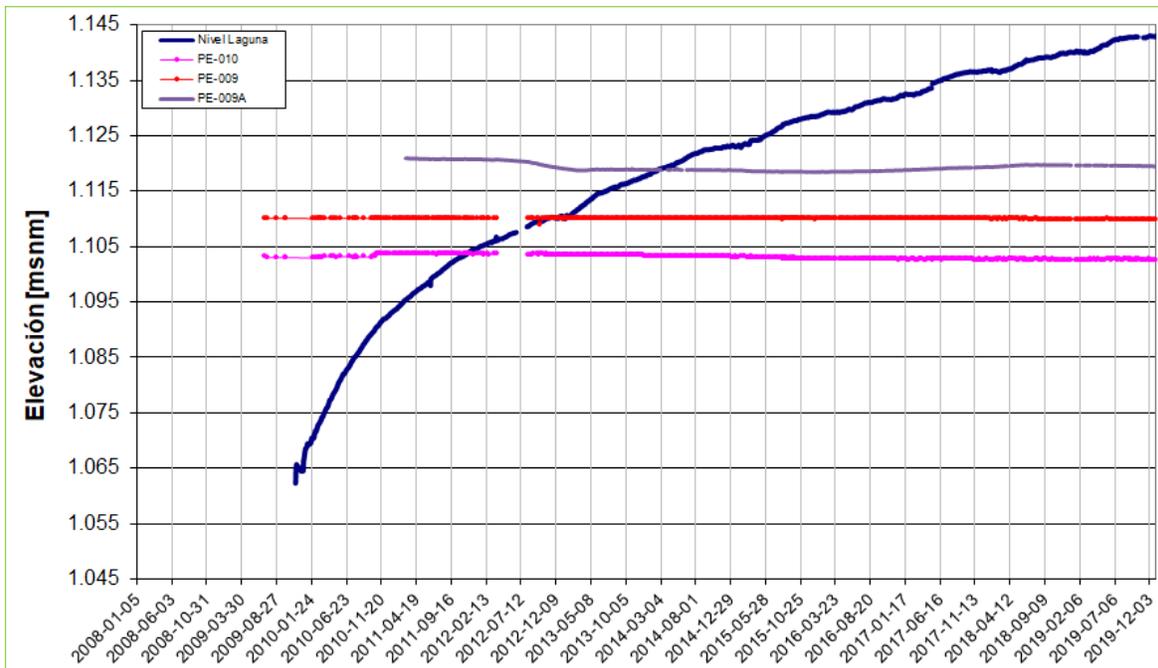


Figura 4-34: Gráfico Piezométrico MO, sin El. Laguna – histórico, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood)

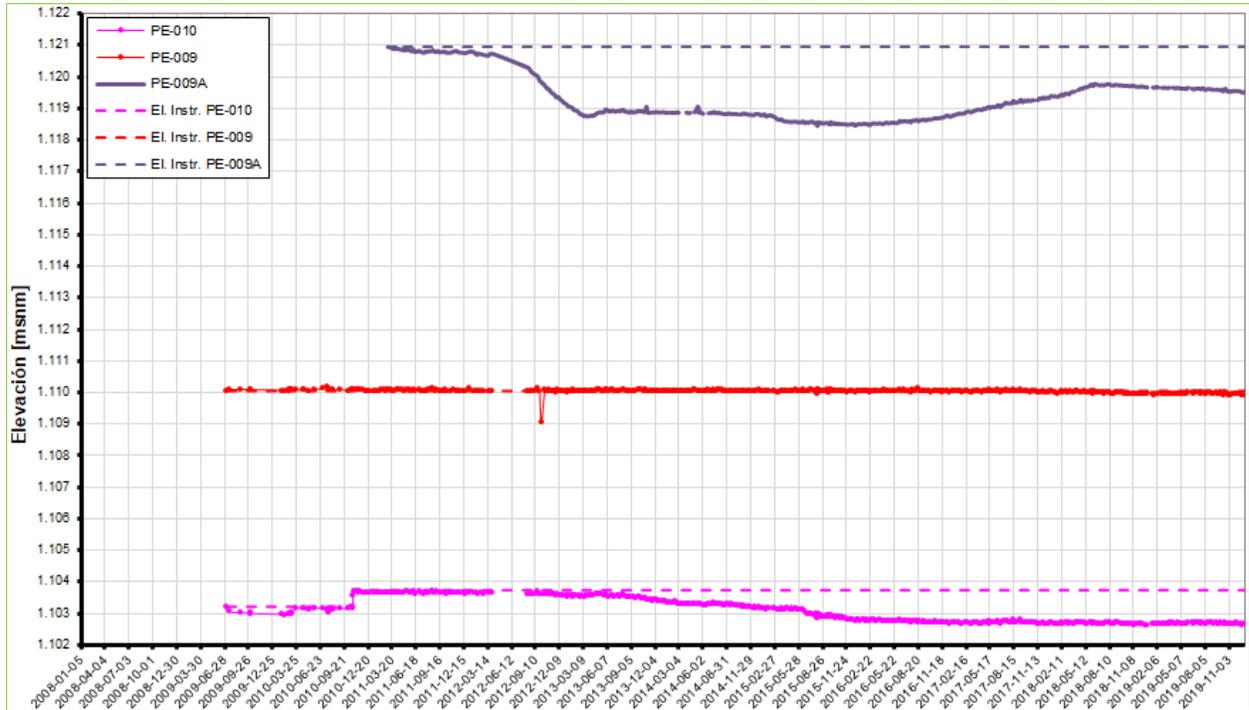


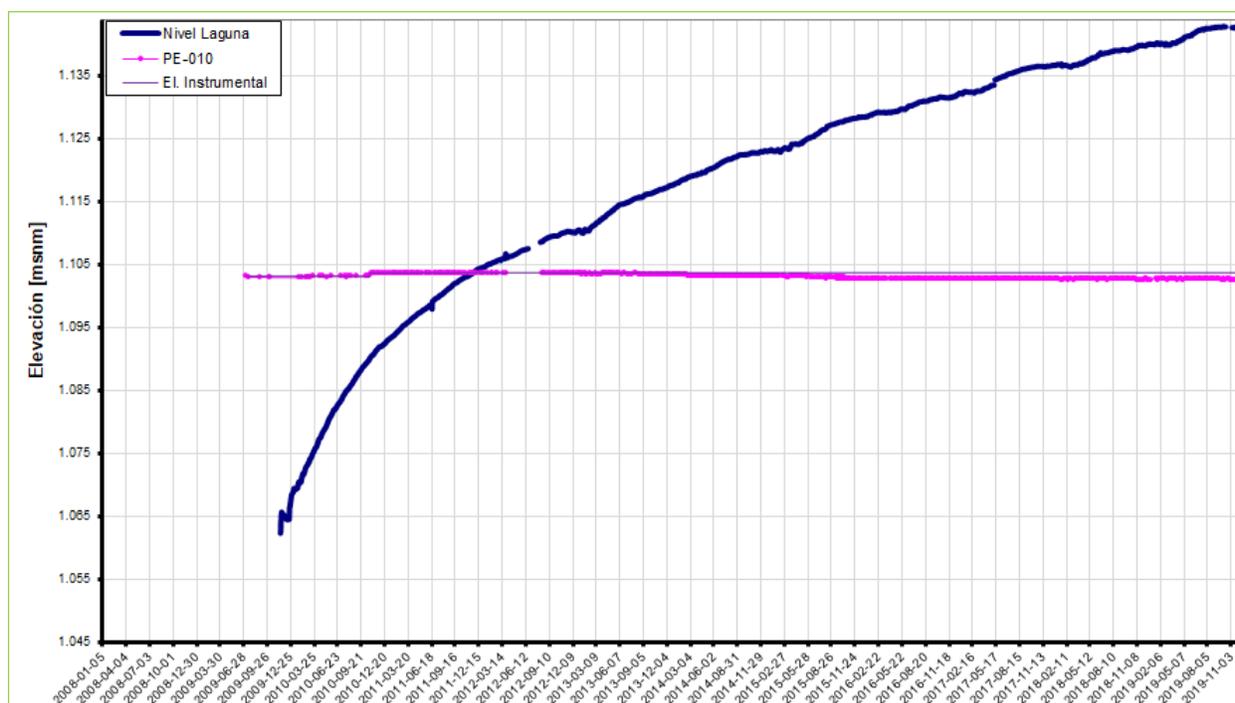
Figura 4-35: Grafico Piezométrico MO, PE - 009 – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).



**Figura 4-36: Grafico Piezométrico MO, PE – 009A – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).**



**Figura 4-37: Grafico Piezométrico MO, PE – 010 – histórico, 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).**



**4.3.6. Lecturas Piezómetros MO(S) (revisar salto)**

Al momento de escribir el presente informe, los piezómetros PE-013 y PE-014, se encuentran instalados a una cota similar a la de la EI. de la playa de relaves en contacto con el muro impermeabilizado, y no presentan actividad que se pueda relacionar con la operación de la TMF.

Figura 4-38: Grafico Piezométrico MO(S) – histórico, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).

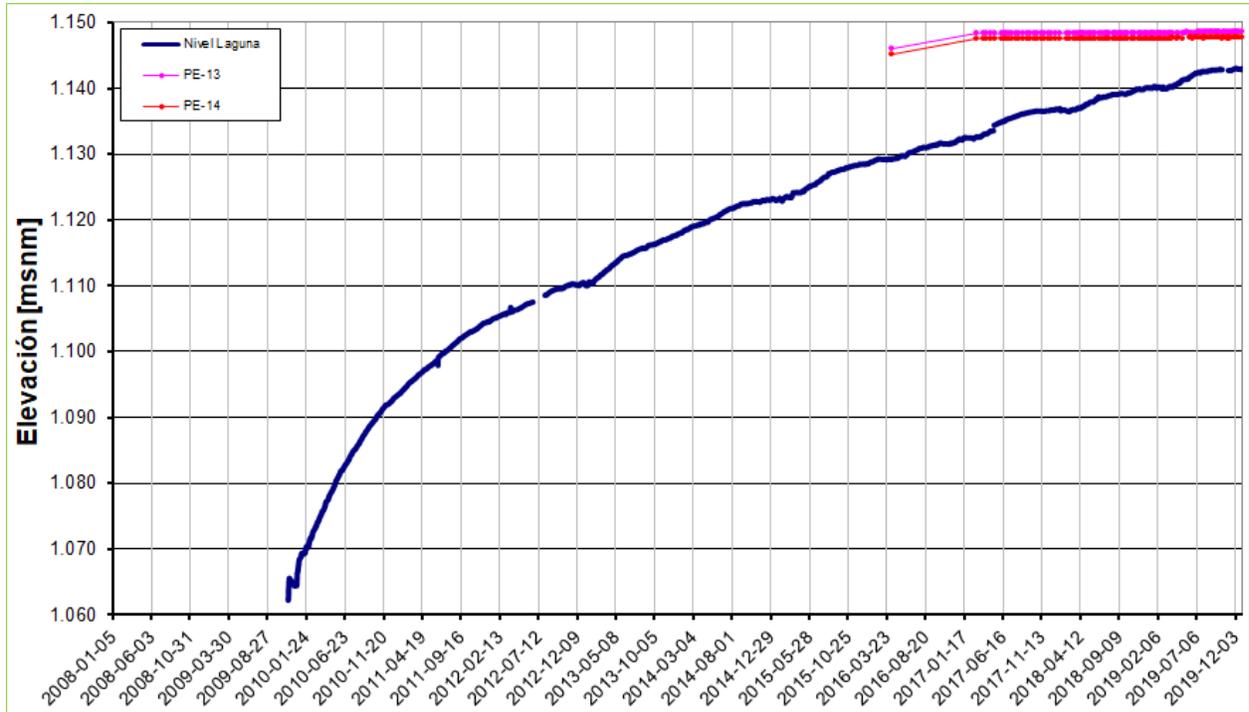
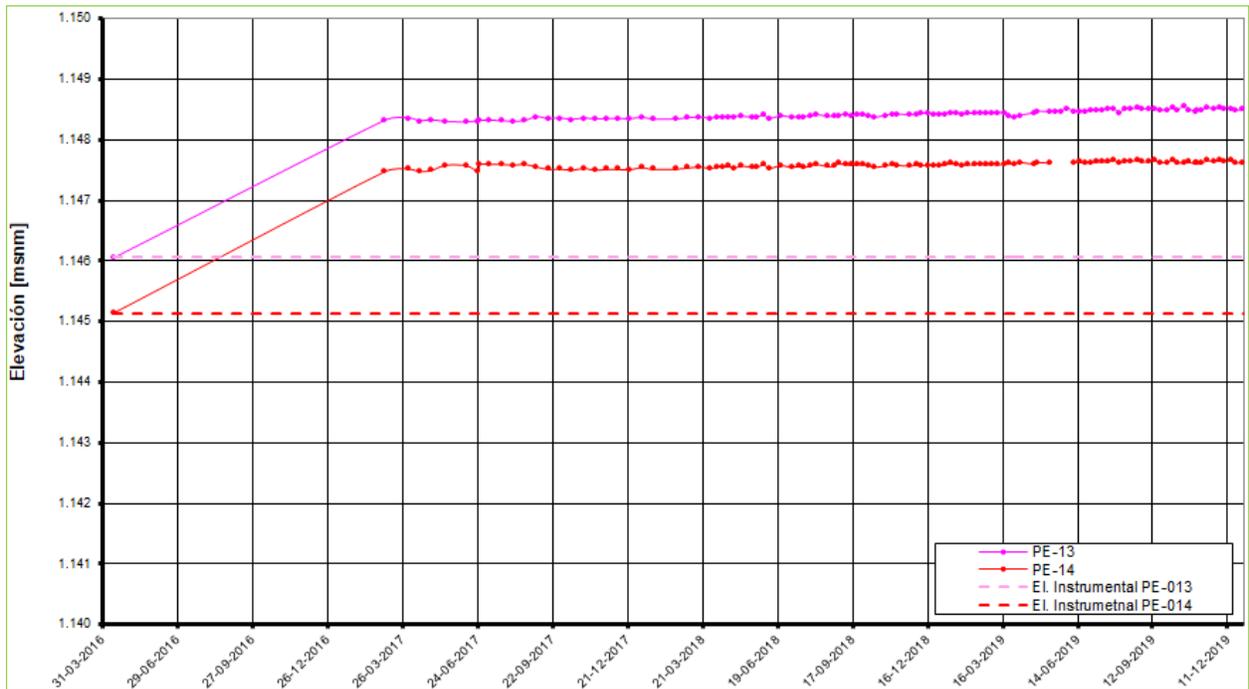


Figura 4-39: Grafico Piezométrico MO(S), sin El. Laguna – histórico, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood)



#### 4.3.7. Conclusión Piezometría

En general, salvo para los eventos puntuales de los terremotos 16S.2015 y 19E.2019 que fueron notados solo por los piezómetros del MNO, los instrumentos presentan lecturas estables en todos los casos, lo que indica que el nivel freático en el interior de los muros está controlado por el sistema de drenaje, con una tendencia creciente en el tiempo, en el caso particular de algunos piezómetros del MNO.

Respecto del comportamiento de los piezómetros de Fibra Óptica instalados en el BS, tanto el piezómetro de fibra óptica profundo DH - 06 (4200) como el piezómetro casagrande habilitado en el sondaje DH - 07, muestra tendencias similares, con lecturas estables, casi constantes y sin mayor variación que se pueda relacionar con la operación de la TMF.

### 4.4. Deformaciones

#### 4.4.1. Asentamientos

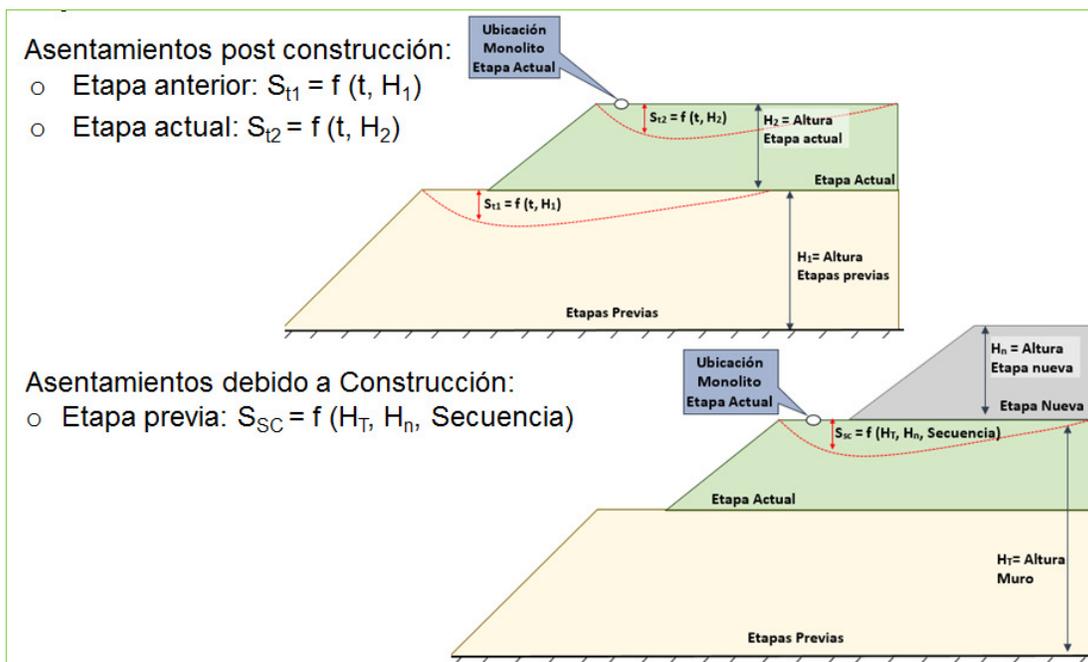
Se realizan nivelaciones cerradas trimestrales de acuerdo con la recomendación del manual OMS. Sin embargo, existen periodos en los cuales por interferencias constructivas resulta imposible ejecutar los controles programados, los que se retoman una vez se liberan los frentes de trabajo.

En la Figura 4-40, se presenta la distribución de los monolitos para la E3. Al momento de la visita al sitio, solamente 3 monolitos en el BS estaban operativos, ya que en todos los frentes de trabajo restantes, se están desarrollando actividades de movimiento de tierra y / o impermeabilización, que comprometen la ubicación de los monolitos existentes. Se tiene programado que, para el segundo trimestre del año 2020, la construcción de los monolitos para control de asentamientos en el muro MO(S), a la elevación de coronamiento de la E4, es decir El. 1.162,5 msnm).



Durante los periodos anteriores se analizaron los asentamientos estáticos, de acuerdo con las siguientes consideraciones (ref. presentación GRB 2018: “Análisis de asentamientos muros y botadero 2018”, AmecFW):

**Figura 4-41: Tipos de Asentamiento Estático (ref. presentación Análisis de asentamientos muros y botadero 2018, AmecFW)**



Donde:

- Asentamiento total:  $S_T: S_{t1} + S_{t2} + S_{sc}$
- Porcentaje total de asentamiento:  $\% S_T = S_T / H_T$

Adicionalmente, se analiza para la Etapa actual, el porcentaje de asentamiento post construcción,  $\%S_{t2}$ , definido de acuerdo con la altura de cada Etapa,  $H_2$ :

- $\% S_{t2} = S_{t2} / H_2$

El análisis, efectuado no contempló los asentamientos inducidos por la carga de los relaves durante la depositación, sobre la cara del talud aguas arriba de los muros, los que deberán incluirse en una siguiente etapa del estudio.

A continuación, se presentan los gráficos contruidos con la información de las nivelaciones cerradas que se realizan trimestralmente, no se tiene dispone de un avance de la información presentada en el DSI.2018, dado que muchos monolitos han quedado cubiertos por los distintos trabajos de movimiento de tierras, a lo largo del año 2019. Se han dejado fuera del análisis aquellos monolitos que presentan asentamientos post construcción ( $S_{t2}$ ) y que excedan los valores reportados para depósitos contruidos con Rockfill no compactado. Este asentamiento excesivo, se asocia principalmente a monolitos que han presentado un desplazamiento lateral, los que han comenzado a

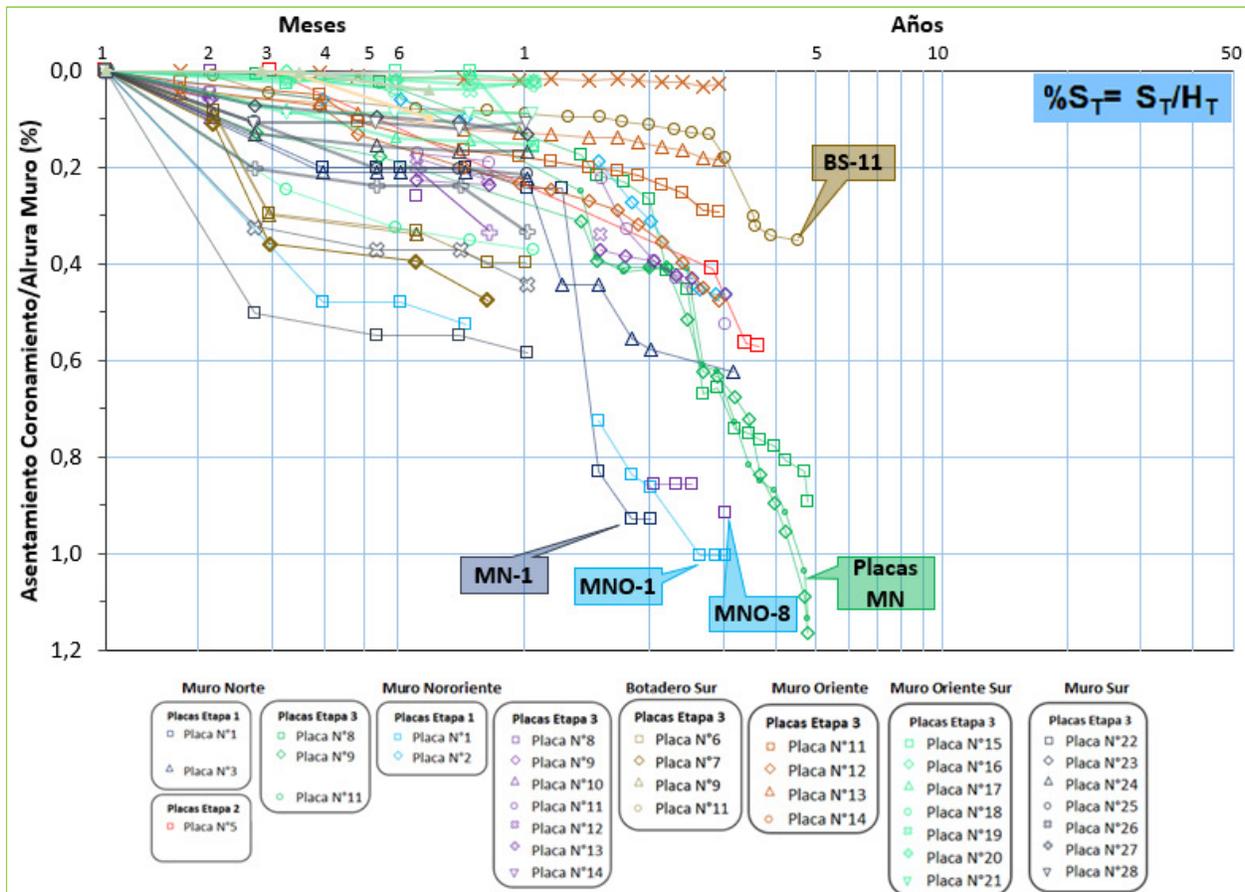
monitorearse mensualmente desde el mes de abril de 2017 (MN) y desde comienzos del 2018 (resto de los muros), esta información deberá revisarse al momento de continuar con el estudio el año 2020, de manera de evaluar si es factible incorporar al análisis de asentamientos, estos corrimientos laterales. Se estima que lo anterior, es el caso de las “placa MN” graficadas, tanto en la Figura 4-42 y 4-43.

Relativo a lo anterior, se deja establecido que, al momento de escribir el presente informe, Teck CdA mantiene habilitada la estación total robotizada destinada al monitoreo del embalse de relaves, junto con prismas distribuidos a lo largo de la plataforma operacional de cada muro a la El. de coronamiento de la E3.

Durante el año 2020, tanto los prismas como los monolitos para control de asentamientos, deberán ser reubicados hacia la plataforma operacional de la E4 de crecimiento diferido (El. 1.162,5 msnm) en el plazo más inmediato posible una vez se han desmontado y/o perdido por los trabajos de movimiento de tierras del sector. La campaña de reubicación deberá comenzar en el MO(S), para continuar en el MN, el resto de los muros deberá programarse en la medida que los trabajos en el talud interior de la Etapa 4, vayan finalizando.

Para el análisis futuro de los asentamientos, se deberá utilizar la información rescatada en tiempo real y de manera remota por estos nuevos instrumentos topográficos.

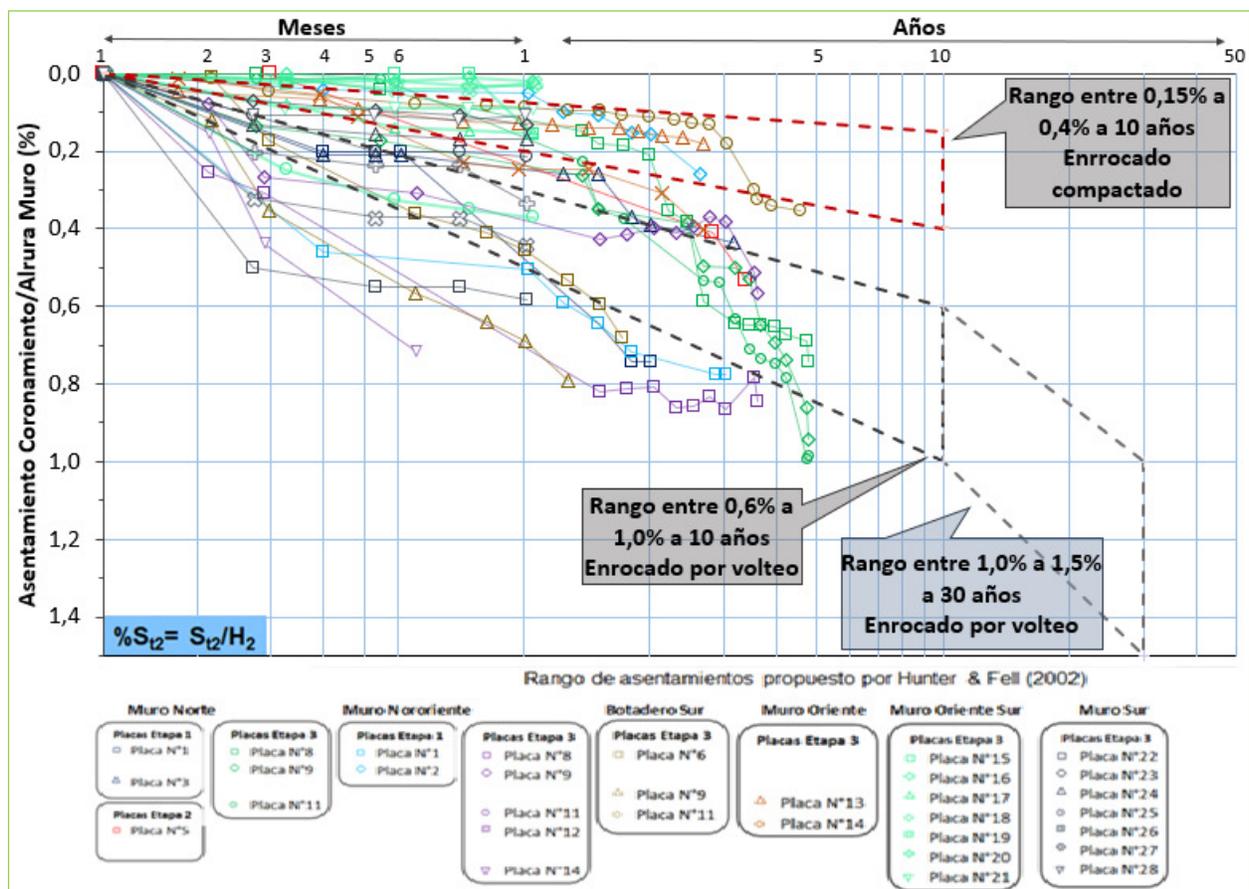
**Figura 4-42: Asentamiento Total (ref. actualización gráfico hasta marzo de 2019, Wood)**



Los mayores asentamientos, se encuentran en torno al 1% respecto de la altura del muro, lo que a juicio de Wood se considera esperable para este tipo de estructuras.

Cabe destacar que los monolitos para la E3 se construyeron lo más cercano posible del hombro de la plataforma operacional a la El. 1.149,5 msnm. Para la Etapa 4, se construirá una segunda línea de monolitos hacia aguas abajo de la ubicación actual, cercano al pie del talud de la Etapa 5, con el objetivo de monitorear de mejor manera el asentamiento del relleno masivo propiamente tal, ya que en su ubicación actual, la actividad que muestran se ve 100% influenciada por el comportamiento del relleno de transición que cubre la cara aguas arriba del muro, el cual presenta cierta inestabilidad superficial dada la inclinación del talud y está constantemente sometido a solicitaciones, ya sea a través de los ciclos de descarga de relave, secado de playa, actividad de construcción, lo que redunda en corrimientos laterales que contaminan la información de asentamiento vertical y su interpretación en función de los datos históricos del rock fill propiamente tal.

Figura 4-43: Asentamiento por Etapa (ref. actualización grafico asentamientos, Wood).



Es importante destacar que los asentamientos registrados en el BS no presentan diferencia significativa respecto de los ocurridos en los muros, la razón de esto, se estima en la limitada sobrecarga que tiene actualmente el botadero.

