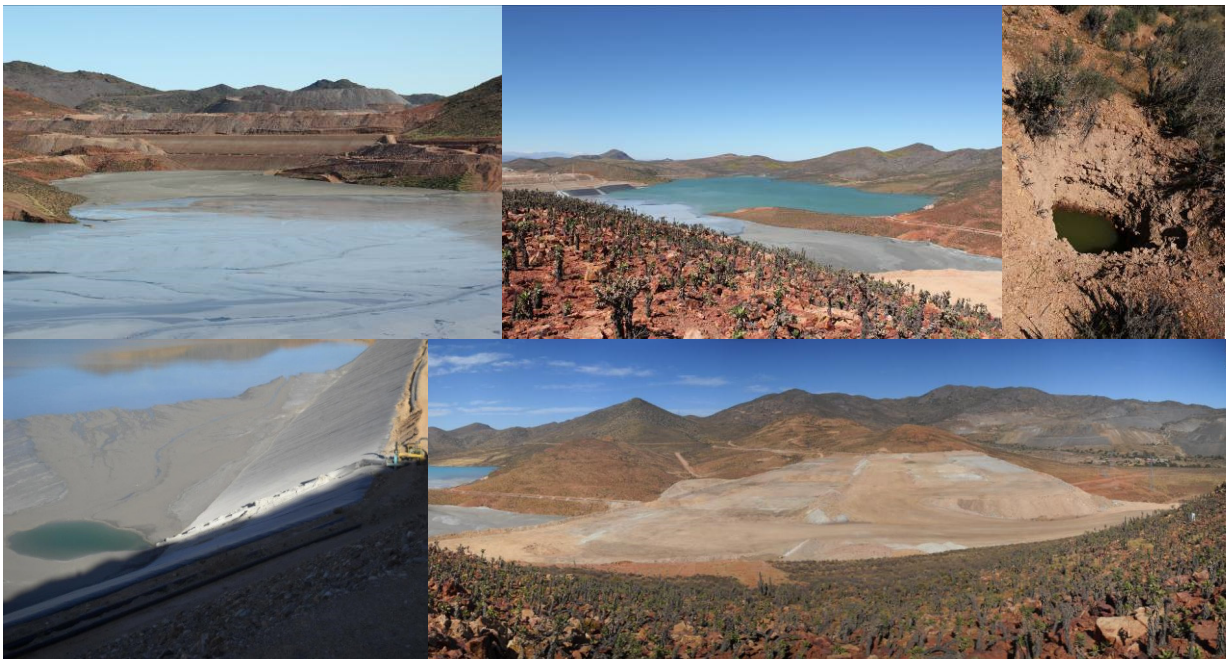
INFORME TÉCNICO

Inspección de Seguridad (DSI 2019)

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

25 de noviembre de 2019

Compañía Minera TECK- Carmen de Andacollo

INGENIERO DE REGISTRO - DEPÓSITO DE RELAVES

PROYECTO Nº E40165

INFORME TÉCNICO

Nº E40165-840-R-TR-024

PARA

INSPECCIÓN DE SEGURIDAD 2019 (DSI) – DEPÓSITO DE RELAVES

Preparado por:

WOOD, Environment & Infrastructure Solutions (E&IS)

Aprobado por:

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

Rev.	Autor	Emitido para	Fecha	Rev. por	Fecha Aprob.
A	LA	Revisión Interna	23/08/2019	LG	
B	LA	Para el Cliente	24/09/2019	LG	
0	LA	Emitido	25/11/2019		

Contenido

1.0 INTRODUCCIÓN 9
1.1. Propósito, alcance del trabajo y metodología 9
1.2. Abreviaturas 9
1.3. Regulaciones aplicables al depósito de relaves 10
1.4. Permisos 11
1.5. Descripción de las Instalaciones 12
2.0 CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN 2018 14
2.1. Depositación de Relaves 14
2.2. Capacidad de Almacenamiento Remanente 15
2.3. Construcción y Operación Durante el Período 16
2.3.1. Operación de Agua y Relaves 16
2.3.2. Construcción de Muros 16
2.3.3. Construcción de Sistema de recuperación de Agua desde Laguna 18
2.4. Planta y Secciones Transversales Actualizadas 18
2.5. Revisión de Datos y Registros 28
2.5.1. Inspecciones diarias 28
2.5.2. Inspecciones semanales 29
2.5.3. Inspecciones mensuales 29
2.5.4. Inspecciones trimestrales 30
2.5.5. Inspecciones anuales 30
2.5.6. Inspecciones quinquenales 30
2.5.1. En tiempo real 30
2.5.2. Extraordinarias 31
3.0 DATOS CLIMÁTICOS Y BALANCE DE AGUAS 2018 . 33
3.1. Resumen anual de datos climáticos y tendencia 33
3.2. Revancha y almacenamiento 36
3.3. Volumen de agua descargada (superficial y subterránea) 42
4.0 RESUMEN INSTRUMENTACIÓN 2018 50
4.1. Piezómetros de cuerda vibrante 50
4.1.1. Etapa de construcción (EPCM) y comisionamiento 50
4.1.2. Etapa de operación 50
4.1.3. Ubicación de los piezómetros 51
4.2. Nueva Instrumentación: Campaña de Sondajes 51
4.2.1. Resumen Ejecutivo de la Campaña de Sondajes 51
4.2.2. Instrumentación asociada a la campaña de Sondajes 52
4.2.3. Piezómetros Casagrande 53
4.2.4. Piezómetros de Fibra Óptica 54
4.3. Lecturas Instrumentales 2018 65
4.3.1. Lecturas Piezómetros MN 65
4.3.2. Lecturas Piezómetros MNO 66
4.3.3. Lecturas Piezómetros de Fibra Óptica 69
4.3.4. Lecturas Piezómetros Casagrande 71
4.3.5. Lecturas Piezómetros MO 74
4.3.6. Lecturas Piezómetros MO(S) 75
4.4. Deformaciones 77
4.4.1. Asentamientos 77

4.4.2. Desplazamiento Vectorial 90
5.0 Estabilidad 91
6.0 Calidad de agua descargada 92
7.0 OBSERVACIONES DEL SITIO 93
7.1. Participantes 93
7.2. Programación 93
7.3. Inspección 95
7.3.1. Extensión de Playas 95
7.3.2. Agrietamiento de la Zona de Transición 95
7.3.3. Filtraciones 97
7.3.4. Muro MS / Aguas Arriba y Estribos 98
7.3.5. Muro MO(S) / Aguas Arriba y Estribos 99
7.3.6. Muro MO – Aguas Arriba y Estribos 99
7.3.7. Muro Nororiente (MNO) – Aguas Arriba 100
7.3.8. Muro Nororiente (MNO) – Aguas Abajo 100
7.3.9. Muro Norte (MN) – Aguas Arriba 100
7.3.10. Muro Norte (MN) / Aguas Abajo 102
7.3.11. Botadero Sur (BS) 102
7.3.12. Muro Poniente – Fundación 103
7.3.13. Trincheras – Sistema de recuperación de Aguas Claras 103
7.3.14. Instrumentación y Monitoreo 103
7.3.15. Niveles de agua 103
8.0 EVALUACIÓN DE SEGURIDAD DE LA PRESA 105
8.1. Criterios de Diseño Clave 105
8.2. Modos de Falla 106
8.3. Peligros – Medidas de Diseño/Control 109
8.3.1. Estabilidad física 109
8.3.2. Manejo de Agua Superficial 114
8.3.3. Manual de Operación 114
8.3.4. Revisión de la clasificación de la presa 115
8.4. Comportamiento físico 115
8.4.1. Geotécnico 115
8.4.2. Hidráulico 116
8.5. Comportamiento operacional 120
8.5.1. Procedimientos operacionales 120
8.5.2. Incidentes y confiabilidad 120
8.5.3. Mantenimiento 125
8.6. Revisión del Manual de Operaciones 125
8.7. Revisión del Plan de Preparación y Respuesta ante Emergencia 126
8.8. Revisión de Seguridad (DSR) 126
8.9. Actualización de Distancia Peligrosa 129
9.0 RESUMEN Y RECOMENDACIONES 131
9.1. Resumen de actividades de construcción durante la visita 131
9.2. Resumen de desempeño 131
9.3. Resumen de cambios en la instalación o condiciones aguas arriba o aguas abajo 131
9.3.1. Diseño MP 131
9.3.2. Descargas adicionales MN, MNO y MO 132
9.3.3. Descarga adicional BS 132

9.3.4. Desplazar D5, MO 132
9.3.5. Impermeabilización Coronamiento BS (Aguas Arriba) 132
9.4. Clasificación de consecuencias según CDA (ref. Teck) 135
9.5. Estatus Recomendaciones DSI 2018 136
9.6. Recomendaciones DSI 2019 137
9.6.1. Longitud de Playas 137
9.6.2. Filtraciones 138
9.6.3. Agrietamientos en la Transición 138
9.6.4. MS 139
9.6.5. MO(S) 139
9.6.6. MO – Aguas Arriba 139
9.6.7. MO – Aguas Abajo 140
9.6.8. MNO – Aguas Arriba 140
9.6.9. MN – Aguas Arriba 140
9.6.10. MN – Aguas Abajo 140
9.6.11. BS 141
9.6.12. MP 141
9.6.13. Trincheras 141
9.6.14. Monitoreo y control 141
10.0 ANEXOS 143

Tablas

Tabla 1-1: Gestión de Permisos al 31 de marzo de 2019 (ref. OMS_R4_ Wood) 12
Tabla 2-1: Depositación real versus programada (abr. 2018 – mar. 2019). 14
Tabla 2-2: Resumen Relleno Masivo. 16
Tabla 2-3: Resumen Corte y Retiro 17
Tabla 2-4: Resumen Relleno de Transición 17
Tabla 3-1: Comparación del volumen disponible del embalse de relaves vs volumen de crecida (ref. presentación Manejo de Crecidas, GRB 2019, Wood). 37
Tabla 4-1: Piezómetros de cuerda vibrante instalados 51
Tabla 4-2: Piezómetros 53
Tabla 4-3: Estimación de asentamiento inducido por terremoto 19E, 2019) (ref., Wood). 86
Tabla 7-1: Programación DSI 2019 94
Tabla 8-1: Estatus Criterios de Diseño Clave durante el periodo (ref. OMS_R4 AmecFW). 105
Tabla 8-2: Chequeo del Estatus de los Tipos de Falla durante el período 2018 (ref. HAZOP 2017 AmecFW) 107
Tabla 8-3: Parámetros de los terremotos MCE (2006); MC y Op (2016) para el sitio del depósito de relaves Teck CdA (ref. S y S, 2006 y 2016). 111
Tabla 8-4: Parámetros de los sismos relevantes (ref. USCG y sismógrafo SAG) 112
Tabla 8-5: Relación de aceleraciones horizontales máximas en el sitio para sismos relevantes vs sismos interplaca de diseño. 112
Tabla 8-6: Resumen actividad filtraciones MN (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood) 117
- Tabla 8-7: Plan de Acciones Específicas ante Recomendaciones DSR (1 de 2) (ref. Doc. 5071-0000-RE-INF-001_R2, ACL) 127
- Tabla 8-8: Plan de Acciones Específicas ante Recomendaciones DSR (2. De 2) (ref. Doc. 5071-0000-RE-INF-001_R2, ACL) 128

Figuras

Figura 2-1: Depositación real versus programada, por descarga (abr. 2018 – mar. 2019). 14
Figura 2-2: Depositación real versus programada, total por sector (abr. 2018 – mar. 2019). 15
Figura 2-3: Planta Depósito de Relaves, al 31 de marzo de 2019 (ref. GA 2019.Q1, Wood). 19
Figura 2-4: Sección A - A: Muro Norte (MN), al 31 de marzo de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q1, Wood)..... 20
Figura 2-5: Sección B - B: Muro Nor Oriente (MNO), al 31 de marzo de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q1, Wood). 21
Figura 2-6: Sección C - C: Botadero Sur (BS), al 31 de marzo de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q1, Wood). 22
Figura 2-7: Sección D - D: Muro Oriente (MO), al 31 de marzo de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q1, Wood). 23
Figura 2-8: Sección E - E: Muro Oriente(Sur) (MO(S)), al 31 de marzo de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q1, Wood). 24
Figura 2-9: Sección F - F: Muro de Cierre (MC), al 31 de marzo de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q1, Wood). 25
Figura 2-10: Sección G - G: Muro Sur (MS), al 31 de marzo de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q1, Wood)..... 26
Figura 2-11: Sección H - H: Muro Poniente (MP), al 31 de marzo de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q1, Wood). 27
- Figura 2-12: Ficha de Inspección Extraordinaria (ref. OMS_R4, Wood). 32
Figura 3-1: Balance Operacional Depósito de Relaves Teck CdA, al 31 de marzo de 2019 (Histórico 1 de 2) (ref. balance operacional de faena para el Embalse de Relaves, Wood). 34
Figura 3-2: Balance Operacional Depósito de Relaves Teck CdA, al 31 de marzo de 2019 (Histórico 2 de 2) (ref. balance operacional de faena para el Embalse de Relaves, Wood). 35
Figura 3-3: Almacenamiento del VMP_{3d} y tormentas 24 h, T_{50} y T_{200} para una Laguna de Agua Claras de 650.000 m^3, Etapa 4 (ref. presentación Manejo de Crecidas, GRB 2019, Wood). 38
Figura 3-4: Almacenamiento del VMP_{3d} y tormentas 24 h, T_{50} y T_{200} para una Laguna de Agua Claras de 650.000 m^3, Etapa 5 (ref. presentación Manejo de Crecidas, GRB 2019, Wood). 39
Figura 3-5: Almacenamiento del VMP_{3d} y tormentas 24 h, T_{50} y T_{200} para una Laguna de Agua Claras de 650.000 m^3, Etapa 6 (ref. presentación Manejo de Crecidas, GRB 2019, Wood). 40
Figura 3-6: Descargas adicionales para alejar Laguna VMP (ref. presentación Manejo de Crecidas, GRB 2019, Wood). 41
Figura 3-7: Almacenamiento del VMP_{3d}, para una Laguna de Agua Claras de 650.000 m^3 para las etapas E4, E5 y E6 (ref. presentación Manejo de Crecidas, GRB 2019, Wood)..... 42
Figura 3-8: Caudal de Drenajes MNO, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood)..... 44
Figura 3-9: Caudal de Afloramientos al pie del talud de camino minero, aguas abajo del MNO, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). 45
Figura 3-10: Caudal de Afloramientos aguas abajo del MNO - poza, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). 46
Figura 3-11: Caudal Total sector El Churque, Drenajes (Weir) + Filtraciones (Seep), al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). 47
Figura 3-12: Normalización afloramientos sector “El Churque”: Planta General y Detalles. 48
Figura 3-13: Normalización afloramientos sector “El Churque”: Perímetro de Protección Instrumentación. 49
Figura 4-1: A) PVC lisos y ranurados; B) Grava; C) Terminación del Pozo 54
Figura 4-2: Plano E40071-840-R-PL-163.000_RB Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros MN Planta (As Built), de fecha 2016.06.13..... 55

Figura 4-3: Plano E40071-840-R-PL-163.001_RB Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros MN Perfiles (As Built), de fecha 2016.06.13. 56
Figura 4-4: Plano E40071-840-R-PL-159.000_RB Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros MNO Planta (As Built), 2016.10.21. 57
Figura 4-5: Plano E40071-840-R-PL-159.001_RB Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros MNO Perfiles (As Built), 2016.10.21. 58
Figura 4-6: Plano E40071-840-R-PL-165.000_RB Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros MO Planta (As Built), 2016.06.13 59
Figura 4-7: Plano E40071-840-R-PL-165.001_RB Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros MO Perfiles (As Built), 2016.06.13. 60
Figura 4-8: Plano E40071-840-R-AB-013_RA Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros MO(S) Planta y Perfiles (As Built), 2016.05.12. 61
Figura 4-9: Plano E40165-840-R-PL-056_R2: Sondajes Sónicos e Instalaciones Piezómetros MNO y BS, 2018.06.22. 62
Figura 4-10: Detalle Habilitación Piezómetros Casagrande 63
Figura 4-11: Detalle Habilitación Piezómetros Fibra Óptica 64
Figura 4-12: Grafico Piezométrico MN – histórico, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). 65
Figura 4-13: Grafico Piezométrico MN, sin El. Laguna – histórico, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). 66
Figura 4-14: Grafico Piezométrico MNO – histórico, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). 68
Figura 4-15: Grafico Piezométrico MNO, sin El. Laguna – histórico, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). 68
4-16: Grafico Piezométrico instrumentos de fibra óptica MNO / BS – histórico, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). 70
Figura 4-17: Grafico Piezométrico instrumentos de fibra óptica MNO / BS, sin laguna – histórico, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). 70
Figura 4-18: Hidrograma Piezómetro Casagrande DH-03 MNO, al 28 de febrero de 2019 (ref. Control y Monitoreo permanente, WSP) 72
Figura 4-19: Hidrograma Piezómetro Casagrande DH-03 MNO (detalle), al 28 de febrero de 2019 (ref. Control y Monitoreo permanente, WSP). 72
Figura 4-20: Hidrograma Piezómetro Casagrande DH-07 BS, al 28 de febrero de 2019 (ref. Control y Monitoreo permanente, WSP) 73
Figura 4-21: Hidrograma Piezómetro Casagrande DH-07 BS (detalle), al 28 de febrero de 2019 (ref. Control y Monitoreo permanente, WSP). 73
Figura 4-22: Grafico Piezométrico MO – histórico, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). 74
Figura 4-23: Gráfico Piezométrico MO, sin El. Laguna – histórico, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood) 75
Figura 4-24: Grafico Piezométrico MO(S) – histórico, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). 76
Figura 4-25: Grafico Piezométrico MO(S), sin El. Laguna – histórico, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood) 76
Figura 4-26: Monolitos para control de Asentamientos – Etapa 3 (ref. Wood) 78
Figura 4-27: Tipos de Asentamiento Estático (ref. presentación Análisis de asentamientos muros y botadero 2018, AmecFW) 79
Figura 4-28: Asentamiento Total (ref. actualización gráfico hasta marzo de 2019, Wood) 80
Figura 4-29: Asentamiento por Etapa (ref. actualización grafico asentamientos, Wood) 81
Figura 4-30: Perfil MN (58 mo); MNO (44 mo); BS (10 mo); MO (37 mo) (ref. Wood). 83
Figura 4-31: Perfil MO(S) (15 mo) (ref. Wood). 84

Figura 4-32: Perfil MS (15 mo) (ref. Wood). 85
Figura 4-33: Asentamiento Prismas MN (6mo), Pl. E3 (ref. TAPD2017, Teck CdA). 88
Figura 4-34: Asentamiento Prismas MNO (6mo), Pl. E3 (ref. TAPD2017, Teck CdA). 88
Figura 4-35: Asentamiento Prismas BS (6mo), Pl. E3 (ref. TAPD2017, Teck CdA). 89
Figura 4-36: Asentamiento Prismas MO (6mo), Pl. E3 (ref. TAPD2017, Teck CdA). 89
Figura 4-37: Asentamiento Prismas MO(S) (6mo), Pl. E3 (ref. TAPD2017, Teck CdA). 90
Figura 7-1: Elevación de la laguna de aguas claras (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood). 104
Figura 8-1: Registro sismo 16S.2015 (ref. Acelerógrafo SAG, Teck CdA) 112
Figura 8-2: Registro sismo 19E.2019 (ref. Acelerógrafo SAG, Teck CdA) 113
Figura 8-3: Registro sismo 19E.2019 (ref. Acelerógrafo MNO, GeoMediciones) 113
Figura 8-4: AFL – MN 117
Figura 8-5: AFR - MN 117
Figura 8-6: Caudal de Afloramientos MN, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood) 119
Figura 8-7: MN, emplazamiento sinkhole playa de relaves, respecto de clúster de piques mineros previo a la construcción (ref. figura base por Wood, año 2019). 123
Figura 8-8: MN, despeje de estribo poniente E3, planta y secciones, Plano E40165-840-R-PL-129_RB (ref. Wood). 124
Figura 8-9: Superficie afectada por ruptura de los muros Etapa 3, 2017.03.14 (ref. estudio de Distancia Peligrosa, Wood) 130
Figura 9-1: Solución en estudio Impermeabilización coronamiento BS, E4, Planta (ref. Wood) 133
Figura 9-2: Solución en estudio Impermeabilización coronamiento BS, E4, Secciones (ref. Wood) 134

1.0 INTRODUCCIÓN

En el presente informe se describen las observaciones y resultados de la inspección de seguridad (DSI 2019, 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 01 y 02 de abril de 2019, en la que participaron los Sres.: Luis González Caro M. Sc., Ingeniero de Registro, Wood, Santiago de Chile; Mickey Davachi Ph. D y P. Eng, Principal Geotechnical Engineer, Wood, Calgary, Canadá y Sergio Barrera consultor senior de relaves, Wood, Santiago de Chile. Al igual que en los dos (2) años anteriores, la inspección se realizó en forma conjunta con el Sr. John Pottie Gerente de Ingeniería Geotécnica, Teck Resources, Santiago de Chile.