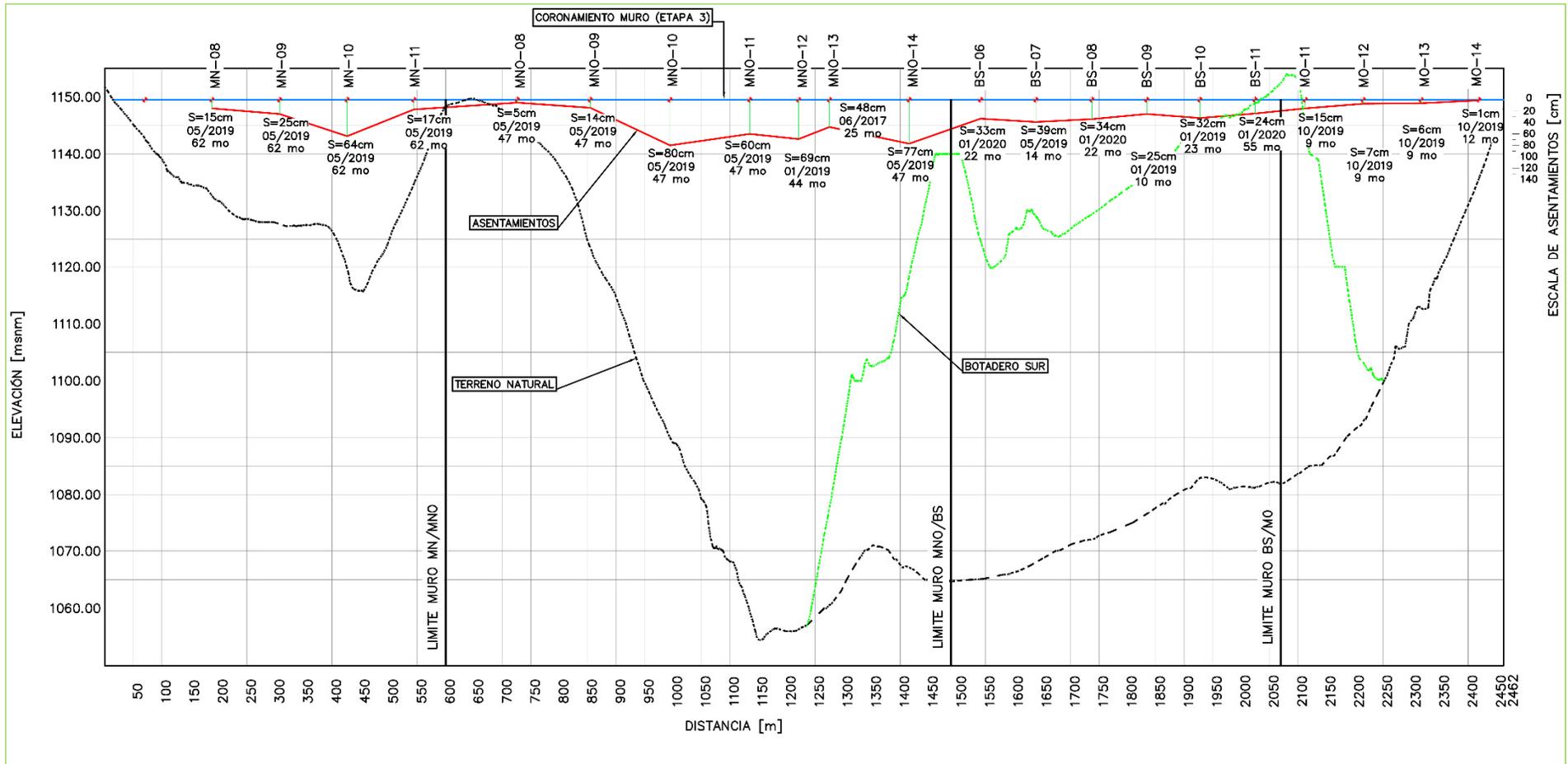
#### 4.4.1.1. Asentamientos: Monolitos para control de Asentamientos

En las Figuras 4-44 a 4-46 se presentan los asentamientos acumulados relativos a la E3, monitoreados en la plataforma operacional El. 1.149,5 msnm a través de las nivelaciones cerradas trimestrales de los monolitos, para los distintos muros. En todos los casos, la escala vertical de la sección está aumentada 10 veces en el eje de la izquierda, y en el eje de la derecha, se muestra la escala del asentamiento registrado. Para todas las figuras, la línea azul presenta la El. teórica de la plataforma operacional a la El. de coronamiento de la Etapa 3, es decir El.= 1.149,5 msnm, y la línea roja corresponde a la superficie asentada (asentamiento acumulado), en el caso de aquellos monolitos que se encontraban operativos al momento del terremoto del día 19E, 2019, la última elevación del monolito, medida y graficada corresponde al control post terremoto.

El terremoto del día 16 de septiembre de 2015, indujo asentamientos del orden del 0,1% de la altura total de los muros, lo que se considera un desempeño excelente de las instalaciones ante sollicitaciones sísmicas extremas. Para más detalles revisar el ítem 8.3.1.1.

En la Tabla 4-3 se presenta una estimación de los asentamientos inducidos por el terremoto del día 19 de enero de 2019, determinándose que el sismo indujo asentamientos del orden del 0,1% de la altura total de los muros, lo que se considera un desempeño excelente de las instalaciones ante sollicitaciones sísmicas extremas. Para más detalles revisar el ítem 8.3.1.1.

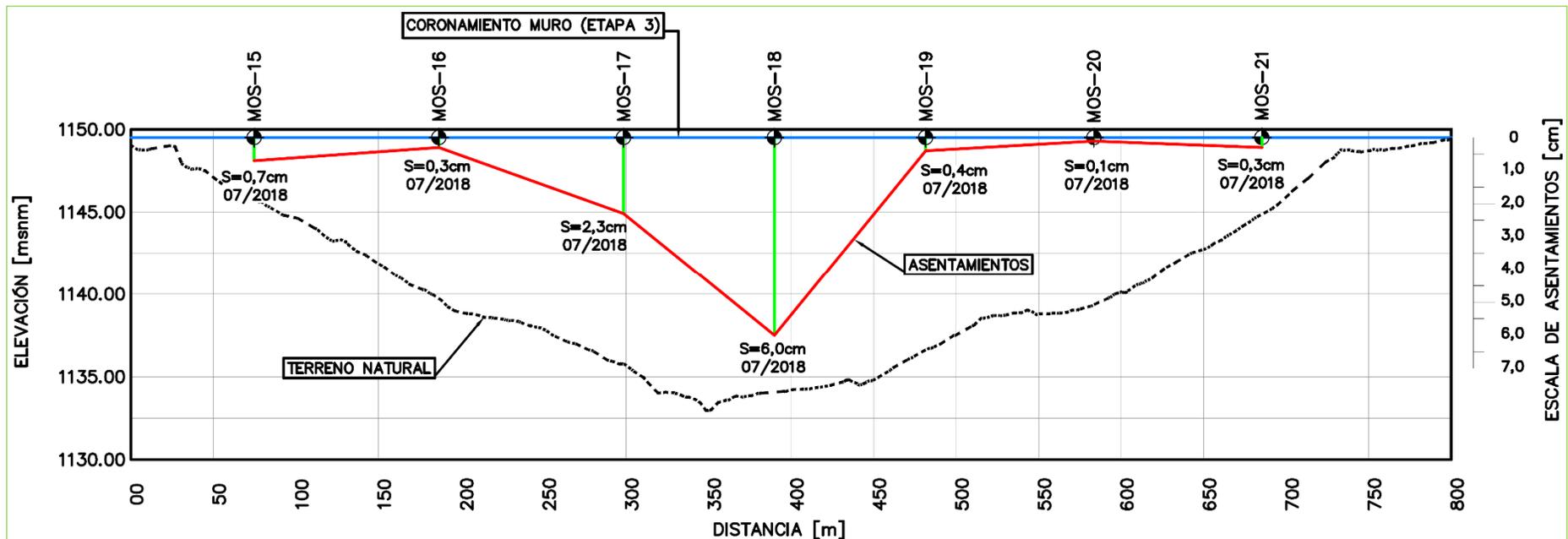
Figura 4-44: Perfil MN; MNO; BS; MO (ref. Wood).



**Nota:** La línea azul, representa la superficie de coronamiento de la plataforma operacional a la El. de diseño de la E3 (1.149,5 msnm); La línea roja representa la El. real de la plataforma (in situ), es decir, el asentamiento acumulado hasta la última nivelación de control;

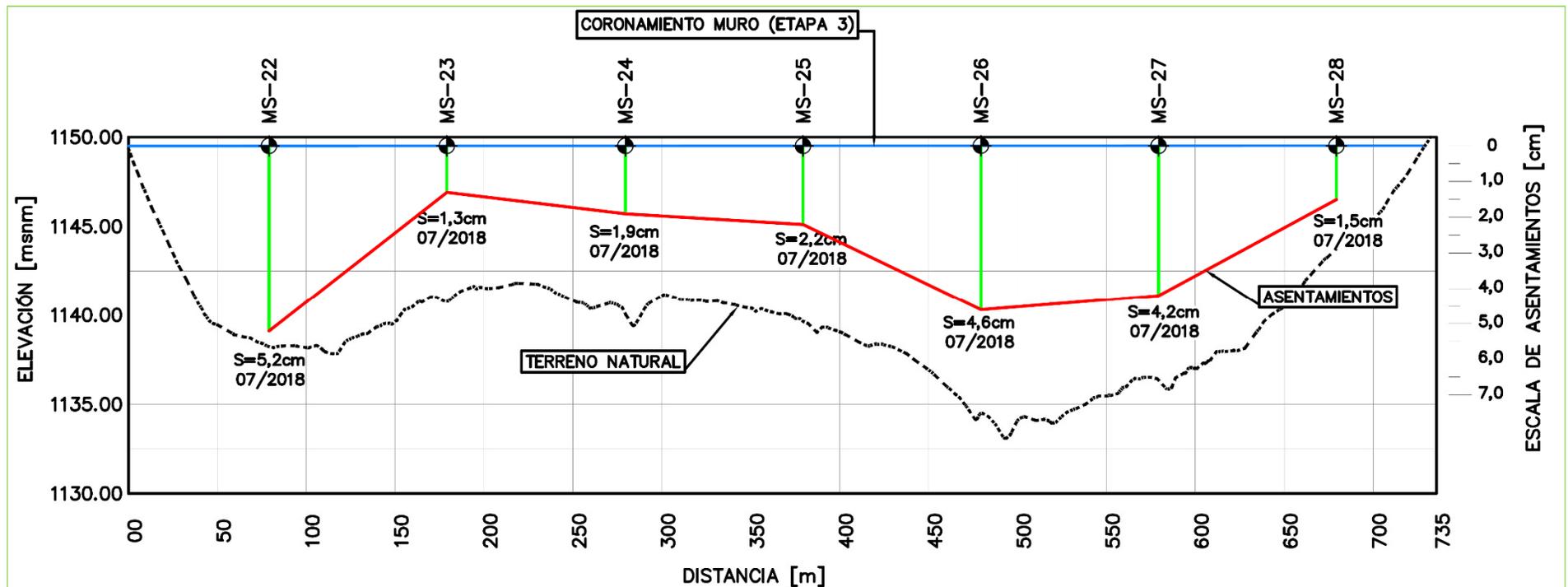
La escala vertical está aumentada 10 veces en el eje de la izquierda, el eje de la derecha, se muestra la escala del asentamiento registrado.

Figura 4-45: Perfil MO(S) (15 mo) (ref. Wood).



**Nota:** La línea azul, representa la superficie de coronamiento de la plataforma operacional a la El. de diseño de la E3 (El.= 1.149,5 msnm);  
 La línea roja representa la El. real de la plataforma (in situ), el asentamiento acumulado hasta la última nivelación de control;  
 La escala vertical de la sección está aumentada 10 veces en el eje de la izquierda; y  
 En el eje de la derecha, se muestra la escala del asentamiento registrado.

Figura 4-46: Perfil MS (15 mo) (ref. Wood).



**Nota:** La línea azul, representa la superficie de coronamiento de la plataforma operacional a la El. de la E3 (El.= 1.149,5 msnm);

La línea roja representa la El. real de la plataforma, el asentamiento acumulado hasta la última nivelación de control;

La escala vertical de la sección está aumentada 10 veces en el eje de la izquierda; y

En el eje de la derecha, se muestra la escala del asentamiento registrado.

Tabla 4-3: Estimación de asentamiento inducido por terremoto 19E, 2019) (ref., Wood).

Estructura	Monolito	Elevación [msnm]							Máxima tasa asentamiento 2018 <sup>(1)</sup> [mm/d]	Asentamiento Proyectado sismo 19E <sup>(2)</sup> [mm]	Asentamiento post sismo 19E <sup>(3)</sup> [mm]	S <sub>19E</sub> : Inducido sismo 19E <sup>(4)</sup>		El. Terreno Natural [msnm]	H <sub>T</sub> : Altura Relleno [m]	S <sub>19E</sub> / H <sub>T</sub> [%]
		Fecha inicial			Fecha final							[mm]	[cm]			
		02-04-2018	03-04-2018	04-07-2018	02-01-2019	03-01-2019	23-01-2019	28-01-2019								
MN	MN-8		1.149,447		1.149,438			1.149,428	0,03	0,85	10,00	9,15	0,9	1.133,785	15,65	0,06
	MN-9		1.149,375		1.149,333			1.149,316	0,15	3,99	17,00	13,01	1,3	1.127,930	21,40	0,06
	MN-10		1.148,962		1.148,880			1.148,861	0,30	7,78	19,00	11,22	1,1	1.121,907	26,97	0,04
	MN-11		1.149,454		1.149,428			1.149,413	0,09	2,47	15,00	12,53	1,3	1.133,775	15,65	0,08
MNO	MNO-09			1.149,250	1.149,221			1.149,211	0,16	4,14	10,50	6,36	0,6	1.124,694	24,53	0,03
	MNO-10			1.148,317	1.148,203			1.148,186	0,63	16,29	17,50	1,21	0,1	1.091,077	57,13	0,00
	MNO-11			1.148,632	1.148,543			1.148,523	0,49	12,71	20,00	7,29	0,7	1.061,160	87,38	0,01
	MNO-14			1.148,744	1.148,598			1.148,546	0,80	20,86	52,00	31,14	3,1	1.067,287	81,31	0,04
BS	BS-06	1.148,979				1.148,731	1.148,699		0,90	17,97	32,00	14,03	1,4	1.065,087	83,64	0,02
	BS-07	1.148,780				1.148,488	1.148,458		1,06	21,16	30,00	8,84	0,9	1.067,519	80,97	0,01
	BS-08	1.149,070				1.148,857	1.148,831		0,77	15,43	26,00	10,57	1,1	1.071,928	76,93	0,01
	BS-09	1.149,106				1.148,890	1.148,861		0,78	15,65	29,00	13,35	1,3	1.076,247	72,64	0,02
	BS-10	1.149,457				1.149,294	1.149,265		0,59	11,81	29,00	17,19	1,7	1.082,200	67,09	0,03
	BS-11	1.149,483				1.149,367	1.149,352		0,42	8,41	15,00	6,59	0,7	1.081,272	68,09	0,01

(1): Calculada a partir de los controles entre ene.2018 y ene.2019;

(2): Determinado a partir de la tasa de asentamiento <sup>(1)</sup>, y el lapso de tiempo entre el último control pre y el control post sismo 19E;

(3): Medido a través de la resta directa entre el último control pre sismo y el control post sismo;

(4): Calculado como la resta entre el asentamiento esperado <sup>(2)</sup> y el medido efectivamente post sismo <sup>(3)</sup>.

#### 4.4.1.2. Asentamientos: Prismas para control de Asentamientos

Adicionalmente, en las figuras 4-47 @ 4-51 se presentan las gráficas de elevación en el tiempo, de los prismas instalados en los muros MN, MNO, BS, MO y MO(S), medidos mediante la estación total destinada del proyecto TAPD2017 para un periodo de control de 8 meses, desde abril @ diciembre de 2019. Respecto de los prismas asociados al MO(S), al momento de escribir el presente informe, si bien se presenta la información gráfica disponible, esta no permite hacer una lectura clara de la tendencia, aunque se deja establecido que se está trabajando en el sitio en la mejora del output gráfico para este muro en particular. Se indica además que los prismas fueron retirados de este muro, a mediados del mes de diciembre del año 2019, ya que interferían con los trabajos de decomisionamiento de la cañería para la distribución de relaves, en dicho frente de trabajo

Respecto de los datos medidos para el muro MN se puede apreciar un aumento en la tasa de asentamiento hacia el término del año 2019, sin embargo se debe indicar, que a lo largo del Q3 y Q4, se ha desarrollado la construcción del relleno de transición correspondiente a la E4, y el pie del talud aguas arriba construido, está apoyado a lo largo de la plataforma operacional de la E3, en donde se ubican los prismas, por lo que las lecturas están alteradas por dichos trabajos, además se debe considerar que la descarga consistente de relaves en dicho sector durante los últimos meses del año 2019, encontrándose la playa cercana a la El. de coronamiento de dicha plataforma.

Respecto de la figura 4-50, se indica que la línea verde que se aprecia fuera de la tendencia (hacia arriba de la gráfica), corresponde al registro de un prisma de apoyo, que permite aumentar el rango del eje de los asentamientos (eje de las ordenadas, a la izquierda), ya que de otra manera, sería imposible apreciar la tendencia de asentamientos que muestra el gráfico.

Respecto de la información disponible, se puede indicar que la lectura de la elevación mediante estación total y prismas presenta un error que al momento de escribir el presente reporte no es conocido. Según la experiencia de Wood, en instalaciones similares y en ambientes similares, el error en las lecturas de elevación puede ser del orden de  $\pm 5$  cm, los que se consideran como errores de lectura. Se recomienda que Teck CdA en conjunto con el proveedor del equipo de monitoreo (Estación Total Robotizada), establezcan cual es el rango para este error en la elevación, considerando condiciones ambientales, como por ejemplo alta humedad en la atmósfera, polvo, la distancia de la lectura, y otras variables que pudieran influir en la lectura. No obstante lo anterior, se puede indicar que los prismas muestran tendencias claras, registrándose los mayores asentamientos en el sector norte del BS (asentamiento en el empalme con el estribo sur del MNO:  $\pm 25$  cm), coincidiendo con el comportamiento del muro MNO en el mismo sector (asentamiento en el empalme con el sector norte del BS:  $\pm 20$  cm), en el sector norte del muro MO (en el empalme con el sector norte del BS:  $\pm 10$  cm) y en el muro MN ( $\pm 5$  cm) durante el periodo.

Una medida de utilidad inmediata en el monitoreo de la TMF se refiere, a la determinación y seguimiento de la tendencia de los asentamientos en el tiempo y en alertar ante cualquier desplazamiento súbito entre lecturas sucesivas (cada 20 min), en lugar de la determinación del valor del asentamiento propiamente tal. En tanto no se evalúen y analicen en profundidad estos datos, se presentarán como parte de la presente inspección.

Al momento de escribir este informe, se puede indicar que, de acuerdo con la información disponible y a lo que se puede visualizar de los datos entregados por la estación total destinada, tanto la tendencia arrojada por esta como por la nivelación topográfica cerrada trimestral recomendada por el manual OMS, son 100% compatibles, lo que se traduce en un control redundante para la variable operacional “asentamiento”, lo que es favorable desde el punto de monitoreo de la TMF.

Como recomendación general, se sugiere que para la próxima posición de los prismas, estos se instalen solidarios a los monolitos para control de asentamientos, mediante bastidor empernado al hormigón. Lo que se busca con esto es mejorar la confiabilidad del emplazamiento, dado que con el esquema actual de instalación, presentan vulnerabilidad desde el punto de vista de su verticalidad.

Respecto de las figuras 4-47 a 4-51, el bache de información que se aprecia entre septiembre y diciembre de 2019, se produjo durante el periodo de huelga legal. En el caso de la figura 4-51, durante el mes de diciembre de 2019 se retiran los prismas, ya que interferían con el correcto desarrollo de los trabajos de impermeabilización de la E4 de crecimiento diferido del muro MO(S).

**Figura 4-47: Asentamiento Prismas MN (8 mo), PI. E3 (ref. TAPD2017, Teck CdA).**

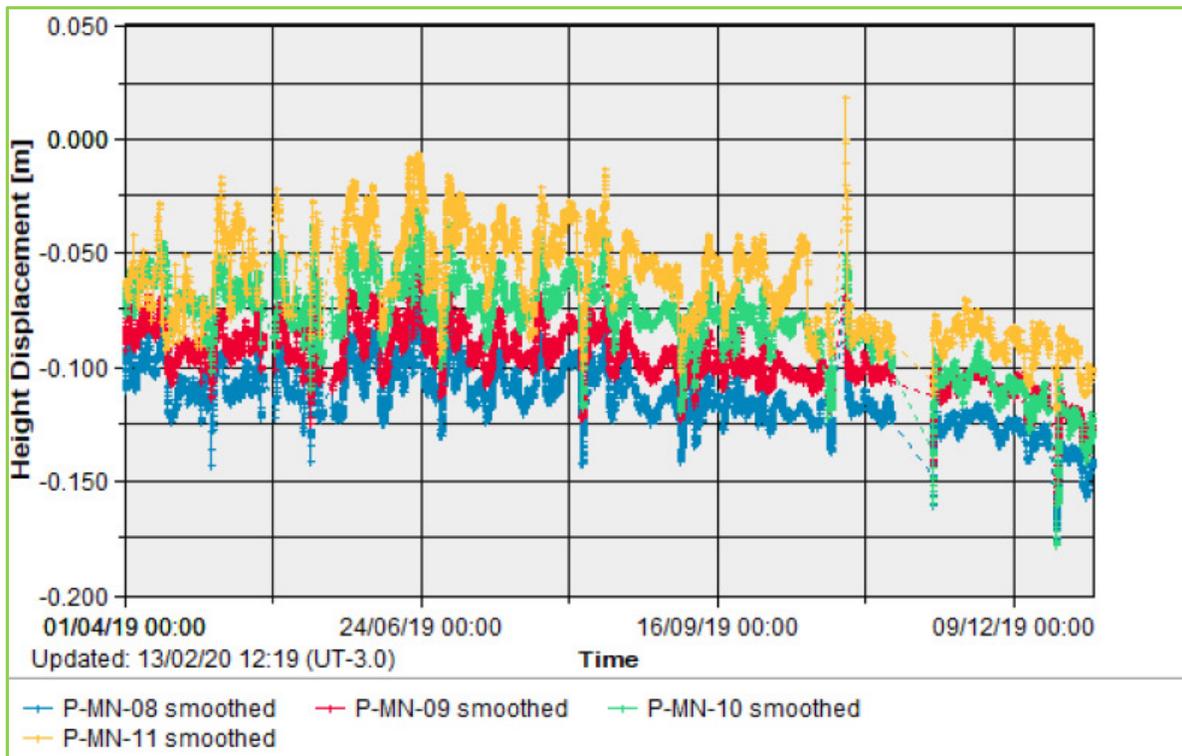


Figura 4-48: Asentamiento Prismas MNO (8 mo), PI. E3 (ref. TAPD2017, Teck CdA).

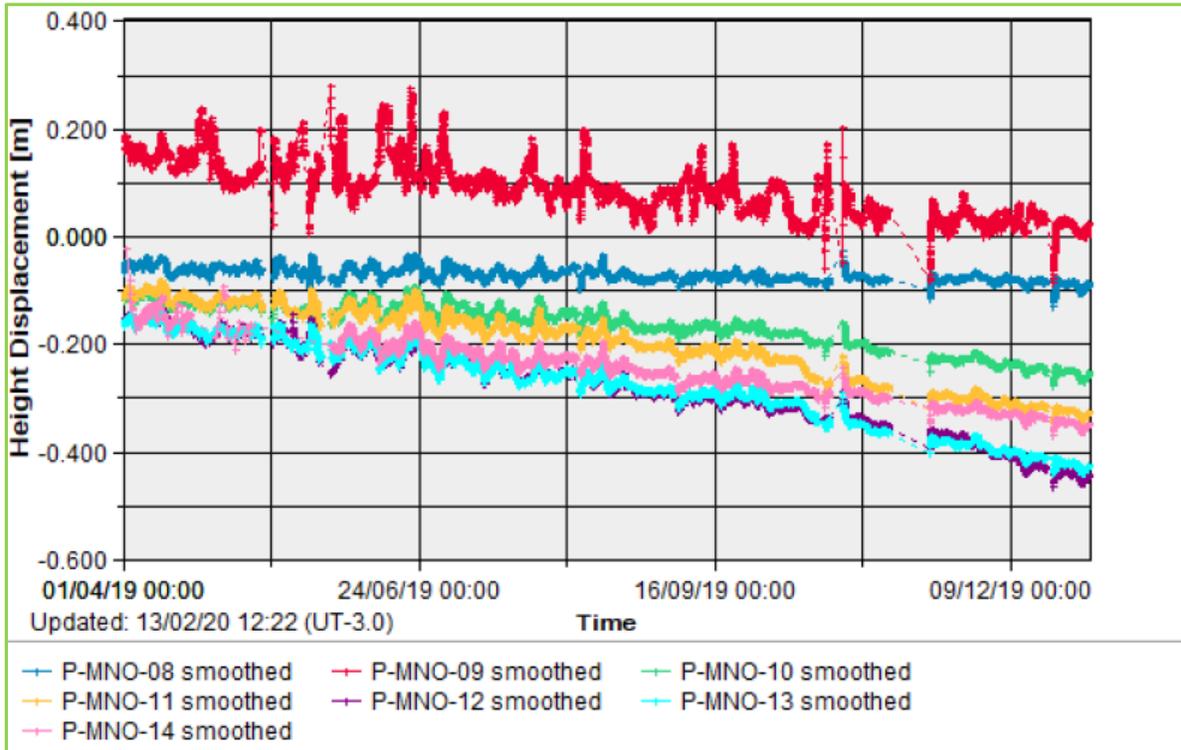
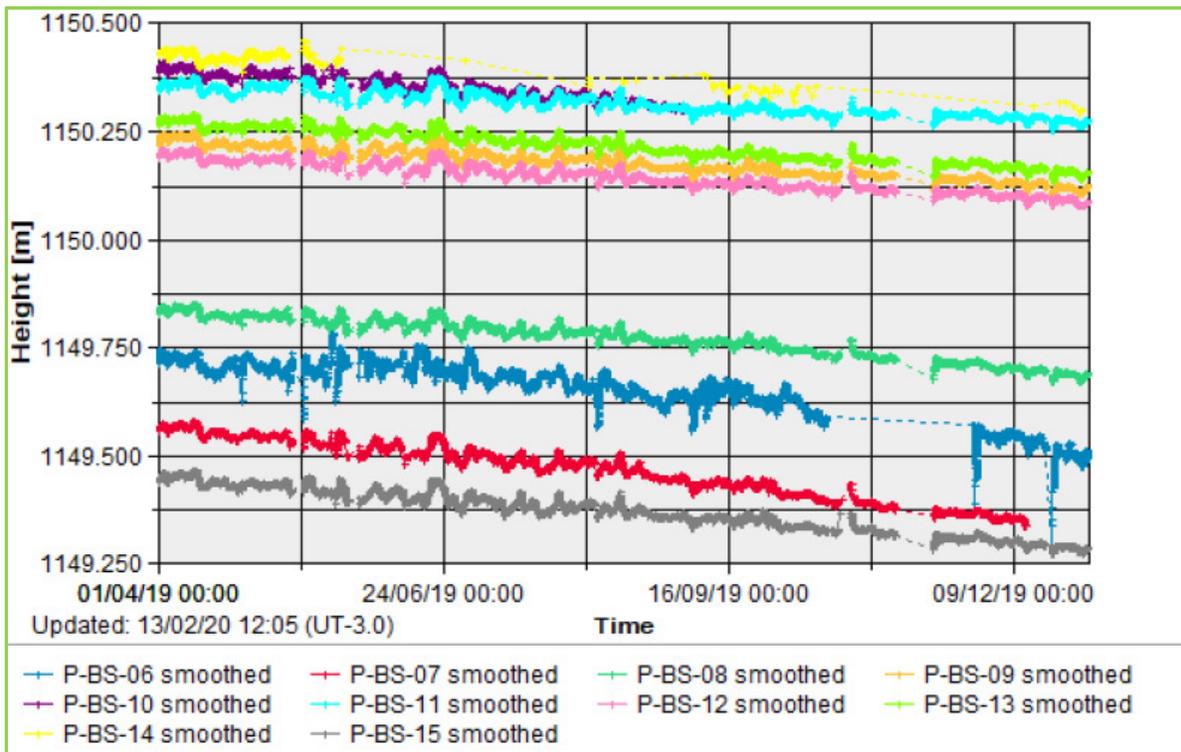
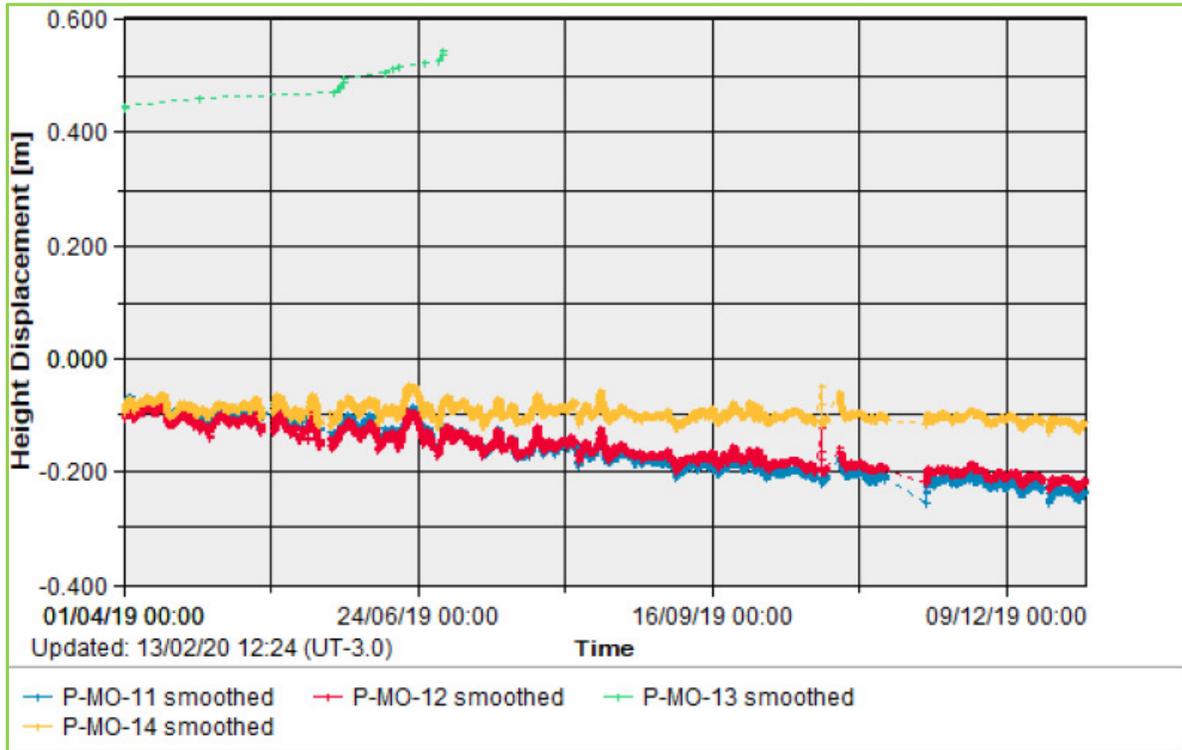


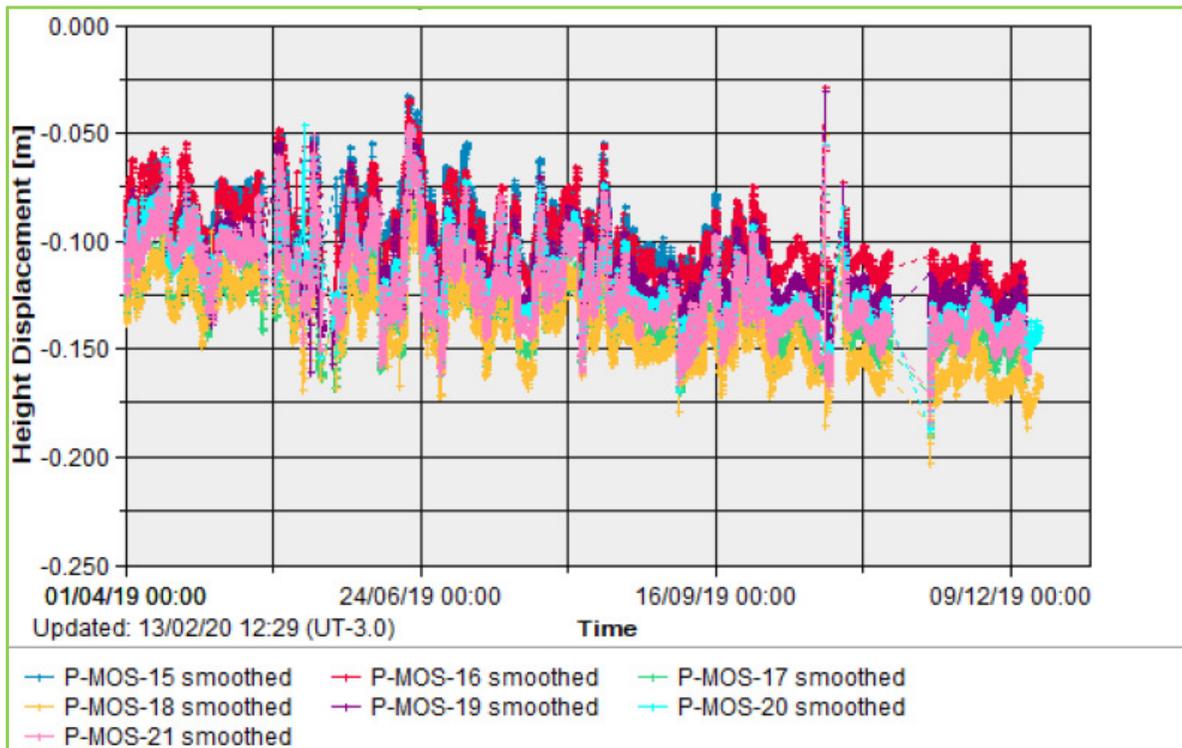
Figura 4-49: Asentamiento Prismas BS (8 mo), PI. E3 (ref. TAPD2017, Teck CdA).