En todos los casos cuando a lo largo del texto se indique “al periodo” “el periodo”, siempre se estará haciendo referencia de manera específica al lapso comprendido entre el 01 de abril de 2018 y el 31 de marzo de 2019, y de manera general al año 2018.

1.1. Propósito, alcance del trabajo y metodología

El propósito de la inspección fue realizar un examen detallado de las instalaciones para garantizar que se mantiene la integridad del depósito de relaves, utilizando para ello como referencia, el formato Dam Safety Inspection (DSI) de Teck, presentado en el apéndice V, del documento Guías para Estructuras Contenedoras de Agua y Relaves, de fecha noviembre 2014.

1.2. Abreviaturas

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

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

Ítem	Descripción
Ha	Hectárea
msnm	Metros sobre el nivel del mar
m^3 / Mm^3	Metros cúbicos / Millones de metros cúbicos
t / Mt	Toneladas / Millones de toneladas
tpd / ktpd	Toneladas por día / kilo toneladas por día
mo	Meses
Pl.	Plataforma
El.	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
Wood	ex Amec / ex Amec Foster Wheeler
MAC	Asociación Canadiense de Minería
CDA	Asociación Canadiense de Presas
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	Etapa 1, Etapa 2, Etapa 3, Etapa4, Etapa 5 y Etapa 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^3 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^3 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 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

Durante el periodo anterior, se aprueba por parte de la DGA de la Región de Coquimbo, mediante la resolución N°235, con fecha 14 de marzo del 2018, el proyecto “Solicitud de modificación Cauce de la Plataforma Tubería de Recirculación de Aguas Claras y Camino Depósito de Relaves” para autorizar el cruce de las quebradas naturales existentes a lo largo del trazado para la ubicación definitiva de la cañería que conduce el agua recuperada desde las trincheras y las retorna al proceso de la planta concentradora.

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

Tabla 1-1: Gestión de Permisos al 31 de marzo de 2019 (ref. 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
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
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^3.

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, construidos 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 geométricamente 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 2018

2.1. Depositación de Relaves

A continuación, se resumen los datos de depositación real y programada de acuerdo con el plan de llenado vigente. Se presentan dos tablas de control, la primera (1) para la condición de volumen operacional de laguna mínimo recomendado por diseño (volumen = 250.000 m^3) y la segunda (2) para el volumen operacional de laguna máximo (volumen = 650.000 m^3).

Tabla 2-1: Depositación real versus programada (abr. 2018 – mar. 2019).

Laguna 250.000 m3											Total
Descarga	[#]	1	2	3	4	RS	5	6	7	8	
Acum. Periodo	[t]	2.359.225	631.277	1.995.667	1.674.080	2.394	1.631.137	4.719.816	3.636.346	1.444.977	18.094.919
Planificado	[%]	5	3	12	15	10	15	13	24	3	100
	[t]	827.843	464.587	2.234.270	2.665.382	1.861.062	2.789.332	2.366.815	4.419.684	465.944	18.094.919
Restante		- ***1.531.382***	- ***166.690***	238.603	991.302	1.858.668	1.158.195	- ***2.353.001***	783.338	- ***979.033***	0
Operando Real / Descarga	[d]	48	13	40	34	0	33	95	73	29	365
Operando Real / Zona		134				128			102		365
Planificado / Zona		125				142			99		365
Restante (+/- 1)		***-9***				***13***			-4		0

Laguna 650.000 m3											Total
Descarga	[#]	1	2	3	4	RS	5	6	7	8	
Acum. Periodo	[t]	2.359.225	631.277	1.995.667	1.674.080	2.394	1.631.137	4.719.816	3.636.346	1.444.977	18.094.919
Planificado	[%]	3	2	16	12	11	13	16	24	3	100
	[t]	573.243	349.737	2.931.817	2.244.107	1.931.018	2.285.279	2.926.840	4.336.646	516.235	18.094.919
Restante		- ***1.785.982***	- 281.540	936.150	***570.027***	1.928.624	654.142	- ***1.792.977***	700.300	- ***928.742***	0
Operando Real / Descarga	[d]	48	13	40	34	0	33	95	73	29	365
Operando Real / Zona		134				128			102		365
Planificado / Zona		123				144			98		365
Restante (+/- 1)		***-11***				***16***			-4		0

Figura 2-1: Depositación real versus programada, por descarga (abr. 2018 – mar. 2019).

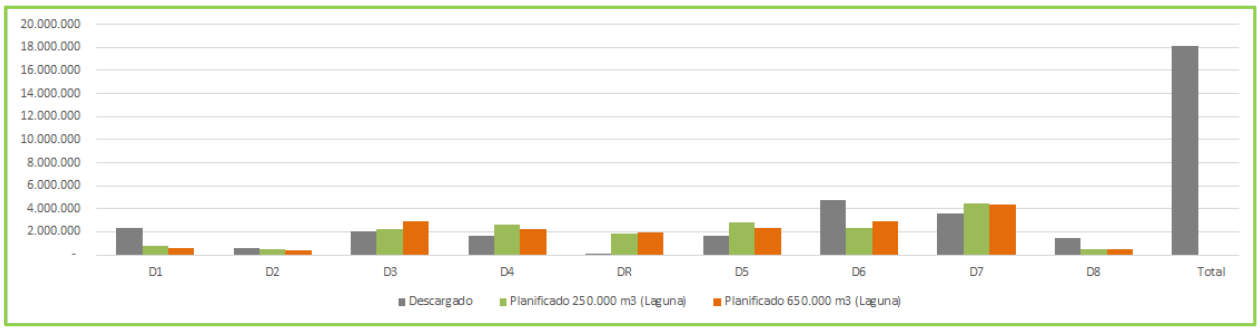
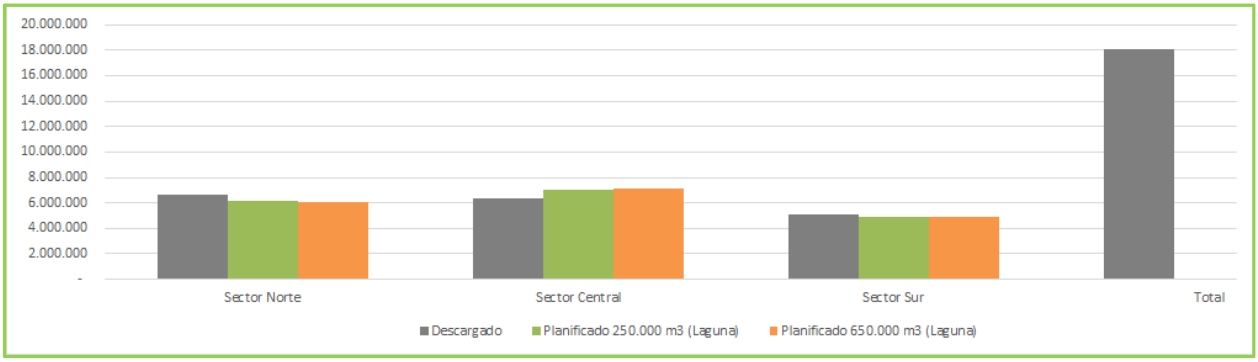


Figura 2-2: Depositación real versus programada, total por sector (abr. 2018 – mar. 2019).



Comparando la condición de depositación real que se verificó durante el periodo con el plan de llenado actualizado en diciembre de 2016, para el sector norte del embalse (descargas D1 @ D4) se puede apreciar una la diferencia del orden de los 10 días de depositación entre cómo se planificó y como se operaron realmente las descargas.

Del mismo modo, para el sector central del embalse (descargas D5, D6 y rebose) esta diferencia es del orden los 15 días y para el sector sur del embalse (descargas D7 @ D8) se verifica una diferencia de 4 días de depositación.

De acuerdo a lo indicado en los párrafos precedentes, se considera cumplido el plan de depositación para la TMF durante el periodo de estudio, y no existe desviación que ponga en riesgo la seguridad de las instalaciones ya que la laguna de aguas claras se ha mantenido alejada de los muros, durante todo el periodo.

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 periodo (3,30 m/año aproximadamente). En función de ello, al término del periodo 31 de marzo de 2019, existe un remanente en elevación mínimo (incluyendo la revancha operacional) respecto de la situación actual, de 5,48 m (para la playa de relaves frente al MO(S)), lo que equivale a 1,7 años de operación.

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. 1.140,246 msnm lo que equivale a un remanente de 9,25 m, equivalente a 2,8 años de operación (incluyendo la revancha operacional y el volumen disponible para almacenar la Crecida Máxima). Para el análisis volumétrico disponible, revisar el ítem 3.2.

Se deja establecido que respecto de la revancha hidráulica, no existe compromiso alguno, ni mención respecto a esta variable en las distintas etapas del proyecto Hipógeno, ya sea en la fase de diseño, como en la de tramitaciones y/o construcción / operación.

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 18,09 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 150,05 Mt al día 31 de marzo de 2019. El embalse de relaves se divide en tres (3) sectores de depositación, el sector norte que concentró un 37% de la descarga anual de relaves y los sectores centro y sur que recibieron un 35% y un 28% respectivamente, estos últimos variaron + 8% y - 8% respectivamente respecto del periodo anterior, dado a que los trabajos de construcción del periodo se han concentrado en el frente sur.

El volumen de la laguna de aguas claras alcanzó un máximo de 0,6 Mm^3 a mediados de agosto de 2018, fecha en la que se verificó la mínima distancia laguna a muro de 263 m, la elevación del pelo de agua de la laguna varió entre las cotas El. 1.136,944 msnm. y El. 1.140,246 msnm. (3,30 m de incremento). Al 31 de marzo de 2019 el stock de agua acumulada en la laguna es de 99.000 m^3 aproximadamente, lo que equivale a un volumen bajo - bajo.

2.3.2. Construcción de Muros

a) Relleno Masivo: durante el periodo la flota de mina de Teck CdA construyó un total de 2,0 Mm^3 de relleno masivo específicamente para el Etapa 4, lo que equivale aproximadamente a 3,8 Mt de estéril seleccionado. Los muros que se construyeron durante el periodo fueron el MN, MNO, BS (Pl. TK-42), MO(S) y MS, en todos los casos alcanzando la cota de coronamiento de la Etapa 4 de crecimiento, correspondiente a la El. 1.162,5 msnm, y en algunos muros (MNO, MO y MO(S)) iniciando los rellenos correspondientes a la Etapa 5 de crecimiento. A continuación se presenta el resumen para el periodo:

Tabla 2-2: Resumen Relleno Masivo.

Muro	Durante el periodo		Total	Cota mínima Relleno
	Volumen [m3]	Tonelaje [t]	Volumen [m3]	[msnm]
MN	363.953	691.511	3.516.383	1.149,5
MNO	193.552	367.749	18.570.262	1.149,5
BS (Pl. TK-042)	56.238	106.852	963.860	1.149,5
MO	651.547	1.237.939	5.464.710	1.149,5
MO(S)	250.674	476.281	2.776.752	NTN (variable)
MS	491.754	934.333	1.014.411	1.149,5
Total	**2.007.718**	**3.814.664**	**22.086.645**	

b) Corte y Retiro: el contratista local Cooptrans desarrolla durante el periodo los 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 2-3: Resumen Corte y Retiro.

Muro	Inicio	Término	Trabajo Efectivo	Volumen	Rendimiento
	[aaaa-mm-dd]		[d]	[m3]	[m3/d]
MN	2018-08-27	2018-11-12	61	31.578	518
MO(S)	2017-12-06	2018-03-21	72	78.836	1.095
MS	2018-11-21	2019-02-28	68	65.337	961
		Total	**201**	**175.751**	

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 2-4: Resumen Relleno de Transición.

Muro	Inicio	Término	Trabajo Efectivo	Volumen	Rendimiento	Capas	Cota final
	[aaaa-mm-dd]		[d]	[m3]	[m3/d]	[#]	[msnm]
MO(S)	2018-10-25	2019-03-23	100	62.482	625	33	1.162,5
MS	2019-03-22	2019-03-31	3	878	365	1	1.149,9
		Total	**103**	**63.360**			

d) Perfilado: Posterior a la colocación del relleno de transición, se debe retirar el sobre ancho de construcción, y alcanzar el alineamiento de diseño de la E4 de crecimiento del embalse de relaves. Sobre esta superficie perfilada y uniforme, se colocarán los geosintéticos, que permitan impermeabilizar los muros MO(S) y MS. Si bien, al término del periodo inician las actividades relacionadas con los trabajos de perfilado de los muros, el primer control topográfico está programado para la primera semana de abril de 2019, por lo que quedan fuera del periodo en estudio.

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 año no se desarrollaron trabajos asociados a la construcción del sistema de recuperación de agua desde el embalse de relaves.

h) Conducción de agua recuperada: durante el periodo se inicia la construcción de la plataforma para el nuevo trazado (y definitivo), de la cañería de agua recuperada que conduce el agua desde la laguna, hasta la piscina de agua de proceso (water pond 60.000 m^3), de acuerdo al proyecto que se detalla en el ítem 1.4.

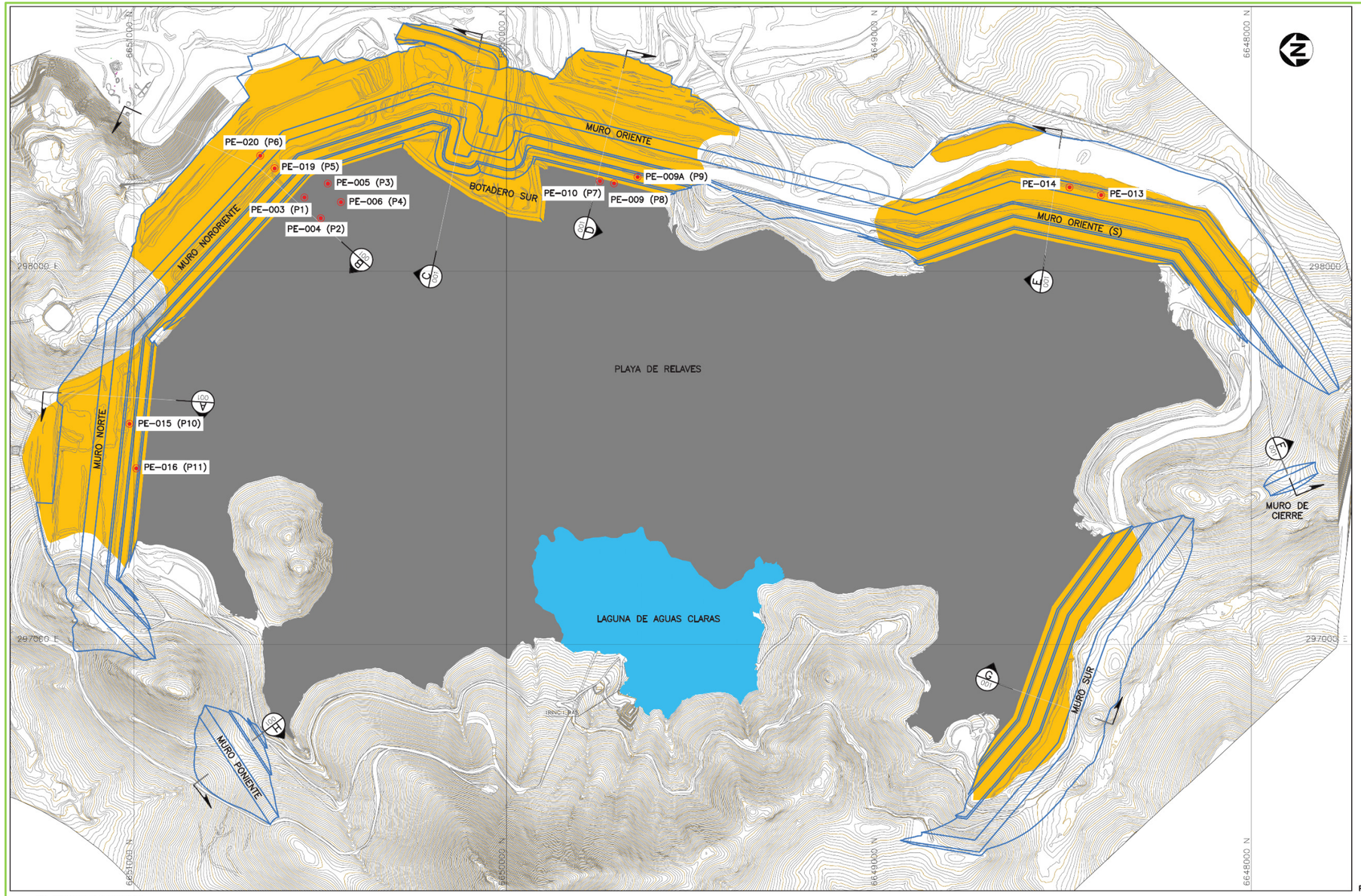
2.3.3. Construcción de Sistema de recuperación de Agua desde Laguna

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, la que se construyó previo al año 2012 y se proyecta que esté operativa hasta el Q1 del año 2020. La construcción de la siguiente trinchera, está programada para que inicie el Q4 del año 2019, con la excavación en roca.

2.4. Planta y Secciones Transversales Actualizadas

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

Figura 2-3: Planta Depósito de Relaves, al 31 de marzo de 2019 (ref. GA 2019.Q1, Wood).



PLANTA GENERAL
Escala: 1:11.000

COORDENADAS PIEZOMETROS (DATUM PSAD56)			
CUADRO UBICACIÓN PIEZOMETROS MNO			
PIEZOMETRO	COORDENADAS		
	NORTE	ESTE	ELEVACION
PE-003(P1)	6.650.542,28	298.198,47	1.054,53
PE-004(P2)	6.650.498,31	298.142,79	1.058,54
PE-005(P3)	6.650.479,44	298.235,43	1.058,17
PE-006(P4)	6.650.444,19	298.185,64	1.062,16
PE-019(P5)	6.650.622,35	298.276,23	1.048,62
PE-020(P6)	6.650.660,81	298.310,16	1.047,34
CUADRO UBICACIÓN PIEZOMETROS MO			
PIEZOMETRO	COORDENADAS		
	NORTE	ESTE	ELEVACION
PE-010(P7)	6.649.748,81	298.242,00	1.103,22
PE-009(P8)	6.649.710,90	298.236,19	1.110,05
PE-009A(P9)	6.649.647,81	298.253,03	1.120,95
CUADRO UBICACIÓN PIEZOMETROS MN			
PIEZOMETRO	COORDENADAS		
	NORTE	ESTE	ELEVACION
PE-015(P10)	6.651.011,81	297.591,35	1.129,80
PE-016(P11)	6.650.993,75	297.472,67	1.127,30
CUADRO UBICACIÓN PIEZOMETROS MO(S)			
PIEZOMETRO	COORDENADAS		
	NORTE	ESTE	ELEVACION
PE-013	6.648.405,23	298.204,13	1.146,06
PE-014	6.648.488,94	298.226,95	1.145,14

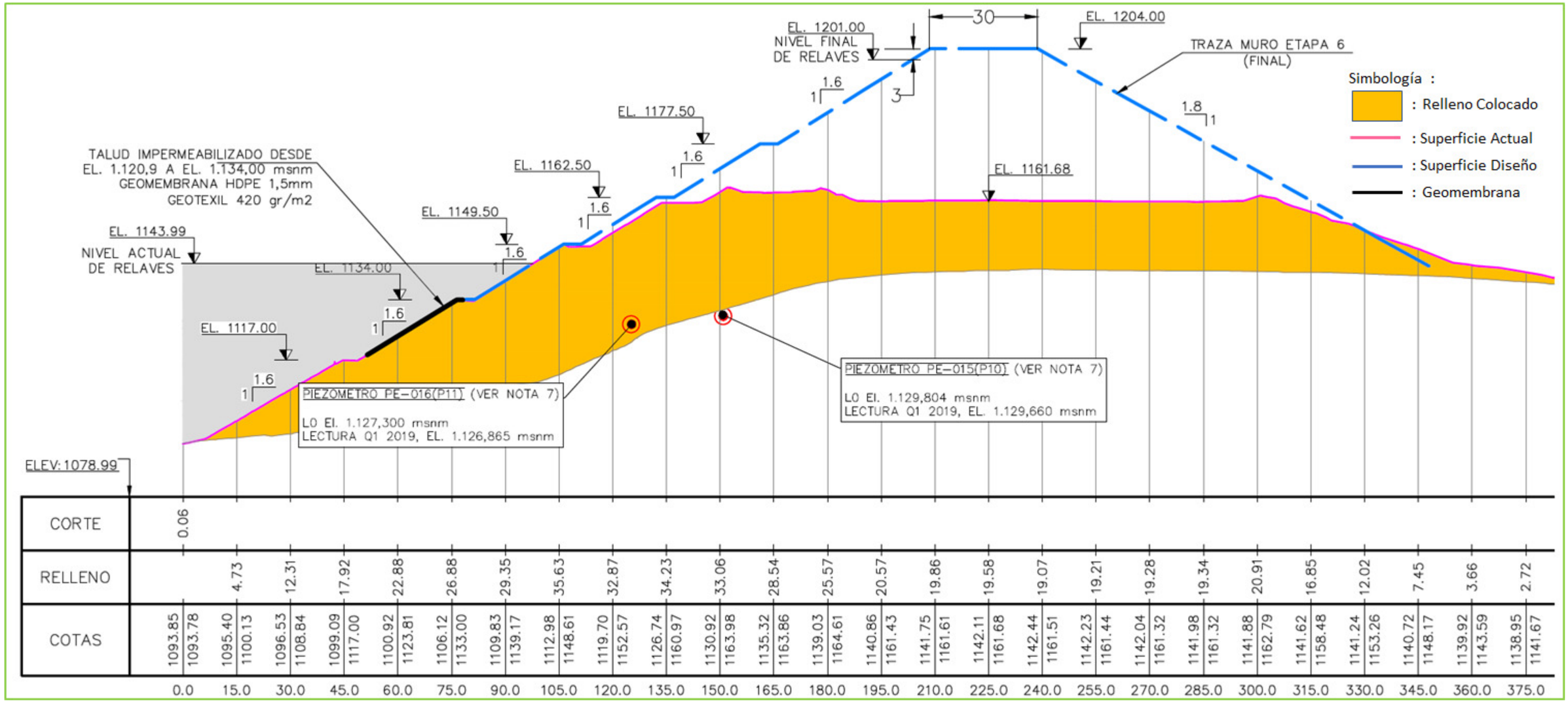
CAMPAÑA SONDAJES Y PRUEBAS DOWN HOLE			
PIEZOMETROS DE CUERDA VIBRANTE			
POZO	COORDENADAS		
	NORTE	ESTE	ELEVACION
DH-2	6.650.814,07	298.165,33	1.166,60
DH-4	6.650.393,93	298.355,55	1.155,88
DH-6	6.650.048,05	298.246,02	1.147,71
DH-8	6.649.901,53	298.256,79	1.141,00
POZOS CASAGRANDE			
POZO	COORDENADAS		
	NORTE	ESTE	ELEVACION
DH-1	6.650.748,44	298.096,61	1.161,33
DH-3	6.650.632,65	298.207,25	1.160,93
DH-7	6.649.988,98	298.328,49	1.148,35

Cantidad de relaves autorizado (Total)
416 Mt
Cantidad de relaves actual (Total)
150.050.500 t

LEYENDA

- Topografia
- Traza Muros Etapa 6 (final)
- Relleno de Avance al 2019.03.31
- PE–XXX(PXX) Piezometro de cuerda vibrante:
- PE–XXX Tag segun proyecto
- (PXX) # segun E700
- DH–X Piezometros de cuerda vibrante (Ver nota 5)
- DH–X Pozos casagrande (Ver nota 5)

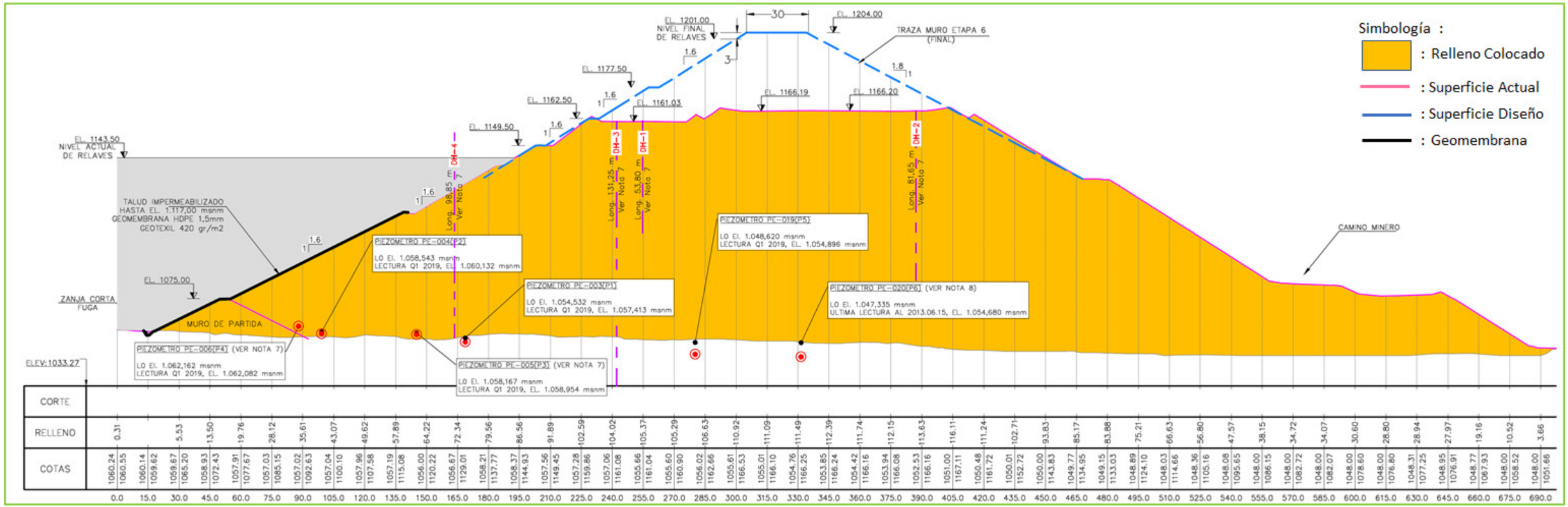
Figura 2-4: Sección A - A: Muro Norte (MN), al 31 de marzo de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q1, Wood).



Nota Impermeabilización: Se impermeabilizó con Geomembrana el talud aguas arriba entre las cotas El 1.120,90 msnm. y el coronamiento de la Etapa 2 El. 1.134 msnm.; 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 A – A, ver la Figura 2-3

Figura 2-5: Sección B - B: Muro Nor Oriente (MNO), al 31 de marzo de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q1, Wood).



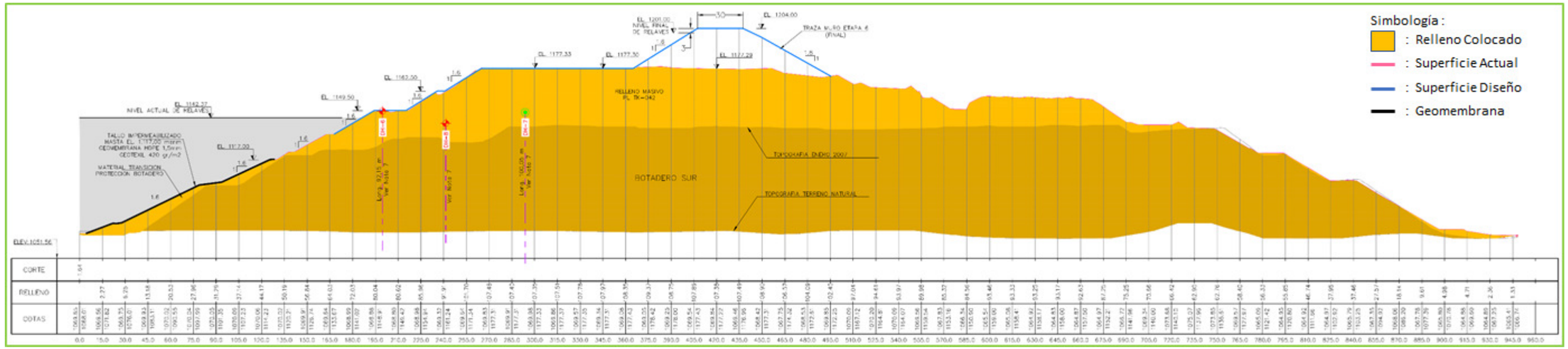
Nota Impermeabilización: Se impermeabilizó con Geomembrana el talud aguas arriba hasta la cota El 1.117 msnm. (Etapa 1);

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 marzo de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q1, Wood).

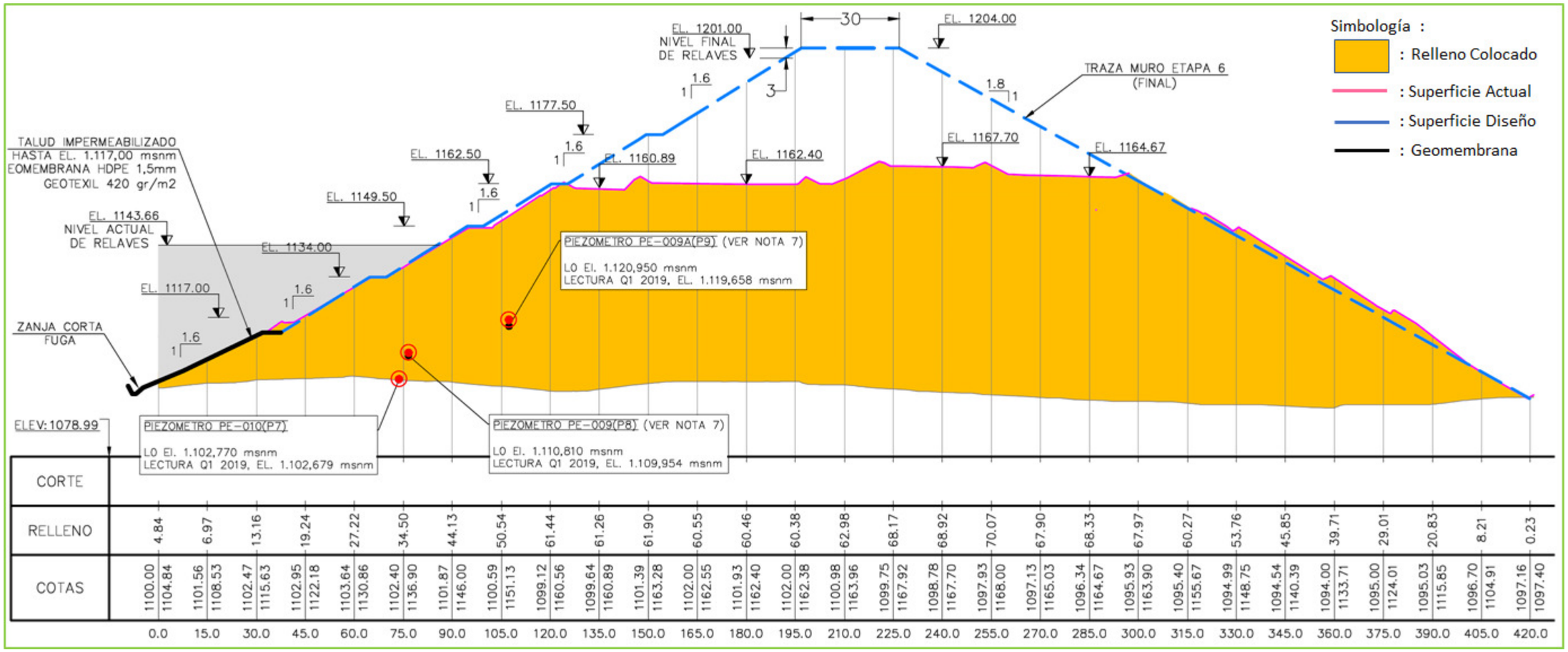


Nota Impermeabilización: Se impermeabilizó con Geomembrana el talud aguas arriba hasta la cota El 1.117 msnm. (Etapa 1);

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.

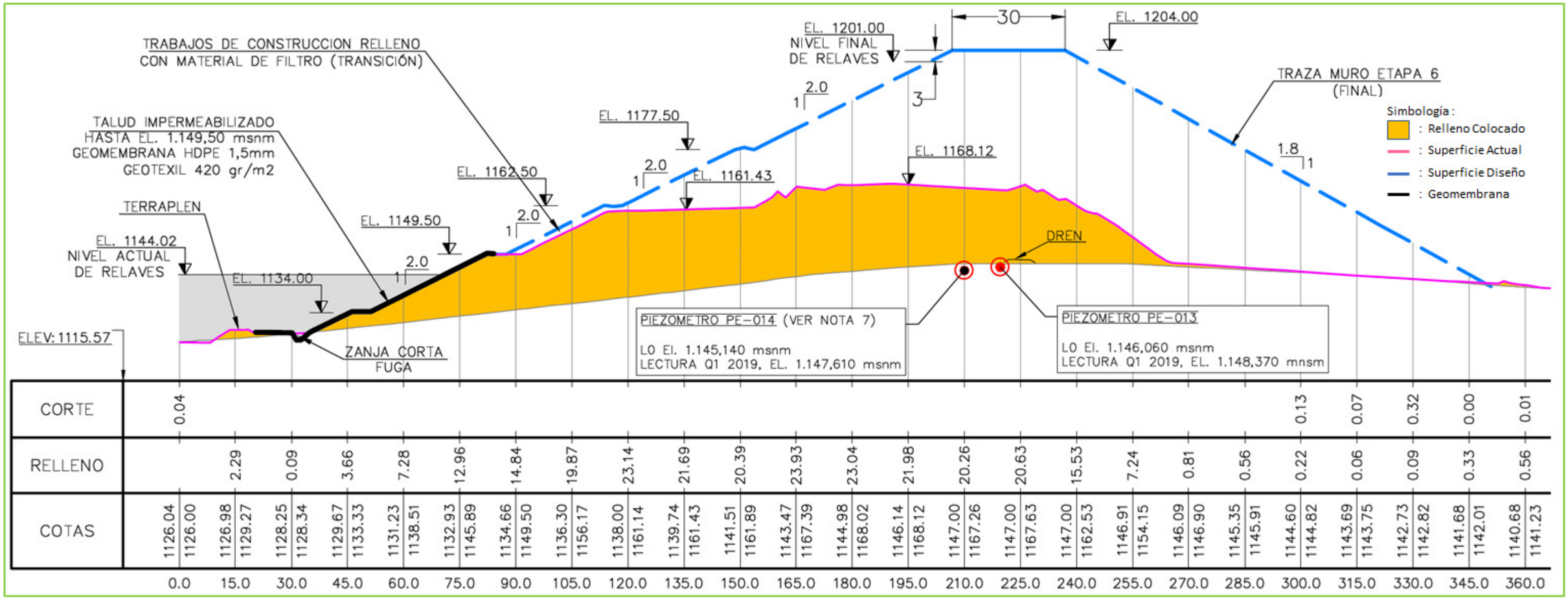
Figura 2-7: Sección D - D: Muro Oriente (MO), al 31 de marzo de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q1, Wood).



Nota: Se impermeabilizó con Geomembrana el talud aguas arriba hasta la cota El 1.117 msnm. (Etapa1); 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 D – D, ver la Figura 2-3.

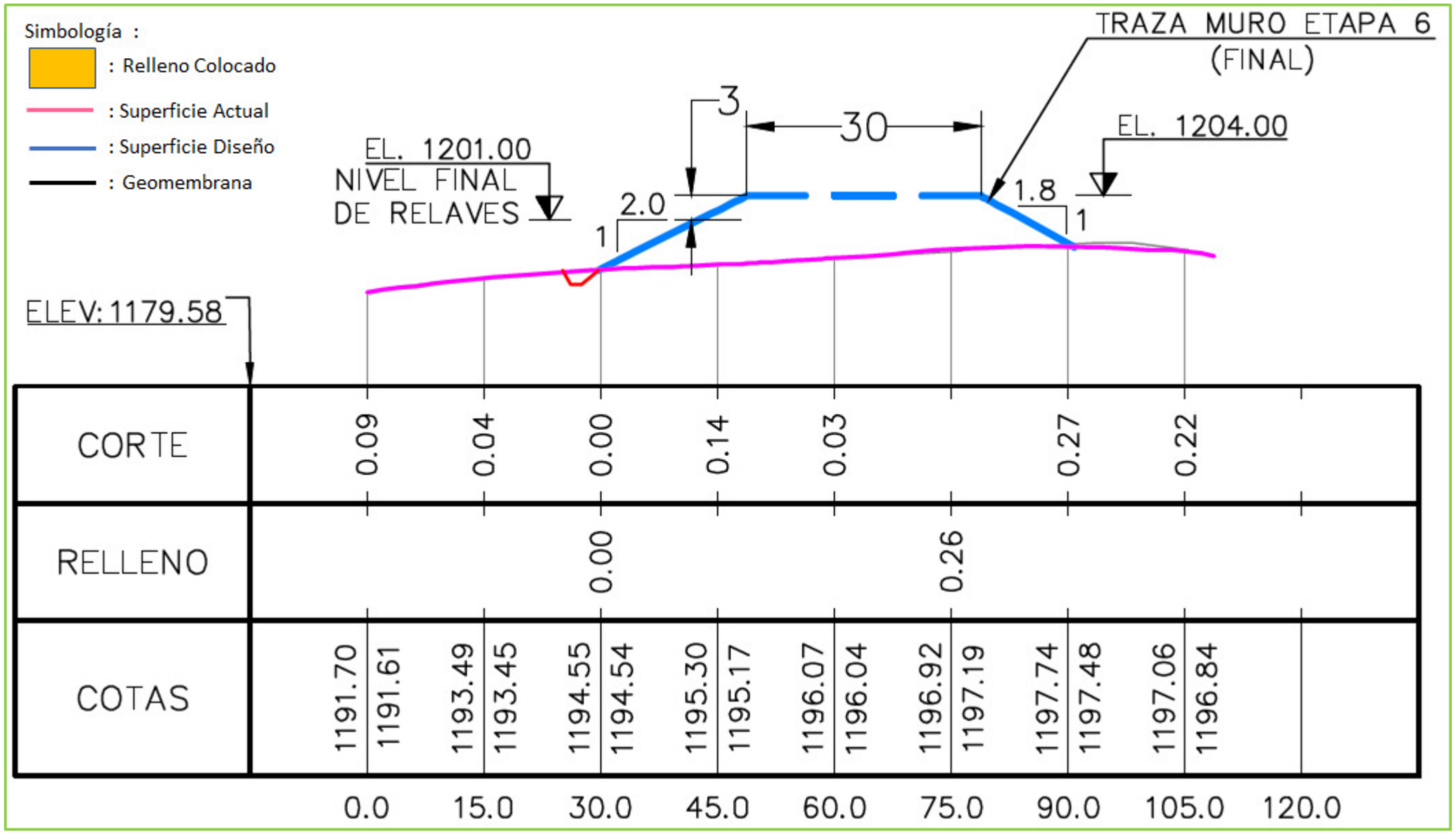
Figura 2-8: Sección E - E: Muro Oriente(Sur) (MO(S)), al 31 de marzo de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q1, Wood).



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.

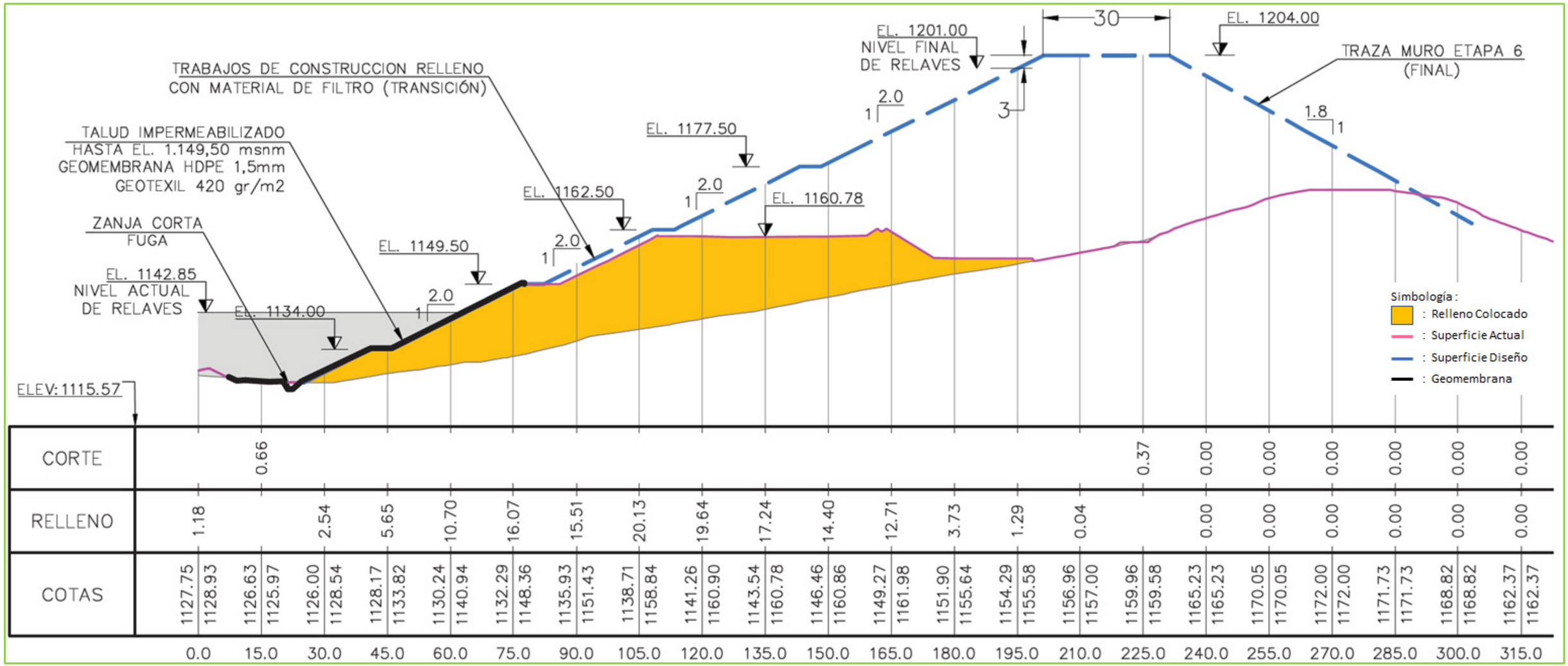
Figura 2-9: Sección F - F: Muro de Cierre (MC), al 31 de marzo de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q1, Wood).