**Figura 4-50: Asentamiento Prismas MO (8 mo), PI. E3 (ref. TAPD2017, Teck CdA).**



**Figura 4-51: Asentamiento Prismas MO(S) (6mo), PI. E3 (ref. TAPD2017, Teck CdA).**



#### 4.4.2. Desplazamiento Vectorial

Se puede indicar de manera ilustrativa, que adicionalmente al registro de asentamientos se están registrando el sentido y magnitud de los desplazamientos vectoriales para cada uno de los prismas distribuidos a lo largo de la PI. operacional de la E3, y que fueron instalados durante el año 2018, como parte del proyecto de monitoreo remoto TAPD2017. Esta información deberá analizarse en conjunto con aquella de los asentamientos, en la siguiente etapa del estudio de deformaciones.

La información disponible no se presenta en este documento, ya que se requiere de un análisis crítico profundo y un control de calidad de los datos que sea adecuado a la importancia de la información levantada, no se dispone de avance relativo en este punto respecto de lo presentado en el informe DSI 2018.

## 5.0 ESTABILIDAD

Durante la inspección de seguridad se observaron agrietamientos, en la plataforma operacional al coronamiento de la Etapa 3 de crecimiento diferido en el BS, muy similares a los observados durante los años anteriores y que se pueden apreciar en las fotografías informadas en las inspecciones DSI 2017, DSI 2018 y DSI 2019, una condición similar se pudo durante esta visita en el talud aguas arriba del BS. Estas grietas se han relacionado con cierta inestabilidad superficial del relleno de transición relacionada a la inclinación del talud aguas arriba (1,6 (H) / 1 (V)).

En la inspección de terreno para el presente informe, no se detectaron condiciones de inestabilidad que comprometan la integridad de los diferentes muros del embalse de relaves, encontrándose en general todos los muros un muy buen estado.

## 6.0 CALIDAD DE AGUA DESCARGADA

Teck CdA desarrolla programas de monitoreo de componentes ambientales en diferentes emplazamientos de la faena con el fin de dar cumplimiento a lo requerido por la autoridad ambiental mediante la Resolución de Calificación Ambiental (RCA #104) y a los criterios de control internos de la compañía (autocontrol). Teck maneja los reportes de calidad de agua de forma separada a los informes de seguridad de presas.

## 7.0 OBSERVACIONES DEL SITIO

### 7.1. Participantes

La inspección de Terreno se realizó entre los días lunes y martes 13 y 14 de enero de 2020, contando con la participación de los siguientes profesionales:

- Luis González Caro, M.Sc.: Ingeniero de Registro, Wood Santiago, Chile;
- Mickey Davachi, Ph.D., P.Eng., D.GE., F.ASCE: Principal Geotechnical Engineer, Wood Calgary, Canada;
- John Pottie: Gerente Ingeniería Geotécnica, Teck, Santiago, Chile; y
- Sergio Valdevenito: Gerente Tranque Proyecto QB2, Teck, Chile.

Por incompatibilidad de agenda, el Sr. Sergio Barrera consultor senior de relaves, Wood, Santiago de Chile, dentro del contexto de la presente Inspección, visitó la TMF la semana previa a la inspección propiamente tal, los días 07 y 08 de enero de 2020. Sus observaciones de terreno, están incluidas en el presente informe.

### 7.2. Programación

Las actividades se desarrollaron de acuerdo con el siguiente programa:

Tabla 7-1: Programación DSI 2020

Inicio	Término	Actividad	Estructura												Comentarios
			Coronamiento	Talud AArriba	Estribos	Playa	Talud AAbajo	Pie	Sistema Colector de Filtraciones	Aforador	Piscina	Instrum.	Taludes	Terreno Natural	
<b>Lunes 01</b>															
8:00	8:30	Ingreso a Faena													
8:30	9:00	Reunión de Inicio													
9:00	9:30	Visita Mirador BS													Habilitado ramal norte
9:30	11:00	Inspección MN	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>									Construyendo R.Transición
11:00	12:30	Inspección MNO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>									Finaliza Corte y Retiro
12:30	13:30	Inspección MN					<input checked="" type="checkbox"/>			Afloramientos Activos					
13:30	14:30	Almuerzo													
14:30	15:00	Inspección MNO					<input checked="" type="checkbox"/>								
15:00	16:30	Inspección BS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>									Decomisado SEU y TK
16:30	17:00	Inspección MO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>									Inicia Corte y Retiro
16:30	18:00	Inspección MO(S)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>									Inicia Impermeabilización
18:00		Fin día 1													
<b>Martes 02</b>															
8:00	8:30	Ingreso a Faena													
8:30	10:00	Inspección MS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>									Finaliza Perfilado
10:00	11:00	Inspección Trincheras								<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			Afloramientos secos
11:00	11:30	Inspección MP										<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Nueva ubicación Trincheras
11:30	12:00	Inspección MO(S)					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>							
12:00	12:30	Inspección MO					<input checked="" type="checkbox"/>			Aforador Seco					
12:30	13:00	Inspección MNO / BS					<input checked="" type="checkbox"/>			Filtraciones Secas					
13:00	13:30	Reunión de Cierre													
13:30		Fin DSI 2019													

Abreviaturas:

AAbajo / AArriba: aguas abajo / aguas arriba; y

Instrum.: Instrumentación;

### 7.3. Inspección

Se realizó una inspección detallada de todas las obras asociadas al depósito de relaves, según se describe a continuación.

#### 7.3.1. Extensión de Playas

La laguna de aguas claras se mantiene bastante lejos de los muros de contención (Fotografías 1 y 2). En el Muro Nororiente, se observa la playa húmeda con agua somera cerca del pie del muro (Fotografías 3 y 4), dada la reciente operación de las descargas D2, D3 y D4a. Esto es normal que ocurra ocasionalmente durante la descarga de relaves, y se debe procurar empujar el agua a lo menos 100 m de los muros, en el corto plazo.

El diseño actual de los muros requiere que se desarrollen y mantengan extensas y anchas playas de relave sobre el agua, primordialmente para limitar la infiltración a través de los muros, lo que podría ocasionar tubificación (piping), en general, son muros diseñados para no estar en contacto con agua, y son más seguros si se mantiene alejada la laguna. La longitud de la playa de relaves sobre el agua se vuelve una característica clave en la operación de la TMF, dado que las pendientes de la playa son bastante planas, del orden de 0,3 %, por debajo de los valores estimados en el diseño. La longitud de la playa se maneja a través de las descargas de relaves distribuidas y por el manejo del nivel de la laguna de aguas claras (sistema de recuperación por bombeo) según el diseño. En particular, el manejo de la laguna es muy importante debido a que pequeñas fluctuaciones en el volumen de agua (por precipitaciones, evaporación y recuperación por bombeo) pueden modificar la longitud y superficie de la laguna, afectar los sólidos suspendidos y alterar la ubicación de la laguna. El diseño del plan de llenado para la TMF incluye el desarrollo de playas muy extensas, y el apozamiento de agua que ha resultado de características irregulares del terreno, localizadas, no serán una preocupación a medida que se llena la cubeta.

#### 7.3.2. Agrietamiento de la Zona de Transición

En las anteriores visitas a terreno para DSI, se observaron agrietamientos en la zona de transición, y también se observaron algunas durante la presente visita en el BS (Fotografías 18 y 19), MNO y MO, aunque definitivamente en menor cantidad y tamaño que en años anteriores. Algunas de estas grietas habían sido llenadas con arena (Fotografía 19) y se encontraban cubiertas por la playa de relaves. Normalmente las grietas son superficiales (0,8 m a 1,5 m) y se presentan en áreas planas (plataformas operacionales), como también en los taludes aguas arriba en el material de transición. Las grietas en los taludes aguas arriba están orientadas paralelas al talud, como diagonalmente hacia arriba del talud.

Al parecer la causa más probable son los esfuerzos de tensión en la zona de aguas arriba de la transición, junto con el asentamiento del enrocado compactado (principalmente en áreas planas del BS). Una pérdida de agua y relaves dentro del enrocado puede ocurrir en caso que la grieta sea sometida a agua apozada bajo una alta carga hidráulica durante eventos de precipitación extrema o cuando la laguna de

aguas recuperada se acerque al muro, sin embargo, de acuerdo a los estudios realizados durante el año 2019, tanto para el Manejo de Crecidas (ver capítulo 3.2), como para la Actualización del Plan de Manejo de Relaves (Wood, 2019), indican que la posibilidad de ocurrencia es muy baja, recomendándose medidas de control y diseño para disminuir aún más esta posibilidad. Es necesario notar, que aun cuando han ocurrido eventos de precipitación extrema en el pasado, el más reciente en el mes de mayo del año 2017, no ha habido evidencia de formación de hundimientos (sinkholes) en las superficies planas de la zona de transición, donde la escorrentía superficial pudiera haberse apozado. Además, la profundidad de las grietas medidas se han informado con valores máximas cercanos a los 0,8 m en superficies planas y 1,5 m en superficies inclinadas, contemplando que el relleno de transición construido en superficies planas considera un espesor mínimo de 1,5 m y el ancho del relleno de transición en taludes es de 4,0 m, esto indica que la pérdida de transición hacia el enrocado es nula o mínima, por lo que se descarta que esta sea la causa de los agrietamientos.

La grieta parece ocurrir principalmente debido al asentamiento del enrocado y los esfuerzos de tensión en los materiales de transición inducidos por la presión de la fuerza de arrastre de los relaves y el asentamiento del relleno masivo.

### 7.3.3. Filtraciones

Durante la visita, solamente se observan filtraciones permanentes al pie aguas abajo del MNO del orden de los 14 L/s al término del periodo 2019 (Fotografías 16 y 17), 1/3 de este flujo no es captado por el sistema de drenaje, e intermitentes al pie aguas abajo del MN, menores a 0,3 L/s al término del periodo 31 de diciembre de 2019 y principalmente no captadas por el sistema de drenaje, ver ítem 8.4.2.

La ausencia de filtraciones permanentes en el resto de los muros, se debe principalmente a la elevación actual del pelo de agua de la laguna de recuperación de agua y a la longitud de las playas de relaves, lo que restringe las potenciales filtraciones. Basado en los informes DSI anteriores, ha habido pequeños cambios en la filtración y esto se debe en gran parte, a mantener largas playas por encima del nivel de agua en la laguna.

La filtración no es actualmente una preocupación y puede y los caudales actuales de filtración son manejables. A medida que aumenta en altura el depósito de relaves, será importante mantener extensas playas de relave para ayudar a controlar y bajar el nivel de la superficie freática. Se debe observar que las tasas de filtración pueden aumentar mientras la TMF crece y el monitoreo será un medio importante para planear y comprender la condición de las instalaciones.

### 7.3.4. Muro Norte (MN) – Aguas Arriba

Finalizó la construcción del enrocado de la etapa 4, hasta la cota El. 1.162,5 msnm (Fotografía 8), y ha iniciado recientemente la construcción de la E5 de crecimiento diferido. En pleno desarrollo está la construcción del relleno de transición, para la misma E4. El muro está en buenas condiciones (Fotografía 8).

### 7.3.5. Muro Norte (MN) / Aguas Abajo

La fotografía 14 muestra la piscina recolectora de filtraciones, aguas abajo para el Muro Norte. Al momento de la visita a terreno, se informó que el flujo captado por la cañería colectora de drenajes era menor a los 0,1 L/s. Si bien este flujo es conocido en el sitio, no estaba presente durante la inspección DSI del año anterior (2019), lo que se debe su naturaleza intermitente, directamente relacionada con la operación de las descargas D2 / D1, ver ítem 8.4.2, Figura 8-4.

### 7.3.6. Muro Nororiente (MNO) – Aguas Arriba

El Muro nororiente se encuentra en buenas condiciones (Fotografías 10 a 12).

Durante el año 2019, se completó la construcción de la Etapa 4 del relleno masivo hasta la cota 1.162,5 msnm, y al momento de la visita a terreno, se había recién iniciado la colocación del relleno de transición. En la Fotografía 13, se puede apreciar la granulometría del enrocado.

### 7.3.7. Muro Nororiente (MNO) – Aguas Abajo.

Las fotografías 16 y 17 muestran las obras recolectoras de drenajes, filtraciones y afloramientos, las que se emplazan aguas abajo del muro. El afloramiento al norte desde el muro se encuentra en el orden de los 5 L/s, el afloramiento al sur del muro se encuentra en el orden de los 4 L/s y el escurrimiento en el sistema de drenaje está cercano a 5 L/s, totalizando 14 L/s, al término del periodo.

### 7.3.8. Botadero Sur (BS)

El botadero sur es una gran protrusión (alto y ancho) de desechos mineros vaciados hacia la cubeta del depósito, antes de la construcción del TMF, entre el muro oriente y el muro nororiente (Fotografía 5).

Durante la visita se observa que el coronamiento de las estructuras contenedoras en el sector del BS, ya se encuentra construido hasta cota de la E5, a la El. 1.177,5 msnm, encontrándose finalizada la habilitación gravitacional del nuevo estanque de distribución de relaves (TK-42).

El material estéril en el botadero sur fue cargado en grandes espesores sin compactación y con bastante variación de la granulometría del material de relleno. Existe un importante interés sobre el diseño y la operación en esta área, y que tiene relación con restringir tanto las filtraciones, como la entrada de relaves al enrocado y la posibilidad de formar un gran hundimiento (sinkhole) dentro del cual una gran cantidad no controlada de agua y relaves pueda ser liberada desde el TMF, al momento que la TMF haya aumentado su altura (según lo planificado), respecto de donde se encuentra actualmente. El actual plan de llenado requiere desarrollar una playa muy extensa, para evitar que ocurran incidentes de este tipo en esta área. Sin embargo, considerando las grietas que han aparecido y que siguen apareciendo en el material de la zona de transición y la probabilidad de que haya mayor actividad sísmica en el área, se debe mantener un esquema robusto para asegurar una playa de relaves extensa, por sobre

el nivel de la laguna de aguas claras. En la medida que crezca la laguna de la TMF, esta área se volverá más crítica. El monitoreo de las filtraciones, asentamientos y grietas son clave para garantizar la seguridad de esta área.

La Fotografía 36, muestra la piscina de recolección y monitoreo de filtraciones aguas abajo del MNO / BS. Al momento de la visita estos afloramientos se encontraban secos, lo que se atribuye al prolongado periodo de paralización, tanto de la planta concentradora, como de la planta de electro obtención, producto de la Huelga Legal, ya que estos afloramientos se relacionan probablemente con el riego de Pilas de Lixiviación (Pilas ROM), que se ubican aguas arriba de la mencionada piscina.

### 7.3.9. Muro MO – Aguas Arriba.

Durante este DSI, estaba en curso el corte y retiro del relleno masivo suelto, producto del pretil de seguridad para la construcción del enrocado, en el lado sur del muro (Fotografía 22).

El talud aguas arriba del muro oriente se encontraba en buenas condiciones (Fotografía 22).

Se informa de un incidente menor en la cañería de relaves, aguas abajo de la descarga 5, que ocasiona un derrame de relaves y la erosión del material de transición sin causar mayor daño, pero comprometiendo el ancho mínimo para este tipo de relleno, según lo especificado en el diseño (3 m). Al momento de esta visita, continuaban las actividades de reparación en el área erosionada (Fotografías 20 y 21).

### 7.3.10. Muro MO – Aguas Abajo.

Las pilas de lixiviación se encuentran ubicadas aguas abajo del muro oriente (Fotografías 33 y 34).

Continúa expuesta la cañería de HDPE de descarga del sistema de drenaje basal del MO.

El aforador “V Notch ” se encuentra seco (Fotografía 35).

### 7.3.11. Muro MO(S), Aguas Arriba

Al momento de la inspección, los rellenos masivos y de transición se encontraban contruidos hasta la etapa 4 a la cota El. 1.162,5 msnm (Fotografías 24 a 26), y el talud se encuentra perfilado, y listo para la colocación de la geomembrana. Del mismo modo, se encontraba en curso la excavación de la zanja de anclaje de la geomembrana (Fotografías 25 y 26). El talud aguas arriba del muro oriente sur se encontraba en buenas condiciones (Fotografía 24).

### 7.3.12. Muro MO(S), Coronamiento

Se puede apreciar una grieta muy superficial e incipiente a lo largo de todo el coronamiento de la E4 y cuya localización es consistente con la posición de la interfaz

entre el relleno de transición y el relleno masivo, es decir longitudinalmente a una distancia aproximada de 4 m del hombro aguas arriba del muro, este agrietamiento no presenta riesgo desde el punto de vista de la estabilidad de la estructura contenedora, y se relaciona con los distintos módulos de deformación (elasticidad / plasticidad), que presentan el relleno masivo y el relleno de transición ver capítulo 8.3.1.

### **7.3.13. Muro MO(S), Aguas Abajo**

No se observó ningún problema en el sector aguas abajo del muro oriente sur.

### **7.3.14. Muro MS / Aguas Arriba y Estribo Poniente.**

Durante el año 2019, se completó la Etapa 4 (El. 1.162,5 msnm) de la construcción del relleno de transición (Fotografía 27). El talud aguas arriba estaba listo para la disposición de la geomembrana y se encuentra en excelentes condiciones (Fotografía 27).

### **7.3.15. Trincheras – Sistema de recuperación de Aguas Claras.**

Se inspeccionó la trinchera N°8 del sistema de recuperación de aguas claras, desde donde se continúa recirculando hacia el proceso de la planta concentradora el agua desde la laguna (Fotografía 30). Al 31 de diciembre de 2019, el stock de agua en la laguna está en torno a los 350.000 m<sup>3</sup>, y el caudal de agua es del orden de los 200 L/s. Varias grietas se observaron en la plataforma para el manifold de descarga de las bombas de agua recuperada de la trinchera N° 8, lo anterior debido a la saturación del relleno, por la elevación del pelo de agua.

Al momento de esta visita a terreno, continuaban las actividades de perforación para la tronadura para trincheras N° 9 y N° 10 (Fotografía 29), en su nueva posición.

### **7.3.16. Muro Poniente - Fundación.**

La construcción de la E5 del Muro Poniente está programada para iniciar el Q2 del año 2020. Se excavaron dos calicatas en la ubicación de este muro (Fotografías 31 y 32). Estas calicatas detectaron aproximadamente a los 3 m, un lecho de roca erosionado.

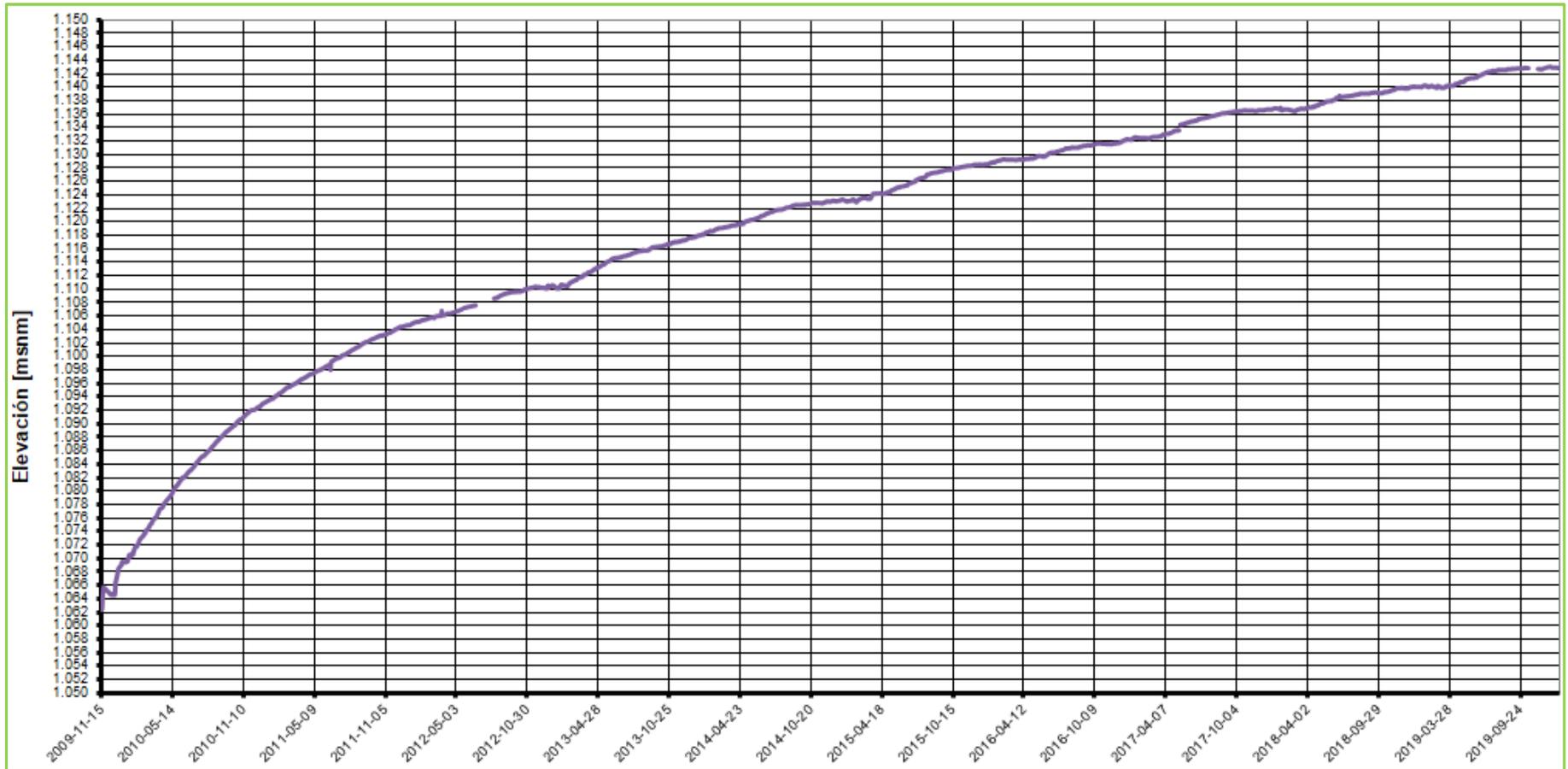
### **7.3.17. Instrumentación y Monitoreo**

Actualmente no existen piezómetros ubicados en las playas de relaves aguas arriba de los muros, aunque se está considerando su instalación en el mediano plazo.

### **7.3.18. Niveles de agua**

El nivel de la laguna de clarificación se mide topográficamente mediante estación total de manera diaria. A continuación, se presenta la evolución histórica de la Elevación del pelo de agua de la laguna de aguas claras.

Figura 7-1: Elevación de la laguna de aguas claras (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).



## 8.0 EVALUACIÓN DE SEGURIDAD DE LA PRESA

### 8.1. Criterios de Diseño Clave

A continuación, se presenta el chequeo de la condición de los criterios de diseño claves de la TMF, durante el período.

**Tabla 8-1: Estatus Criterios de Diseño Clave durante el periodo (ref. manual OMS\_R4 AmecFW).**

Item	Criterio de Diseño	Estatus Durante el Período
Pendiente media de depositación de los relaves	Superficial: 0,5%; Bajo el Agua 1,2 %	Superficial: 0,35%; Bajo el Agua: 0,60 %
Método Constructivo	Construcción por método aguas abajo	Corresponde al método constructivo aplicado durante el período;
Sistema de Impermeabilización	Material de baja permeabilidad (relleno de transición) en talud interno de todos los muros y Botadero Sur. Adicionalmente, geomembrana de HDPE de 1,5 mm de espesor, sobre le relleno de transición, en talud interno de la Etapa 1 de los muros MNO, MO y Botadero Sur y en todas las Etapas para los muros que drenan hacia la cuenca del Limarí (MO(S) y MS).	Verificado durante el período;
Geometría de los Muros	Talud Aguas Abajo 1,8 (H) / 1 (V). Talud Aguas Arriba 2,0 (H) / 1 (V) para los muros impermeabilizados con Geomembrana y 1,6 (H) / 1 (V) sin Geomembrana, Ancho de coronamiento mínimo de 50 m en etapas de crecimiento intermedias (1 @ 5)	Verificado durante el período;
Densidad de Compactación en Muros de Estéril	Entre 1,5 t/m <sup>3</sup> y 1,9 t/m <sup>3</sup>	En promedio E1 @ E5 1,82 t/m <sup>3</sup> ; en el periodo (2019: 1,96 t/m <sup>3</sup> ), alcanzandose sistemáticamente densidades de compactación secas de 2,0 t/m <sup>3</sup> para los controles superficiales;
Revancha	Mínimo 3 m para los relaves en contacto con los muros	Verificado durante el período;
Posición Laguna de aguas de claras	Alejada de los muros, en la cola del embalse y equidistante de los muros	Bien controlado operacionalmente durante el período, se considera normal que durante la operación de este tipo de instalaciones, por cortos periodos de tiempo se formen lagunas parásitas de baja profundidad y que se apoyan contra los muros, principalmente al inicio de la operación de algún punto de descarga, lo que no presenta compromiso de la seguridad de las instalaciones, dado que por ser superficiales no generan gradiente hidráulico hacia aguas abajo de los muros, siendo de muy corta duración (solo un par de días);
Diseño Sísmico	Análisis de estabilidad dinámica utilizando acelerograma correspondiente al sismo máximo creíble (SMC).	Debe actualizarse el análisis de estabilidad dinámico, una vez finalizados los ensayos de laboratorio en el MNO y BS;
Lluvia de diseño para obras durante la operación	Lluvia con periodo de retorno correspondiente al máximo probable, para peak de crecida y para volúmenes de crecidas	Verificado para un evento de PMP con una duración de 3 días, estimado mediante el método de Stowhas, donde la PMP <sub>24h</sub> = 444 mm, y la PMP <sub>3d</sub> = 809 mm, valores que se consideran conservadores, y con holgura para precipitaciones de 24h T <sub>50</sub> , T <sub>100</sub> y T <sub>200</sub>
Recuperación de Agua	Máxima recuperación de agua en el depósito	La máxima recuperación se implementa, previo al / durante el periodo de precipitaciones (abril - septiembre).

## 8.2. Modos de Falla

Se define como falla de un depósito como la descarga súbita y sin control de parte del material depositado. Normalmente esta falla podría estar acompañada de una prolongada suspensión de la capacidad de operación del depósito y por consiguiente de la explotación minera.

A continuación, se hace un chequeo para el periodo, de los modos de falla detallados en el taller de "Análisis de Riesgos del Depósito de Relaves" (Hazop), documento # E40165-840-TR-R-005\_R0, que se llevó a cabo en La Serena, los días 5 y 6 de Julio del año 2017.

Se deja establecido que, si bien la lista de tipos de falla que se detallan en la Tabla 8-2 es extensa, todos modos de falla son hipotéticos. En principio el overtopping, sería un modo de falla para la TMF en estudio, sin embargo, los análisis desarrollados durante el periodo pasado, respecto de la capacidad de almacenamiento de la CMP, para distintos periodos de retorno han demostrado que los volúmenes de crecida pueden ser almacenados sin riesgo de overtopping, por lo tanto es un modo de falla no creíble.

Adicionalmente, los últimos análisis han demostrado que para la TMF no es creíble la falla por erosión interna producto de la acumulación de agua cuando ocurra la CMP solamente y que eventualmente quedaría en contacto con la parte superior de los muros MN y MNO (no impermeabilizados). Wood comprende y respalda plenamente el objetivo de largo plazo de Teck para todas sus instalaciones de relaves, es que cada TMF alcance el estado *landform*<sup>2</sup>, con todos los potenciales modos de falla finalmente reducidos a no creíbles. En el contexto de este DSI, el término "no creíble" indica una condición en la que la probabilidad de falla se considera insignificante. Wood actualmente considera cada uno de los muros del embalse de relaves de Carmen de Andacollo como estructuras *landform* dada su geometría y forma de construcción. Los trabajos actualmente en desarrollo enfocados hacia el objetivo de largo plazo, indicarán durante los periodos de los próximos informes DSI anuales, si se ha logrado mantener el estado general *landform*, junto con la eliminación de cualquier preocupación de falla creíble que contemple el vertimiento de fluidos hacia el exterior de la TMF.

El objetivo a largo plazo de Teck tanto para el depósito de relaves Teck Carmen de Andacollo, como para todas las instalaciones de relaves de Teck que no sean capaces de alcanzar el estado *landform*, es que todos los modos de falla potenciales no sean creíbles basados en las condiciones de carga para producir la máxima consecuencia. Por otro lado, Teck también está evaluando otras estrategias de reducción de riesgos de largo plazo, tales como el tratamiento de relaves, que disminuirían la capacidad de almacenamiento requerida en la TMF.

Está contemplada la actualización del taller de riesgos, para el Q2 del año 2020.

---

<sup>2</sup> Estructura que se asimila a una forma de relieve natural

Tabla 8-2: Chequeo del Estatus de los Tipos de Falla durante el período 2019 (ref. HAZOP 2017 AmecFW).

ELEMENTO	TIPO DE FALLA	EFFECTOS	CHEQUEO DE LA CONDICIÓN
CUBETA	Overtopping	En Muros Sur y MO (S): descarga hacia la cuenca del Limarí / Inestabilidad de los muros / Destrucción de la planta / Pérdida de vidas humanas / Destrucción de bienes	Controlado mediante la revancha operacional;
	Volumen excedido, entra en contacto con muros	Incremento filtraciones de los muros / Piping	Controlado operacionalmente durante el período;
	Filtraciones por la fundación	Contaminación de la napa subterránea / Filtración de agua y relaves hacia aguas abajo	Existen indicios los cuales apuntan a que hay una condición de mezcla de aguas (naturales + industriales) en las filtraciones del sector norte del embalse de relaves principalmente. Lo anterior está en proceso de estudio a través del Modelo Hidrogeológico Distrital, actualmente en desarrollo por WSP;
MN, MNO, MO, MP	Falla de los taludes AArriba	Deterioro de la estructura del muro / Pérdida de la resistencia global del muro	Se aprecian grietas superficiales del relleno de transición, pero que no comprometen la estabilidad de la estructura de contención;
	Inestabilidad de los taludes AAbajo	Daño a instalaciones agua abajo.	No se detectan indicios de este tipo de falla durante el período;
	Erosión del talud AArriba	Deterioro de la capa de transición y del estéril	En general los taludes aguas arriba, presentan erosión por escorrentía superficial, la cuál en muchos casos, logró sellar aquellas grietas de talud, mediante la movilización de finos durante el evento de precipitación extrema de mayo de 2017. En el BS, se aprecia erosión por operación del rebose, lo que requirió reparación por haber comprometido el ancho mínimo recomendado para el relleno de transición (3 m). En todos los casos la erosión, no compromete la integridad de las estructuras;
	Deformación excesiva de los muros	Agrietamiento transición / Reducción del espesor efectivo / Mal aspecto de los taludes / Pérdida de la funcionalidad	Las principales deformaciones se refieren a los asentamientos propios de la consolidación de los rellenos, los que a la fecha no indican compromiso de las estructuras;
	Falla de la Fundación / Falla de la pared sur del rajo / Piping	Deslizamiento o grietas en los taludes / Asentamientos mayores a diseño / Desplazamiento del muro MNO / Formación de sink hole / Pérdida de Relaves / Lavado de Finos	No se detectan indicios de este tipo de falla durante el período;

ELEMENTO	TIPO DE FALLA	EFFECTOS	CHEQUEO DE LA CONDICIÓN
MO(S), MS	Filtración por el muro	Infiltraciones en la pata del talud aguas abajo / Laguna en contacto con muro no impermeabilizado	No existe evidencia de filtración desde el embalse hacia aguas abajo del muro, se estudiará en detalle al momento de recibir el modelo hidrogeológico distrital;
	Deformación excesiva de los muros	Rotura membrana	No se aprecia evidencia de este tipo de falla;
	Filtración por la fundación	Contaminación de la napa subterránea	En proceso de Estudio a través del Modelo Hidrogeológico Distrital;
	Inestabilidad talud aguas arriba	Rotura Membrana / Afectación de la Zona de Transición, causando grietas y comprometiendo la Estabilidad del Embalse / Pérdida capacidad estructural	No se aprecia evidencia de este tipo de falla;
	Inestabilidad talud aguas abajo	Daño a instalaciones (futuras) / Alarma en la comunidad	No se aprecia evidencia de este tipo de falla;
	Rotura de la membrana	Filtraciones	No se aprecia evidencia de este tipo de falla, durante la visita.
SISTEMA DE DRENAJE BASAL DE LOS MUROS	Inestabilidad de taludes	Incremento de filtraciones por el talud aguas abajo / Laguna en contacto con muro no impermeabilizado / levantamiento del nivel freático / Pérdida de la capacidad de drenar	No se aprecia evidencia de este tipo de falla, durante el período;
BS	Deformación excesiva del enrocado	Agrietamientos de la transición	No se aprecia evidencia de este tipo de falla;
	Piping	Formación de sink hole.	Sin evidencia de la presencia de sinkholes, en la estructura contenedora;
	Falla de la fundación aguas abajo	Falla del talud aguas abajo / Posible destrucción de instalaciones	No se detectan indicios de este tipo de falla durante el período;
SISTEMA DE RECUPERACIÓN	Estabilidad trinchera	Suspensión de la operación / Daño en las instalaciones de recuperación	Se aprecia que los bancos de contención han recibido la roca meteorizada desprendida desde los taludes, protegiendo a las persona y las instalaciones;
	Rotura cañería	Erosión en la zona de la falla de la cañería / Suspensión recuperación de agua.	Rotura de cañería aguas arriba del estribo poniente del MN, por el derrame es conducido hacia la cubeta por la topografía natural del terreno en el sector, sin comprometer la estructura contenedora;
	Suspensión energía	Suspensión recuperación de agua / Crecimiento de la laguna	Sin eventos de suspensión de energía durante el período;
	Calidad del agua no es adecuada para la operación	Detención del sistema de recuperación	Sin eventos sobre la calidad de agua que comprometa la operación normal de la planta concentradora durante el período;
	Laguna de aguas claras desplazada	Suspensión operación sistema de recuperación	Sin eventos durante el período;
	Exceso relaves en el agua	Deterioro bombas	Sin evidencia de falla de equipos de bombeo durante el período;

ELEMENTO	TIPO DE FALLA	EFFECTOS	CHEQUEO DE LA CONDICIÓN
SISTEMA DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCION DE RELAVES	Rotura cañería	Erosión rellenos transición y estéril del muro	Desacople de flanche aguas abajo de la D5, produce derrame de relaves sobre plataforma operacional y erosiona el talud aguas arriba del muro, requirió reparación ya que la erosión comprometió el ancho mínimo del relleno de transición en el talud (3 m). La falla no es creíble dado que el ancho del muro a la El. de coronamiento de la E3 de crecimiento diferido es de 250 m aproximadamente
	Embanque cañería de relaves	Suspensión de transporte de relaves	Sin eventos de embanque durante el periodo;
	Suspensión de energía	Descarga de relaves suspendida	Sin eventos de suspensión de energía durante el período;
	Falla tanque de Distribución TK-42	Descarga de relaves suspendida	Sin eventos de falla del TK-042 durante el periodo;
	Deformación del terreno a lo largo del trazado	Suspensión temporal de descarga por ramal	Sin evidencia de este tipo de falla durante el periodo;
CERROS NATURALES	Erosión / deslizamientos masivos	Eventual impacto en infraestructura	Sin eventos durante el período;
	Filtraciones	Contaminación de la napa subterránea al exterior Interrupción del sistema de recuperación de agua Reducción de la revancha	En proceso de Estudio a través del Modelo Hidrogeológico Distrital;
SISTEMA DE DESVIO DE CONSTRUCCIÓN	Rotura, deterioro tubería	Flujo de agua y relaves hacia aguas abajo, sector El Churque	Sin eventos durante el período;
COMUNIDAD	Accidente de personal extraño	Suspensión de la operación	Sin eventos durante el período;
MEDIO AMBIENTE	Estéril ARD / Tailings ARD	Acidificación del agua	No existe evidencia concluyente respecto del ARD, en desarrollo pruebas estáticas y dinámicas con las muestras extraídas de la campaña de sondajes; se recomienda actualizar el estudio de drenaje ácido el año 2020;
	Paralización por orden de la autoridad	Suspensión de la operación	Sin eventos durante el período;
	Presencia de animales en el área del depósito	Puede requerir suspensión de la descarga de relaves / Contenido de metales en el agua	Sin eventos durante el período. Finalizada la construcción de refuerzo del cierre perimetral, de manera de evitar el acceso de animales al área de la cubeta;
	Generación de polvo por viento en las playas	El polvo afecta zonas externas e internas al proyecto	Sin eventos durante el periodo.

### 8.3. Peligros – Medidas de Diseño/Control

#### 8.3.1. Estabilidad física

La estabilidad física del depósito se basa en la calidad (naturaleza) de los materiales que conforman los muros o estructuras soportantes, junto con la geometría de estas. En este caso el material predominante de estas estructuras es enrocado estéril proveniente de la mina. Este material presenta excelentes propiedades resistentes y permeables que lo hacen un material seguro. Como elemento de control a la migración del relave a través del enrocado estéril el diseño incluye la colocación en la cara de aguas arriba (interna) de un suelo de granulometría medio fino denominado relleno de transición. Junto con esta medida el diseño contempla que la laguna de aguas claras se ubique alejada de los muros en condición operacional normal, con playas de relaves extensas apoyadas sobre los mismos.

Las características del suelo de fundación fueron investigadas durante la etapa de proyecto. En general el material de fundación es un suelo típico del área suelo superficial y roca en profundidad, más bien granular con presencia de estratos de características geotécnicas medias, lo que fue considerado por el diseño. Salvo el caso del MNO, del BS y del MO, en donde la roca basal se encontró en sectores puntuales hasta 15 m. bajo el nivel de terreno natural, en general la cobertura de suelo sobre la roca basal es mínima: de hasta 1,0 m para los MO(S), MS y MP.

Durante la operación del depósito un aspecto habitual en los muros y estructuras soportantes ha sido la aparición de agrietamientos en las bermas y taludes aguas arriba construidos con relleno de transición, las cuales son monitoreadas por Wood en cuanto a su actividad y posteriormente reparadas según requerimiento.

A juicio de Wood estas grietas son consustanciales al diseño pues derivan de la colocación de una capa de material cohesivo compactado (relleno de transición) sobre un relleno granular de densidad media (relleno masivo). Estos materiales presentan distintos módulos de deformación (elasticidad / plasticidad). A lo anterior se agrega que hasta la E3, la construcción del muro estaba en general muy adelantada con respecto al nivel del relave generando amplias revanchas, lo que favorece la deformación del muro / estructura soportante por acción del llenado con relave (aguas arriba) transmitiéndose a la capa de transición y / o por acción de la construcción del Relleno Masivo (aguas abajo).

Dado que no es posible evitar las grietas, salvo un cambio de diseño el que no se estima necesario desde el punto de vista de la seguridad de la TMF, se requiere mantener un monitoreo periódico del movimiento en la superficie de la capa de transición, según lo implementado durante el periodo a través de los prismas distribuidos, de manera de poder identificar desplazamientos que sean precursores de la aparición de agrietamientos y hacer las reparaciones, en la medida que estas discontinuidades superficiales lo vayan requiriendo. Sin embargo, ante la eventualidad que alguna grieta atravesase todo el relleno de transición y/o no pueda ser reparada antes de queda cubierta por los relaves, es fundamental mantener la laguna de aguas claras (y en

general el agua) alejada de los muros, principalmente de aquellos muros que no cuenten con impermeabilización con liner (sector centro norte del embalse de relaves).

Todos los muros tienen un sistema de drenaje y un sistema de monitoreo piezométrico. Esta característica del diseño junto a la predominancia del enrocado estéril, aseguran el control del agua de infiltración y la evacuación controlada de forma de no generar altas presiones de poros que podrían reducir la capacidad resistente del material.

La construcción de los muros y obras asociadas tienen un control de calidad y aseguramiento, que velan por el cumplimiento de planos y especificaciones; además de registrar los ajustes y modificaciones que se realizan con la aprobación del Ingeniero de Registro.

En opinión de Wood, estas características del diseño junto al control de la construcción y el monitoreo del comportamiento permiten minimizar el nivel de riesgo a niveles aceptables, ante cualquier peligro de estabilidad en estas estructuras.

### 8.3.1.1. Sismos Relevantes

El diseño sísmico de la TMF consideró un análisis de estabilidad dinámica, utilizando el acelerograma correspondiente al sismo máximo creíble, el estudio de riesgo sísmico que respalda el diseño corresponde al documento # SS-06091: *“Estudio de Riesgo Sísmico y Generación de Registros Artificiales para el Depósito de Relaves Proyecto Carmen de Andacollo”, S y S Ingenieros Consultores, de fecha diciembre 2006.*

A contar del 19 de diciembre del año 2015, fecha en que entra en vigor el Decreto 50 de la DGA (MOP), la normativa chilena exige que para un Embalse categoría C “se desarrolle un estudio sismológico específico para la zona de aspectos determinísticos y probabilísticos, para obtener el sismo máximo creíble y el sismo de diseño, respectivamente y la correspondiente aceleración horizontal del suelo y, además, aplicar acelerogramas de sismos chilenos de una magnitud de al menos  $M_S= 8,5$ ”.

El mismo decreto define el sismo máximo creíble: *“Corresponde al sismo de mayor magnitud que podría ocurrir en un sitio, producto de la existencia de alguna falla reconocida o por ubicarse dentro de una determinada marco tectónico. Este sismo es el que produce el máximo nivel de movimiento en el suelo, para el cual una obra será diseñada o evaluada. Con este sismo las presas no deberán experimentar un colapso repentino si un desembalse descontrolado, pero se aceptan daños tolerables en sus muros y obras anexas”.*

En tanto, el sismo de diseño lo define como: *“Corresponde al sismo que produce movimientos en el lugar de emplazamiento de alguna obra que razonablemente se espera ocurra dentro de su vida útil. Su periodo de retorno no será inferior a 475 años. Con este sismo las presas y sus obras anexas podrán experimentar daños menores, pero sin afectar su operación”*

En función de lo anterior, y como parte de las actividades relacionadas con la actualización del diseño, se encargó a S y S Ingenieros Consultores un nuevo estudio

de riesgo sísmico, para las instalaciones de Teck CdA y que contemplara los terremotos recientes del Maule 2010, 8,8 (Mw); Iquique 2014, 8,2 (Mw); Illapel 2015, 8,3 (Mw). Los resultados se presentan en el documento # SS-14128-01e: “Estudio Riesgo Sísmico y Generación de Acelerogramas Artificiales para el Depósito de Relaves del Proyecto Carmen de Andacollo”, de fecha enero de 2016.

A continuación se resumen los parámetros de los terremotos diseño Máximo Creíble y diseño Operacional (2016) para el sitio del depósito de relaves Teck Carmen de Andacollo:

**Tabla 8-3: Parámetros de los terremotos MC y Op para el sitio del depósito de relaves Teck CdA (ref. S y S, 2016).**

Sismo	Magnitud [Mw]	Máxima Acel. Horizontal en el sitio [g]	Distancias		
			Focal (H)	Epicentral (D)	Hipocentral (R)
[km]					
Estudio Riesgo Sísmico 2016 (actualización del diseño)					
Thrust MC	8,8	1,000	40	63,5	75
Intrapalaca MC	8,0	1,040	90	0	90
Thrust Op	8,3	0,620	35	48,7	60
Intrapalaca Op	7,4	0,580	80	0	80
Sismos Relevantes					
16S.2015	8,3	0,4533	22,4	155	157
19E.2019	6,7	0,4964	63	37	73

El día 16 de septiembre de 2015 a las 19:54 h los muros de la TMF soportaron un sismo interplaca subductivo de magnitud 8,3(Mw), con epicentro frente a las costas de la Región de Coquimbo, a 37 km al suroeste de la localidad de Canela Baja, coordenadas epicentrales 71,741 °W y 31,637 °S a una profundidad focal de 22,4 km, según reporta actualmente el USGC (Servicio Geológico de los EEUU).

Respecto de la TMF, el epicentro se ubicó a una distancia epicentral de 155 km aproximadamente, hacia el sur - poniente, la magnitud del sismo indujo una aceleración de 0,4533 g (45% de la aceleración máxima inducida en el sitio por el sismo Máximo Creíble, 2016), según el registro del acelerógrafo ubicado en el edificio de molienda, para monitoreo del molino SAG (ver Figura 8-1). Durante este sismo se generaron grietas en una de las bermas de la capa de transición del Muro Nororiente. A raíz de este evento se generó un informe técnico (documento # E40071-840-TR-006: “Agrietamiento en el Muro Nororiente”) de evaluación que analizó el comportamiento de los muros y particularmente el agrietamiento del Muro Nororiente.

El día 19 de enero de 2019 a las 22:32 h los muros de la TMF soportaron un sismo interplaca subductivo de magnitud 6,7 (Mw), con epicentro en la costa de la Región de Coquimbo, a 13 km al este de la localidad de Tongoy, con coordenadas epicentrales 71,364 °W y 30,276 °S a una profundidad focal de 63,0 km, según reporta actualmente el USGC.

Respecto de la TMF, el epicentro se ubicó a una distancia de 37 km aproximadamente, hacia el sur-poniente, la magnitud del sismo indujo una aceleración de 0,4964 g (50% de la aceleración máxima inducida en el sitio por el sismo Máximo Creíble, 2016), según el registro del acelerógrafo ubicado en el edificio de molienda, para monitoreo del molino SAG (ver figura 8-2). Durante este sismo se generaron grietas en la plataforma El. 1.149,5 msnm (coronamiento E3) tanto en el MNO como en el BS, además de las ya mencionadas en el relleno de transición sin compactar que se colocó con fines geométricos en los muros MS y MN, en la plataforma de coronamiento de la E4.

A continuación se presentan las principales características de los terremotos ya mencionados (Tabla 8-4) así como los registros del acelerógrafo instalado en el molino SAG y adicionalmente para el terremoto del año 2019, el registro del acelerógrafo instalado aguas abajo del MNO, en el sector denominado “El Churque” y que al momento del terremoto del año 2015, arrojó valores físicamente no creíbles en uno de sus ejes horizontales, por lo que no se muestran en el presente informe.

**Tabla 8-4: Parámetros de los sismos relevantes (ref. USCG y sismógrafo SAG).**

Sismo	Magnitud [Mw]	Máxima Acel. Horizontal en el sitio [g]	Distancias		
			Focal (H)	Epicentral (D)	Hipocentral (R)
[km]					
Sismos Relevantes					
16S.2015	8,3	0,4533	22,4	155	157
19E.2019	6,7	0,4964	63	37	73

**Tabla 8-5: Relación de aceleraciones horizontales máximas en el sitio para sismos relevantes vs sismos interplaca de diseño.**

Sismos	16S.2015	19E.2019
	[%]	
Thrust MC (2016)	45	50
Thrust Op (2016)	73	80

Figura 8-1: Registro sismo 16S.2015 (ref. Acelerógrafo SAG, Teck CdA)

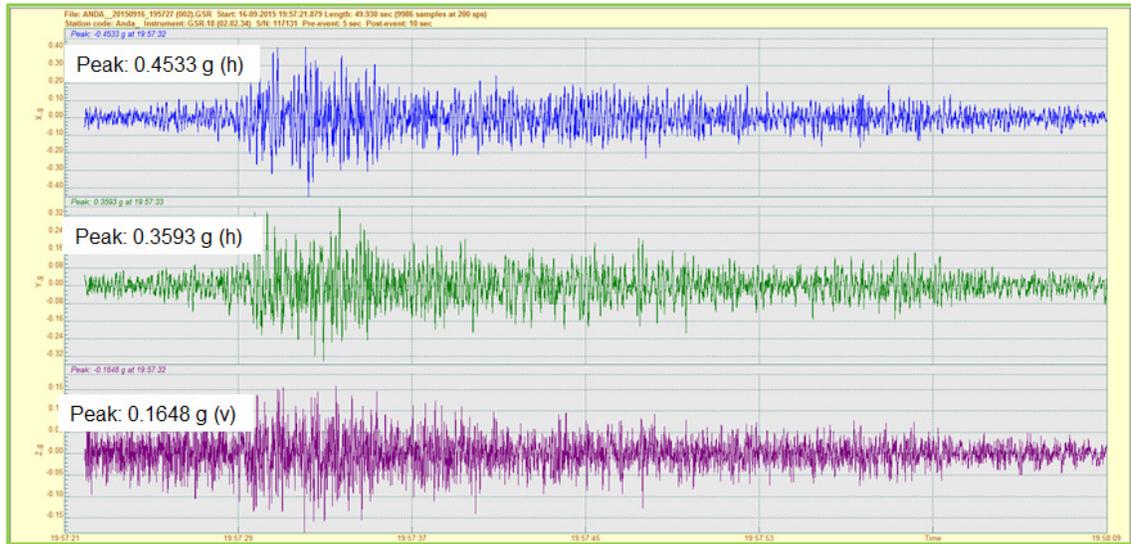


Figura 8-2: Registro sismo 19E.2019 (ref. Acelerógrafo SAG, Teck CdA)

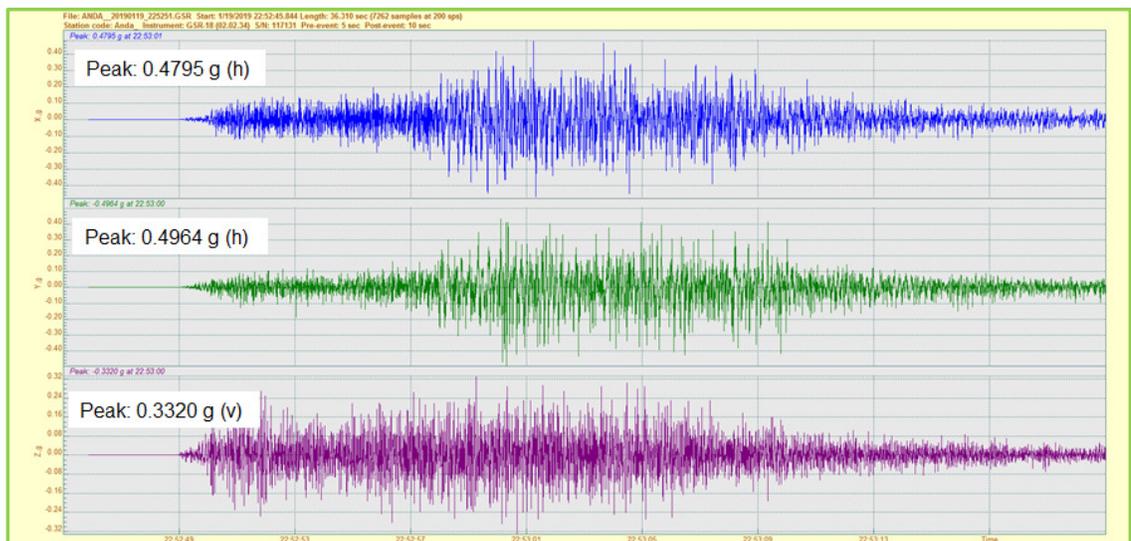
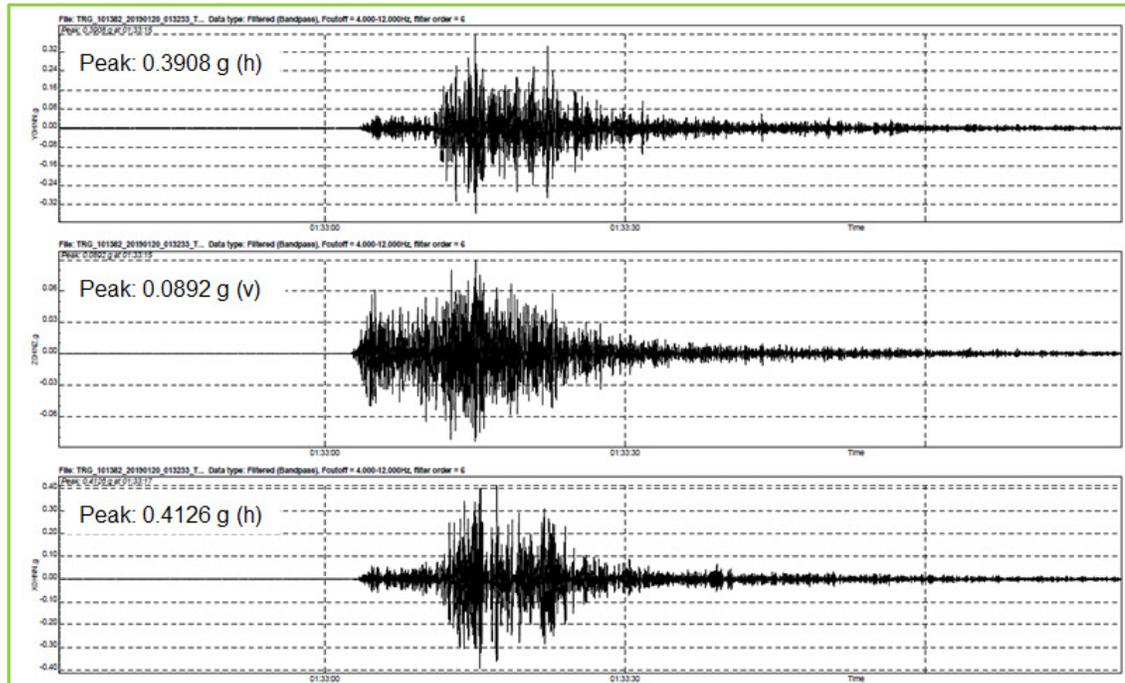


Figura 8-3: Registro sismo 19E.2019 (ref. Acelerógrafo MNO, GeoMediciones)



Respecto de la diferencia que se aprecia en el registro del sismo 19E. 2019, en los acelerógrafos del molino SAG y del muro MNO, está diferencia se puede asociar con la amplificación a través de la estructura del edificio de molienda, respecto de la condición del acelerógrafo aguas abajo del muro MNO, el que se encuentra instalado sobre el terreno natural.

Ambos sismos mencionados inducen en el sitio una máxima aceleración horizontal similar, por lo que es esperable que sus efectos en el sitios se manifiesten también de manera similar, lo anterior queda ratificado tanto por los agrietamientos superficiales de las plataformas ya mencionados, como en el orden de magnitud de los asentamientos registrados en los monolitos para control de asentamientos post sismo, tal y como se pude apreciar en el capítulo 4.4.1 los que en ambos casos fueron del orden del 0,01 % de la altura total del relleno. Wood considera satisfactorio el comportamiento de la TMF durante ambos terremotos y de acuerdo con lo esperado según el diseño.

### 8.3.2. Manejo de Agua Producto de Eventos Extremos

El manejo del agua superficial es otro aspecto clave en la seguridad / estabilidad de un depósito. Un diseño típico incluye un evacuador de crecidas para descargar las aguas en exceso de la laguna de operación y/o evitar que la laguna entre en contacto de largo plazo con el muro. El depósito de Teck - CdA no tiene un evacuador ni su diseño lo contempla para el período de operación, aunque si lo considera para la etapa de Cierre. La explicación de esto se basa en la baja pluviometría del área, la reducida cuenca aportante, la ubicación relativa de la laguna en un punto alejado de los muros y las revanchas existentes. Como respaldo a este diseño se han actualizado al año 2019 los

estudios para el VMP (ver capítulo 3.2), el que analiza precipitaciones de 3 días de duración. Los resultados de dicho análisis muestran que:

- El Volumen Máximo Probable (VMP) ocasionado por un evento de Precipitación Máxima Probable (PMP) de 3 días para las etapas de crecimiento E4, E5 y E6, por el método de Stowhas corresponde a 3,7 Mm<sup>3</sup>, 4,0 Mm<sup>3</sup> y 3,7 Mm<sup>3</sup> respectivamente, se deja establecido que Wood considera que estos valores son conservadores;
- De acuerdo con el Plan de Llenado actualizado al 2019, se determinó que respetando la revancha de 3 m, el embalse de relaves de Teck-CdA es capaz de contener, para las etapas de crecimiento E4, E5 y E6, un evento de PMP con una duración de 3 días estimada por los métodos de Stowhas (método con base estadísticas de Chile);
- Para almacenar de manera segura el VMP calculado durante un tiempo de un par de meses, se deben implementar ajustes al plan de llenado, que permitan alejar la laguna de aguas claras de un punto en el MN, otro en el MNO y otro en el MO. Estas nuevas condiciones de borde deberán estar incorporadas en la actualización del plan de llenado 2019, agregándose descargas adicionales;
- Para almacenar de manera segura el VMP calculado, se deben impermeabilizar completa la cara aguas arriba del MP, ya que en todas las etapas la laguna de aguas claras con crecida se apoyaría completamente contra dicha estructura; y
- A modo de chequeo, el GRB.2018 recomendó estudiar la capacidad de almacenamiento que tienen las instalaciones para tormentas de 24h de duración y periodos de retorno T<sub>50</sub>, T<sub>100</sub> y T<sub>200</sub>, eventos que el comité considera son más probables que ocurran durante la operación de las instalaciones. En todos los casos detallados, los muros quedan separados de la laguna producto de la crecida por extensas playas de relaves, salvo el caso del MP, lo que ratifica la necesidad de impermeabilizarlo.

### 8.3.3. Manual de Operación

El manual OMS es el documento que reúne las acciones a tomar en la operación normal y ante emergencias de forma de operar según las guías y criterios del diseño. A continuación, se indican los aspectos más relevantes que tienen que ver con la seguridad de la TMF y que son parte del manual:

- Plan de depositación y manejo de laguna;
- Etapas de crecimiento de las obras principales; y
- Plan de monitoreo de aguas y relaves.

El actual manual OMS revisión 4 de fecha 30 de abril de 2018, se aplica satisfactoriamente y comprende todos estos aspectos con especial énfasis en el

monitoreo de agua y relaves, y se tiene prevista su actualización (revisión 5) para el Q2 del año 2020.

#### 8.3.4. Revisión de la clasificación de la presa

Al momento de escribir el presente reporte, la estructura contenedora más alta de la TMF corresponde al MNO con 108,00 m de alto y el volumen acumulado al 31 de diciembre de 2019 es 99,07 Mm<sup>3</sup>. De acuerdo con estas características la clasificación de este depósito, según la regulación de la DGA (ver punto 1.3) es Categoría C (muro mayor a 30 m de altura y/o almacenamiento superior a 60 Mm<sup>3</sup>).

### 8.4. Comportamiento físico

#### 8.4.1. Geotécnico

El comportamiento geotécnico del área del depósito se considera satisfactorio.

El estéril de mina para la construcción del relleno masivo ha variado sus características desde el rockfill de gran tamaño hasta una grava o una grava arenosa. En una primera aproximación, este cambio en la gradación del relleno masivo, se debería traducir en una mejor compactación de los rellenos, sin embargo, se requiere de una campaña de ensayos de terreno / laboratorio para estimar las reales propiedades de este relleno.

El estéril de mina disponible para la construcción del relleno de transición de la E4, se aprecia consistentemente con un contenido de finos mayor que el utilizado durante la construcción de la etapa 3, así como y tamaño máximo es consistentemente menor, comparado con las Etapas anteriores, sin embargo, el material cumple con la especificación de construcción vigente.

Se monitoreará de cerca la explotación de los acopios durante la construcción, de manera de adelantarse a cualquier cambio significativo y permanente en las características granulométricas del material disponible.

Tal como se señala en el punto 8.3.1 precedente, los agrietamientos que se han presentado son consustanciales al diseño pues derivan de la colocación de una capa de material cohesivo compactado sobre un relleno granular de densidad media o sin compactación (como es el caso del relleno del Botadero Sur). Estas grietas no alcanzan a travesar el espesor completo del relleno de transición y por ende no se pierde la continuidad de la capa. Tampoco se detecta un riesgo de inestabilidad local o global. La estabilidad general de los muros no está en riesgo, aunque se debe mantener el monitoreo y vigilancia intensivos sobre la TMF, de modo de detectar algún cambio de esta condición, en las etapas de crecimiento y operación futuras.

La presencia de grietas requiere un monitoreo topográfico periódico para controlar y analizar el movimiento tanto del muro, como de la capa de transición, durante la operación del depósito, para lo cual la estación total robotizada y la disponibilidad en tiempo real de los datos por ella medidos, cobran gran relevancia.

Al momento de escribir el presente reporte ya se dispone de datos vectoriales en tiempo real para el desplazamiento de los prismas distribuidos en la plataforma operacional de la E3 para seis (6) meses en los muros MN, MNO, BS, MO y MO(S), estos datos deberán ser analizados durante el año 2020, como parte de la siguiente etapa del estudio de asentamientos.

Asimismo, se recomienda continuar con los trabajos de sellado con arena de las grietas en los taludes de la capa de transición, a modo de prevenir la infiltración de relaves una vez la playa cubra la grieta y además evitar así el aumento de tamaño del agrietamiento que se podría producir durante la temporada de lluvias, por la erosión producto de la escorrentía superficial.