Nota: Se impermeabiliza con Geomembrana la cara completa del talud aguas arriba (Etapa 6); y

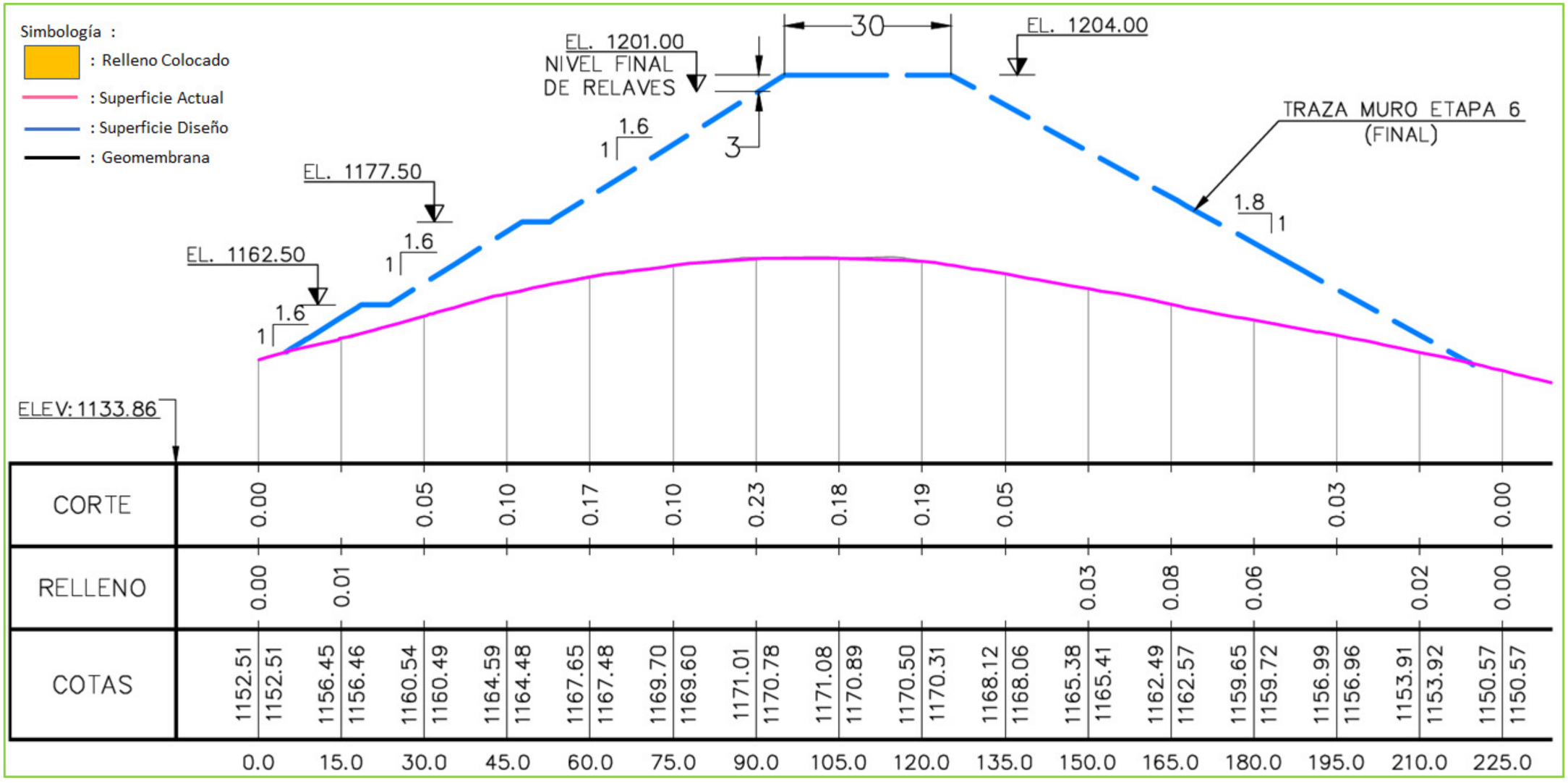
Nota emplazamiento: este muro se ubica entre el estribo sur del MO(S) y el estribo oriente del MS (ver Figura 2-2).

Figura 2-10: Sección G - G: Muro Sur (MS), al 31 de marzo de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q1, Wood).



Nota: Se impermeabiliza con Geomembrana la cara completa del talud aguas arriba, hasta la Etapa 6 inclusive.

Figura 2-11: Sección H - H: Muro Poniente (MP), al 31 de marzo de 2019 (ref. secciones GA 2019.Q1, Wood).



Nota: No contempla impermeabilización con Geomembrana del talud aguas arriba; y

Nota inicio Construcción: No presenta rellenos al momento de la visita de terreno, inicia construcción durante el año 2019.

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 gigante (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^3 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 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, 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 2019 (ver Anexos B1 @ 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 uno (1) o (2) muros descritas en el ítem 2.5.2, las que se documentan en formularios específicos, idénticos a los utilizados durante la inspección realizada DSI 2019 (ver Anexos B1 @ 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:

- DSI.

El detalle de los hallazgos relativos al inspección DSI 2019, 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:

- DSR.

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

2.5.1. En tiempo real

Durante el periodo se 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 30 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.

2.5.2. 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);

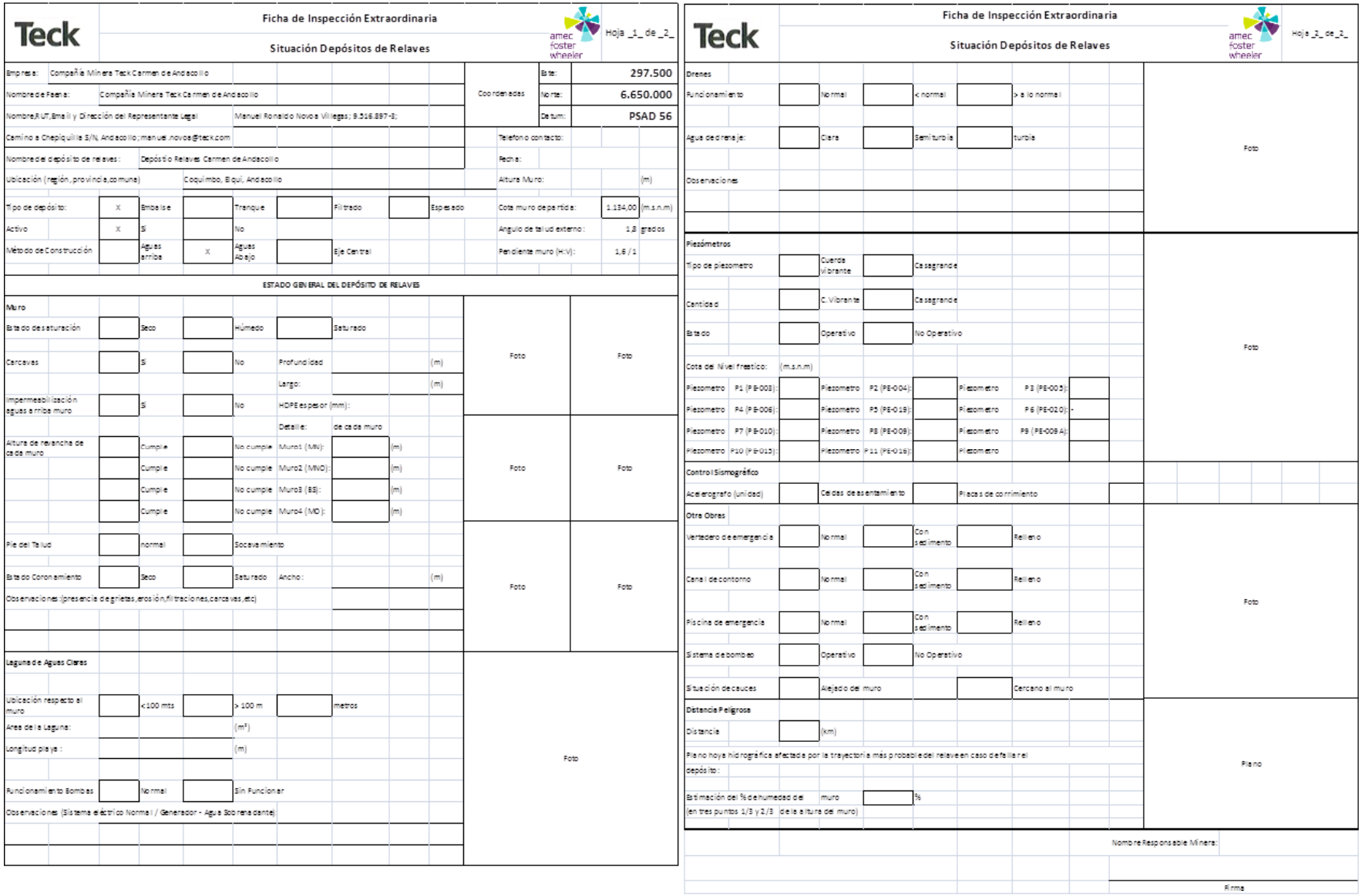
- Lluvia > 30 mm/d;

- Viento fuerte;

- Explosión; y

- Otra condición inusual (por ejemplo nieve).

- **Figura 2-12: Ficha de Inspección Extraordinaria (ref. OMS_R4, Wood).**



Ficha de Inspección Extraordinaria

Situación Depósitos de Relaves

Hoja _1_ de _2_

Empresa:	Compañía Minera Teck Carmen de Andacollo							Coordenadas	Este:	297.500	
Nombre de Faena:	Compañía Minera Teck Carmen de Andacollo								Norte:	6.650.000	
Nombre,RUT,Email y Dirección del Representante Legal	Manuel Ronaldo Novoa Villegas; 9.516.897-3;								Datum:	PSAD 56	
Camino a Chepiquilla S/N, Andacollo ; manuel.novoa@teck.com								Telefono contacto:			
Nombre del depósito de relaves:	Depósito Relaves Carmen de Andacollo							Fecha:			
Ubicación (región, provincia, comuna)	Coquimbo, Elqui, Andacollo							Altura Muro:		(m)	
Tipo de depósito:	X	Embalse		Tranque		Filtrado		Espesado	Cota muro de partida:	1.134,00	(m.s.n.m)
Activo	X	Si		No					Angulo de talud externo:	18	grados
Método de Construcción		Aguas arriba	X	Aguas Abajo		Eje Central			Pendiente muro (H:V):	1,6 / 1	

ESTADO GENERAL DEL DEPÓSITO DE RELAVES

Muro										
Estado de saturación		Seco		Húmedo		Saturado				
Carcavas		Si		No	Profundidad		(m)	Foto	Foto	
					Largo:		(m)			
Impermeabilización aguas arriba muro		Si		No	HDPE espesor (mm):					
					Detalle:	de cada muro				
Altura de relvancha de cada muro		Cumple		No cumple	Muro1 (MN):		(m)			
		Cumple		No cumple	Muro2 (MNO):		(m)	Foto	Foto	
		Cumple		No cumple	Muro3 (BS):		(m)			
		Cumple		No cumple	Muro4 (MO):		(m)			
Pie del Talud		normal		Socavamiento						
Estado Coronamiento		Seco		Saturado	Ancho:		(m)	Foto	Foto	
Observaciones (presencia de grietas, erosión, filtraciones, carcavas, etc)										
Laguna de Aguas Claras										
Ubicación respecto al muro		<100 mts		> 100 m		metros		Foto		
Area de la Laguna:			(m²)							
Longitud playa :			(m)							
Funcionamiento Bombas		Normal		Sin Funcionar						
Observaciones (Sistema eléctrico Normal / Generador - Agua Sobrenadante)										

Ficha de Inspección Extraordinaria

Situación Depósitos de Relaves

Hoja _2_ de _2_

Drenes							
Funcionamiento		Normal		< normal		> a lo normal	Foto
Agua de drenaje:		Clara		Semiturbia		turbia	
Observaciones							
Piezómetros							
Tipo de piezometro		Cuerda vibrante		Casagrande			Foto
Cantidad		C. Vibrante		Casagrande			
Estado		Operativo		No Operativo			
Cota de Nivel freatico:	(m.s.n.m)						
Piezometro P1 (PE-003):		Piezometro P2 (PE-004):		Piezometro P3 (PE-005):			
Piezometro P4 (PE-006):		Piezometro P5 (PE-019):		Piezometro P6 (PE-020):	-		
Piezometro P7 (PE-010):		Piezometro P8 (PE-009):		Piezometro P8 (PE-009A):			
Piezometro P10 (PE-013):		Piezometro P11 (PE-016):		Piezometro			
Control Sismográfico							
Acelerografo (unidad)		Celdas de asentamiento		Placas de corrimiento			
Otra Obras							
Vertedero de emergencia		Normal		Con sedimento		Relleno	Foto
Canal de contorno		Normal		Con sedimento		Relleno	
Piscina de emergencia		Normal		Con sedimento		Relleno	
Sistema de bombeo		Operativo		No Operativo			
Situación de cauces		Alejado del muro				Cercano al muro	
Distancia Peligrosa							
Distancia		(km)					Plano
Plano hoya hidrográfica afectada por la trayectoria más probable del relave en caso de falla del depósito:							
Estimación del % de humedad del muro (en tres puntos 1/3 y 2/3 de la altura del muro)		%					

Nombre Responsable Minera:

Firma

3.0 DATOS CLIMÁTICOS Y BALANCE DE AGUAS 2018

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, ver figuro 3-2, nota 5.

La precipitación total acumulada en 12 meses fue de 39,3 mm (abril 2018 @ marzo 2019), representando un 13% respecto de la precipitación registrada en el periodo anterior, y se concentró principalmente en un (1) evento entre los días 10 y 11 de junio de 2018 (31,1 mm) el que representa el 79% de la precipitación total del periodo.

Respecto de la evaporación medida en tanque tipo A, alcanzó los 2.000,28 mm para los mismos 12 meses (5,5 mm/día en promedio) manteniéndose el 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^3) 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 3-1 se presenta el resumen de los datos mensuales históricos, y en la Figura 3-2 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: Balance Operacional Depósito de Relaves Teck CdA, al 31 de marzo de 2019 (Histórico 1 de 2) (ref. balance operacional de faena para el Embalse de Relaves, Wood).

AÑO 2010	[m3/mo]												[m3/año]
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		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		576.286	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
Balance	282.990	101.473	386.429	597.001	693.602	909.582	1.005.147	1.179.074	1.412.598	1.333.442	1.452.060	1.405.523	

AÑO 2011	[m3/mo]												[m3/año]
Entrada / Salida	ene-11	feb-11	mar-11	abr-11	may-11	jun-11	jul-11	ago-11	sep-11	oct-11	nov-11	dic-11	Total
Agua en Relaves	957.564	889.789	964.064	845.443	858.115	777.586	802.520	950.917	839.987	960.185	809.684	847.182	10.503.034
Precipitaciones	0	912	2.444	1.228	308	459.819	101.634	19.594	0	42.282	0	0	628.220
Agua Evaporada	155.237	71.607	90.468	103.070	98.799	41.146	41.476	63.710	119.457	125.377	153.253	171.567	-1.235.166
Agua Infiltrada	52.300	50.860	60.443	62.851	68.882	68.737	71.662	74.793	83.431	90.347	85.344	86.582	-856.232
Agua Retenida en Relave	532.093	431.225	465.466	426.677	423.914	380.543	363.515	465.908	419.242	425.720	357.406	396.706	-5.088.413
Agua en Drenes	13.828	12.489	13.787	13.884	29.755	29.799	36.488	36.488	35.354	38.521	41.864	40.178	-342.433
Agua Recuperada	830.934	762.122	752.945	723.875	704.033	533.960	548.173	748.945	658.463	864.996	623.216	642.235	-8.393.897
Otras Entradas	511.500	462.000	511.500	495.000	467.500	375.000	387.500	471.500	483.000	589.000	570.000	589.000	5.912.500
Balance	1.290.195	1.314.594	1.409.492	1.420.805	1.421.346	1.979.567	2.209.908	2.262.076	2.269.116	2.315.623	2.434.222	2.533.137	

AÑO 2012	[m3/mo]												[m3/año]
Entrada / Salida	ene-12	feb-12	mar-12	abr-12	may-12	jun-12	jul-12	ago-12	sep-12	oct-12	nov-12	dic-12	Total
Agua en Relaves	1.071.241	925.981	1.025.212	1.086.109	1.026.040	1.029.501	1.040.444	1.216.241	1.201.764	1.011.808	1.143.405	1.104.322	12.882.068
Precipitaciones	630	0	0	937	312	1.555	930	34.070	3.091	1.848	2.756	0	46.128
Agua Evaporada	167.203	151.663	132.133	60.432	64.922	57.029	57.990	49.455	91.122	122.576	131.680	163.140	-1.249.343
Agua Infiltrada	83.475	75.110	76.584	70.181	68.773	62.549	59.330	55.996	50.190	46.512	40.030	34.710	-723.439
Agua Retenida en Relave	444.930	365.341	377.319	429.707	390.415	415.372	401.153	456.251	477.188	327.876	474.499	407.862	-4.967.911
Agua en Drenes	12.129	11.336	12.982	14.088	16.243	17.457	19.951	22.013	17.441	15.643	14.974	15.336	-189.592
Agua Recuperada	786.654	806.215	898.310	986.632	945.110	983.705	958.255	967.196	1.120.919	891.490	1.034.769	973.927	-11.353.183
Otras Entradas	325.500	304.500	325.500	315.000	325.500	315.000	294.500	263.500	225.000	204.600	171.000	148.800	3.218.400
Balance	2.436.117	2.256.934	2.110.319	1.951.325	1.817.715	1.627.659	1.466.854	1.429.754	1.102.749	916.909	538.117	196.265	

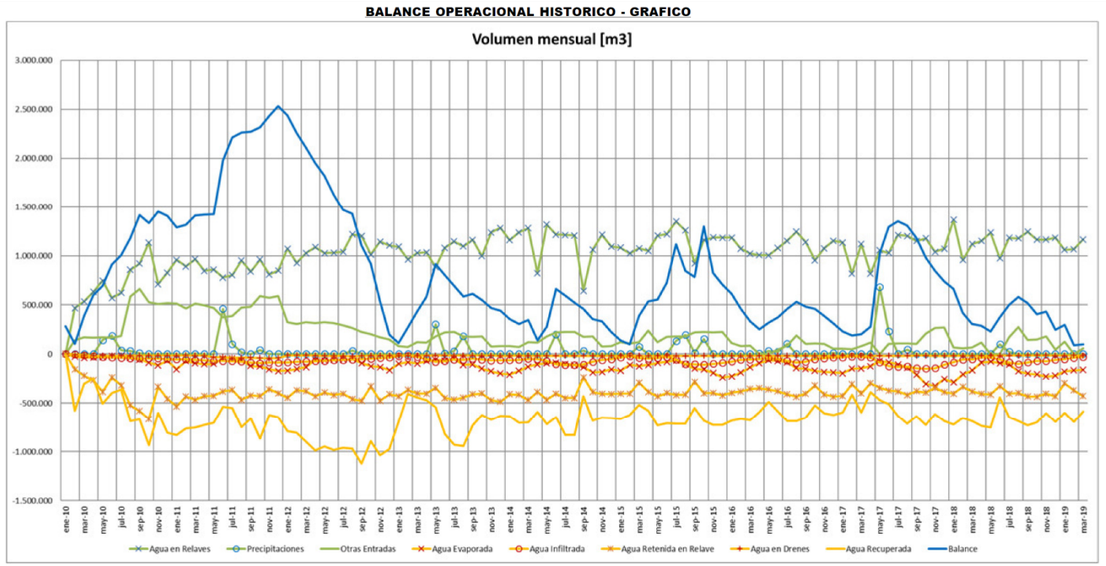
AÑO 2013	[m3/mo]												[m3/año]
Entrada / Salida	ene-13	feb-13	mar-13	abr-13	may-13	jun-13	jul-13	ago-13	sep-13	oct-13	nov-13	dic-13	Total
Agua en Relaves	1.091.059	962.604	1.028.319	1.034.041	884.119	1.078.903	1.145.855	1.094.919	1.160.077	997.219	1.237.636	1.282.696	12.997.446
Precipitaciones	150	0	0	157	303.110	6.316	30.268	182.263	0	0	126	0	522.389
Agua Evaporada	98.890	82.877	95.988	69.995	58.302	65.053	49.310	109.880	105.499	147.244	175.266	197.268	-1.255.571
Agua Infiltrada	18.202	15.139	29.295	48.517	77.091	70.684	54.614	56.672	47.296	55.308	63.282	62.593	-598.693
Agua Retenida en Relave	429.002	363.881	400.461	401.555	344.391	446.096	463.162	442.381	407.867	399.330	468.992	484.613	-5.051.732
Agua en Drenes	15.358	13.866	15.324	14.860	15.454	15.042	15.584	15.548	15.053	15.596	15.511	16.218	-183.414
Agua Recuperada	694.150	403.276	443.531	468.802	538.477	819.525	927.665	942.804	729.482	623.483	672.809	629.556	-7.893.560
Otras Entradas	80.352	72.576	120.528	116.640	180.792	218.700	225.990	180.792	174.960	180.792	77.760	80.352	1.710.234
Balance	112.224	268.365	432.612	579.721	914.028	801.546	693.322	584.011	613.850	550.902	470.564	443.365	