## 8.4.2. Hidráulico

### 8.4.2.1. Muro MNO

En la actualidad se han mantenido los flujos en el sistema colector de filtraciones del MNO, los que luego de las mejoras desarrolladas a inicios 2018, presentan una mayor confiabilidad respecto de su captación, colección y aforo. Se estima que el rango de error actualmente por aforador de  $\pm 0,4$  L/s, lo que comparados con los  $\pm 1,5$  L/s de las mediciones anteriores, indirectas y/o con reglas limnimétricas corroídas, se consideran una mejora sustancial desde el punto de vista del monitoreo y vigilancia de las instalaciones.

### 8.4.2.2. Muro MO

Durante el año 2016 se comenzó a reportar un flujo menor de agua en el cajón aguas abajo del muro Oriente, cuya cañería de HDPE, protegida mediante dado de hormigón armado H-30, pasa por debajo de una pila ROM. Respecto a este punto, se deja establecido que al momento de la vista la cañería de descarga estaba seca y el piezómetro de cuerda vibrante PE-009A, instalado en la fundación del MO que desde el Q4 del año 2015 presentaba una tendencia leve pero consistente al aumento del nivel freático (ver Figura 4-33,4-34 y 4-36), a mediados de 2018 detiene esta tendencia.

### 8.4.2.3. Muro MN

Adicionalmente, se han verificado la presencia de un flujo de agua intermitente en el aforador del MN (denominado AFR – MN) y en un punto a una distancia de 80 m hacia aguas abajo del pie del MN (denominado AFL-MN), en donde el agua aflora directamente desde el suelo natural. Ambos flujos de agua presentan actividad cada vez que se opera las descargas de relaves D2 / D3, instaladas en el MN hacia el estribo poniente / oriente respectivamente y, por otro lado, solo el punto AFL-MN presenta actividad luego de cada evento de precipitaciones. Al momento de la visita ambos puntos de control presentaban flujo, ya que las descargas D2 / D3, han estado operando regularmente desde mediados de septiembre de 2019, hasta el inicio de la Huelga Legal y permanentemente desde el término de la paralización hasta el término del año 2019, por lo que se proyecta que los flujos se mantengan en el corto y mediano plazo.

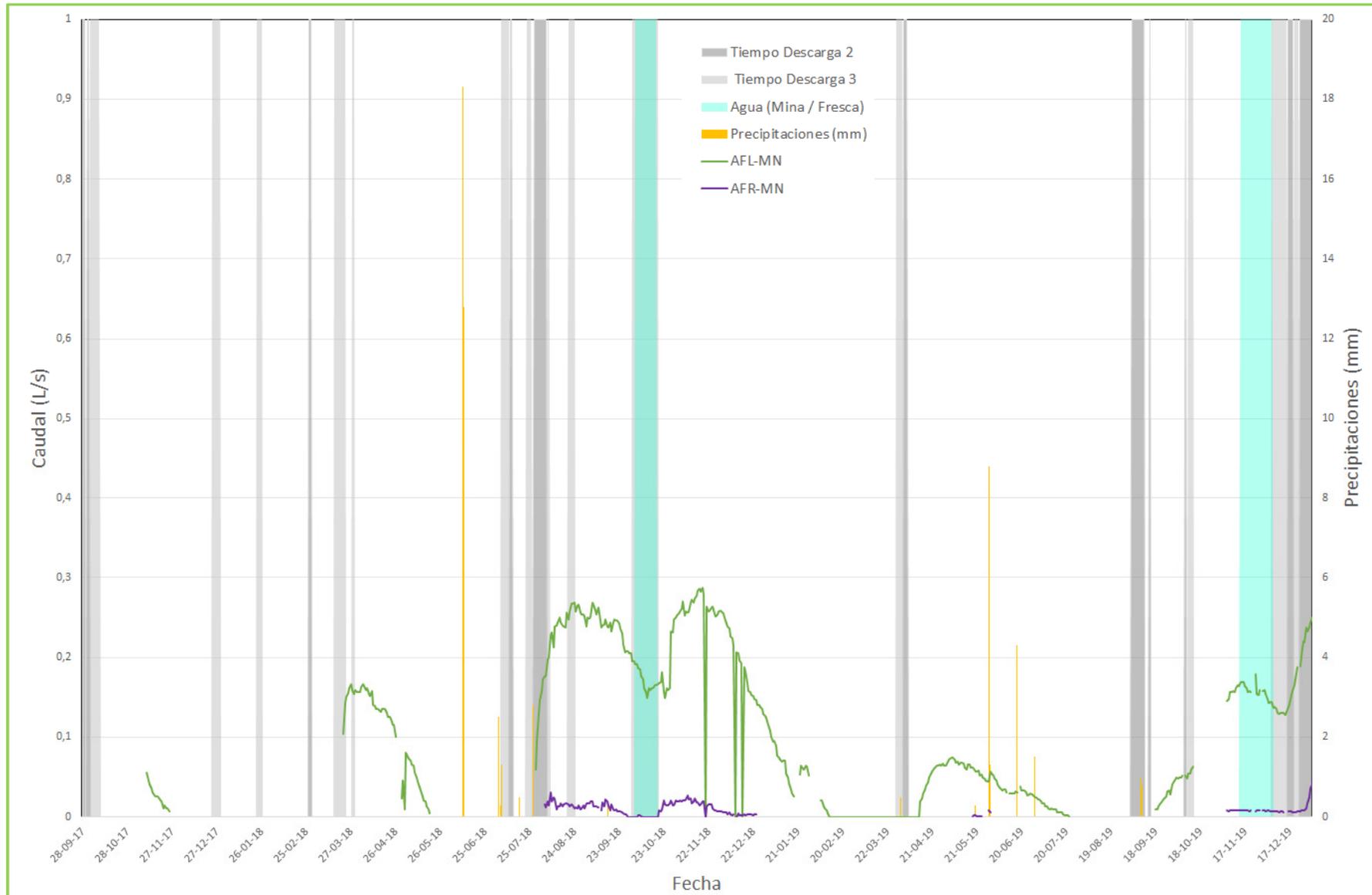
Se debe mencionar que, además de la descarga de relaves a través de las descargas D2 y D3 mencionadas anteriormente, durante el periodo de Huelga Legal, se descargó de manera controlada un total de 383.982 m<sup>3</sup> de agua, desde la posición del spigot D3, desglosados de la siguiente manera: un 13% producto del dewatering de la mina desde el día 14 hasta el día 30 de noviembre y un 87% de agua fresca, desde el día 14 de noviembre hasta el día 05 de diciembre. Este volumen de agua incorporado al embalse permitió compensar las pérdidas durante el periodo de huelga en que no se descargó relaves, mejorando así la disponibilidad de agua de proceso para la planta concentradora durante el periodo estival que presenta las mayores pérdidas por evaporación, la actividad de los afloramientos, drenajes, descargas de relaves y descarga de agua se puede apreciar en la Figura 8-4.

Cabe destacar que los piezómetros de cuerda vibrante instalados en la fundación del MN (PE-015 y PE-016), no muestran actividad alguna que pueda relacionarse con un aumento del nivel freático dentro del muro hacia aguas arriba, lo cual es esperable, dado que el caudal drenado continúa siendo bajo – bajo.

Se deja establecido que el dren central (ver Figuras 4.2 y Figura 4-3: Sección Tipo Dren Central), que capta las aguas conducidas por los drenes laterales y las evacúa en el aforador (hacia aguas abajo del MN), está diseñado para que por su parte superior (top) pueda captar cualquier agua de filtración a lo largo de su recorrido, por lo tanto, es opinión de Wood que el flujo de agua asociado al punto de control AFR-MN, es conducido por la roca de fundación, debajo del muro MN, y es siendo captado por el dren central en algún sector hacia el término de su recorrido de 342 m aproximadamente, ya que una campaña de calicatas en el sector del AFL-MN realizada el año 2018, detectó la presencia de agua somera durante los eventos de afloramiento a un par de metros de profundidad bajo el nivel de terreno natural, y que escurre hacia el rajo de la mina. La empresa encargada del estudio hidrogeológico integral WSP, ha incorporado este sector al alcance de su estudio y a la fecha de escribir el presente informe, se considera que esta condición no reviste un peligro para la seguridad de las instalaciones, dado que al momento de detener la descarga de relaves desde el sector norte, los afloramientos desaparecen en el mediano plazo, y los flujos involucrados siguen siendo bajos- bajos.

Todos los flujos colectados están dentro de los valores previstos en el diseño para cada uno de los muros y se presentan de manera gráfica para el caso de MNO en las Figuras 3-8, 3-9, 3-10 y 3-11. El agua de los flujos es agua limpia, sin turbiedad, además, el depósito presenta la laguna de aguas claras posicionada adecuadamente a la cola del embalse en el punto de instalación del sistema de bombeo de agua recuperada y alejada de los muros por extensas playas de relaves.

Figura 8-4: Caudal de Afloramientos MN, al 31 de diciembre de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood)



## 8.5. Comportamiento operacional

### 8.5.1. Procedimientos operacionales

Los procedimientos corresponden a los Estándares Operativos de Teck CdA, los cuales forman parte de las capacitaciones iniciales a todas las empresas contratistas que prestan servicios en el sitio.

### 8.5.2. Incidentes y confiabilidad

#### 8.5.2.1. BS: Erosión de Talud

Relacionado con el sistema de bombeo para la distribución de relaves (TK-042): la operación intermitente del rebose del cajón de distribución, ya sea por falla de la bomba de distribución y/o por la presencia de rípios en el relave, erosionó la cara del talud interno de la protección del BS en el sector de la cañería de rebose. Dicha erosión comprometió el ancho mínimo recomendado por el diseño para el relleno de transición (3 m), registrándose mediante el levantamiento topográfico un ancho mínimo de 1,8 m en los sectores más dañados, cabe destacar que la condición de rebose descontrolado fue detectada en tiempo real, tanto por los operadores Teck CdA como por la inspección de terreno Wood, y confirmado de manera remota mediante las cámaras de sistema de monitoreo TAPD2017, el día 22 de febrero de 2019.

Dada la ubicación relativa del sector erosionado, se hace difícil la aplicación del tratamiento de reparación habitual, mediante la reposición del material erosionado a través de la construcción con relleno de transición (en capas compactadas de 40 cm de espesor), debido a que no se puede programar la operación de la cañería de rebose, lo que reviste un riesgo para el ingreso de los equipos de movimiento de tierras. Del mismo modo, la operación intermitente del rebose no permite ingresar con los equipos topográficos para hacer el levantamiento de la zona erosionada del talud, por lo que se le solicita a Teck CA desplazar el rebose 40 m hacia el sur de la posición de diseño, lo que se realiza el mes de mayo de 2019.

Durante el mes de septiembre de 2019, la habilitación gravitacional del cajón de distribución en su nueva posición a la cota de coronamiento de la E5 (El. 1.177,5 msnm), permite desplazar 250 m hacia el norte la cañería de rebose alejándola del área de estudio, con esto la reparación se programa para el mes de octubre del año 2019. El periodo de Huelga Legal, postergando la reparación para el Q4 del año 2019, lo que se considera una condición más favorable desde el punto de vista de la humedad de la playa, la que se encontraba secándose por un periodo de 2 meses.

Dado que la reparación se debe realizar por debajo del nivel de la playa de relaves, el método propuesto consistió en excavar la playa seca, hasta una profundidad h: 2,7 m, por debajo del nivel base de la erosión. El movimiento de tierras considera la restitución del alineamiento de la cara interna de la protección del BS, a la inclinación de diseño (1,6 (H) / 1 (V)) con el mismo relave depositado sin removerlo, para luego aplicar un parche sobre el área erosionada con geomembrana de 1,5 mm de espesor nominal, anclada a la playa de relaves, mediante la disposición del relave producto de la

excavación de la playa seca. Entre la cara del talud reconstituido y el liner, se instaló geotextil de 420 gr/m<sup>2</sup>.

Los trabajos de reparación se desarrollaron entre los días 09 de diciembre de 2019 y 10 de enero de 2020, y se encontraban finalizados al momento de la visita. En la Figura 8-5 se puede apreciar el levantamiento de la erosión y el movimiento de tierras propuesto, en tanto en la Figura 8-6, se presenta la información As Built de los trabajos, junto con fotografías del proceso mismo de reparación.

Figura 8-5: BS, Movimiento de Tierras propuesto, para erosión de talud sector Rebose TK-042, Plano E40165-840-R-PL-149\_RB (ref. Wood).

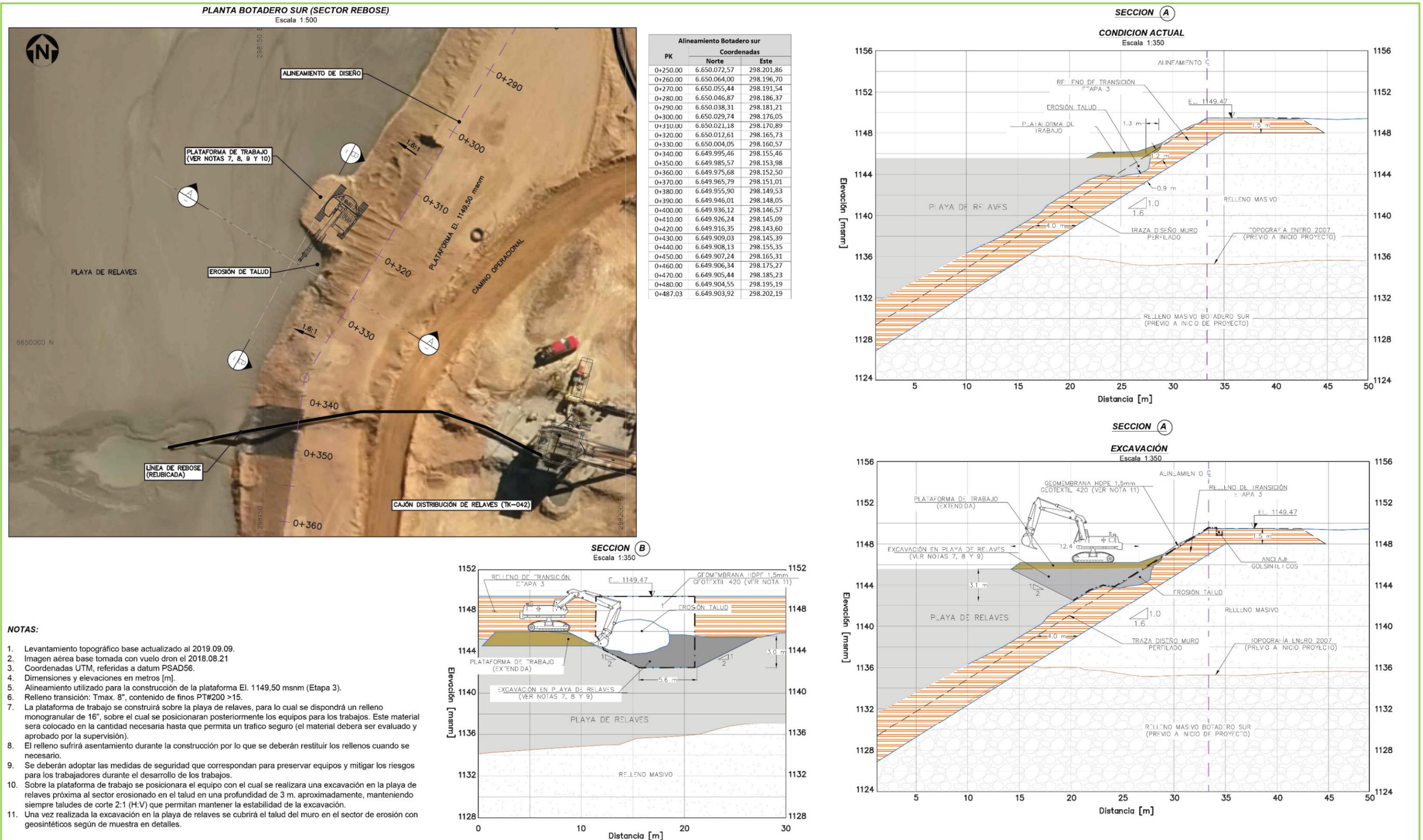
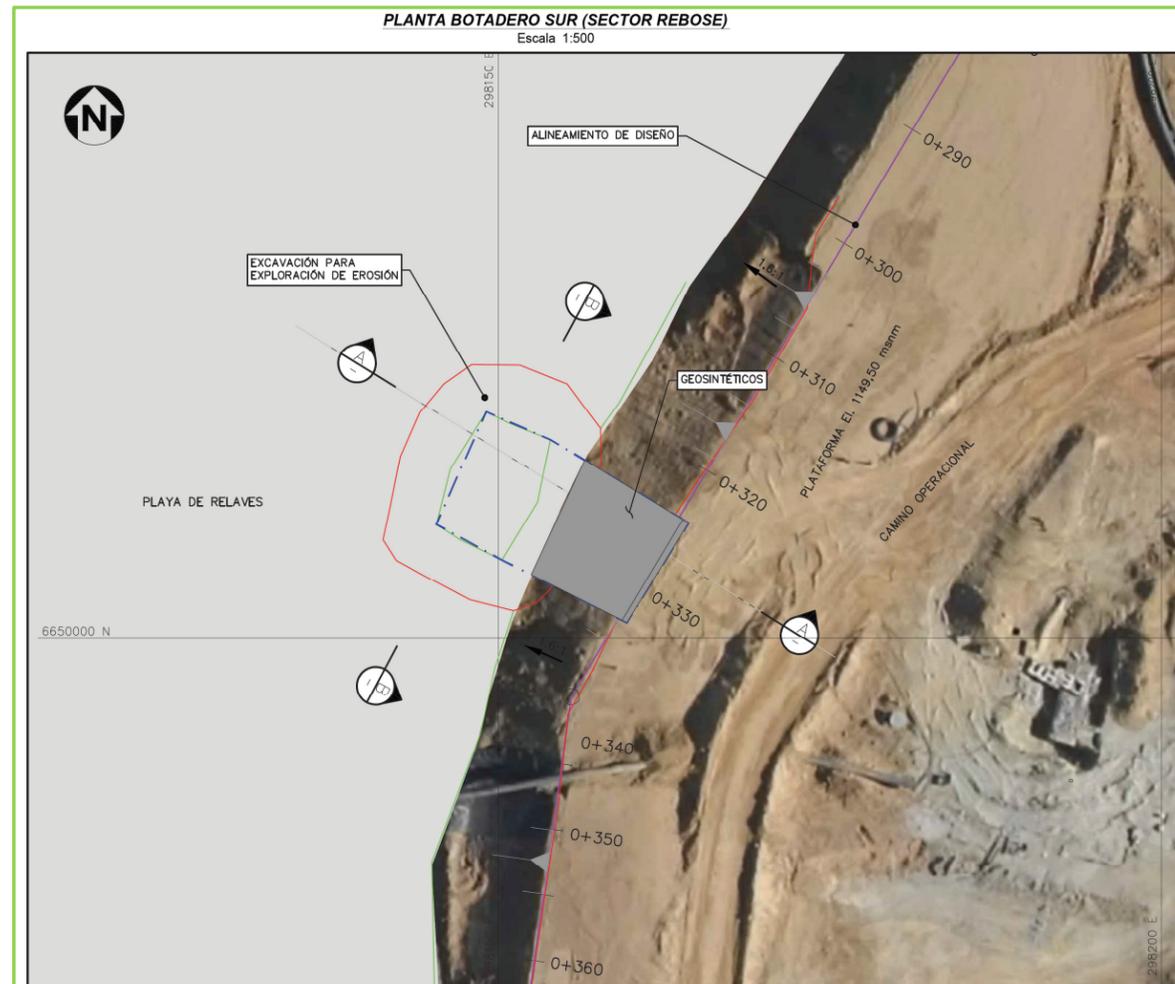


Figura 8-6: BS, As Built y respaldo de la reparación para erosión de talud sector Rebose TK-042, Plano E40165-840-R-PL-155\_RB (ref. Wood).



2019.12.09: Inicio de excavación en playa de relaves



2019.12.30: Excavación en playa de relaves

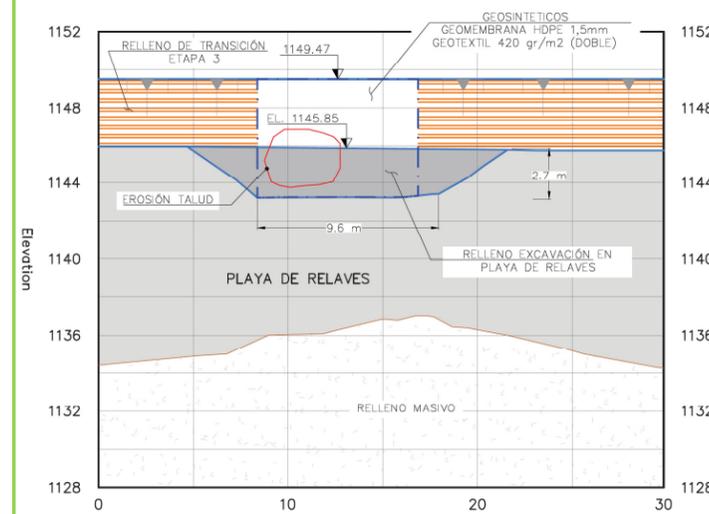


2020.01.07: Excavación en playa de relaves, exploración de erosión

NOTAS:

1. Levantamiento topográfico de excavación realizado el 2019.12.30.
2. Imagen aérea base tomada con vuelo dron el 2019.12.19
3. Coordenadas UTM, referidas a datum PSAD56.
4. Dimensiones y elevaciones en metros [m].
5. Alineamiento utilizado para la construcción de la plataforma El. 1149,50 msnm (Etapa 3).
6. El talud del sector en donde se encontró la erosión fue cubierto con una capa doble de geotextil 420 gr/m2 y sobre este una capa de geomembrana de HDPE de 1,5 mm.
7. Los geosintéticos fueron anclados en la parte superior con una zanja de anclaje y el extremo inferior con la excavación realizada en la playa de relaves utilizada para la exploración de la erosión y perfilado del talud.
8. Trabajos realizados entre el 2019.12.09 y el 2020.01.10.

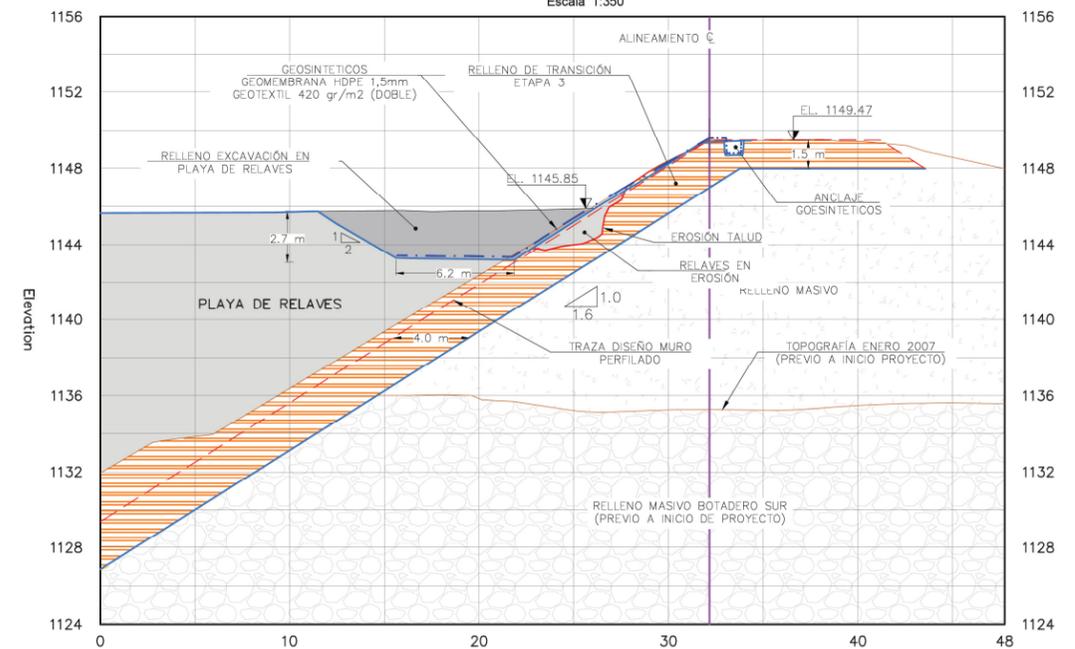
SECCION (B)  
Escala 1:350



2020.01.07: Colocación de geosintéticos en talud

SECCION (A)

EXCAVACIÓN  
Escala 1:350



### 8.5.2.2. MO: Erosión de Talud

Relacionado con el sistema de distribución de relaves, ramal sur: durante la madrugada del 18 de agosto de 2019, se produce el desacople del flanche ubicado aguas abajo de la descarga 5, derramándose los relaves conducidos por la cañería tanto sobre la plataforma operacional de la E3 (El. 1.149,5 msnm) como en la cara interna del talud de la misma etapa, se estima que la condición de derrame operacional se prolongó por un lapso de 2 h aproximadamente, en las últimas horas del turno de noche y el inicio del turno de día. El derrame en la plataforma no genera daño al relleno de transición, sin embargo, el escurrimiento sin control de relaves por el talud lo erosiona, generando cuatro (4) cárcavas de profundidades que varían entre los 0,70 m y los 1,5 m, lo que compromete 50 cm el espesor mínimo recomendado por el diseño para el relleno de transición (3 m), por lo que se debe reparar de acuerdo con el procedimiento habitual. El área erosionada compromete el talud en una longitud de 20 m aproximadamente, desde el coronamiento de la E3 hasta la playa de relaves y se programa su reparación, posterior a la habilitación gravitacional del cajón de distribución de relaves, en su nueva posición a la cota de coronamiento de la E5 de crecimiento diferido (El. 1.177,5 msnm), para cuando se tenía programado operar por el ramal norte de la distribución por un periodo aproximado de 2 meses.

La reparación consiste en excavar el talud en un ancho de 2,0 m, es decir 0,50 m más que la máxima profundidad de cárcava (1,5 m en este caso particular), y reponer el relleno de transición en capas de 40 cm de espesor compactado.

Los trabajos de reparación estaban en pleno desarrollo al momento de la visita, habiéndose iniciado el día 06 de enero de 2020 y finalizando el día 14 de enero de 2020. En la Figura 8-7 se puede apreciar el levantamiento de la erosión y el detalle de la reparación propuesta, en tanto en la Figura 8-8, se presenta la información As Built de los trabajos de reparación.

Figura 8-7: MO, Reparación Talud Aguas Arriba sector D5, Plano E40165-840-R-PL-153\_RB (ref. Wood).

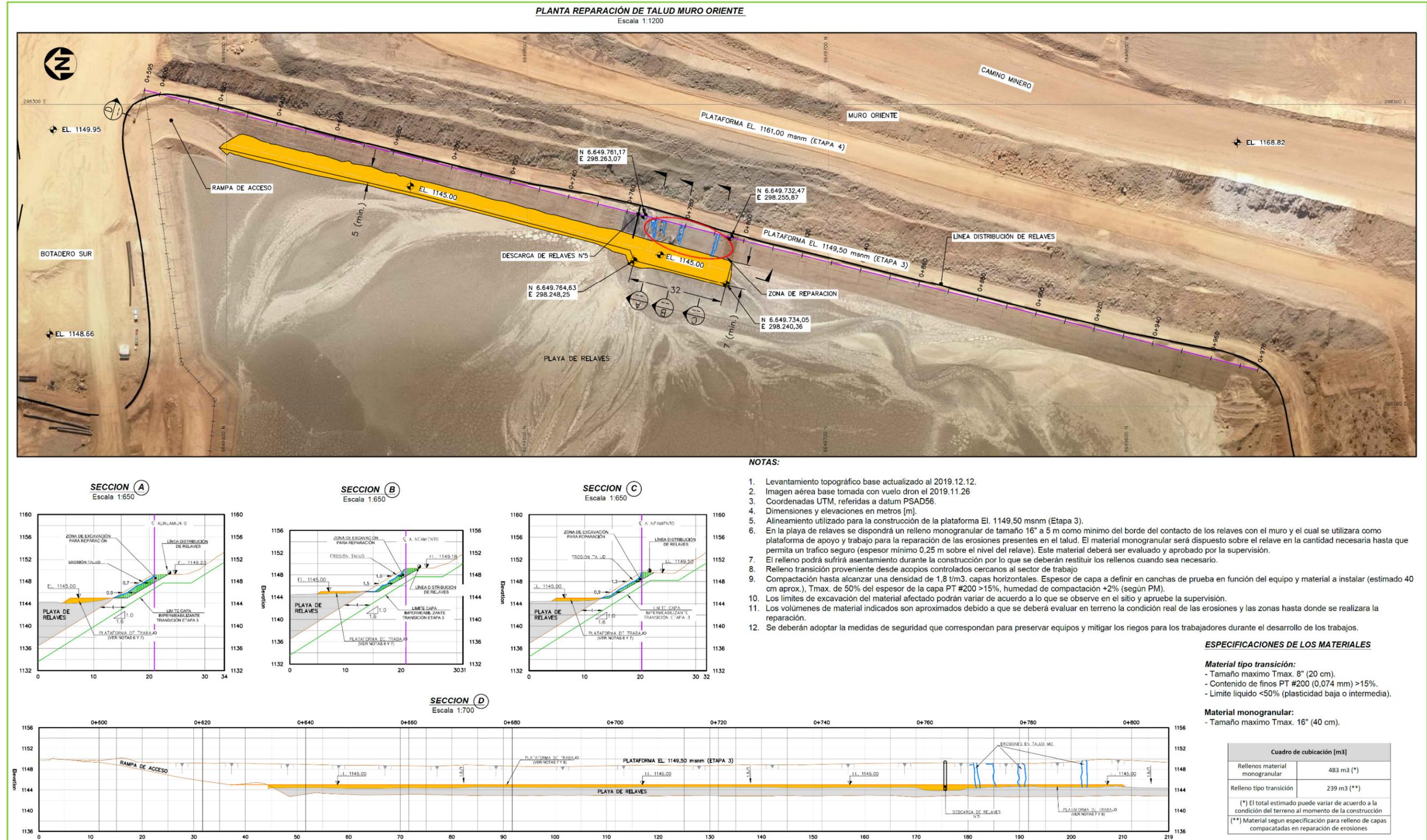
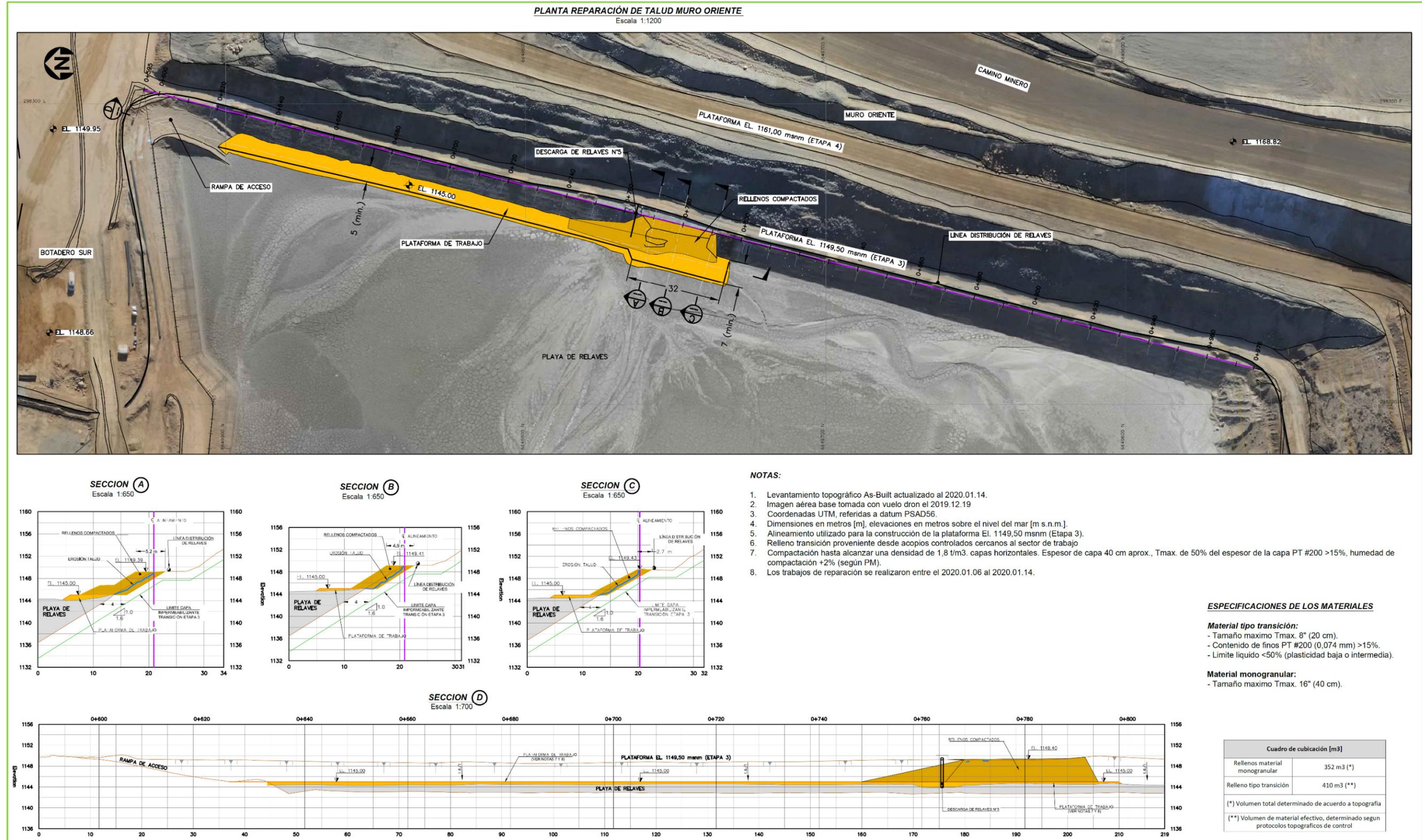


Figura 8-8: MO, As Built Reparación Talud Aguas Arriba sector D5, Plano E40165-840-R-PL-163\_RB (ref. Wood).