AÑO 2014	[m3/mo]												[m3/año]
Entrada / Salida	ene-14	feb-14	mar-14	abr-14	may-14	jun-14	jul-14	ago-14	sep-14	oct-14	nov-14	dic-14	Total
Agua en Relaves	1.159.447	1.238.298	1.280.500	820.034	1.315.456	1.216.024	1.210.617	1.207.013	643.703	1.062.486	1.213.479	1.092.516	13.459.573
Precipitaciones	0	0	0	0	0	201.610	657	3.277	35.509	1.304	0	0	242.357
Agua Evaporada	207.753	169.196	127.070	103.786	90.821	87.483	99.765	108.464	132.008	185.581	182.218	153.592	-1.647.737
Agua Infiltrada	60.873	57.382	49.179	50.169	68.786	103.507	110.593	110.593	105.552	78.290	59.188	50.795	-904.907
Agua Retenida en Relave	407.752	414.360	467.785	383.247	464.700	402.395	447.613	447.613	236.277	385.533	403.993	407.383	-4.868.652
Agua en Drenes	16.440	14.704	16.534	15.873	16.558	16.185	16.944	16.944	16.490	17.093	16.562	17.311	-197.638
Agua Recuperada	636.372	703.536	699.650	591.182	715.245	645.689	827.201	827.201	427.392	681.674	650.619	653.097	-8.058.859
Otras Entradas	80.352	72.576	120.528	116.640	180.792	218.700	225.990	225.990	176.418	180.792	77.760	80.352	1.756.890
Balance	353.973	305.669	346.478	138.894	279.033	660.108	595.256	520.721	458.631	355.042	333.702	224.392	

AÑO 2015	[m3/mo]												[m3/año]
Entrada / Salida	ene-15	feb-15	mar-15	abr-15	may-15	jun-15	jul-15	ago-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	Total
Agua en Relaves	1.081.128	1.024.276	1.076.531	1.047.668	1.203.759	1.219.349	1.347.149	1.258.805	922.968	1.158.918	1.185.053	1.184.465	13.710.068
Precipitaciones	0	0	75.793	0	0	0	133.076	193.820	13.162	154.801	0	0	570.641
Agua Evaporada	171.069	109.634	122.338	109.248	89.732	76.708	64.319	101.850	146.467	157.263	189.470	238.141	-1.576.238
Agua Infiltrada	36.009	22.170	39.128	45.743	39.086	29.260	55.782	99.579	102.238	106.539	97.135	89.566	-762.235
Agua Retenida en Relave	402.085	402.296	290.062	384.812	430.360	394.220	416.375	412.485	280.826	397.802	395.900	419.901	-4.627.125
Agua en Drenes	17.469	15.680	17.631	17.195	17.960	17.404	18.040	18.145	17.574	17.476	16.592	17.082	-208.250
Agua Recuperada	661.378	623.152	516.639	577.760	728.664	706.077	712.331	709.583	547.384	681.886	724.684	723.618	-7.913.156
Otras Entradas	120.528	108.864	120.528	237.168	120.528	174.960	180.792	180.792	218.700	225.990	218.700	225.990	1.288.882
Balance	138.039	98.245	385.297	535.376	553.861	724.501	1.118.669	845.635	784.831	1.297.412	825.608	706.978	

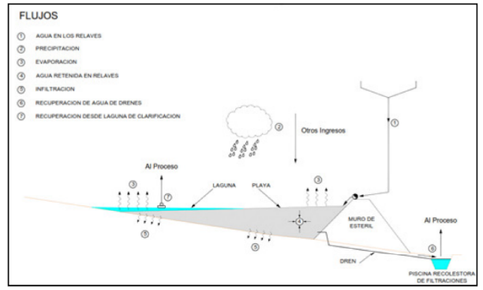
AÑO 2016	[m3/mo]												[m3/año]
Entrada / Salida	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16	may-16	jun-16	jul-16	ago-16	sep-16	oct-16	nov-16	dic-16	Total
Agua en Relaves	1.182.656	1.071.811	1.020.629	1.006.659	1.002.641	1.078.823	1.151.863	1.245.457	1.138.850	953.310	1.076.029	1.151.155	13.079.883
Precipitaciones	2.409	0	0	6.351	32.234	24.411	105.450	0	0	0	0	11.788	182.642
Agua Evaporada	225.390	187.284	134.105	90.851	62.609	69.371	81.463	142.514	148.957	170.703	180.757	185.056	-1.679.060
Agua Infiltrada	75.687	58.211	55.823	49.500	40.056	46.760	66.912	86.506	77.146	51.354	42.152	35.648	-685.754
Agua Retenida en Relave	393.498	378.612	354.632	345.859	358.811	377.916	407.843	432.588	401.476	319.365	410.169	433.016	-4.613.785
Agua en Drenes	17.069	17.069	17.117	16.538	17.070	16.168	16.712	16.759	16.133	16.524	15.967	16.477	-199.603
Agua Recuperada	680.195	661.730	673.938	589.916	487.603	586.084	682.957	685.368	648.431	520.828	603.532	622.085	-7.441.667
Otras Entradas	112.995	79.279	84.746	0	0	43.760	84.785	190.766	102.563	105.981	102.563	52.991	960.428
Balance	613.198	461.381	331.142	252.488	321.213	371.909	458.120	530.609	479.878	460.394	386.409	310.062	

AÑO 2017	[m3/mo]												[m3/año]
Entrada / Salida	ene-17	feb-17	mar-17	abr-17	may-17	jun-17	jul-17	ago-17	sep-17	oct-17	nov-17	dic-17	Total
Agua en Relaves	1.133.100	818.198	1.117.568	817.662	1.054.837	1.027.308	1.210.264	1.202.218	1.148.747	1.176.194	1.039.378	1.069.928	12.815.402
Precipitaciones	0	0	0	0	682.135	231.330	3.740	46.388	0	0	0	0	963.593
Agua Evaporada	195.932	148.053	144.832	123.807	70.782	82.432	104.829	135.291	208.146	301.966	322.214	254.009	-2.092.293
Agua Infiltrada	31.894	24.138	25.811	35.912	85.045	122.010	130.116	124.519	143.860	148.643	142.158	107.989	-1.122.094
Agua Retenida en Relave	425.227	306.304	400.497	297.215	343.086	370.239	378.896	414.528	378.281	390.367	344.519	386.444	-4.435.601
Agua en Drenes	16.207	14.875	16.810	16.044	16.658	16.198	16.407	16.150	15.604	15.663	16.465	16.500	-193.581
Agua Recuperada	596.146	415.025	594.331	386.033	470.384	507.665	631.578	709.554	635.764	724.965	613.576	683.828	-6.968.850
Otras Entradas	52.991	47.863	79.486	115.383	0	103.845	107.306	107.306	103.845	207.689	266.534	268.265	1.460.511
Balance	230.748	188.413	203.185	277.219	1.028.237	1.292.176	1.351.659	1.307.530	1.178.467	980.747	847.727	737.150	



AÑO 2018	[m3/mo]												[m3/año]
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	1.162.493	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	166.003	86.952	74.835	91.683	104.678	175.649	197.917	206.258	228.366	220.223	-2.045.550
Agua Infiltrada	83.086	55.410	52.371	37.422	35.925	56.152	85.568	100.278	83.406	69.778	71.391	56.964	-787.750
Agua Retenida en Relave	402.356	331.286	379.876	405.094	411.625	326.231	401.527	394.397	432.123	433.725	401.752	430.315	-4.750.310
Agua en Drenes	16.717	14.821	16.499	15.927	16.459	14.815	13.781	13.865	13.463	13.420	13.393	13.692	-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	0	171.690	274.703	144.240	149.048	180.300	46.578	1.276.650
Balance	660.988	418.745	305.030	289.586	230.931	373.373	500.142	582.153	516.037	406.474	430.204	248.410	

AÑO 2019	[m3/mo]			[m3/año]
Entrada / Salida	ene-19	feb-19	mar-19	Total
Agua en Relaves	1.060.664	1.066.420	1.165.046	3.292.131
Precipitaciones	0	0	1.579	1.579
Agua Evaporada	176.181	166.647	158.652	-501.481
Agua Infiltrada	49.916	36.063	28.750	-114.728
Agua Retenida en Relave	297.142	367.637	427.326	-1.092.105
Agua en Drenes	13.746	12.541	13.797	-40.084
Agua Recuperada	601.263	692.583	585.145	-1.878.991
Otras Entradas	128.088	0	56.344	184.432
Balance	298.914	89.863	99.163	



amec foster wheeler — *Amec Foster Wheeler Environment & Infrastructure*

SUB-CONTRATISTA

Teck — Compañía Minera Teck Carmen de Andacollo

Amec Foster Wheeler

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

N° PLANO CLIENTE:			
N° PROYECTO: E40165	ESCALA: S/E	PLANO N°: E40165-840-R-PL-053.000	REV.: H

Figura 3-2: Balance Operacional Depósito de Relaves Teck CdA, al 31 de marzo 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,

6.- Permeabilidad Terreno Natural: 4,6 x 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 x 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: Kt = 0,85,

9.- Para la Evaporación, Coeficiente de Laguna: Kl = 1,

10.- Para la Evaporación, Coeficiente de Playa: Kp = 0,26,

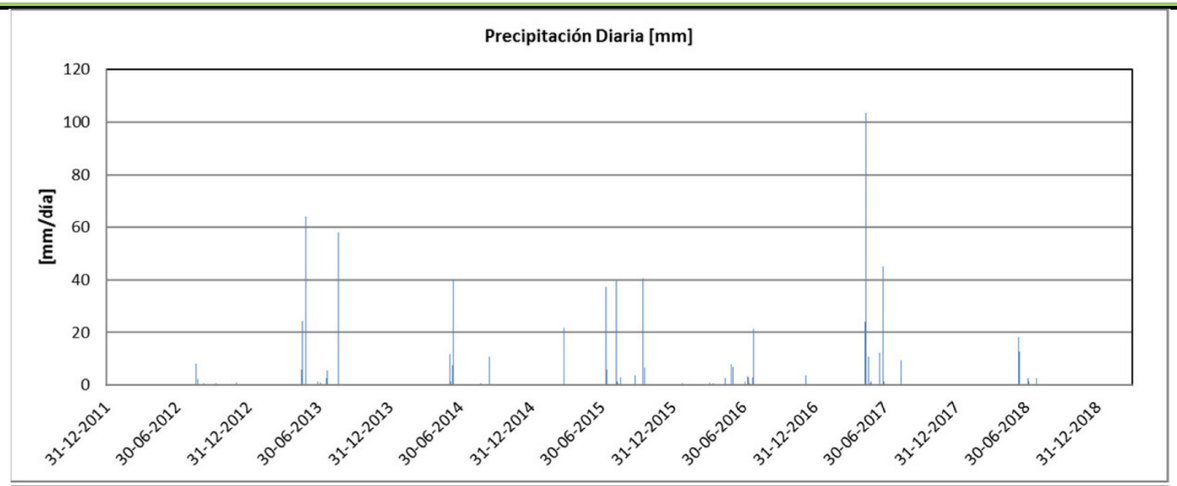
11.- Otras entradas: se refiere a otros ingresos de agua de proceso al embalse tales como agua de lavado de la línea de distribución y/o agua de dilución en el cajón de distribución de relave.

12.- La Infiltración del embalse se infiere indirectamente mediante la siguiente formula:

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

donde:
S_{lac} : Superficie de Laguna [m^2];
P_{BL}: Permeabilidad Bajo Laguna= 4,6 x 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,



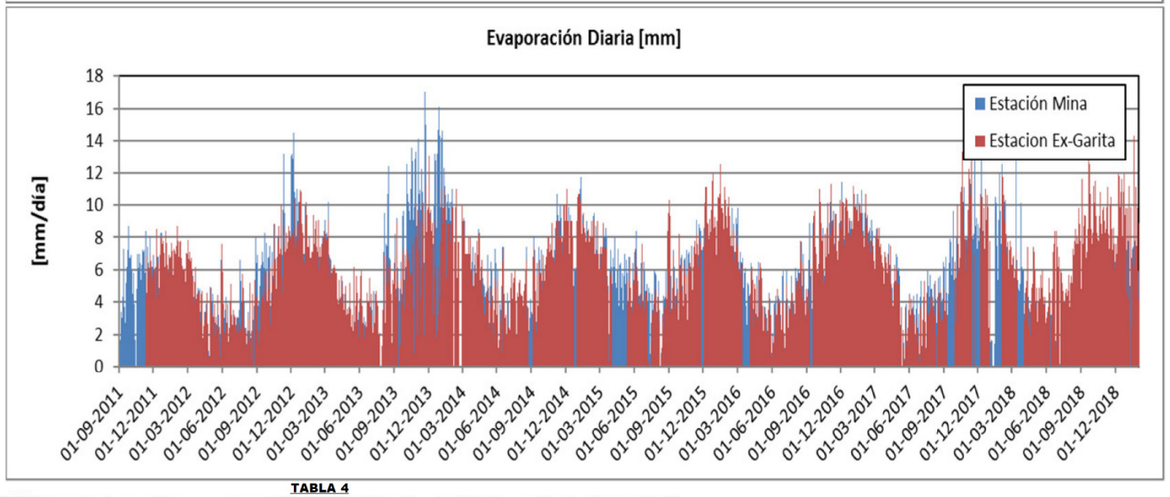


TABLA 4

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***		

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

amec foster wheeler — Amec Foster Wheeler Environment & Infrastructure
SUB-CONTRATISTA

Teck
Compañía Minera Teck Carmen de Andacollo

Amec Foster Wheeler

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

N° PLANO-CLIENTE:		
N° PROYECTO: E40165	ESCALA: S/E	PLANO N°: E40165-840-R-PL-053.001 REV. H

3.2. Revancha y almacenamiento

Respecto de la capacidad de almacenamiento remanente disponible a la fecha de emitir el presente reporte, está se indica en el punto 2.2.

Al 31 de marzo de 2019 se han depositado 150,05 Mt de relaves en el embalse, el diseño 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 265,95 Mt. Respecto del volumen ocupado por los relaves dentro del depósito, la batimetría del 21 de marzo de 2018 arrojó un total de 93,6 Mm^3 acumulados, lo que permite calcular un valor para la densidad seca de los relaves depositados (D_s) en torno a 1,60 t/m^3. Tal como se indicó en los documentos DSI 2017 y DSI 2018, 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^3 al término del año 2018.

Utilizando dicha densidad estos 266 Mt de relaves restantes a disponer al término de la vida útil proyectada del depósito, ocuparán un volumen de 171,6 Mm^3, esto sumado a los 93,6 Mm^3 ya depositados arroja un volumen total ocupado de 265,2 Mm^3, si lo comparamos con los 297 Mm^3 indicados en el diseño, el depósito tendría capacidad suficiente para admitir a lo menos 49,3 Mt (31,8 Mm^3) adicionales, totalizando un máximo eventual de 465,3 Mt.

Por otro lado, el embalse de relaves de Teck CdA para las etapas de crecimiento críticas identificadas como las etapas 4, 5 y 6, puede albergar holgadamente un evento de PMP con una duración de 3 días, estimada mediante el método de Stowhas, 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] Mínimo Embalse Disponible			
	8.700.000	10.600.000	14.700.000	
[años]	Crecida			[mm]
$T_{50\,(24h)}$	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_{3d})	3.700.000	4.040.000	3.700.000	809

En las Figuras 3.3 @ 3.5, 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 @ 6 de crecimiento de la TMF, contemplando el volumen máximo operacional de la laguna de aguas claras (650.000 m3), 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 3.3 @ 3.5 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 han diseñado descargas adicionales las que se muestran en la Figura 3.6 destacadas en color amarillo. Teck CdA debe revisar su implementación.

Figura 3-3: Almacenamiento del VMP_{3d} y tormentas 24 h, T_{50} y T_{200} para una Laguna de Agua Claras de 650.000 m^3, Etapa 4 (ref. presentación Manejo de Crecidas, GRB 2019, Wood).

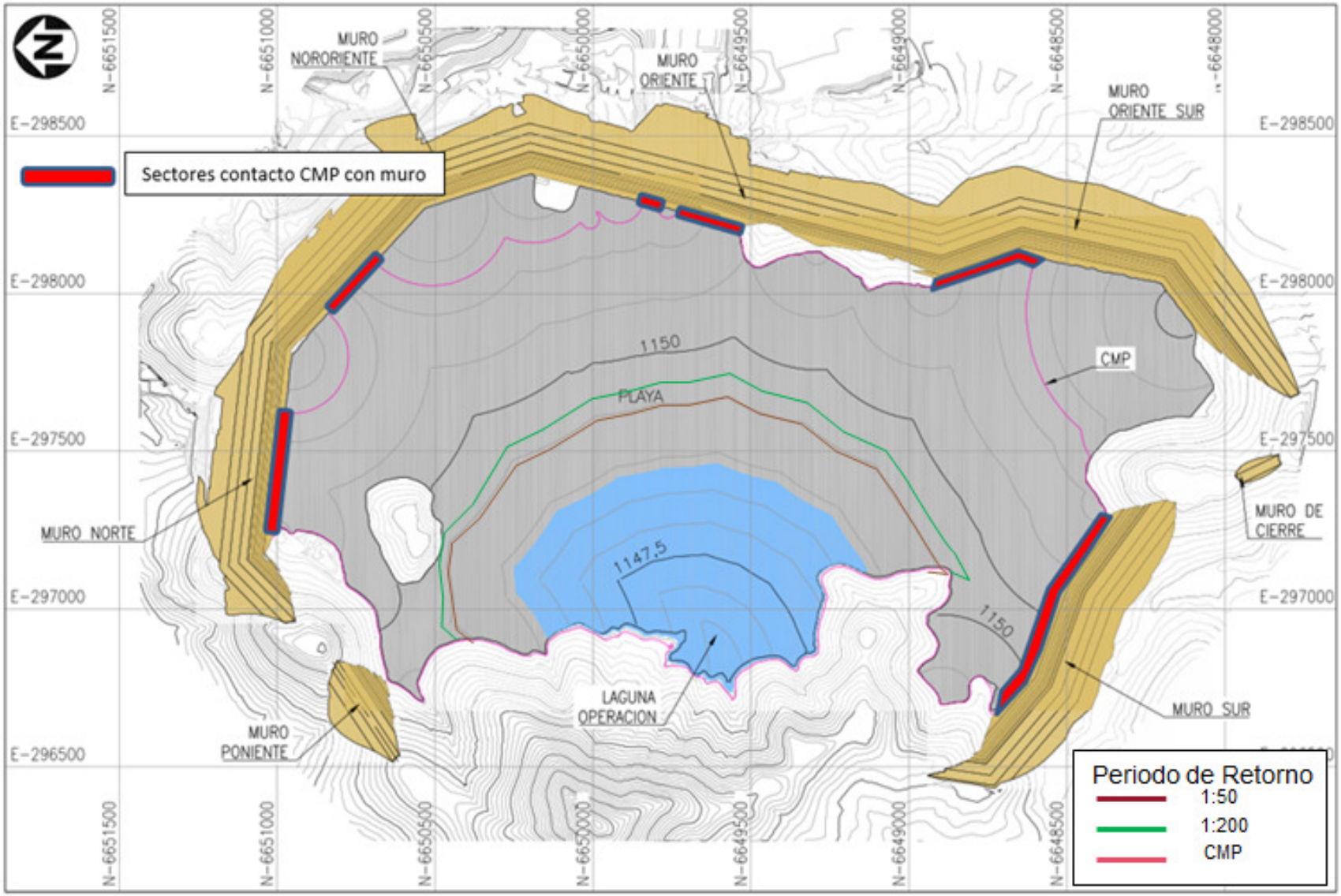


Figura 3-4: Almacenamiento del VMP_{3d} y tormentas 24 h, T_{50} y T_{200} para una Laguna de Agua Claras de 650.000 m^3, Etapa 5 (ref. presentación Manejo de Crecidas, GRB 2019, Wood).