### 8.5.3. Mantenimiento

Las actividades de mantención son realizadas directamente por Teck CdA, y pueden separarse principalmente en dos (2): Mantenimiento Periódico y Mantenimiento Post Evento. Las tareas de mantención derivadas de cualquier deficiencia detectada en el DSI, pueden corresponder a cualquiera de las dos (2) categorías antes mencionadas.

#### 8.5.3.1. Mantenimiento Periódico

El mantenimiento periódico, también denominado como de Rutina y Predictivo, incluye pero no se limita a las siguientes estructuras y sistemas:

- Muros;
- Trincheras: Zanja de aproximación, Taludes y Plataforma Manifold;
- Instrumentación Geotécnica y para Monitoreo de Agua: durante el periodo se desarrolla una mantención de la instrumentación geotécnica por parte de GeoMediciones, la que consiste principalmente en una revisión de todos los sistemas de respaldo, es decir: baterías, paneles solares, memoria de almacenamiento, etc.;
- Bombas de impulsión / distribución y cañerías de relaves, y su instrumentación asociada;
- Equipos y conducciones eléctricas, y su instrumentación asociada;
- Equipos y cañerías de agua, y su instrumentación asociada; y
- Equipos de Construcción.

#### 8.5.3.2. Mantenimiento Post Evento

El Mantenimiento Post Evento, incluye pero no se limita a los siguientes eventos:

- Rotura o Fuga de Cañerías;
- Sismo Intenso; y
- Tormenta.

## 8.6. Revisión del Manual de Operaciones

Se encuentra emitida la revisión 4 del manual OMS, cuyas principales actualizaciones se refieren a:

- Desarrollo del ítem de Mantención;
- Detallamiento de los compromisos asociados a la TMF, que se indican en la RCA;
- Agrega ítem plan de cierre; y

- Agrega ítem entrenamiento y competencias.

La revisión 5 del manual OMS, programada para el Q4 del año 2019, se ha reprogramado para el Q2 del año 2020, producto del periodo de Huelga Legal ya mencionado.

### 8.7. Revisión del Plan de Preparación y Respuesta ante Emergencia

La revisión 5 del Plan de Respuesta ante Emergencia se emitió durante el periodo con fecha 30 de abril de 2019.

No existe Plan de Preparación ante Emergencias específico para la TMF, se sugiere su emisión durante el siguiente periodo, posterior a la finalización del estudio de inundación, programado para el Q1 del año 2020.

### 8.8. Revisión de Seguridad (DSR)

Se deja establecido que la primera inspección DSR para la TMF en estudio, se realizó durante el Q3 del año 2018 y estuvo a cargo de Arcadis Chile (ACL en adelante) y en su declaración indica (en *cursiva* cita textual):

*“El depósito de relaves (TMF) CdA Andacollo y todos los muros perimetrales de contención incluyendo entre ellos el Botadero Sur, ha sido diseñado, construido y es operado en la actualidad de forma segura, de acuerdo con la evaluación de ACL (Arcadis Chile) cuya revisión de seguridad (DSR) del TMF no revelo deficiencias o no conformidades que resulten en riesgos mayores para la comunidad circundante, para las personas e instalaciones de Teck / CdA o para el medio ambiente.”*

A continuación se presenta el plan de acciones específicas ante recomendaciones DSR, cabe destacar que si bien aún no hay temas que se encuentren cerrados a la fecha de emisión del presente documento, Teck CdA está avanzando de manera sistemática en cada uno de los ítems:

**Tabla 8-6: Recomendaciones DSR (1 de 3) (ref. Doc. 5071-0000-RE-INF-001\_R2, ACL).**

Teck		PLAN DE ACCIONES ESPECÍFICAS ANTE RECOMENDACIONES DSR			ARCADIS <small>Design &amp; Consultancy for natural and built assets</small>	
#	Ítem	Detalle	Comentario en DSR	Acción	Entregable(*)	
<b>HALLAZGOS</b>						
1	Estabilidad y Agrietamientos Muros MN, MNO, BS Y MO	(1a) Mejorar la caracterización geológica, geotécnica, hidrogeológica de la fundación para cada muro y secundariamente para el resto de la cubeta, con énfasis en los sectores que se perciben mas vulnerables.	<i>Los documentos disponibles para la DSR correspondientes a los análisis de estabilidad estática de los muros TMF y proporcionados por CDA fueron: "2007-2077-1IT-1-018 Informe Técnico Análisis Estabilidad Seudo Estática Depósito de Relaves CDA AMEC/Arcadis Geotécnica 2005" estudio realizado durante la fase de factibilidad del proyecto hipogeo "2111-1IT-R-079, Informe Técnico Análisis Estabilidad Estática Depósito de Relaves CDA, AMEC 2007". los dos primeros estudios constituyen aproximaciones a los requerimientos de una buena práctica de geología de ingeniería para sitios de presas, desde estudios regionales de escalas 1:20.000 – 1:10.000 en el mejor de los casos.</i>	Para cada muro se deben preparar planos geológicos de la fundación a escalas adecuadas con los detalles particulares, integrando las últimas investigaciones realizadas (MNO y BS). Deberán identificarse los estudios e investigaciones de terreno necesarios que permitan obtener la información requerida.	Caracterización adecuada geológica-geotécnica e hidrogeológica de cada uno de los muros, se debe presentar propuesta de estudios e investigaciones al GRB.2019;	
		(1b) Seguimiento y desarrollo de estudios de agrietamientos para asegurar que afectan solamente al relleno de transición y que su mecanismo de generación es independiente de las condiciones geológicas/hidrogeológicas de la fundación y de las características de los rellenos masivos.	<i>Dichos taludes de los muros MN, MNO, MO presentan rasgos de agrietamientos tanto en el talud mismo como en la bermas de material de transición. En tanto no quede documentado en forma concluyente que el agrietamiento del material de transición no afecta a los rellenos masivos, ACL debe levantarlo como un tema en progreso que tiene el potencial de provocar disrupciones importantes en el proceso del TMF"</i>	Monitoreo de los agrietamientos de los muros, incluyendo monitoreo de la etapa 4 para detectar la aparición de grietas. Estudio de los mecanismos de generación para establecer si no afectan los rellenos masivos y son independientes de las condiciones de fundación. Evaluar alternativas de construcción para el relleno de transición, de manera de minimizar tiempo de exposición.	Plan de monitoreo y estudios, incorporar monitoreo InSar, que detecte la aparición de los agrietamientos, se debe presentar propuesta de análisis al GRB.2019;	
2	Respuesta sísmica MO Y BS	Revisar la coherencia entre los criterios de diseño del TSF, los parámetros recomendados en los estudios de peligro sísmico actualizados para los sismos de diseño y la evaluación (inspección post evento) de la respuesta sísmica de los muros del TSF; en referencia a los criterios de aceptabilidad para las evaluaciones de estabilidad de acuerdo a la normativa vigente.	<i>En opinión de ACL y a partir de una comparación directa entre las magnitudes, distancias al epicentro, y las aceleraciones máximas registradas, las cargas impuestas por el sismo de 2015 habrían sido inferiores a las correspondientes al sismo de operación propuesto por Saragoni (Tabla 4-1). En este contexto cabe señalar que el factor de seguridad obtenido en el análisis MEL del muro (FS=1.06) considerando el agrietamiento producido durante el sismo de 2015, es inferior al requerido para el caso sísmico por los criterios de diseño señalados en los documentos 2077-1CD-6-007-0 y 2077-1IT-1-041 y a los criterios de aceptación de estabilidad contenidos en el DS 248 y D50 DGA. En tanto el sismo real del 2015 aparece como inferior en potencial destructivo al sismo de operación (OBE) y también al sismo máximo creíble (MCE) será aconsejable efectuar una revisión de la estabilidad dinámica de los muros, incluyendo la información disponible más reciente. En todos los casos será conveniente consolidar una referencia actualizada para todos los criterios de diseño con las modificaciones que fueran necesarias corrigiendo las diferencias entre los documentos existentes y su coherencia, tanto con los estándares Teck y la normativa reglamentaria vigente.</i>	Revisar los estudios y criterios de diseño sísmico y establecer los criterios de diseño sísmico coherentes que cumplan las normativas chilenas y las de Teck. Desarrollar el análisis de estabilidad dinámica.	Desarrollo del estudio de estabilidad dinámica (PDN 13, actualización del diseño), se debe presentar avance del 50% al GRB.2019;	
3	Filtraciones MNO	Mejorar el entendimiento de las condiciones locales geo/hidrogeológicas y verificar el posible control estructural de flujos preferenciales no captados por los drenes y controlados estructuralmente.	<i>En MN y en especial en MNO se observan afloramientos de agua y caudales efluentes de los drenes cuya importancia puede ser creciente en el tiempo y cuya evaluación requiere de un incremento significativo en el entendimiento de las condiciones geológicas e hidrogeológicas de los sitios de fundación de los muros.</i>	Profundizar el estudio de la geología e hidrogeología del MNO y MN para analizar el posible control estructural de los flujos no captados por los drenes y analizar y diseñar medidas de intercepción / captación para los afloramientos (El Churque).	Modelo Hidrogeológico distrital, geofísica dedicada (pilas, depósito de relaves área industrial) con focos adecuados (zoom) aguas abajo del MNO y MN	
4	Filtraciones MN	Igual que el anterior, en una etapa mas temprana (incipiente) de su desarrollo.	Ídem punto 3	Ídem punto 3. Replicar la normalización del afloramiento, de acuerdo al proyecto de normalización desarrollado en el Churque, a comienzos del año 2018.	Ídem punto 3	

**Tabla 8-7: Recomendaciones DSR (2 de 3) (ref. Doc. 5071-0000-RE-INF-001\_R2, ACL).**

Teck		PLAN DE ACCIONES ESPECÍFICAS ANTE RECOMENDACIONES DSR			<small>Design &amp; Consultancy for natural and built assets</small>	
#	Item	Detalle	Comentario en DSR	Acción	Entregable (*)	
<b>HALLAZGOS (2)</b>						
5	Documentos EPP-ERP-TARP	Generar documentos individuales como parte de los documentos clave para la gestión del TMF	<i>La mayor parte de los procedimientos e instancias de inspección y control de la gestión de la seguridad del TMF se encuentra cubierta tanto en el ya referido 00-OMS-R4-Amec FW-2018 Manual OMS como en el Plan de Contingencia SSO y ambientales depósito de Relaves Rev 04-2017. Si bien el contenido de estos documentos abarca en buena medida los EERP y EPP clásicos como también los umbrales de alerta y alarma (TARP), de acuerdo a los estándares de la Canadian Dam Association (CDA) será deseable la generación formal de los mismos y su inclusión entre los documentos que se consideran claves para la gestión integral del TMF.</i>	Independizar documentos, y actualizarlos anualmente	Generar Documentos Independientes, requerimiento de la guía Teck.	
6	Balance de Aguas TDF	Efectuar un upgrade para conformar un modelo estocástico específico del TMF, y que forme parte integrante del balance corporativo de largo plazo (sitewide), basado en el Plan LOM.	<i>Ambos documentos ("Informe Técnico Balance de Aguas. N° 2111-1/T-R-073. CDA, Proyecto N° 2111" y "Balance de Aguas Operacional Histórico Embalse de Relaves, Período 2010-2017; Amec Foster Wheeler, 2018",) deberán complementarse e integrarse en un balance estocástico específico del TMF, dinámico y de utilidad operacional. Dicho balance operacional debe formar parte integrante del balance corporativo de largo plazo (sitewide), basado en el Plan LOM y que abarca además los balances específicos de todas las operaciones de CDA.</i>	Efectuar una actualización para conformar un modelo estocástico específico del TMF y que forme parte integrante del balance corporativo de largo plazo. Basado en el plan LOM. Utilización de la herramienta Goldsim para la modelación del balance.	Balance de Agua Operacional el Embalse, se debe presentar la modelación terminada al GRB.2019 (1) y modelo de balance de agua distrital (2)	
7	Caracterización de sitios de Muros y cubeta	Integrar, completar e interpretar la información geológica, hidrogeológica y geotécnica a escalas adecuadas.	También es parte de acción contemplado en el punto 1a, pero extensible a toda la cuenca del TMF y el extremo sur (MS y MSO) por la importancia ambiental.	Preparar planos geológicos de la cubeta y fundación de los muros a escalas adecuadas con los detalles particulares, integrando las investigaciones de terreno que se realicen. Identificar estudios e investigaciones de terreno necesarios para obtener la información requerida.	Caracterización adecuada geológica-geotécnica e hidrogeológica de los muros y de la cubeta. Presentar propuesta de estudios e investigaciones al GRB.2019.	
8	Hidrología y manejo de crecidas	Revisar, completar e integrar la información hidrológica del TMF en un documento dedicado parte de los documentos claves para la gestión del TMF	<i>Se pueden identificar algunas diferencias de procedimientos y bases de cálculo entre las distintas evaluaciones realizadas durante las etapas del desarrollo del TMF y que conducen a resultados poco comparables entre sí. Será recomendable por tanto, consolidar los estudios hasta ahora realizados en un informe base, que ACL considera debe formar parte del conjunto de documentos clave para la gestión segura del depósito.</i>	Actualizar criterio de Diseño Hidrológico	Finalizar estudios de Inundación y Crecida Máxima Probable, se deben presentar los resultados el GRB.2019, tomado recomendaciones GRB.2017 y GRB.2018	

**Tabla 8-8: Recomendaciones DSR (3 de 3) (ref. Doc. 5071-0000-RE-INF-001\_R2, ACL).**

Teck		PLAN DE ACCIONES ESPECÍFICAS ANTE RECOMENDACIONES DSR			<small>Design &amp; Consultancy for natural and built assets</small>	
#	Ítem	Detalle	Comentario en DSR	Acción	Entregable (*)	
<b>MEJORAS</b>						
1	Monitoreo : Acelerógrafos	Mejorar instalación acelerógrafo al pie del MNO. Coordinar en tiempo real con otros acelerógrafos fuera TMF y en coronamiento muro(s).		Mover acelerógrafo al pie del C'Arenas, estribo poniente del MNO, aguas abajo.	Contemplar para la reubicación, la interacción con el segundo acelerógrafo a instalar sobre la Pl. TK-042, se debe presentar proyecto al GRB.2019;	
2	Monitoreo : Aforos	Mejorar tubos de llegada a vertederos, automatizar.		Que la descarga del tubo no se ahogue al entrar al aforador. Implementar sistema de lectura de flujo remota.	Automatización se debe incorporar al plan de monitoreo remoto del Embalse. Respecto de la mejora de la cañerías de llegada, se toma la recomendación para aquellos aforados por construir;	
3	Biblioteca documentos claves operación	Crear un archivo de documentos clave de gestión TMF		Requerimiento de la guía Teck. Carpeta Corporativa Share Point	Crear base de datos con información relevante, requerimiento de la guía Teck.	
4	Potencial ARD en rellenos y relaves.	Implementar un programa de caracterización de relaves y estériles mina mediante ensayos.		Generar programa de caracterización, además de la reconstitución desde el inicio de la construcción, de los materiales que conforman los muros	Mina Teck CdA deberá preparar e implementar el programa de caracterización.	

### 8.9. Actualización de Distancia Peligrosa

La normativa chilena en el artículo 14 del DS 248 exige la determinación de la denominada distancia peligrosa definida como *la distancia, en kilómetros, que recorrería el relave en el caso de colapso del depósito*. A continuación, se presenta la actualización a la Etapa 3 de operación, de dicha estimación, la que se detalla en el informe E40165-840-R-TR-001: “Determinación de la Distancia Peligrosa de los Muros del Depósito de Relaves – Etapa 3 de Crecimiento”.

La Figura 8-9, presenta gráficamente la superficie cubierta por un derrame de los relaves embalsados ante una hipotética ruptura de los muros del Embalse de Relaves, según la distancia peligrosa determinada para la condición actual de operación de la TMF (E3).

Se deja establecido que para la E3, no se produciría derrame por ruptura de los muros MS y MO(S) ya que el relave quedaría contenido por el terreno natural. A partir de la etapa 4 en el MO(S) existiría un volumen que en caso de colapso, se podría movilizar.

Es importante destacar que el presente análisis se ha realizado debido a un requerimiento normativo, ya que tanto Teck, como Wood no consideran el que haya un modo de falla creíble para la Etapa 3 de crecimiento diferido.

Figura 8-9: Superficie afectada por ruptura de los muros Etapa 3, 2017.03.14 (ref. estudio de Distancia Peligrosa, Wood)



## 9.0 RESUMEN Y RECOMENDACIONES

### 9.1. Resumen de actividades de construcción durante la visita

Al momento de la inspección se estaban realizando los siguientes trabajos:

- Rellenos masivos: En construcción el relleno masivo de la Etapa 5 del muro MN;
- Rellenos de transición y/o rectificación: MN: en desarrollo; MNO: inicio del carguío del relleno de transición E4; BS, relleno de base para el tramo aguas arriba de las estructuras contenedoras que serán cubiertas por la playa de relaves; MO: en desarrollo el Corte y Retiro del relleno masivo sin compactar desde la cara del talud aguas arriba;
- Instalación de geosintéticos en la cara aguas arriba de los muros, piscinas, sistemas de captación y conducción de drenajes: inicio de la excavación para la zanja de anclaje inferior MO(S); Término del perfilado del relleno de transición en el MS, previo a la impermeabilización;
- Excavación y relleno de zanjas corta fugas, de anclaje superior, inferior y laterales: Excavación de calicata para exploración geológica del vértice para el pie del talud aguas arriba del muro MP;
- Construcción de sistema colector y de control de filtraciones: sin actividad de construcción al momento de la visita; y
- Instalación de instrumentación geotécnica: sin actividad de construcción al momento de la visita.

### 9.2. Resumen de desempeño

El comportamiento observado del depósito está de acuerdo con lo esperado en el diseño y la operación de la TMF, las que se han desarrollado siguiendo las recomendaciones del manual OMS. Las deformaciones de los muros a medida que crece el depósito se consideran normales.

Las filtraciones que se registran en el depósito están dentro del rango estimado en el diseño.

### 9.3. Resumen de cambios en la instalación o condiciones aguas arriba o aguas abajo

Sin cambios significativos durante el periodo.

9.4. Clasificación de consecuencias según CDA (ref. Teck)

Dam Safety Very High Consequence Dams: East (South End) & South Dams		Dam Safety High Consequence Dams: West / North / NE / East (North End) Dams																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">Operation</th> <th>CdA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Height</td> <td>2 Dams 49 to 104 m</td> </tr> <tr> <td>Crest Length</td> <td>3,3 km (combined)</td> </tr> <tr> <td>Tailings Storage</td> <td>297 Mm<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>Water Storage</td> <td>650.000 m<sup>3</sup> (Operational max.)</td> </tr> </tbody> </table>	Operation	CdA	Height	2 Dams 49 to 104 m	Crest Length	3,3 km (combined)	Tailings Storage	297 Mm <sup>3</sup>	Water Storage	650.000 m <sup>3</sup> (Operational max.)	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">Operation</th> <th>CdA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Height</td> <td>4 dams 33 to 151 m</td> </tr> <tr> <td>Crest Length</td> <td>3,2 km (combined)</td> </tr> <tr> <td>Tailings Storage</td> <td>297 Mm<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>Water Storage</td> <td>650.000 m<sup>3</sup> (Operational max.)</td> </tr> </tbody> </table>	Operation	CdA	Height	4 dams 33 to 151 m	Crest Length	3,2 km (combined)	Tailings Storage	297 Mm <sup>3</sup>	Water Storage	650.000 m <sup>3</sup> (Operational max.)
Operation	CdA																				
Height	2 Dams 49 to 104 m																				
Crest Length	3,3 km (combined)																				
Tailings Storage	297 Mm <sup>3</sup>																				
Water Storage	650.000 m <sup>3</sup> (Operational max.)																				
Operation	CdA																				
Height	4 dams 33 to 151 m																				
Crest Length	3,2 km (combined)																				
Tailings Storage	297 Mm <sup>3</sup>																				
Water Storage	650.000 m <sup>3</sup> (Operational max.)																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Potential Inundation Impacts</th> <th style="width: 50%;">Surveillance &amp; Monitoring</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inundation of off-site areas, potentially including water reservoir Recoleta (near Ovalle)</li> </ul> </td> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Daily, Weekly, Monthly &amp; Quarterly surveillance</li> <li>• Annual Dam Safety Inspection by EoR</li> <li>• Dam Safety Review every one (1) yrs (Latest – 2015.03)</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>	Potential Inundation Impacts	Surveillance & Monitoring	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inundation of off-site areas, potentially including water reservoir Recoleta (near Ovalle)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daily, Weekly, Monthly &amp; Quarterly surveillance</li> <li>• Annual Dam Safety Inspection by EoR</li> <li>• Dam Safety Review every one (1) yrs (Latest – 2015.03)</li> </ul>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Potential Inundation Impacts</th> <th style="width: 50%;">Surveillance &amp; Monitoring</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inundation of open pit and plant area</li> </ul> </td> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Daily, Weekly, Monthly &amp; Quarterly surveillance</li> <li>• Annual Dam Safety Inspection by EoR</li> <li>• Dam Safety Review every one (1) yrs (Latest – 2015.03)</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>	Potential Inundation Impacts	Surveillance & Monitoring	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inundation of open pit and plant area</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daily, Weekly, Monthly &amp; Quarterly surveillance</li> <li>• Annual Dam Safety Inspection by EoR</li> <li>• Dam Safety Review every one (1) yrs (Latest – 2015.03)</li> </ul>												
Potential Inundation Impacts	Surveillance & Monitoring																				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inundation of off-site areas, potentially including water reservoir Recoleta (near Ovalle)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daily, Weekly, Monthly &amp; Quarterly surveillance</li> <li>• Annual Dam Safety Inspection by EoR</li> <li>• Dam Safety Review every one (1) yrs (Latest – 2015.03)</li> </ul>																				
Potential Inundation Impacts	Surveillance & Monitoring																				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inundation of open pit and plant area</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daily, Weekly, Monthly &amp; Quarterly surveillance</li> <li>• Annual Dam Safety Inspection by EoR</li> <li>• Dam Safety Review every one (1) yrs (Latest – 2015.03)</li> </ul>																				
																					

Nota: Esta clasificación fue desarrollada por Teck durante el año 2014, y requiere ser actualizada con el resultado del estudio de inundación actualmente en desarrollo.

9.5. Estatus Recomendaciones DSI 2019

DEPOSITO DE RELAVES (TMF) / Recomendaciones DSI 2019						
Ítem	Área	Sub Ítem	Estructura	Detalle	Responsable	Estatus
1	Mantenimiento	1.1	MN / MNO / BS / MO	Sellar con arena las grietas en el talud de la capa de transición	Teck CdA / Wood	Permanente
		1.2	MN	Explorar el área del coronamiento que presenta baja permeabilidad, estribo oriente	Teck CdA / Wood	Finalizado
		1.3	MNO / MO	Reparar las grietas de la plataforma E3, previo a la construcción de la E4	Teck CdA / Wood	En Proceso
		1.4	BS	Monitorear Grietas	Teck CdA / Wood	Permanente
		1.5	BS	Alejar del talud la cañería de rebose del TK-042, para evitar erosión	Teck CdA / Wood	Finalizado
		1.6	BS	Proteger la cara del talud del rebose del TK-042, mediante enrocado y/o impermeabilizando con liner	Teck CdA / Wood	Finalizado
		1.7	BS	Instalar un segundo sismógrafo en el coronamiento de la nueva plataforma para la distribución de relaves	Teck CdA / Wood	2020.Q3
		1.8	MO	Reponer el dado de hormigón, en la cañería de descarga del sistema de drenaje del muro	Teck CdA / Wood	2020.Q2
		1.9	MO	Retirar el material con exceso de humedad del relleno masivo al coronamiento, aguas abajo	Teck CdA / Wood	Finalizado
2	Operación	2.1	TMF	Agregar puntos de descarga adicionales para alejar de los muros la laguna producto de la CMP	Teck CdA / Wood	2020.Q3
		2.2	TMF	Mantener 100 m de longitud de playa mínima, respecto de los muros	Teck CdA / Wood	Permanente
		2.3	TMF	Prevenir la erosión de los muros, mediante el control de la escorrentía superficial	Teck CdA / Wood	Permanente
		2.4	MN	Reubicar hacia el estribo poniente la D2, direccionándola en sentido sur - oriente	Teck CdA / Wood	Finalizado
		2.5	MN	En el muro norte, la secuencia de descargas debe iniciar con la operación de la D2, y luego la D3	Teck CdA / Wood	Finalizado
		2.6	MN	Diseñar e Implementar sistema para la recolección de afloramientos intermitentes	Teck CdA / Wood	2021.Q1
		2.7	MNO	Habilitar descarga D4A en el estribo sur del muro (empalme con el BS)	Teck CdA / Wood	Finalizado
		2.8	MO	Habilitar descarga D5A en el estribo norte del muro (empalme con el BS)	Teck CdA / Wood	2020.Q3
		2.9	MO(S) / MS	Proteger de la erosión por escorrentía superficial las zanjas de anclaje laterales mediante Riprap	Teck CdA / Wood	En Proceso
		2.10	MS	Monitorear las grietas al hombro de la E4, reparar al momento de construir el relleno de transición	Teck CdA / Wood	Finalizado
		2.11	Trincheras	Estudiar el desplazamiento de las trincheras hacia el sur de la quebrada de diseño	Teck CdA / Wood	Finalizado
3	Estudios y Diseño	3.1	TMF	Realizar modelo de deformaciones para entender el o los mecanismos de formación de las grietas	Wood	2020.Q4
		3.2	TMF	Revisar la metodología de Construcción de los rellenos Masivo / Transición	Teck CdA / Wood	2020.Q4
		3.3	BS	Definir e implementar tratamiento superficial y eventual drenaje del coronamiento de la Etapa 3	Teck / Wood	2020.Q2
		3.4	MO(S) / MS	Estudiar cobertura con liner la superficie del terreno natural en la interfaz de las etapas E3 - E4	Teck / Wood	2020.Q2
		3.5	MP	Exploración geotécnica / geológica de la roca de fundación, calicatas / sondajes al eje del muro	Teck / Wood	2020.Q1
		3.6	MP	Impermeabilizar Talud Interno de la E4	Teck CdA / Wood	2020.Q2
4	Monitoreo, Control y Vigilancia	4.1	TMF	Determinar el error en la lectura de elevación de la Estación Total Robotizada	Teck CdA / Proveedor	2020.Q1
		4.2	TMF	Instalar los prismas solidarios a los monolitos para control de asentamientos, mediante bastidor emperrado	Teck CdA / Wood	2020.Q3
		4.3	TMF	Actualizar la metodología de monitoreo de las filtraciones, posterior a la finalización del modelo hidrogeológico distrital	Teck CdA / Wood	2020.Q4
		4.4	TMF	El EoR debe disponer en tiempo real los datos instrumentales parte del proyecto TAPD2017	Teck CdA	2020.Q2
		4.5	TMF	Instalar piezómetros en la playa de relaves frente a los muros, de manera de monitorear la presión de poros	Teck CdA / Wood	2021.Q1
		4.6	MN	Monitoreo intensivo de condición aguas abajo, post hundimiento en playa de relaves U-V	Teck CdA / Wood	Finalizado
		4.7	MN	Mantener vigilancia permanente de los afloramientos esporádicos	Teck CdA / Wood	Permanente
		4.8	BS	Ampliar Monitoreo, a partir de la puesta en operación de la Etapa 4	Teck CdA / Wood	2020.Q3
		4.9	BS	Hacer calicatas en el curso de la quebrada a pie del Botadero Sur	Teck CdA / Wood	2020.Q2
		4.10	MO	Reconstruir y reubicar el sistema de aforo	Teck CdA / Wood	2021.Q1

ñ

## 9.6. Recomendaciones DSI 2020

### 9.6.1. Longitud de Playas

Es importante mantener una longitud de playa adecuada para evitar filtraciones por los muros y la saturación de la zona de transición, lo que podría generar tubificación (piping) y pérdida del relleno de transición dentro del enrocado grueso del material de los muros ya que el propósito principal de la transición es retener sólidos de relaves en presencia de una baja carga hidráulica y no el prevenir que el material de transición y/o agua fluyan hacia el enrocado. El ancho de la zona de transición fue diseñado y construido de forma conservadora de manera que considera alguna de estas pérdidas, por lo tanto, no es de esperar que haya material de transición que fluya hacia el enrocado con una carga hidráulica baja. Sin embargo, con una zona de transición debilitada, los relaves y el agua podrían fluir hacia el cuerpo del muro y aguas abajo, en caso de que hubiese agua acumulada (lagunas parasitas) con alta carga hidráulica. Se recomienda considerar un mínimo de longitud de playa de 100 m.

En el corto plazo, se recomienda priorizar la descarga de relaves desde el sector centro y sur de la TMF.