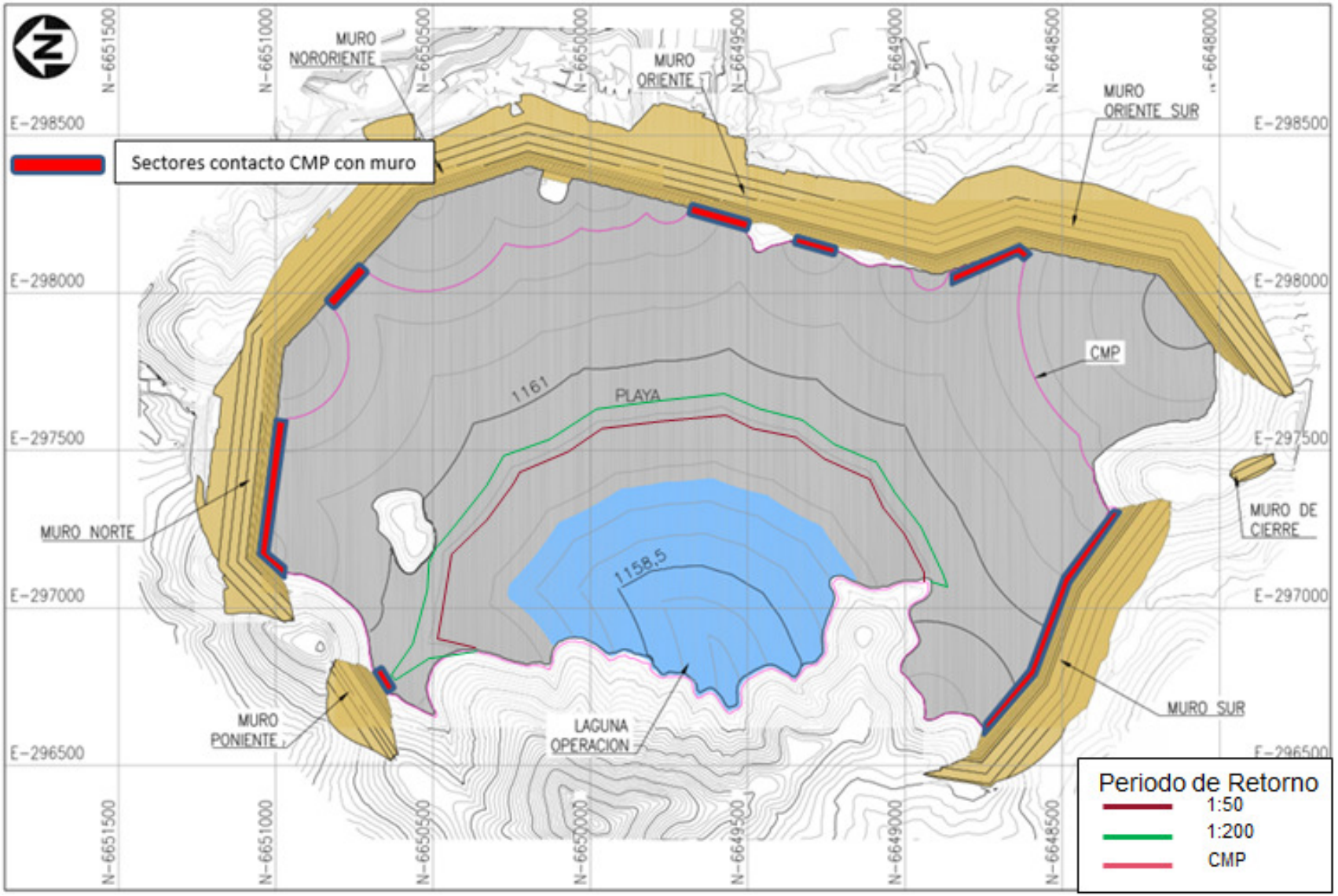


Figura 3-5: Almacenamiento del VMP_{3d} y tormentas 24 h, T_{50} y T_{200} para una Laguna de Agua Claras de 650.000 m^3, Etapa 6 (ref. presentación Manejo de Crecidas, GRB 2019, Wood).

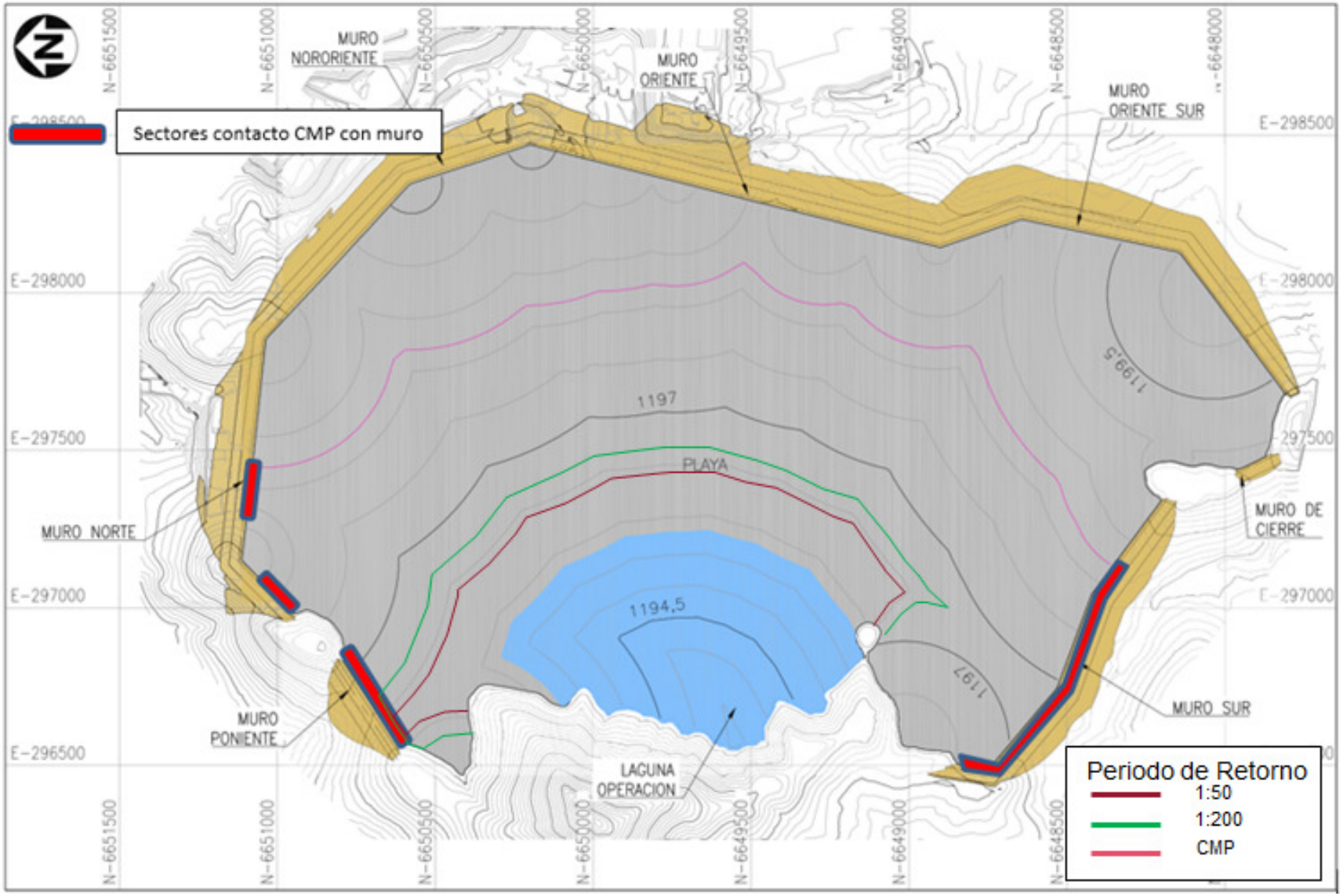
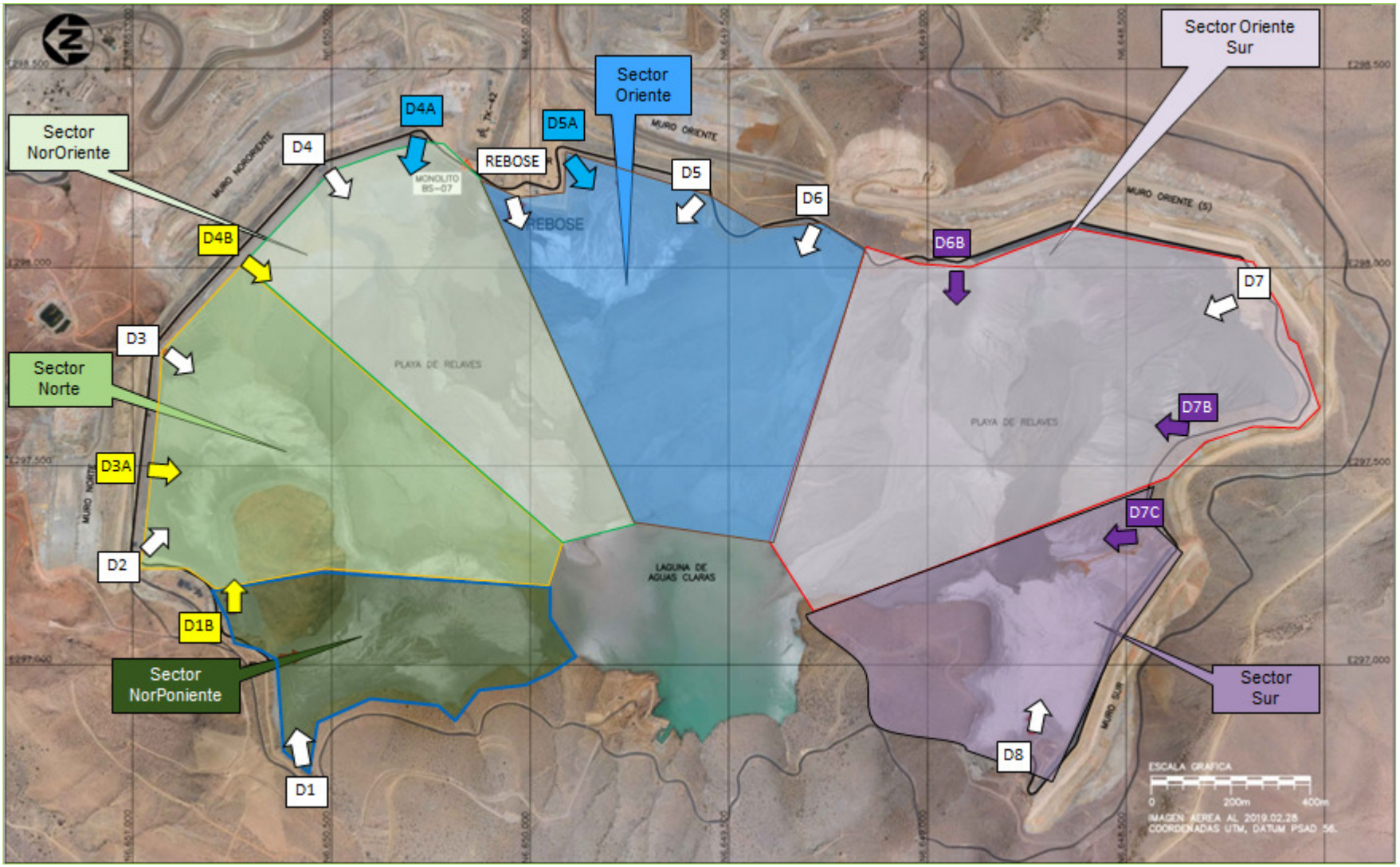
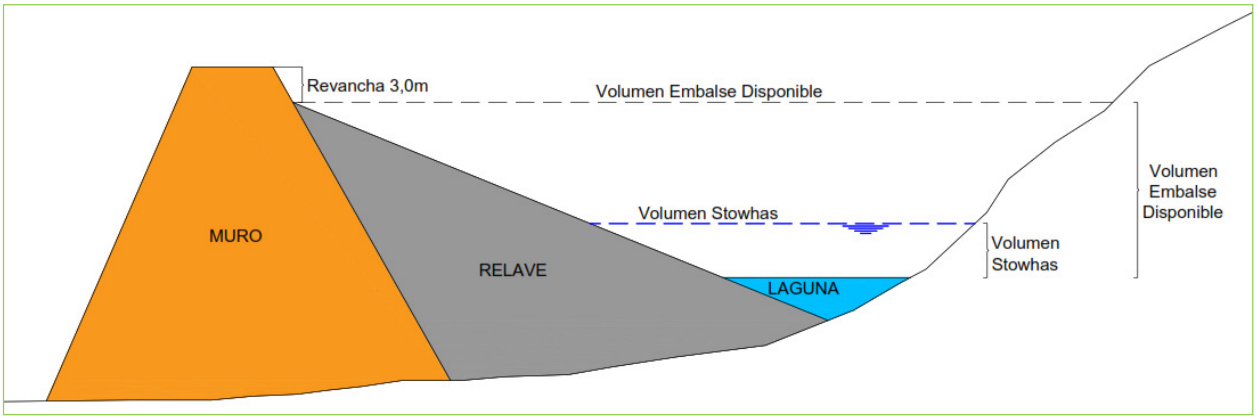


Figura 3-6: Descargas adicionales para alejar Laguna VMP (ref. presentación Manejo de Crecidas, GRB 2019, Wood).



En la Figura 3-7 (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 3-7: Almacenamiento del VMP_{3d}, para una Laguna de Agua Claras de 650.000 m^3 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 3-8 @ 3-11, 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 3-8, 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 desde los 13,5 L/s hasta los 14,05 L/s registrados al término del periodo. Estos caudales están dentro del rango de flujos de filtración estimados en la etapa de diseño, registrándose un aumento de 4 % aproximadamente en el periodo. Respecto de lo anterior y en concordancia a lo indicado en el capítulo 5.3.2 del DSR, 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).

No obstante lo anterior, se deja establecido que estos datos deben analizarse en el comportamiento de largo plazo de los caudales, dado que la metodología de aforo cambió completamente entrando en régimen a mediados de junio del año 2018, para el caso específico del flujo conducido por el sistema de drenaje del MNO, como ya se dijo anteriormente.

La figura 3-9 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 3-8), se puede apreciar una leve tendencia al alza en el flujo de este afloramiento durante el periodo

La Figura 3-10 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. Al igual que en el caso de los afloramientos al pie del camino minero, se puede apreciar una leve tendencia al alza en el flujo, lo que tal como se indica en el párrafo anterior, no es la tendencia del flujo del caudal de drenajes del MNO, el que permanece constante durante el periodo.

Para el caso de la Figura 3-11, que muestra el flujo de agua total del sector El Churque (la suma aritmética de los flujos presentados en las Figuras 3-8 @ 3-10) las líneas verticales de color café, representan la ocurrencia de los sismos 16S de 2015 y 19E de 2019, respectivamente.

Las Figuras 3-12 y 3-13, muestra las mejoras realizadas en el sector El Churque, las cuales, al momento de escribir el presente reporte, están finalizadas y 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 3-8: Caudal de Drenajes MNO, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood)

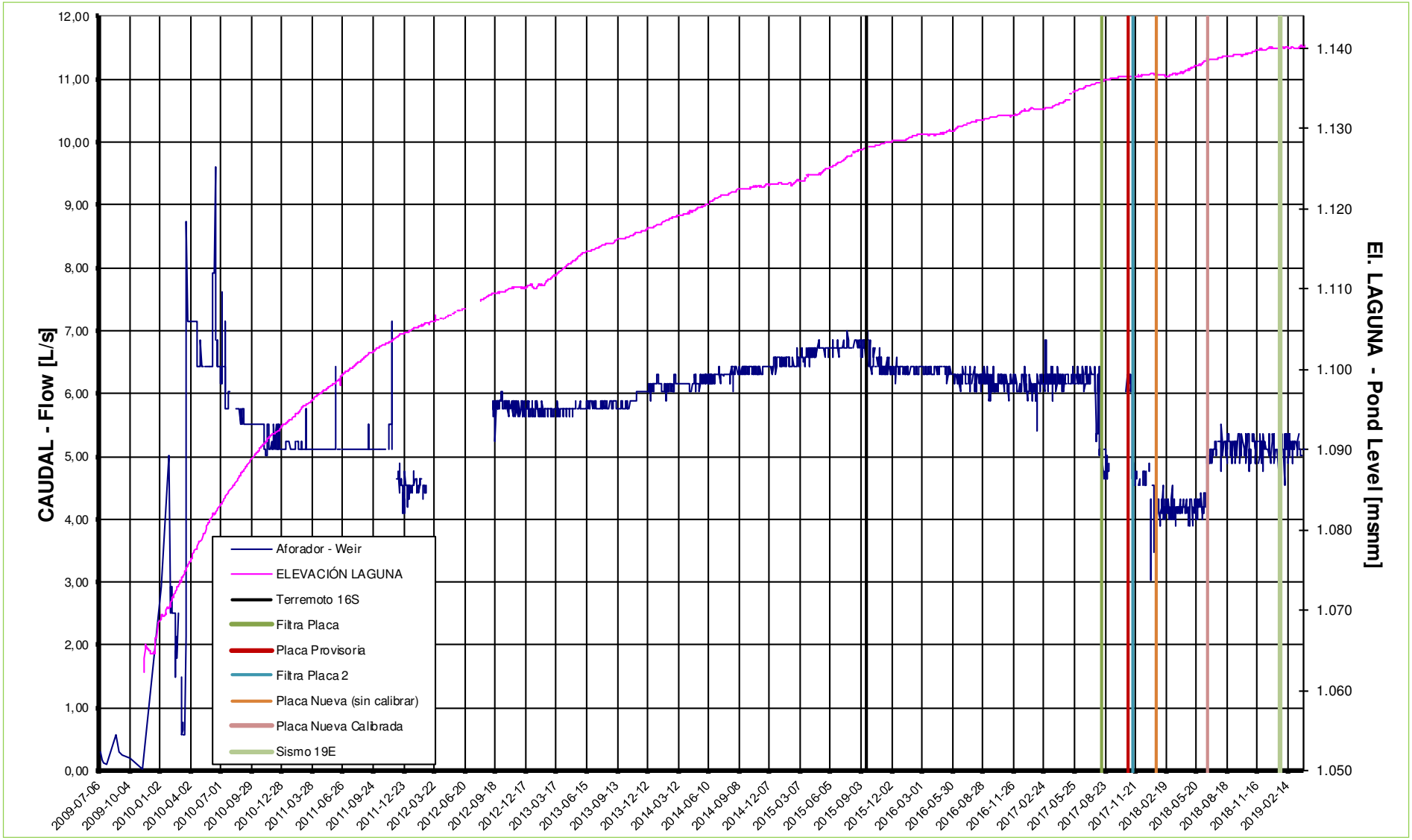


Figura 3-9: Caudal de Afloramientos al pie del talud de camino minero, aguas abajo del MNO, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).

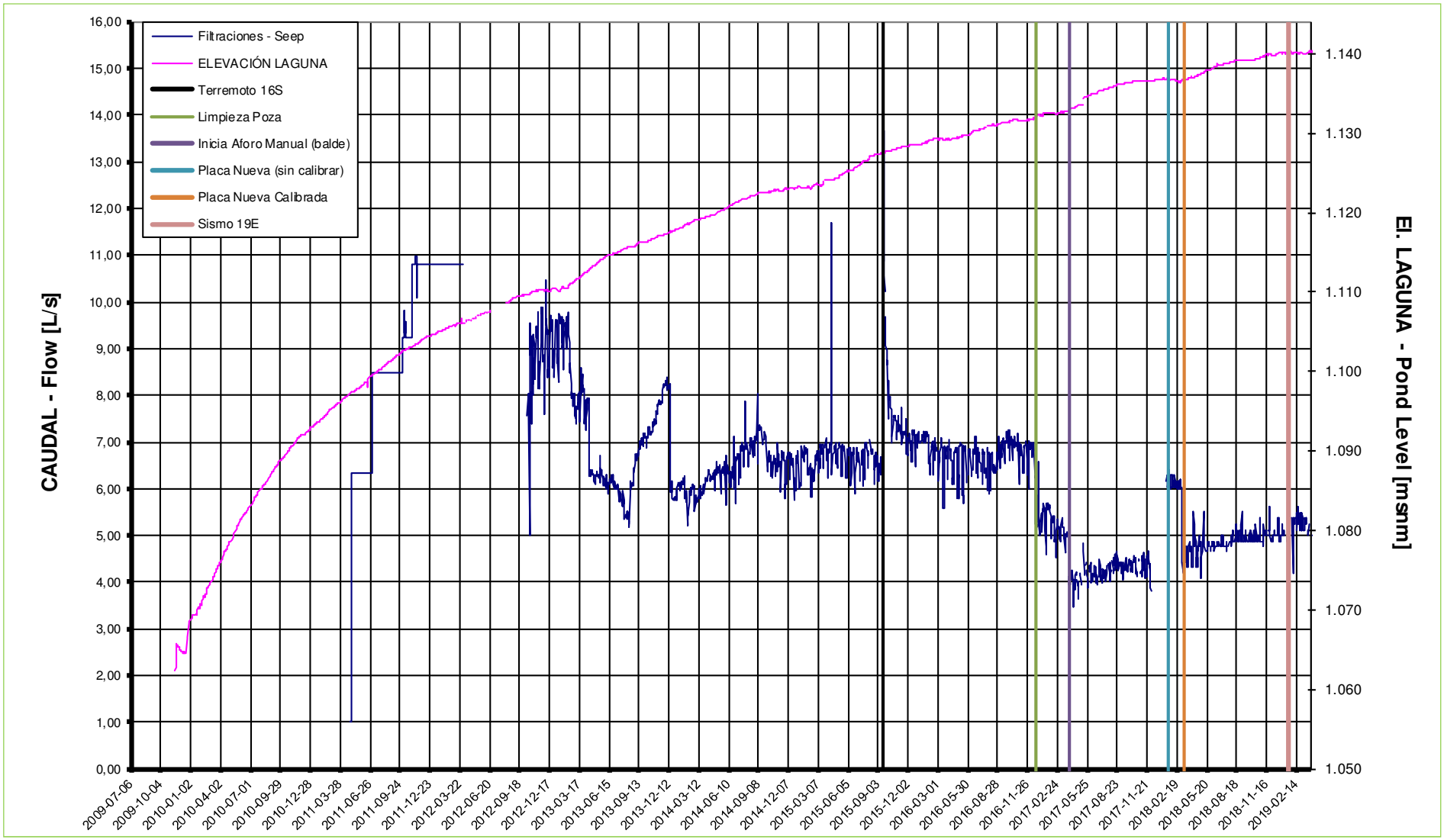


Figura 3-10: Caudal de Afloramientos aguas abajo del MNO - poza, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).

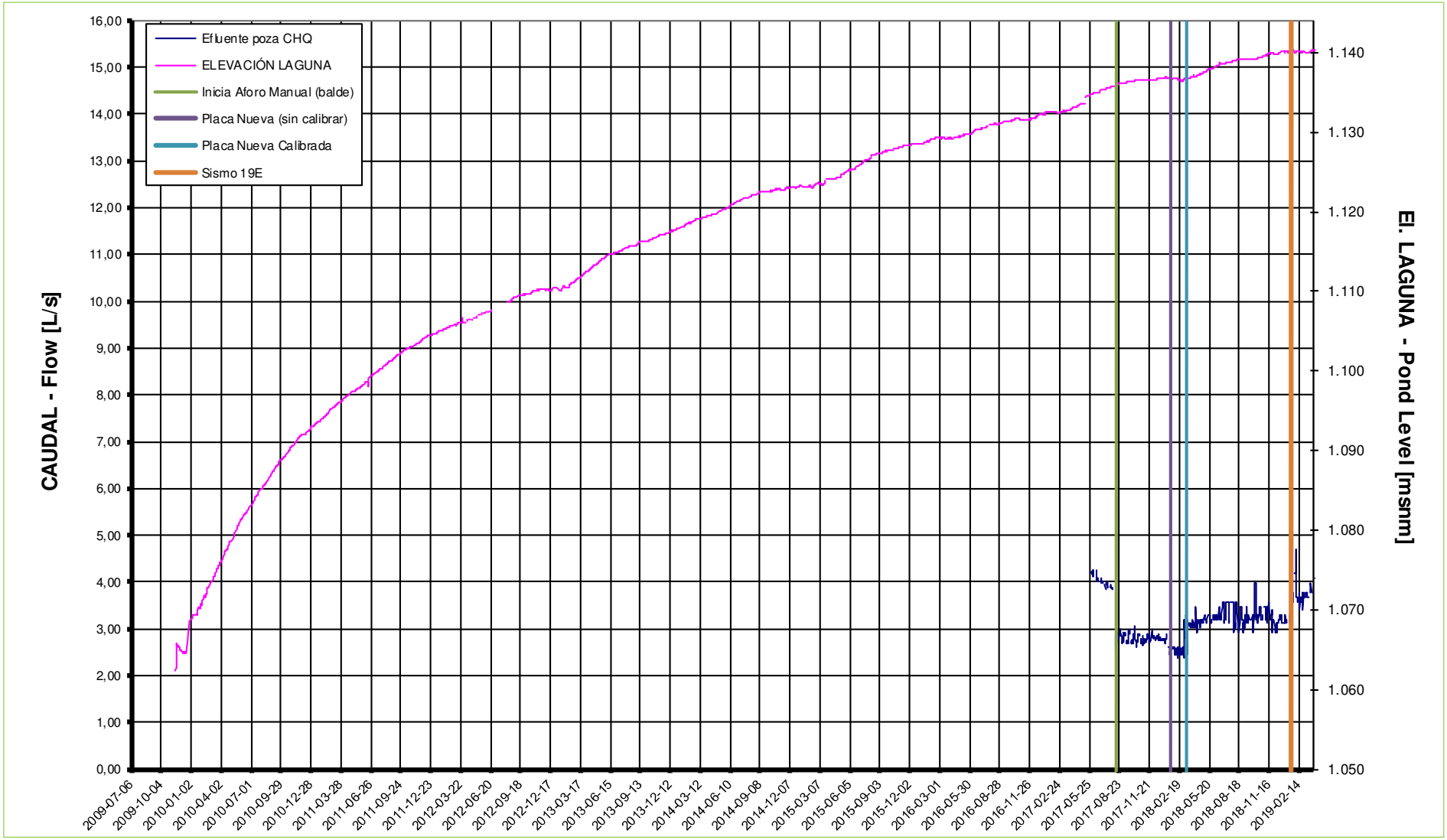


Figura 3-11: Caudal Total sector El Churque, Drenajes (Weir) + Filtraciones (Seep), al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).

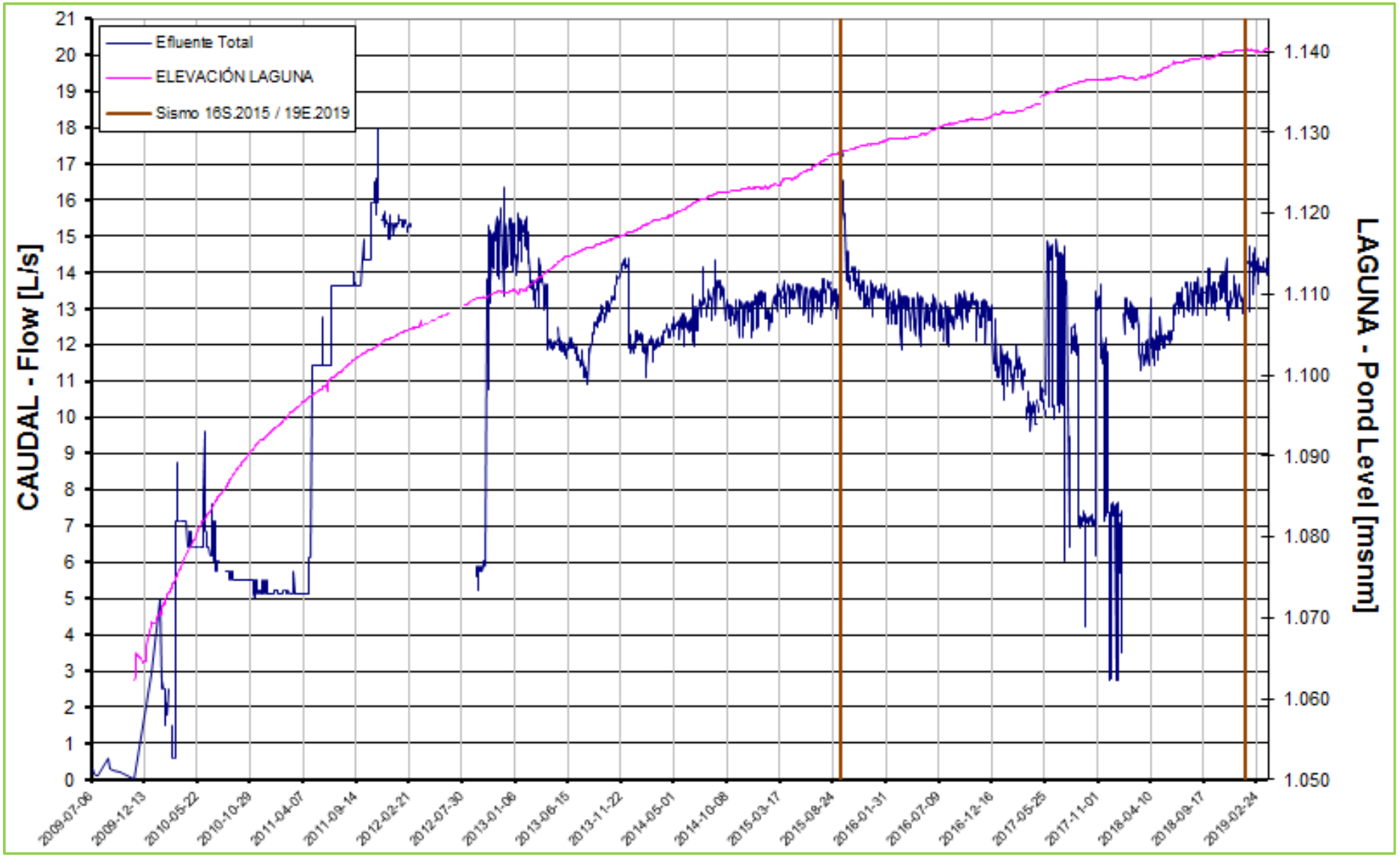


Figura 3-12: Normalización afloramientos sector “El Churque”: Planta General y Detalles.

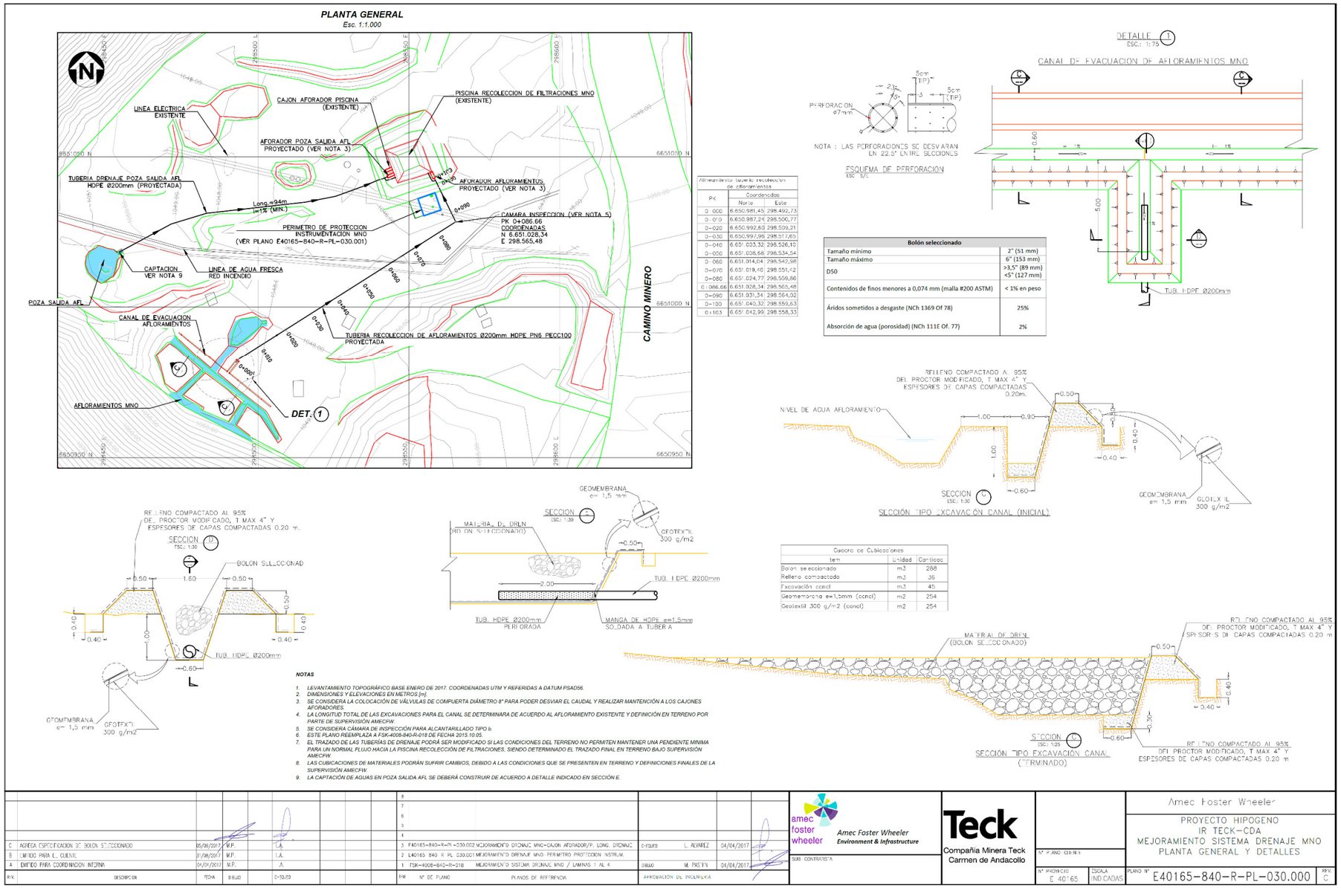
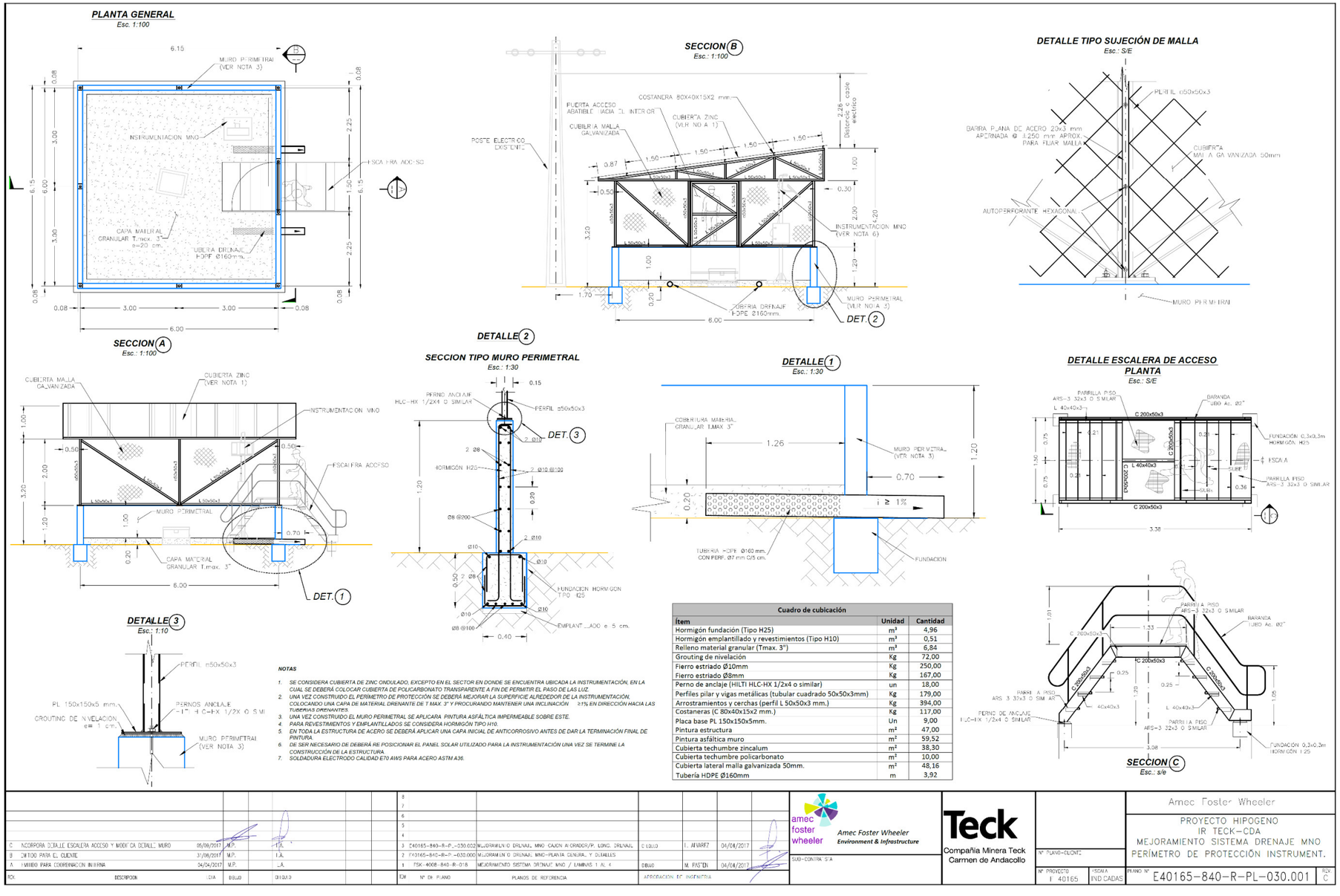


Figura 3-13: Normalización afloramientos sector “El Churque”: Perímetro de Protección Instrumentación.



Cuadro de cubicación		
Ítem	Unidad	Cantidad
Hormigón fundación (Tipo H25)	m³	4,96
Hormigón emplantillado y revestimientos (Tipo H10)	m³	0,51
Relleno material granular (Tmax. 3")	m³	6,84
Grouting de nivelación	Kg	72,00
Fierro estriado Ø10mm	Kg	250,00
Fierro estriado Ø8mm	Kg	167,00
Perno de anclaje (HILTI HLC-HX 1/2x4 o similar)	un	18,00
Perfiles pilar y vigas metálicas (tubular cuadrado 50x50x3mm)	Kg	179,00
Arrostramientos y cerchas (perfil L 50x50x3 mm.)	Kg	394,00
Costaneras (C 80x40x15x2 mm.)	Kg	117,00
Placa base PL 150x150x5mm.	Un	9,00
Pintura estructura	m²	47,00
Pintura asfáltica muro	m²	59,52
Cubierta techumbre zincalum	m²	38,30
Cubierta techumbre policarbonato	m²	10,00
Cubierta lateral malla galvanizada 50mm.	m²	48,16
Tubería HDPE Ø160mm	m	3,92

REV.	DESCRIPCION	FECHA	DIBUJO	DISEÑO
C	INCORPORA DETALLE ESCALERA ACCESO Y MODIFICA DETALLE MURO	06/09/2017	M.P.	I.A.
B	EMITIDO PARA EL CLIENTE	31/08/2017	M.P.	I.A.
A	EMITIDO PARA COORDINACION INTERNA	04/04/2017	M.P.	I.A.

TDR	Nº DE PLANO	PLANOS DE REFERENCIA	APROBACION DE INGENIERIA		
3	E40165-840-R-P_-030.002	MEJORAMIENTO DRENAJE MNO CANON ALIVIADOR/P. LONG. DRENAJE	C LOLLO	I. ALVAREZ	04/04/2017
2	E40165-840-R-P -030.000	MEJORAMIENTO DRENAJE MNO-PLANTA GENERAL Y DETALLES			
1	TSK-4008-840-R-016	MEJORAMIENTO SISTEMA DRENAJE MNO / LAMINAS 1 AL 4	DIBUJO	M. PASTEN	04/04/2017

amec foster wheeler — Amec Foster Wheeler Environment & Infrastructure
SUB-CONTRATISTA

Teck — Compañía Minera Teck Carmen de Andacollo

Nº PLANO-CLIENTE:
Nº PROYECTO: I 40165 | ESCALA: IND CADAS

Amec Foster Wheeler
PROYECTO HIPOGENO
IR TECK-CDA
MEJORAMIENTO SISTEMA DRENAJE MNO
PERÍMETRO DE PROTECCIÓN INSTRUMENT.
PLANO Nº: E40165-840-R-PL-030.001 | REV: C

4.0 RESUMEN INSTRUMENTACIÓN 2018

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 dichos muros. Los instrumentos son piezómetros de cuerda vibrante tipo RST VW2100 con termistor integrado.

A continuación, se describe brevemente 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).

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 sondajes 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 @ 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.