### 9.6.2. Agrietamientos en la Zona de Transición

Aun cuando la causa específica de la formación de las grietas requiere de investigación, el control de calidad del material del relleno de transición y su construcción son importantes. Las grietas en el talud aguas arriba deben ser rellenadas con un material para sello para grietas (crack stopper) como lo son las arenas de tamaño fino o medio, y las grietas en las plataformas deberán ser monitoreadas regularmente y reparadas reconstruyendo el material de transición en la zona agrietada, antes que sea cubierto con relave y/o por la escorrentía superficial durante el periodo de lluvias.

### 9.6.3. Filtraciones

Se debe monitorear correctamente las tasas de filtraciones y tomar registro respecto de la duración y ubicación de la descarga operando, lluvias recientes, cota de relaves, cota de la laguna y calidad (principalmente cantidad de sedimento, turbiedad) del agua de la filtración. Piezómetros adicionales ubicados aguas arriba en la playa de relave y cercanos a los muros, podrían ayudar a entender el efecto de la ubicación de la descarga en filtraciones específicas, así como también la reducción de la elevación del nivel freático, a través de los muros.

### 9.6.4. MN – Aguas Arriba

Es necesario evitar agua estancada (lagunas parasitas) que estén en contacto por largo tiempo con la zona de transición del muro, ya que en el mismo sector

se produjo anteriormente la formación de socavón, tal como muestra el DSI de 2019. La nueva ubicación de la descarga D2 apuntando hacia el sur oriente, y la secuencia operacional D2 -> D3, han favorecido, la ausencia de lagunas parásitas en este sector, con posterioridad al hundimiento registrado durante el DSI.2019, en la playa de relaves frente al botadero de relaves UV.

El criterio de diseño de los muros se basa en tener al menos 100 m de playa en el frente del muro. El agua estancada (laguna parasita) en el talud aguas arriba del muro no es una condición aceptable y podría ocasionar una tubificación de material de transición y formar un hundimiento (sinkhole), como ocurrió en el año 2019, asociado a la estructura denominada acopio de Relaves U-V.

La playa frente al muro se ve húmeda, producto de la operación reciente por el periodo de dos (2) meses de las descargas D2 y D3, se deja establecido que no se han vuelto a registrar eventos de lagunas parásitas profundas sobre el muro, tal y como se describió en el documento del año pasado.

Se recomienda dejar registro en los protocolos topográficos de construcción (más respaldo fotográfico), respecto del escarificado y humectado de la capa de transición subyacente, y que sean revisados de manera previa a la construcción de una nueva capa de material de transición.

Continuar con el monitoreo de asentamientos, para su seguimiento y disponer así de la mayor cantidad de información posible, con el objetivo final de alcanzar un mejor entendimiento de este comportamiento.

#### **9.6.5. MN – Aguas Abajo**

Se debe normalizar la condición de los afloramientos no controlados aguas abajo del MN, replicando la solución construida durante el año 2018, para los afloramientos y filtraciones presentes aguas abajo del MNO.

Respecto al afloramiento del agua al pie del talud aguas abajo del MN, debe continuar el monitoreo, respecto de variaciones en la cantidad y calidad del flujo de agua aflorada.

#### **9.6.6. MNO – Aguas Arriba**

Se recomienda que todas las fundaciones y el terreno natural sean mapeados antes de colocar el relleno nuevo en los estribos (Fotografía 9).

Se debe revisar el método constructivo del relleno masivo para ejecutarlo a la par con el relleno de transición, una alternativa a analizar es que este se los rellenos se coloquen y compacten en incrementos de capa cada 5 m, en vez de un incremento a etapa completa. Esto ayudará a reducir las grietas en la zona de la transición construida.

La recientemente construida descarga de relave N° 4a, se estima que no será suficiente para empujar el agua lejos del muro. Este punto de descarga se ubicó en el vértice entre el muro MNO y el BS. Para poder empujar el agua lejos del muro, se deberá mantener operativo el antiguo punto de descarga N° 4.

#### 9.6.7. MNO – Aguas Abajo

Sin observaciones.

#### 9.6.8. BS

Se recomienda que, para la plataforma al coronamiento de la Etapa 3 de crecimiento diferido (a la cota El. 1.149,5 msnm) donde la construcción de la zona de transición está en proceso de ser completada, se estudie la necesidad de cubrirla solo con el relleno de baja permeabilidad o si es necesario un revestimiento impermeable, para evitar filtraciones al interior del botadero sur, lo que podría resultar en asentamientos significativos del botadero debido a la saturación de los rellenos.

#### 9.6.9. MO – Aguas Arriba

Se debe hacer un detalle de ingeniería para los empalmes del material de transición hacia los estribos norte y sur del muro.

En el caso del estribo sur del muro, que corresponde al terreno natural (Fotografía 23). En este estribo es necesario realizar algunas calicatas para revisar el terreno de apoyo preparar los detalles para el empalme de la transición. En caso de que el material del terreno natural sea adecuado y aceptable, el material de transición podrá ser ubicado en este estribo, considerando un talud positivo, es decir apoyando el material de relleno sobre el terreno natural del estribo.

En el norte, el muro oriente colinda con el botadero sur. El detalle del empalme de la transición también se requiere.

#### 9.6.10. MO – Aguas Abajo

El plan es ubicar el nuevo botadero de estéril de la mina en el área entre el muro oriente (aguas abajo) y las pilas de lixiviación.

Se debe reponer el dado de hormigón a la cañería de descarga del dren central, al pie del talud aguas abajo, para garantizar la operatividad futura del dren.

#### 9.6.11. MO(S) – Aguas Arriba

A lo largo de la superficie del talud ya perfilado, se aprecia un par de clastos de diámetro superior a las 2", con cantos vivos, los cuales deberán retirarse previo a la colocación de los geosintéticos.

Se recomienda retirar el material del camino minero que no permite ver el estribo sur del muro y su empalme con el terreno natural.

#### 9.6.12. **MO(S) – Aguas Abajo**

Sin observaciones.

#### 9.6.13. **MS – Aguas arriba y Estribo.**

Durante el DSI 2018, se observó erosión producto del escurrimiento superficial en el área del estribo poniente del muro sur, sobre las zanjas de anclaje laterales, recomendándose lo siguiente:

- Controlar el escurrimiento superficial mediante zanjas. Esto requiere de un diseño y preparación de algunos planos; y
- Proteger la zanja de anclaje de la erosión del escurrimiento superficial, instalando geotextil y gaviones. Esto requiere de un diseño y preparación de algunos planos.

Se observa que en el sitio estas recomendaciones fueron parcialmente realizadas (Fotografía 28). Para prevenir cualquier tipo de erosión de la zanja de anclaje lateral, se recomienda finalizar los trabajos.

#### 9.6.14. **Trincheras.**

Se recomienda modificar (acortar) el manifold de descarga de las bombas de agua recuperada, impidiendo con barreras duras el acceso de equipos y personas a la zona agrietada de la plataforma operacional.

#### 9.6.15. **MP – Fundaciones.**

Se recomienda lo siguiente, realizar una campaña de exploración, mediante sondajes, testigos y ensayos de Lugeon a lo largo del eje longitudinal del muro proyectado, para definir la profundidad del lecho rocoso y la necesidad o no de una cortina de inyecciones de lechada de hormigón; y

Revisar el diseño del muro, incluyendo las condiciones de cierre.

#### 9.6.16. **Monitoreo y control.**

Se recomienda ampliar el monitoreo de deformaciones y de piezometría, principalmente en el BS, que permita un seguimiento y evaluación permanente de su comportamiento. Así mismo, se recomienda realizar un modelo de deformaciones que permita entender más acabadamente el o los mecanismos de formación de las grietas. Por último, de manera de monitorear los agrietamientos, las longitudes de playa, y aquellos sitios de difícil acceso, se recomienda la utilización de drones.

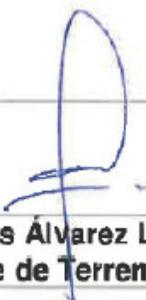
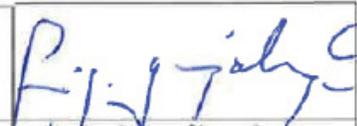
## 10.0 DSI 2021

La próxima inspección de seguridad, se programa para los días 14 y 15 de diciembre, del año 2020.

## 11.0 ANEXOS

- Anexo A Registro Fotográfico
- Anexo B1 Registro de Inspección de Terreno: MN
- Anexo B2 Registro de Inspección de Terreno: MNO
- Anexo B3 Registro de Inspección de Terreno: BS
- Anexo B4 Registro de Inspección de Terreno: MO
- Anexo B5 Registro de Inspección de Terreno: MO(S)
- Anexo B6 Registro de Inspección de Terreno: MS
- Anexo B7 Registro de Inspección de Terreno: MP

### Wood - División de Medio Ambiente e Infraestructura

	
<b>Luis Álvarez Lapeley</b> Jefe de Terreno (EoR)	<b>Luis González Caro</b> Ingeniero de Registro

**ANEXO A  
REGISTRO FOTOGRÁFICO**



Fotografía 1: TMF, agua alejada de los muros – vista hacia el sur.



Fotografía 2: TMF, agua alejada de los muros – vista hacia el norte.



Fotografía 3: MNO, playa húmeda por operación D2 y D3 (1) – vista hacia el sur oriente.



Fotografía 4: MNO, playa húmeda por operación D2 y D3 (2) - vista hacia el nor poniente.



Fotografía 5: BS, coronamiento E3, El. 1.149,5 msnm – vista hacia el sur.



Fotografía 6: MN, coronamiento E4, – vista hacia el oriente.



Fotografía 7: MN, construcción E4, compactación relleno de transición.



Fotografía 8: MN, coronamiento E4, El. 1.162,5 msnm – vista hacia el poniente.



Fotografía 9: MNO, terreno natural, estribo poniente.



Fotografía 10: MNO, Talud aguas arriba E4, relleno masivo cortado– vista hacia el sur.

PROJECT: TECK CdA TMF				
CLIENT: TECK	DATE: January 2020	JOB No.: E40165	PAGE: 5	REV.: A



Fotografía 11: Talud aguas arriba E4, relleno masivo cortado– vista hacia el norte.



Fotografía 12: Plataforma E3, relleno masivo cortado– vista hacia el oriente.



Fotografía 13: MNO, Talud E4, granulometría relleno masivo - detalle.



Fotografía 14: MN, Piscina colectora de drenajes aguas abajo.



Fotografía 15: MN, Afloramientos aguas abajo.



Fotografía 16: MNO, Afloramientos aguas abajo.



Fotografía 17: MNO, Piscina colectora de drenajes, aguas abajo.



Fotografía 18: BS, Agrietamientos talud aguas arriba, relleno de transición.



Fotografía 19: BS, Agrietamientos talud aguas arriba, sellado con arena fina / media



Fotografía 20: MO, Talud aguas arriba, plataforma acceso zona de reparación – vista hacia el sur.



Fotografía 21: MO, Reparación de erosión talud aguas arriba – vista hacia el norte.



Fotografía 22: MO, Talud aguas arriba, estribo sur – vista hacia el sur.



Fotografía 23: MO, Terreno natural, estribo sur – detalle.



Fotografía 24: MO(S), Talud aguas arriba E4, relleno transición perfilado – vista hacia el sur.



Fotografía 25: MO(S), Excavación zanja de anclaje inferior, para geosintéticos.



Fotografía 26: MO(S), Zanja de anclaje superior, para geosintéticos.



Fotografía 27: MS, Talud aguas arriba E4, relleno de transición perfilado – vista hacia el oriente.



Fotografía 28: MS, Riprap, protección contra la erosión, zanja de anclaje lateral.



Fotografía 29: Construcción de trincheras N° 9 y N° 10, para recuperación de agua



Fotografía 30: Trincheras N° 8, para recuperación de agua.



Fotografía 31: MP, Calicata exploración N°1 (norte).



Fotografía 32: MP, Calicata exploración N°2. (sur)

PROJECT: TECK CdA TMF				
CLIENT:	DATE:	JOB No.:	PAGE:	REV.:
TECK	January 2020	E40165	16	A



Fotografía 33: MO, Aguas Abajo – vista hacia el sur.



Fotografía 34: MO, Aguas Abajo, pilas de lixiviación – vista hacia el oriente.



Fotografía 35: MO, Aguas Abajo, Aforador (V-Notch).



Fotografía 36 BS7MNO, Aguas Abajo – filtraciones (secas) y piscina colectora y de monitoreo

**ANEXO B1  
REGISTRO DE INSPECCIÓN DE TERRENO  
MN**

## Teck

## wood.

Proyecto # E40165  
 Muro Norte

Fecha de Inspección 13/01/20.  
 Ubicación Embalse Retony

Completar todas las entradas de las fichas de Inspección. Se deben describir las condiciones adversas. Se puede adjuntar información adicional en páginas aparte.

**Personal**  
 Supervisor - Luis Alvarez  
- Luis Gonzalez  
 Representante Wood - Mickey Kawachi  
 Otros - Jaime Tapia  
- John Pottier  
- Senor Valde Benito

Clima	Actual	3 días atrás	2 semanas atrás
Seco	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Neblina	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lluvia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lluvia Intensa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Condición del Muro**  
 Operando  Abandonado  Notas: \_\_\_\_\_

**Información del Muro**  
 El. Laguna 1142,946 [msnm] Revancha 9,33 [m]  
 El. Coronamiento 1162,5 [msnm] Δ Laguna / Coronamiento 19,56 [m]

**Metodo de Constructivo del Muro**  
 Eje central  Otro \_\_\_\_\_  
 Aguas Abajo

**Actividades de Construcción / Operación Local**  
 Relleno Masivo  AGUAS ABAJO ETAPA EN CONSTRUCCIÓN  
 Relleno Transición  CONTRUIDA CAPA 19 de 35, el. 117,10 (379 años)  
 Impermeabilización   
 Descarga   
 Otro

**Razón de la Inspección**  
 Rutinaria   
 Condición Especial  D.S.T.

**Nomenclatura Puntaje**  
 S = Satisfactorio. Cumple intención de diseño,  
 F = Apropiado. Cumple intención de diseño. Mantenimiento / Estudio requerido,  
 P = Pobre. Puede que no cumpla intención de diseño. Reparación / Modificación requerida,  
 U = Insatisfactorio. No cumple intención de diseño. Reparación / reemplazo requerido,  
 N = Sin Inspeccionar.

Proyecto #  
Muro

E40165

Monte.

Fecha de Inspección

13/01/20

Ubicación

1. Talud Aguas Arriba / Playa de Relaves

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
1.1	Protección del Talud	✓	5	• 12. Transición COPA # 19 etapa 4. (construcción) El. 1.157, 10 msnm	
1.2	Erosion Superficial	✓	5	• No presente	
1.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	5	• No presente	
1.4	Sinkholes	✓	5	• No presente	
1.5	Grietas / desplazamientos	✓	5	• No presente	
1.6	Escombros	✓	5	• No presente	
1.7	Vegetación	✓	5	• No presente	
1.8	Evidencia de nivel freatico alto	✓	5	• No presente	
1.9	Otras condiciones inusuales				

Notas: DEJAR EVIDENCIA DEL ESCARIFICADO DE CADA CADA CONSTRUIDA TRAVO FOTOGRAFICA COMO RESALDO EN PROTOCOLO FOTOGRAFICO DE CONSTRUCCION. (Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)

Proyecto #

E40165

Fecha de Inspección

13/01/20

Muro

Norte -

Ubicación

Embalse Retenes

### 2. Coronamiento

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
2.1	Grietas Superficiales Transversales	✓	5.	• No presente.	
2.2	Grietas Superficiales Longitudinales	✓	5.	• No presente.	
2.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	5.	• No presente.	
2.4	Sinkholes	✓	5.	• No presente.	
2.5	Desplazamientos Laterales	✓	5.	• No presente.	
2.6	Protección Superficial	✓	5.	• R. Transición (El. 1162,50). ADELANTADA LA CADA #30 El. 1161,4 usum.	
2.7	Erosión	✓	5.	• No presente.	
2.8	Vegetación	✓	5.	• No presente.	
2.9	Madrigueras de animales	✓	5.	• No presente.	
Notas:					
(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)					

Proyecto #  
Muro

E40165

Norte

Fecha de Inspección

13/01/20

Ubicación

Embalse Retenas

### 3. Talud Aguas Abajo

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
3.1	Protección del Talud	✓	S.	0.2 m/s vs	
3.2	Erosion Superficial	✓	S.	No presente.	
3.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	S.	No presente.	
3.4	Sinkholes	✓	S.	No presente.	
3.5	Grietas / desplazamientos	✓	S.	No presente.	
3.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	F.	Apromiado Activos: Q = 0.1300 l/s.	
3.7	Vegetación	✓	F.	Vegetación presente (arboles, arbustos)	
3.8	Madrigueras de animales	✓	S.	No presente.	
3.9	Angulo	✓	P.	Se debe mejorar condición para cumplir con talud de diseño, PREVIO AL CIERRE (1,8/1)	
3.10	Otras condiciones inusuales	✓	P.	SIN OBRAS PARA CANTACION, CONDUCCION, REGISTRO Y DISPOSICION DE FIL	

Notas:

- Señalética ZONA Húmeda (empantamiento) y nivel de inundación en zona para posterior bombeo: IMPLEMENTAR.
- MEJORAR PLACA ATORADOR (FILTRAD)

(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)

• DISEÑAR E IMPLEMENTAR OBRAS PARA NORMALIZAR DE LOS AFLORAMIENTOS.

Proyecto #

E40165

Fecha de Inspección

13/01/20

Muro

North

Ubicación

Embalse Nelson

4. Estribo Izquierdo del Muro (mirando hacia aguas abajo)

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
4.1	Condición Superficial	✓	5.	• R. MASIVO / talud como existente.	
4.2	Vegetación y Escombros	✓	5.	• No presente.	
4.3	Protección del talud	✓	5.	• R. MASIVO.	
4.4	Desplazamientos	✓	5.	• No presente.	
4.5	Erosión	✓	5.	• No presente.	
4.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	5.	• No presente.	
4.7	Otras condiciones inusuales				

Notas:

(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)

Proyecto #

E40165

Fecha de Inspección

13/01/20

Muro

North

Ubicación

Embalse Nelson

5. Estribo Derecho del Muro (mirando hacia aguas abajo)

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
5.1	Condición Superficial	✓	5.	o.P. MAS: 10 / Igual como existente	
5.2	Vegetación y Escombros	✓	5.	o.No presente	
5.3	Protección del talud	✓	5.	o.P. MAS: 10	
5.4	Desplazamientos	✓	5.	o.No presente	
5.5	Erosión	✓	5.	o.No presente	
5.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	5.	o.No presente	
5.7	Otras condiciones inusuales				
Notas:					
(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)					

Proyecto #  
Muro

E40165

Fecha de Inspección

13/01/20

Ubicación

Embalse Retener

6. Drenaje Aguas Abajo y Obras Colectoras de Filtraciones

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
6.1	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	F.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtración presente y controlada diariamente en la zona. REQUIERE DISEÑO DE OBRAS PARA NORMALIZACIÓN DEFINITIVA.</li> </ul>	
6.2	Signos de Inestabilidad	✓	S.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No presente.</li> </ul>	
6.3	Vegetación	✓	S.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetación presente en la zona.</li> </ul>	
6.4	Otras condiciones inusuales				
<p>Notas:</p> <p>(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)</p>					

## Teck

## wood.

Proyecto #  
Muro

E40165  
Norte

Fecha de Inspección 13/01/20  
Ubicación Embalse Pelones

### 7. Instrumentación

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
7.1	Piezómetros	✓	S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PE: 015-016</li> <li>lectura tomada 12/01/20: Sin observaciones.</li> </ul>	
7.2	Monolitos	✓	#	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No operativos. Se encuentran tapados con material de tracción producto de los trabajos que se realizan actualmente, se repararán al término de la construcción.</li> </ul>	
7.3	Aforadores	✓	P	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aforador bronce pronto con caudal aprox/méd de 0,1 l/s. Aforador en mal estado, presenta filtraciones. Debe ser reparado.</li> </ul>	
7.4	Otros				
<p>Notas:</p> <p>(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)</p>					

**ANEXO B2  
REGISTRO DE INSPECCIÓN DE TERRENO  
MNO**

Proyecto # E40165 Fecha de Inspección \_\_\_\_\_  
 Muro Nonoriental Ubicación Embalse Relaves

Completar todas las entradas de las fichas de inspección. Se deben describir las condiciones adversas. Se puede adjuntar información adicional en páginas aparte.

Personal  
 Supervisor - Luis Alvarez  
- Luis Gonzalez  
 Representante Wood - Mickey Barachi  
 Otros - Linda Tapia  
- John Pottie  
- Sergio Vallebenito

Clima	Actual	3 días atrás	2 semanas atrás
Seco	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Nebllna	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lluvia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lluvia Intensa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Condición del Muro  
 Operando  Abandonado  Notas: \_\_\_\_\_

Información del Muro  
 El. Laguna 1142,146 [msnm] Revancha 9,83 3,19 [m]  
 El. Coronamiento 1162,5 [msnm] Δ Laguna / Coronamiento 19,56 [m]

Metodo de Constructivo del Muro  
 Eje central  Otro \_\_\_\_\_  
 Aguas Abajo

Actividades de Construcción / Operación Local  
 Relleno Masivo   
 Relleno Transición  El 1149,20 ms m m (capa Nive hasta etapas)  
 Impermeabilización   
 Descarga  OPERANDO DAA  
 Otro  DESPLAZAMIENTO CAAT DE DISTR.

Razón de la Inspección  
 Rutinaria   
 Condición Especial  DS-F

Nomenclatura Puntaje  
 S = Satisfactorio. Cumple intención de diseño,  
 F = Apropiado. Cumple intención de diseño. Mantenición / Estudio requerido,  
 P = Pobre. Puede que no cumpla intención de diseño. Reparación / Modificación requerida,  
 U = Insatisfactorio. No cumple intención de diseño. Reparación / reemplazo requerido,  
 N = Sin Inspeccionar.

Proyecto #  
Muro

E40165

Noriente

Fecha de Inspección

13/01/20

Ubicación

Embalse relaves

1. Talud Aguas Arriba / Playa de Relaves

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
1.1	Protección del Talud	✓	S.	• Re Masivo (etapa 4)	
1.2	Erosion Superficial	✓	S.	• No presenta (etapa 4)	
1.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	S.	• No presenta (etapa 4)	
1.4	Sinkholes	✓	S.	• No presenta (etapa 4)	
1.5	Grietas / desplazamientos	✓	S.	• No presenta (etapa 4)	
1.6	Escombros	✓	S.	• No presenta (etapa 4)	
1.7	Vegetación	✓	S.	• No presenta (etapa 4)	
1.8	Evidencia de nivel freatico alto	✓	S.	• No presenta (etapa 4)	
1.9	Otras condiciones inusuales				

Notas: • Etapa 3 talud: presenta grietas longitudinales que han sido rellenadas con arena fina.  
 • EN CONSTRUCCIÓN DOS (2) RAMPAS DE CIRCULACIÓN PARA CONSTRUCCIÓN, MEJORARA EL DRENAMIENTO CONSTRUCTIVO.

(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)

Proyecto #  
Muro

E40165  
Nonasente

Fecha de Inspección  
Ubicación Cumbre del Rey

### 2. Coronamiento

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
2.1	Grietas Superficiales Transversales	✓	S.	• No presente	
2.2	Grietas Superficiales Longitudinales	✓	S.	• No presente	
2.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	S.	• No presente	
2.4	Sinkholes	✓	S.	• No presente	
2.5	Desplazamientos Laterales	✓	S.	• No presente	
2.6	Protección Superficial	✓	S.	• R. MASIVA	
2.7	Erosión	✓	S.	• No presente	
2.8	Vegetación	✓	S.	• No presente	
2.9	Madrigueras de animales	✓	S.	• No presente	
<p>Notas:</p> <p>(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página )</p>					

Proyecto #  
Muro

E40165

Abramante

Fecha de Inspección

13/01/20

Ubicación

Embalse Nelson

### 3. Talud Aguas Abajo

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
3.1	Protección del Talud	✓	5.	• R. Masivo	
3.2	Erosion Superficial	✓	5.	• No presente	
3.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	5.	• No presente.	
3.4	Sinkholes	✓	5.	• No presente	
3.5	Grietas / desplazamientos	✓	5.	• No presente.	
3.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	5.	<ul style="list-style-type: none"> <li>① breaje. (apareda): 5,00 p/s.</li> <li>② Abramante POZA. (apareda): 4,00 p/s.</li> <li>③ Abramante. (apareda): 5,00 p/s.</li> </ul>	
3.7	Vegetación	✓	5.	• Presente Abundante Ve fetección en sector el Charge	
3.8	Madrigueras de animales	✓	5.	• No presente	
3.9	Angulo	✓	5.	• cumple Angulo de diseño 1,5: 1,0 (A: V)	
3.10	Otras condiciones inusuales				

Notas:

(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)

Proyecto #

E40165

Fecha de Inspección

13/01/20

Muro

horizontal

Ubicación

Embalse Retarney

4. Estribo Izquierdo del Muro (mirando hacia aguas abajo)

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
4.1	Condición Superficial	✓	S.	• R. Masivo / talud como existente Co. AERIAS	
4.2	Vegetación y Escombros	✓	S.	• No presente.	
4.3	Protección del talud	✓	S.	• R. MASIVO.	
4.4	Desplazamientos	✓	S.	• No presente.	
4.5	Erosión	✓	S.	• No presente.	
4.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	S.	• No presente	
4.7	Otras condiciones inusuales				
<p>Notas:</p> <p>(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página )</p>					

Proyecto #  
Muro

E40165  
Aborizate

Fecha de Inspección 13/01/20  
Ubicación Embalse Retenas

5. Estribo Derecho del Muro (mirando hacia aguas abajo)

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
5.1	Condición Superficial	✓	S.	• R. MASIVO EVIDENCIADO CONTRA PL. NUEVA POSICIÓN TK DISTRIBUCIÓN DE RELAJES	
5.2	Vegetación y Escombros	✓	S.	• No presente	
5.3	Protección del talud	✓	S.	• R. MASIVOS	
5.4	Desplazamientos	✓	S.	• No presente	
5.5	Erosión	✓	S.	• No presente	
5.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	S.	• No presente	
5.7	Otras condiciones inusuales				
<p>Notas:</p> <p>(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)</p>					

Proyecto #  
Muro

E40165  
Monicote

Fecha de Inspección 13/01/20  
Ubicación Embalse Pajarito

6. Drenaje Aguas Abajo y Obras Colectoras de Filtraciones

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
6.1	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	S.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afuera. Inm.</li> <li>• AFA. Pozo. Aflojamiento.</li> <li>• AFA. Filtraciones pie de muro</li> </ul>	
6.2	Signos de Inestabilidad	✓	S.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No presenta.</li> </ul>	
6.3	Vegetación	✓	F	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abundante vegetación sobre el algarve.</li> </ul>	
6.4	Otras condiciones inusuales				

Notas: FILTRACIONES, DRENAJES Y AFLOJAMIENTOS CONTROLADAS DE MANERA ADECUADA.  
PRESENCIA DE AGUA AL FONDO DELA EXPLORACION DEL TUNELIMIENTO DETECTADO POST. DEMOSTRACION  
 (Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)  
 16S. 2015. ✓

Proyecto #  
Muro

E40165

propiente.

Fecha de Inspección

13/01/20

Ubicación

Embalse Nelson.

### 7. Instrumentación

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
7.1	Piezómetros	✓	S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pie: 006 - 005 - 004 - 003 - 002 - 001.</li> <li>- lecture demand 12/01/20: fin observaciones</li> <li>PEOZO. FUERA DE SERVICIO DESDE 2013</li> </ul>	
7.2	Monolitos	✓	Ff.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se encuentran operativos, están tapados con material tipo transición producto de la construcción presente.</li> </ul>	
7.3	Aforadores	✓	S.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afor. poza : operativo. (a: 7,000 l/s)</li> <li>• Afor. dren : operativo. (a: 5,000 l/s)</li> <li>• Afor. APB : operativo. (a: 5,000 l/s)</li> </ul>	
7.4	Otros	✓	Sf.	<p>ACELEROGRATO OPERANDO, CARGA BATERIA OK.</p>	
<p>Notas:</p> <p>(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)</p>					

**ANEXO B3  
REGISTRO DE INSPECCIÓN DE TERRENO  
BS**

Proyecto # E40165 Fecha de Inspección 13/01/20  
 Muro Botaderos lim. Ubicación Embalse Nohel

Completar todas las entradas de las fichas de inspección. Se deben describir las condiciones adversas.  
 Se puede adjuntar información adicional en páginas aparte.

Personal Luis Alvarez  
 Supervisor Luis Gonzalez Otros Dame Tapia  
 Representante Wood Nicky Marchi John Pottier  
Senor's Valde Benito

Clima	Actual	3 días atrás	2 semanas atrás
Seco	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Neblina	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lluvia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lluvia Intensa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Condición del Muro**  
 Operando  Abandonado  Notas: \_\_\_\_\_

**Información del Muro**  
 El. Laguna 1142,946 [msnm] Revancha 4,01 [m]  
 El. Coronamiento 1149,50 [msnm] Δ Laguna / Coronamiento 6,55 [m]

**Metodo de Constructivo del Muro**  
 Eje central  Otro \_\_\_\_\_  
 Aguas Abajo

**Actividades de Construcción / Operación Local**  
 Relleno Masivo   
 Relleno Transición   
 Impermeablización   
 Descarga   
 Otro  REPARACIÓN EROSIÓN DE BOSE / DESTAJO  
RECOMISIONAMIENTO ELECTROMECAUNICO

**Razón de la Inspección**  
 Rutinaria   
 Condición Especial  D.S.I.

**Nomenclatura Puntaje**  
 S = Satisfactorio. Cumple intención de diseño,  
 F = Apropiado. Cumple intención de diseño. Mantenión / Estudio requerido,  
 P = Pobre. Puede que no cumpla Inención de diseño. Reparación / Modificación requerida,  
 U = Insatisfactorio. No cumple intención de diseño. Reparación / reemplazo requerido,  
 N = Sin Inspeccionar.

Proyecto #  
Muro

E40165  
Batadero km.

Fecha de Inspección 13/01/20.  
Ubicación Cumbre Nebres

1. Talud Aguas Arriba / Playa de Relaves

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
1.1	Protección del Talud	✓	7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rejilla frambuesa con perfilado principal mente</li> <li>• Sector antiguo punto rebote (e instalados), reparado.</li> </ul>	
1.2	Erosion Superficial	✓	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Punto erosionado en sector habería reparado (antigua) y reparado (nueva) con la colocación de permeable y geomat.</li> </ul>	
1.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No presente.</li> </ul>	
1.4	Sinkholes	✓	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No presente.</li> </ul>	
1.5	Grietas / desplazamientos	✓	7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grietas transversales en algunos sectores del talud. Principales.</li> <li>• AQUELLOS NO PERFORADOS HACIA EL SUR DEL BOTA DE DO</li> </ul>	
1.6	Escombros	✓	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No presente.</li> <li>• REPARAR ELEMENTO DECOMISADOS DESDE EL</li> </ul>	
1.7	Vegetación	✓	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No presente.</li> </ul>	
1.8	Evidencia de nivel freatico alto	✓	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No evidencia</li> </ul>	
1.9	Otras condiciones inusuales				

Notas: COLOCAR TRANSICION EN BORDES DE LA LAMINA DE REPARACION PARA EVITAR EL INGRESO DE RELAVES.

(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)

- UNA VERTICALIZADO EL TENDIDO DE LOS ELEMENTOS ELECTRO MECANICOS DECOMISADOS DESDE EL SECTOR DE LA SEU. REPARAR EL CONSTRUIDO EL RELLENO DE TRANSICION EN EL SECTOR.

Proyecto #  
Muro

E40165  
Dptadero km.

Fecha de Inspección

13/01/20.

Ubicación

Embalse Malones.

## 2. Coronamiento

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
2.1	Grietas Superficiales Transversales	✓	S.	• No presentes	
2.2	Grietas Superficiales Longitudinales	✓	F.	• ABOUNAS GRIETAS en plataforma central El. 1149, 50.	
2.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	S.	• No presentes	
2.4	Sinkholes	✓	S.	• No presentes.	
2.5	Desplazamientos Laterales	✓	S.	• No se revisó demersión.	
2.6	Protección Superficial	✓	S.	• 12 Transición	
2.7	Erosión	✓	S.	• no presentes	
2.8	Vegetación	✓	S.	• No presentes	
2.9	Madrigueras de animales				
<p>Notas: <u>RETIRAR DEL CORONAMIENTO LOS ESCOMBROS PROPIOS DEL DECOMISIONAMIENTO ELECTRO MECANICO.</u> (Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)</p>					

Proyecto #  
Muro

E40165  
Botadero sur.

Fecha de Inspección 13/01/20.  
Ubicación Embalse Retoray

### 3. Talud Aguas Abajo

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
3.1	Protección del Talud	✓	S		
3.2	Erosion Superficial	✓	F	CARGA MAS POR ESCORRENTIA SUPERFICIAL.	
3.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	S		
3.4	Sinkholes	✓	S		
3.5	Grietas / desplazamientos	✓	S		
3.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	F <sup>S</sup>	FILTRACIONES HISTORICAS ORICA1, ORICA2 Y ORICA3 SECAS.	
3.7	Vegetación	✓	≠		
3.8	Madrigueras de animales				
3.9	Angulo	✓	≠		
3.10	Otras condiciones inusuales				
<p>Notas:</p> <p>(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página )</p>					

Proyecto #

E40165

Fecha de Inspección

13/01/20

Muro

Botadero Mar

Ubicación

Embalse Retares

4. Estribo Izquierdo del Muro (mirando hacia aguas abajo)

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
4.1	Condición Superficial	✓	7	AGRIETAMIENTOS MENORES EN	
4.2	Vegetación y Escombros	✓	S		
4.3	Protección del talud	—	—		
4.4	Desplazamientos	✓	S		
4.5	Erosión	✓	S		
4.6	Filtraciones / Superficies húmedas	V	S		
4.7	Otras condiciones inusuales				
<p>Notas: OPERANDO NUEVA DESCARGA D4A</p> <p>(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)</p>					

Proyecto #  
Muro

E40165  
Batastero Inm

Fecha de Inspección 13/01/20  
Ubicación Embalse rolaves

5. Estribo Derecho del Muro (mirando hacia aguas abajo)

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
5.1	Condición Superficial				
5.2	Vegetación y Escombros				
5.3	Protección del talud				
5.4	Desplazamientos				
5.5	Erosión				
5.6	Filtraciones / Superficies húmedas				
5.7	Otras condiciones inusuales				
<p>Notas: <u>NO SE VISUALIZA X TRAMPA DE ACCESO A REPARACION DE TALUD MO.</u></p> <p>(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)</p>					

Proyecto #  
Muro

E40165  
Botadero Muro

Fecha de Inspección 13/01/20.  
Ubicación Embalse Retenas

6. Drenaje Aguas Abajo y Obras Colectoras de Filtraciones

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
6.1	Filtraciones / Superficies húmedas				
6.2	Signos de Inestabilidad				
6.3	Vegetación				
6.4	Otras condiciones inusuales				

Notas: todos los puntos de control de  
afuoramientos aguas abajo del  
BS se encuentran  
secos.  
(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)

Proyecto #  
Muro

E40165  
Betadora / m.

Fecha de Inspección

13/01/20

Ubicación

Embalse rebros

### 7. Instrumentación

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
7.1	Piezómetros	✓	S.	- Piezómetros fibra óptica: 6.01, 6.2, 8.1, 8.2. Lectura manual 12/01/20. Sin observaciones.	
7.2	Monolitos	✓	S.	- Sin observaciones.	
7.3	Aforadores				
7.4	Otros				
<p>Notas: <u>PIEZOMETRO G F.O. 8.1 y 8.2</u> <u>SIN SEÑAL DESDE INICIOS AÑO 2019.</u></p> <p>(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)</p>					

**ANEXO B4  
REGISTRO DE INSPECCIÓN DE TERRENO  
MO**

## Teck

## wood.

Proyecto # E40165 Fecha de Inspección 13/01/20  
 Muro Monte Ubicación Cumbayse Nalones

Completar todas las entradas de las fichas de inspección. Se deben describir las condiciones adversas.  
 Se puede adjuntar información adicional en páginas aparte.

**Personal**  
 Supervisor - Luis Alvarez.  
- Luis Gonzalez.  
 Representante Wood - Mickey Davachi.  
**Otros**  
- Jaime Tapia.  
- John Pottie.  
- Sergio Valdebenito.

**Clima**

	Actual	3 días atrás	2 semanas atrás
Seco	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Neblina	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lluvia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lluvia Intensa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Condición del Muro**  
 Operando  Abandonado  Notas: \_\_\_\_\_

**Información del Muro**  
 El. Laguna 1142,946 [msnm] Revancha 5,27 [m]  
 El. Coronamiento 1149,5 [msnm] Δ Laguna / Coronamiento 6,55 [m]

**Metodo de Constructivo del Muro**  
 Eje central  Otro \_\_\_\_\_  
 Aguas Abajo

**Actividades de Construcción / Operación Local**  
 Relleno Masivo  INICIA CORTE Y RETIRO  
 Relleno Transición  Reparación EROSIONES  
 Impermeabilización   
 Descarga   
 Otro

**Razón de la Inspección**  
 Rutinaria   
 Condición Especial  D.S.I

**Nomenclatura Puntaje**  
 S = Satisfactorio. Cumple intención de diseño,  
 F = Apropiado. Cumple intención de diseño. Mantenimiento / Estudio requerido,  
 P = Pobre. Puede que no cumpla intención de diseño. Reparación / Modificación requerida,  
 U = Insatisfactorio. No cumple intención de diseño. Reparación / reemplazo requerido,  
 N = Sin Inspeccionar.

Proyecto #  
Muro

E40165  
Monte

Fecha de Inspección

13/01/20

Ubicación

Embalse Relaves

1. Talud Aguas Arriba / Playa de Relaves

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
1.1	Protección del Talud	✓	5	• R. Transición	
1.2	Erosion Superficial	✓	5	• CAÑONAS en proceso de reparación (contorno) sector B.S. (EROSIÓN POR DESACOPLE DE CARGERÍA EN PTO. DE DESCARGA)	
1.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	5	• No presentes.	
1.4	Sinkholes	✓	5	• No presentes.	
1.5	Grietas / desplazamientos	✓	5	• No presentes.	
1.6	Escombros	✓	5	• No presentes.	
1.7	Vegetación	✓	5	• No presentes.	
1.8	Evidencia de nivel freatico alto	✓	5	• No presentes.	
1.9	Otras condiciones inusuales				

Notas: • PARA la etapa # 4. Se tiene Remedio en talud.  
• Geotextos ha dado comienzo al trabajo de este frente de la etapa 4.

(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)

Proyecto #

E40165

Fecha de Inspección

13/01/20

Muro

puerto

Ubicación

Embalse del...

## 2. Coronamiento

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
2.1	Grietas Superficiales Transversales	✓	S.	• No presente	
2.2	Grietas Superficiales Longitudinales	✓	S.	• No presente	
2.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	S.	• No presente	
2.4	Sinkholes	✓	S.	• No presente	
2.5	Desplazamientos Laterales	✓	S.	• No presente	
2.6	Protección Superficial	✓	S.	• R-Transición Et. 1140, 1150 (etapas 3)	
2.7	Erosión	✓	S.	• No presente	
2.8	Vegetación	✓	S.	• No presente	
2.9	Madrigueras de animales	✓	S.	• No presente	
Notas:					
(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)					

Proyecto #  
Muro

E40165

ohente

Fecha de Inspección

14/01/20

Ubicación

EMBALSE RELAY

### 3. Talud Aguas Abajo

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
3.1	Protección del Talud	✓	S	• 12 m de largo	
3.2	Erosion Superficial	✓	S.	• No presente.	
3.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	S.	• No presente.	
3.4	Sinkholes	✓	S.	• No presente.	
3.5	Grietas / desplazamientos	✓	S.	• No presente.	
3.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	S.	• No presente.	
3.7	Vegetación	✓	S.	• No presente.	
3.8	Madrigueras de animales	✓	S.	• No muestras	
3.9	Angulo	✓	S.	• Cumple diseño Talud (1,0:1,0) ✓	
3.10	Otras condiciones inusuales				

Notas:

(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)

Proyecto #  
Muro

E40165  
oriente.

Fecha de Inspección 14/01/20  
Ubicación Embalse Nelson

4.Estribo Izquierdo del Muro (mirando hacia aguas abajo)

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
4.1	Condición Superficial	✓	S.	• Sin observaciones.	
4.2	Vegetación y Escombros	✓	S.	• No presente.	
4.3	Protección del talud	✓	S.	• R MASIVA	
4.4	Desplazamientos	✓	S.	• No presente.	
4.5	Erosión	✓	S.	• No presente	
4.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	S.	• No presente.	
4.7	Otras condiciones inusuales				
<p>Notas:</p> <p>(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página )</p>					

Proyecto #  
Muro

E40165  
oriente

Fecha de Inspección

14/01/2010

Ubicación

embalse Nelson

5. Estribo Derecho del Muro (mirando hacia aguas abajo)

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
5.1	Condición Superficial	✓	S.	• Sin observaciones.	
5.2	Vegetación y Escombros	✓	S.	• No presentes.	
5.3	Protección del talud	✓	S.	• R. Masivos	
5.4	Desplazamientos	✓	S.	• No presentes.	
5.5	Erosión	✓	S.	• No presentes.	
5.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	S.	• No presentes.	
5.7	Otras condiciones inusuales				

Notas: MAPEO GEOLOGICO DEL ESTRIBO  
CO-TAPADERA EN EL SECTOR DONDE  
SE SOPORTARA LA TRANSICION (ETAPA)  
(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)

Proyecto #  
Muro

E40165  
oriental

Fecha de Inspección 14/01/20  
Ubicación Embalse Nelson

6. Drenaje Aguas Abajo y Obras Colectoras de Filtraciones

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
6.1	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	S.	No presente.	
6.2	Signos de Inestabilidad	✓	S.	No presente.	
6.3	Vegetación	✓	S.	No presente.	
6.4	Otras condiciones inusuales				

Notas: RECOMENDAR PROTECCION CON DADO DE HORMIGON EN EL SECTOR DE LA DESCARGA DEL DRENO CENTRAL (CAMBIA HDPE.)  
(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)

Proyecto #  
Muro

E40165

on-site.

Fecha de Inspección

14/01/20.

Ubicación

Embalse Retaver.

### 7. Instrumentación

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
7.1	Piezómetros	✓	S.	<ul style="list-style-type: none"> <li>PE: 009-009A-010.</li> <li>lectura manual 12/01/20</li> <li>sin observaciones</li> </ul>	
7.2	Monolitos	✓		<ul style="list-style-type: none"> <li>Trabajo de corte y retira (Cooperativa).</li> <li>monolitos se encuentran tapados</li> </ul>	
7.3	Aforadores	✓	P.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aforador en mal estado. Actualmente presenta un conducto pequeño que no puede ser medido.</li> <li>- Aforador debe ser reemplazado o reparado.</li> <li>Y REUBICADO JUNTO CON SU CÁMARA DE DESCARGA X INTERFERENCIA DE NUEVO BOTADERO DESTERIL.</li> </ul>	
7.4	Otros				
<p>Notas:</p> <p>(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)</p>					

**ANEXO B5  
REGISTRO DE INSPECCIÓN DE TERRENO  
MO(S)**

## Teck

## wood.

Proyecto # E40165  
 Muro oriental sur

Fecha de Inspección 13/01/20  
 Ubicación Embalse Nelson

Completar todas las entradas de las fichas de inspección. Se deben describir las condiciones adversas. Se puede adjuntar información adicional en páginas aparte.

Personal - Luis Alvarez.  
 Supervisor - Luis Gonzalez.  
 Representante Wood - Mickey Sakachi.  
 Otros - Bruna Tapia.  
- John Pottic.  
- Sergio Valdebenito.

Clima	Actual	3 días atrás	2 semanas atrás
Seco	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Neblina	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lluvia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lluvia Intensa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Condición del Muro  
 Operando  Abandonado  Notas: \_\_\_\_\_

Información del Muro  
 El. Laguna 1142.946 [msnm] Revancha 17.65 [m]  
 El. Coronamiento 1162.5 [msnm] Δ Laguna / Coronamiento 19.55 [m]

Metodo de Constructivo del Muro  
 Eje central  Otro \_\_\_\_\_  
 Aguas Abajo

Actividades de Construcción / Operación Local  
 Relleno Masivo   
 Relleno Transición   
 Impermeabilización  Inicio construcción ZANJA por la izquierda (1162.50) e izquierda (1149.50).  
 Descarga   
 Otro

Razón de la Inspección  
 Rutinaria   
 Condición Especial  D.S.I.

Nomenclatura Puntaje  
 S = Satisfactorio. Cumple intención de diseño,  
 F = Apropiado. Cumple intención de diseño. Mantenimiento / Estudio requerido,  
 P = Pobre. Puede que no cumpla intención de diseño. Reparación / Modificación requerida,  
 U = Insatisfactorio. No cumple intención de diseño. Reparación / reemplazo requerido,  
 N = Sin Inspeccionar.

Proyecto #  
Muro

E40165

Monente Sur

Fecha de Inspección

13/01/20.

Ubicación

Embalse Relaves

1. Talud Aguas Arriba / Playa de Relaves

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
1.1	Protección del Talud	✓	5.	• R. Terminación	
1.2	Erosion Superficial	✓	5.	• No presente.	
1.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	5.	• No presente.	
1.4	Sinkholes	✓	5.	• No presente.	
1.5	Grietas / desplazamientos	✓	5.	• No presente.	
1.6	Escombros	✓	5.	• No presente.	
1.7	Vegetación	✓	5.	• No presente.	
1.8	Evidencia de nivel freatico alto	✓	5.	• No presente.	
1.9	Otras condiciones inusuales	✓	5.	• No presentes.	
<p>Notas: <u>DETALAR CAUTOS VIVOS PREVIO A LA COLOCACION DEL GEOTEXTIL.</u></p> <p>(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)</p>					

Proyecto #  
Muro

E40165  
oriente km.

Fecha de Inspección  
Ubicación

13/01/20  
Cuba/se. Nelson

### 2. Coronamiento

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
2.1	Grietas Superficiales Transversales	✓	S.	• No presente	
2.2	Grietas Superficiales Longitudinales	✓	S.	• no presente	
2.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	S.	• no presente	
2.4	Sinkholes	✓	S.	• no presente	
2.5	Desplazamientos Laterales	✓	S.	• no presente	
2.6	Protección Superficial	✓	S.	• R. Transición	
2.7	Erosión	✓	S.	• no presente	
2.8	Vegetación	✓	S.	• no presente	
2.9	Madrigueras de animales	✓	S.	• no presente	
<p>Notas: <u>ASENTAMIENTO MENOR, LONGITUDINAL COLACI DEBATE CON FOTOMBO DEL RELLENO MASIVO COMPACTADO.</u> (Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)</p>					

Proyecto #  
Muro

E40165

oriental km.

Fecha de Inspección

13/01/20

Ubicación

Embalse Nelson

### 3. Talud Aguas Abajo

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
3.1	Protección del Talud	✓	5.	• ROMASIVO.	
3.2	Erosión Superficial	✓	5.	• no presente.	
3.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	5.	• no presente.	
3.4	Sinkholes	✓	5.	• no presente	
3.5	Grietas / desplazamientos	✓	5.	• No presente	
3.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	5.	• no presente	
3.7	Vegetación	✓	5.	• No presente.	
3.8	Madrigueras de animales	✓	5.	• No Muestra	
3.9	Angulo	✓	5.	• baffle diseño 1,0:1,0 (H:V).	
3.10	Otras condiciones inusuales				

Notas:

(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)

Proyecto #

E40165

Fecha de Inspección

13/01/20

Muro

oeste MM.

Ubicación

Embalse Nelson

4. Estribo Izquierdo del Muro (mirando hacia aguas abajo)

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
4.1	Condición Superficial	✓	S.	• Sin observaciones	
4.2	Vegetación y Escombros	✓	S.	• No presente	
4.3	Protección del talud	✓	S.	• R. Masivo original sobre cerna existente	
4.4	Desplazamientos	✓	S.	• No presente	
4.5	Erosión	✓	S.	• No presente.	
4.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	S.	• No presente.	
4.7	Otras condiciones inusuales				

Notas:

(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)

Proyecto #  
Muro

E40165

enante luv.

Fecha de Inspección

13/01/20.

Ubicación

Embarcadero

5. Estribo Derecho del Muro (mirando hacia aguas abajo)

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
5.1	Condición Superficial	✓	5	• Sin observaciones.	
5.2	Vegetación y Escombros	✓	5	• No presente.	
5.3	Protección del talud	✓	5	• R. Masivo.	
5.4	Desplazamientos	✓	5	• No presente.	
5.5	Erosión	✓	5	• No presente.	
5.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	5	• No presente.	
5.7	Otras condiciones inusuales				
<p>Notas: LIMPIAR EL ESTRIBO DE MATERIAL DE DETURAME DE CAMION MUEVO HACIA EL MURO SUR. (Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)</p>					

Proyecto #  
Muro

E40165  
monte km.

Fecha de Inspección 13/01/20  
Ubicación Embalse Noreste

6. Drenaje Aguas Abajo y Obras Colectoras de Filtraciones

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
6.1	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	S.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No presentes.</li> <li>• Pendiente a la fecha construcción dren lateral (Asdo Hormigón) conexión bien MD.</li> </ul>	
6.2	Signos de Inestabilidad	✓	S.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No Muestran</li> </ul>	
6.3	Vegetación	✓	S.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No presentes</li> </ul>	
6.4	Otras condiciones Inusuales				
<p>Notas:</p> <p>(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página )</p>					

## Teck

## wood.

Proyecto #  
Muro

E40165

oriente Sur.

Fecha de Inspección

13/01/2022

Ubicación

Embalse Nelson

### 7. Instrumentación

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
7.1	Piezómetros	✓	S.	<ul style="list-style-type: none"> <li>lectura tomada día 12/01/20 PE 03-014</li> <li>SIN OBSERVACIONES.</li> </ul>	
7.2	Monolitos	✓	P.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Producto de las recientes frezadas en el área de empuje se encuentran tapados con material tipo 2 transición</li> </ul>	
7.3	Aforadores	✓	P	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aforador que recibe drenaje del muro de empuje no operativo debe ser reparado o remplazado. (NO)</li> <li>PREUBICADO POR FUTURO BOTADERO DE ESTERIL.</li> </ul>	
7.4	Otros				
<p>Notas:</p> <p>(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)</p>					

**ANEXO B6  
REGISTRO DE INSPECCIÓN DE TERRENO  
MS**

## Teck

## wood.

Proyecto # E40165 Fecha de Inspección 14/01/20  
 Muro Sur. Ubicación Embalse Retiro

Completar todas las entradas de las fichas de inspección. Se deben describir las condiciones adversas. Se puede adjuntar información adicional en páginas aparte.

**Personal**  
 Supervisor - Luis ALVAREZ.  
 Representante Wood - Mickey LAVACHI.  
**Otros**  
- Bruno Tapia.  
- John Pettie.  
- Senoio Valdebenito.

Clima	Actual	3 días atrás	2 semanas atrás
Seco	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Neblina	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lluvia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lluvia Intensa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Condición del Muro**  
 Operando  Abandonado  Notas: \_\_\_\_\_

**Información del Muro**  
 El. Laguna 1142.930 [msnm] Revancha 17.39 [m]  
 El. Coronamiento 1162.5 [msnm] Δ Laguna / Coronamiento 19.57 [m]

**Metodo de Constructivo del Muro**  
 Eje central  Otro \_\_\_\_\_  
 Aguas Abajo

**Actividades de Construcción / Operación Local**  
 Relleno Masivo   
 Relleno Transición  Restauración: Trabajo pendiente Muro.  
 Impermeabilización   
 Descarga   
 Otro

**Razón de la Inspección**  
 Rutinaria   
 Condición Especial  D.S.I.

**Nomenclatura Puntale**  
 S = Satisfactorio. Cumple intención de diseño,  
 F = Apropiado. Cumple intención de diseño. Mantenimiento / Estudio requerido,  
 P = Pobre. Puede que no cumpla intención de diseño. Reparación / Modificación requerida,  
 U = Insatisfactorio. No cumple intención de diseño. Reparación / reemplazo requerido,  
 N = Sin Inspeccionar.

Proyecto #  
Muro

E40165

San.

Fecha de Inspección

14/04/20.

Ubicación

Embalse Relave

1. Talud Aguas Arriba / Playa de Relaves

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
1.1	Protección del Talud	✓	S.	• R. Transición	
1.2	Erosion Superficial	✓	S.	• No presenta.	
1.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	S.	• No presenta.	
1.4	Sinkholes	✓	S.	• No presenta.	
1.5	Grietas / desplazamientos	✓	S.	• No presenta.	
1.6	Escombros	✓	S.	• No presenta.	
1.7	Vegetación	✓	S.	• No presenta.	
1.8	Evidencia de nivel freatico alto	✓	S.	• No presenta.	
1.9	Otras condiciones inusuales				
Notas:					
(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)					

## Teck

## wood.

Proyecto #  
Muro

E40165

Fecha de Inspección

14/21/20.

Ubicación

Embarque relaves.

### 2. Coronamiento

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
2.1	Grietas Superficiales Transversales	✓	S.	• No presente -	
2.2	Grietas Superficiales Longitudinales	✓	S.	• No presente	
2.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	S.	• No presente.	
2.4	Sinkholes	✓	S.	• No presente.	
2.5	Desplazamientos Laterales	✓	S.	• No presente	
2.6	Protección Superficial	✓	S.	• R. Transición	
2.7	Erosión	✓	S.	• No presente	
2.8	Vegetación	✓	S.	• No presente	
2.9	Madrigueras de animales	✓	S.	• No presente.	

Notas: SOBRETAMADO EN LOS ACOPIOS DE MATERIAL DE RELLENO APTO COMO MASIVO, SE DEBEN RETIRAR (Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)

DEL FRENTE DE TRABAJO PREVIO AL INICIO DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA ETAPA 5.

Proyecto #  
Muro

E40165

Sur.

Fecha de Inspección

14/01/20

Ubicación

Embalse de Abores

### 3. Talud Aguas Abajo

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
3.1	Protección del Talud				
3.2	Erosion Superficial				
3.3	Asentamientos superficiales / hundimientos				
3.4	Sinkholes				
3.5	Grietas / desplazamientos				
3.6	Filtraciones / Superficies húmedas				
3.7	Vegetación				
3.8	Madrigueras de animales				
3.9	Angulo				
3.10	Otras condiciones inusuales				
<p>Notas: <u>Sin TALUD AGUAS ABAJO AL MOMENTO DE LA VISITA.</u></p> <p>(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página )</p>					

Proyecto #  
Muro

E40165  
Sun.

Fecha de Inspección

14/01/20

Ubicación

Cambotse Nglones

4.Estribo Izquierdo del Muro (mirando hacia aguas abajo)

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
4.1	Condición Superficial				
4.2	Vegetación y Escombros				
4.3	Protección del talud				
4.4	Desplazamientos				
4.5	Erosión				
4.6	Filtraciones / Superficies húmedas				
4.7	Otras condiciones inusuales				
<p>Notas:</p> <p>(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página )</p>					

## Teck

## wood.

Proyecto #  
Muro

E40165

Fecha de Inspección

14/09/20.

Ubicación

Embalse Alvarado

5. Estribo Derecho del Muro (mirando hacia aguas abajo)

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
5.1	Condición Superficial				
5.2	Vegetación y Escombros				
5.3	Protección del talud				
5.4	Desplazamientos				
5.5	Erosión				
5.6	Filtraciones / Superficies húmedas				
5.7	Otras condiciones inusuales				

Notas: FINALIZAR LA OBRA DE PROTECCIÓN CONTRA ESCORMENTA SUPERFICIAL (CRIP RAP)

(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)

Proyecto # E40165  
 Muro Sur.

Fecha de Inspección 14/01/20.  
 Ubicación Embalse Retores

**6. Drenaje Aguas Abajo y Obras Colectoras de Filtraciones**

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
6.1	Filtraciones / Superficies húmedas				
6.2	Signos de Inestabilidad				
6.3	Vegetación				
6.4	Otras condiciones inusuales				
<p>Notas:</p> <p>(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página )</p>					

## Teck

## wood.

Proyecto #  
Muro

E40165

*lm.*

Fecha de Inspección

*14/09/20.*

Ubicación

*Cmbp/2 Relaves*

### 7. Instrumentación

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
7.1	Piezómetros				
7.2	Monolitos				
7.3	Aforadores				
7.4	Otros				
<p>Notas:</p> <p>(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)</p>					

**ANEXO B7  
REGISTRO DE INSPECCIÓN DE TERRENO  
MP**

Proyecto # E40165 Fecha de Inspección 14/01/20  
 Muro Poniente Ubicación \_\_\_\_\_

Completar todas las entradas de las fichas de Inspección. Se deben describir las condiciones adversas.  
 Se puede adjuntar información adicional en páginas aparte.

Personal - Luis Alvarez.  
 Supervisor - Luis González. Otros - Bruna Tapia.  
 Representante Wood - Mickey Dalachi. - Sergio Valdebenito.

Clima	Actual	3 días atrás	2 semanas atrás
Seco	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Neblina	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lluvia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lluvia Intensa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Condición del Muro  
 Operando  Abandonado

Notas: Al respecto se ha realizado todo el escorpe por el muro

Información del Muro  
 El. Laguna 1142,930 [msnm] Revancha \_\_\_\_\_ [m]  
 El. Coronamiento \_\_\_\_\_ [msnm] Δ Laguna / Coronamiento \_\_\_\_\_ [m]

Metodo de Constructivo del Muro  
 Eje central  Otro \_\_\_\_\_  
 Aguas Abajo  \_\_\_\_\_

Actividades de Construcción / Operación Local  
 Relleno Masivo  \_\_\_\_\_  
 Relleno Transición  \_\_\_\_\_  
 Impermeabilización  \_\_\_\_\_  
 Descarga  \_\_\_\_\_  
 Otro  se ha realizado visita a lugar donde se va a emplear el muro.

Razón de la Inspección  
 Rutinaria  \_\_\_\_\_  
 Condición Especial  \_\_\_\_\_

Nomenclatura Puntaje  
 S = Satisfactorio. Cumple intención de diseño,  
 F = Apropiado. Cumple intención de diseño. Mantenimiento / Estudio requerido,  
 P = Pobre. Puede que no cumpla intención de diseño. Reparación / Modificación requerida,  
 U = Insatisfactorio. No cumple intención de diseño. Reparación / reemplazo requerido,  
 N = Sin Inspeccionar.

Proyecto # E40165 Fecha de Inspección \_\_\_\_\_  
 Muro \_\_\_\_\_ Ubicación \_\_\_\_\_

1. Talud Aguas Arriba / Playa de Relaves

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
1.1	Protección del Talud				
1.2	Erosion Superficial				
1.3	Asentamientos superficiales / hundimientos				
1.4	Sinkholes				
1.5	Grietas / desplazamientos				
1.6	Escombros				
1.7	Vegetación				
1.8	Evidencia de nivel freático alto				
1.9	Otras condiciones inusuales				
Notas: <i>por construir</i> (Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)					

Proyecto # E40165 Fecha de Inspección \_\_\_\_\_  
 Muro \_\_\_\_\_ Ubicación \_\_\_\_\_

### 2. Coronamiento

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
2.1	Grietas Superficiales Transversales				
2.2	Grietas Superficiales Longitudinales				
2.3	Asentamientos superficiales / hundimientos				
2.4	Sinkholes				
2.5	Desplazamientos Laterales				
2.6	Protección Superficial				
2.7	Erosión				
2.8	Vegetación				
2.9	Madrigueras de animales				

Notas:  
*X CONSTRUIR*

(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)

Proyecto # E40165 Fecha de Inspección \_\_\_\_\_  
 Muro \_\_\_\_\_ Ubicación \_\_\_\_\_

### 3. Talud Aguas Abajo

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
3.1	Protección del Talud				
3.2	Erosion Superficial				
3.3	Asentamientos superficiales / hundimientos				
3.4	Sinkholes				
3.5	Grietas / desplazamientos				
3.6	Filtraciones / Superficies húmedas				
3.7	Vegetación				
3.8	Madrigueras de animales				
3.9	Angulo				
3.10	Otras condiciones inusuales				
Notas: <p style="color: blue; font-family: cursive;">FOR CONSTRUCTION</p> <p>(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página.)</p>					

Proyecto # E40165 Fecha de Inspección \_\_\_\_\_  
 Muro \_\_\_\_\_ Ubicación \_\_\_\_\_

**4.Estribo Izquierdo del Muro (mirando hacia aguas abajo)**

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
4.1	Condición Superficial				
4.2	Vegetación y Escombros				
4.3	Protección del talud				
4.4	Desplazamientos				
4.5	Erosión				
4.6	Filtraciones / Superficies húmedas				
4.7	Otras condiciones inusuales				

Notas: *FOR CONSTRUCTION*  
 (Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página )

Proyecto # E40165 Fecha de Inspección \_\_\_\_\_  
 Muro \_\_\_\_\_ Ubicación \_\_\_\_\_

5. Estribo Derecho del Muro (mirando hacia aguas abajo)

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
5.1	Condición Superficial				
5.2	Vegetación y Escombros				
5.3	Protección del talud				
5.4	Desplazamientos				
5.5	Erosión				
5.6	Filtraciones / Superficies húmedas				
5.7	Otras condiciones inusuales				

Notas: **POR CONSTRUIR**  
 (Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página )

Proyecto # E40165 Fecha de Inspección \_\_\_\_\_  
 Muro \_\_\_\_\_ Ubicación \_\_\_\_\_

**6. Drenaje Aguas Abajo y Obras Colectoras de Filtraciones**

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
6.1	Filtraciones / Superficies húmedas				
6.2	Signos de Inestabilidad				
6.3	Vegetación				
6.4	Otras condiciones inusuales				

Notas: **DESARROLLAR CAMPAÑA DE EXPLORACIÓN, PREVIO A LA CONSTRUCCIÓN DEL MURO**  
 (Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)

Proyecto # E40165 Fecha de Inspección \_\_\_\_\_  
Muro \_\_\_\_\_ Ubicación \_\_\_\_\_

### 7. Instrumentación

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
7.1	Piezómetros				
7.2	Monolitos				
7.3	Aforadores				
7.4	Otros				
Notas: <u>FOR CONSTRUCTION</u>					
(Si el espacio no es suficiente, continúe en otra página)					