Tabla 4-1: Piezómetros de cuerda vibrante instalados

INSTRUMENTO		FECHA L0	CT	LOCALIZACIÓN		
TAG	SERIAL					
PE-003	VW6867	30-01-08	1.054,532	N 6.650.542,280	E 298.198,469	DREN LATERAL AAB MNO E1
PE-004	VW6866	30-01-08	1.058,543	N 6.650.498,306	E 298.142,786	RM MNO AAR DREN E1
PE-005	VW6865	30-01-08	1.058,167	N 6.650.479,435	E 298.235,431	DREN LATERAL AAR MNO E1
PE-006	VW6864	30-01-08	1.062,162	N 6.650.444,191	E 298.185,643	RM MNO AAR DREN E1
PE-019	VW8334	27-03-08	1.048,620	N 6.650.622,353	E 298.276,232	DREN CENTRAL MNO AAR E1
PE-020	VW8333	27-03-08	1.047,335	N 6.650.660,807	E 298.310,157	DREN CENTRAL MNO AAB E1
PE-010	VW8331	08-07-09	1.103,219	N 6.649.748,810	E 298.241,998	DREN CENTRAL MO E1
PE-009	VW8332	08-07-09	1.110,050	N 6.649.710,899	E 298.236,185	DREN LATERAL MO E1
PE-009A	VW16738	03-01-11	1.120,95	N 6.649.647.807	E 298.253.031	DREN LATERAL MO E2
PE-013	100C15107	12-04-16	1.146,06	N 6.648.405,231	E 298.204,126	DREN LATERAL 3 (S) MO(S) E3
PE-014	100C15108	13-04-16	1.145,14	N 6.648.488,935	E 298.226,954	DREN LATERAL 3 (N) MO(S) E3
PE-015	VW12772	07-04-10	1.129,804	N 6,651,011,805	E 297,591,350	DREN LATERAL (O) MN E2
PE-016	VW12773	07-04-10	1.127,300	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 y reinstalado por la empresa Geomediciones, resultando una nueva cota de instalación CT de 1.103,739 msnm. a partir del 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 @ 4-8).

4.2. Nueva Instrumentación: Campaña de Sondajes

4.2.1. Resumen Ejecutivo de la Campaña de Sondajes

Como parte del control de la construcción 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 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 sub clases. 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 atrapes 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.

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 a 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

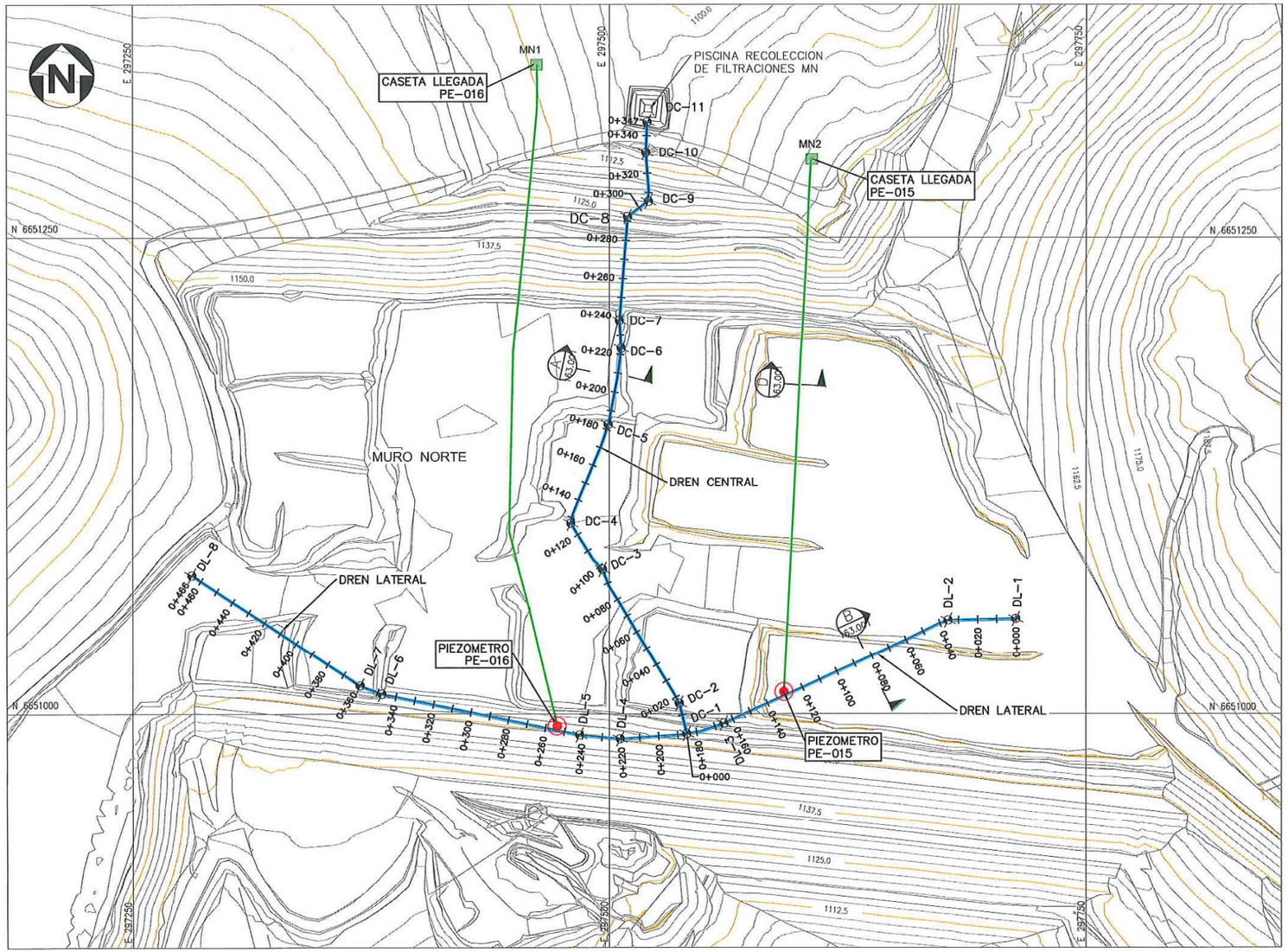
Como se muestra en la Tabla 4-1, los pozos DH-4, DH-6 y DH-8 fueron implementados con piezómetros de fibra óptica (FOP, en adelante, manufacturados por Roctest (Canadá), y corresponden al modelo FOP-F con cables de 7 mm.

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 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 E40071-840-R-PL-163.000_RB Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros MN Planta (As Built), de fecha 2016.06.13.



CUADRO DE COORDENADAS DREN CENTRAL

VERTICE	COORDENADAS		VERTICE	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE		NORTE	ESTE
DC–1	6.650.989,66	297.540,71	DC–7	6.651.206,38	297.505.36
DC–2	6.651.005,56	297.536.83	DC–8	6.651.260,94	297.509.74
DC–3	6.651.076,01	297.496.51	DC–9	6.651.268,95	297.250.71
DC–4	6.651.100,21	297.479.86	DC–10	6.651.294,63	297.519.16
DC–5	6.651.152,12	297.499,46	DC–11	6.651.310,77	297.519.91
DC–6	6.651.191,99	297.506.27			

CUADRO DE COORDENADAS DREN LATERAL

VERTICE	COORDENADAS		VERTICE	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE		NORTE	ESTE
DL–1	6.651.050,14	297.713,24	DL–6	6.651.010,41	297.380,96
DL–2	6.651.049,38	297.677,81	DL–7	6.651.014,80	297.369,47
DL–3	6.650.995,14	297.560,10	DL–8	6.651.072,92	297.280,96
DL–4	6.650.986.86	297.505,76			
DL–5	6.650.988,89	297.484,55			

CUADRO UBICACIÓN CASETAS

CASETA	COORDENADA	
	NORTE	ESTE
MN1	6.651.341,0	297.462,0
MN2	6.651.291,2	297.605,5

CUADRO UBICACIÓN PIEZOMETROS

PIEZOMETRO	COORDENADAS		
	NORTE	ESTE	ELEVACION
PE-015	6.651.011,8	297.591,4	1.129,8
PE-016	6.650.993,8	297.472,7	1.127,3

SIMBOLOGIA

- PE–XXX PIEZOMETRO
- BANCODUCTO
- SISTEMA DE DRENAJE
- CASETA

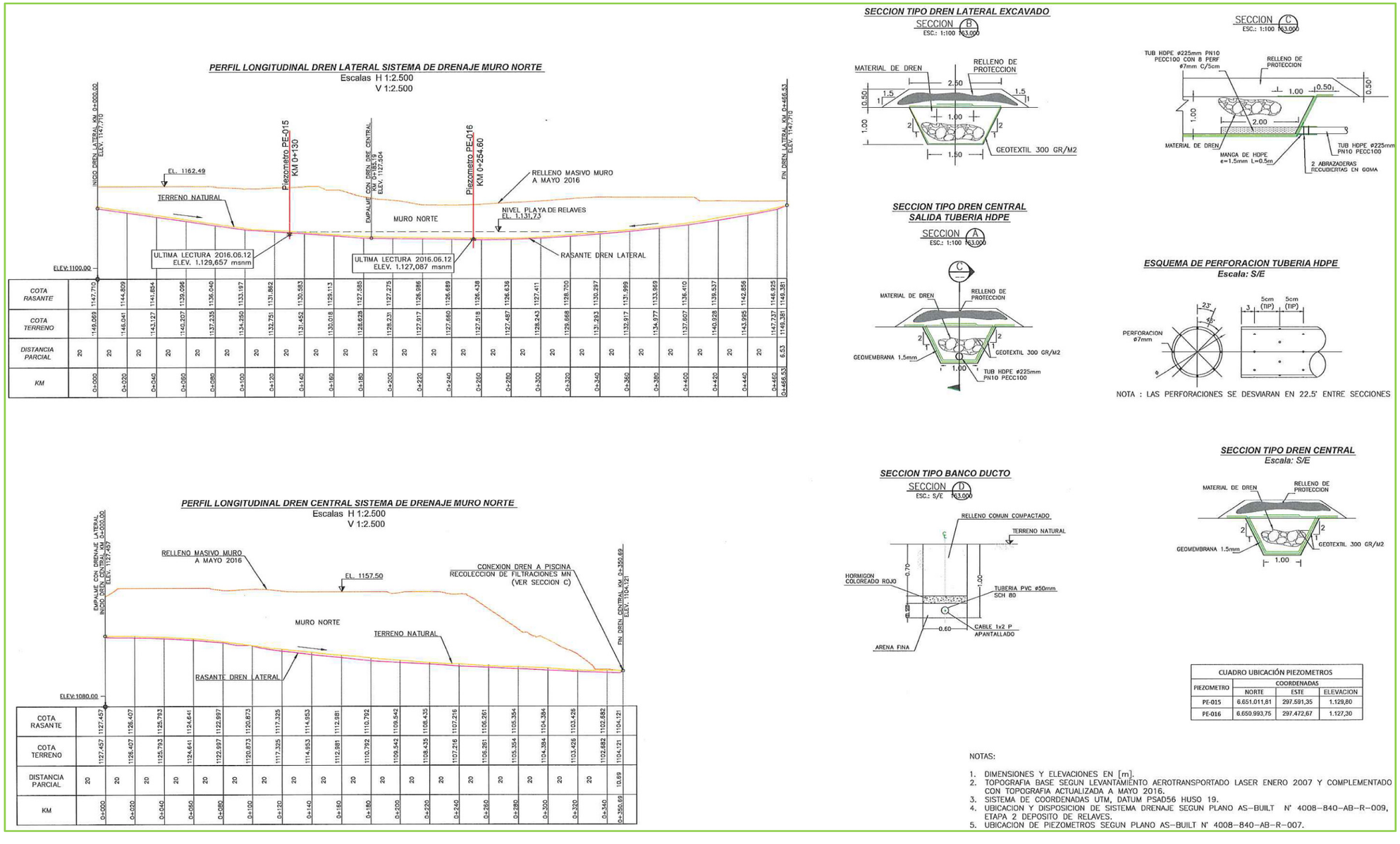
NOTAS:

1. DIMENSIONES Y ELEVACIONES EN [m]
2. TOPOGRAFIA BASE SEGUN LEVANTAMIENTO AEROTRANSPORTADO LASER ENERO 2007 Y COMPLEMENTADO CON TOPOGRAFIA ACTUALIZADA A MAYO 2016.
3. SISTEMA DE COORDENADAS UTM, DATUM PSAD56 HUSO 19.
4. UBICACION Y DISPOSICION DE SISTEMA DRENAJE SEGUN PLANO AS–BUILT N° 4008–840–AB–R–009, ETAPA 2 DEPOSITO DE RELAVES.
5. UBICACION DE PIEZOMETROS SEGUN PLANO AS–BUILT N° 4008–840–AB–R–007.

PLANTA GENERAL SISTEMA DE DRENAJE Y UBICACION DE PIEZOMETROS MURO NORTE

Escala 1:2.500

Figura 4-3: Plano E40071-840-R-PL-163.001_RB Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros MN Perfiles (As Built), de fecha 2016.06.13.

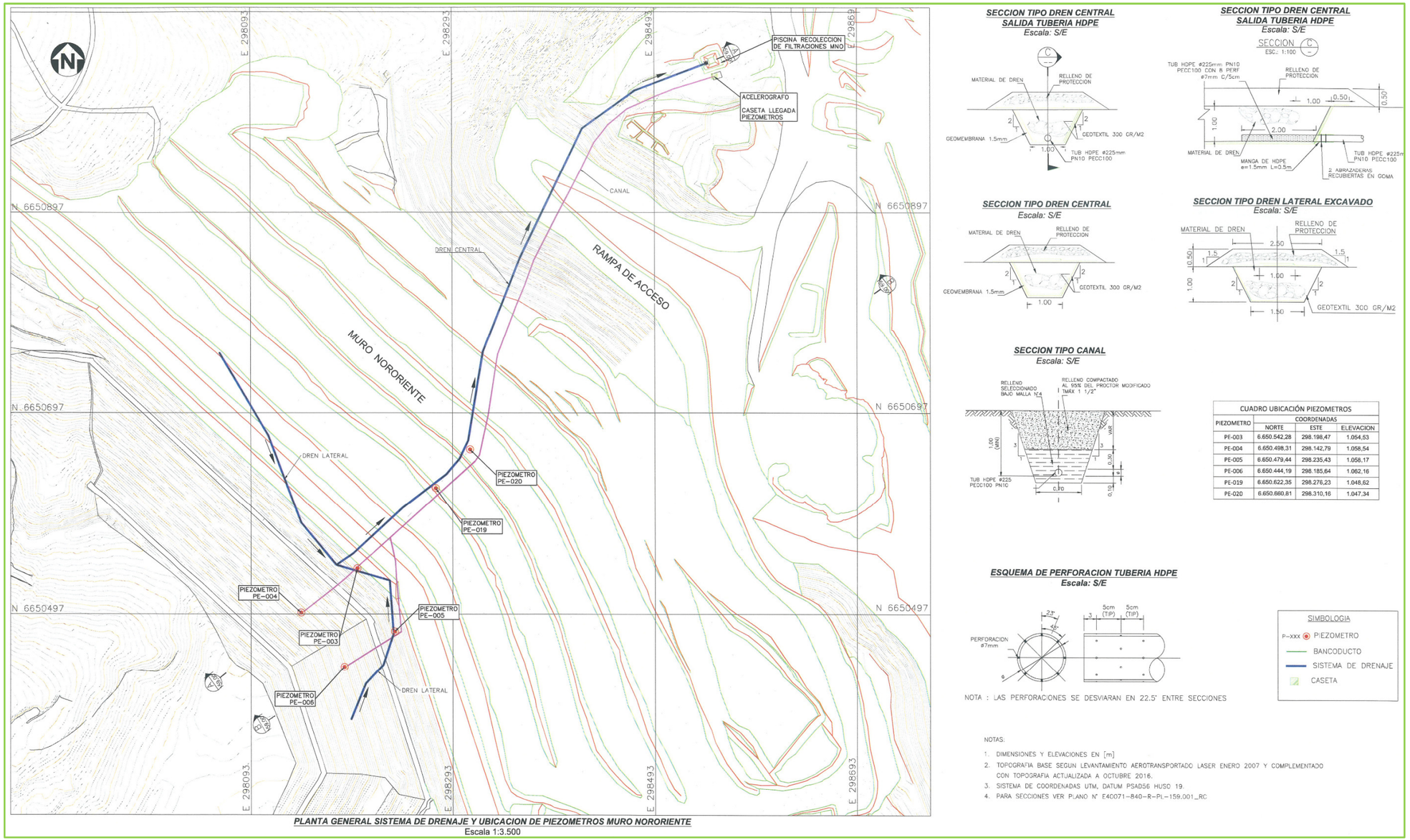


CUADRO UBICACIÓN PIEZOMETROS			
PIEZOMETRO	COORDENADAS		
	NORTE	ESTE	ELEVACION
PE-015	6.651.011,81	297.591,35	1.129,80
PE-016	6.650.993,75	297.472,67	1.127,30

NOTAS:

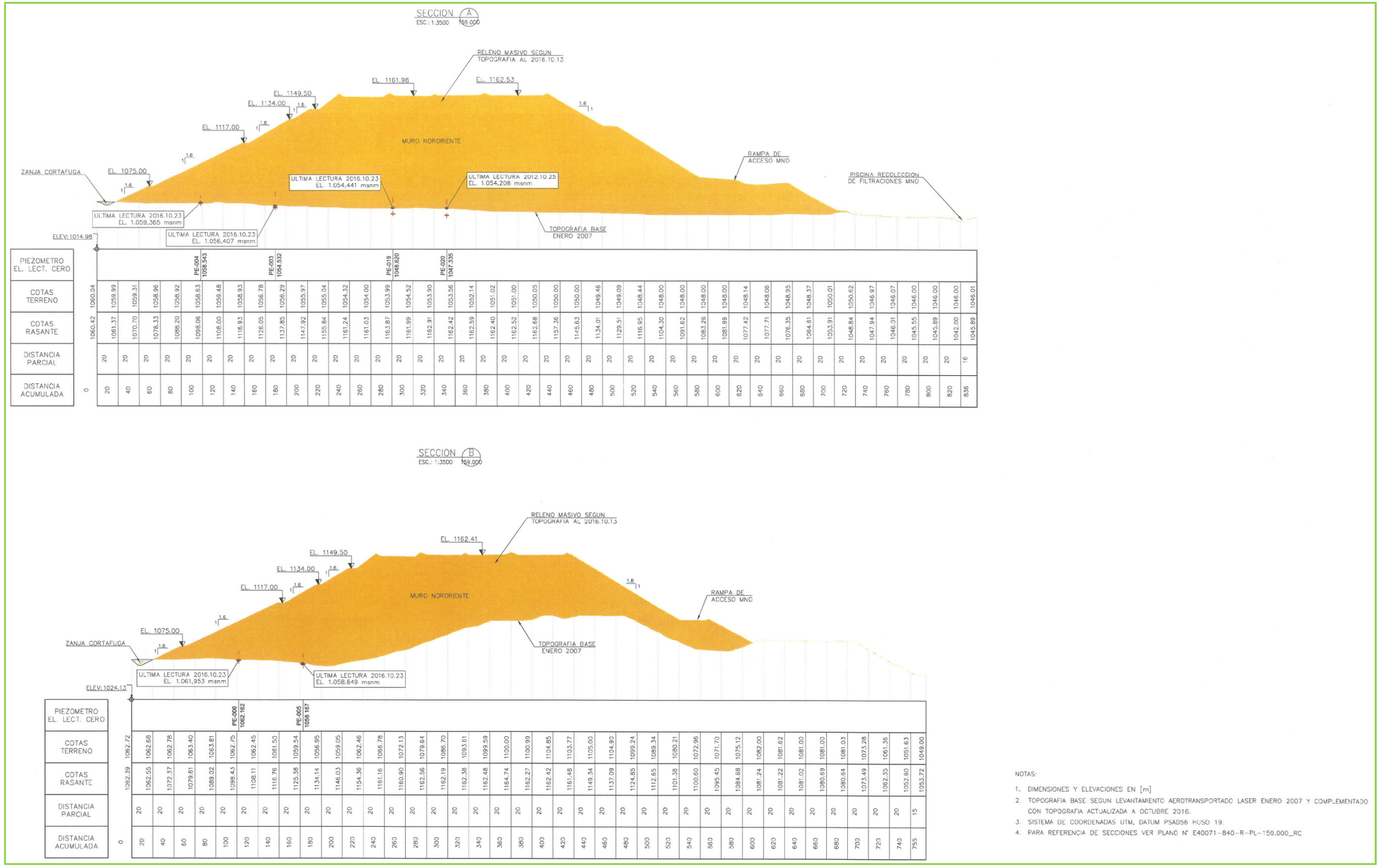
1. DIMENSIONES Y ELEVACIONES EN [m].
2. TOPOGRAFIA BASE SEGUN LEVANTAMIENTO AEROTRANSPORTADO LASER ENERO 2007 Y COMPLEMENTADO CON TOPOGRAFIA ACTUALIZADA A MAYO 2016.
3. SISTEMA DE COORDENADAS UTM, DATUM PSAD56 HUSO 19.
4. UBICACION Y DISPOSICION DE SISTEMA DRENAJE SEGUN PLANO AS-BUILT N° 4008-840-AB-R-009, ETAPA 2 DEPOSITO DE RELAVES.
5. UBICACION DE PIEZOMETROS SEGUN PLANO AS-BUILT N° 4008-840-AB-R-007.

Figura 4-4: Plano E40071-840-R-PL-159.000_RB Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros MNO Planta (As Built), 2016.10.21.



CUADRO UBICACIÓN PIEZOMETROS			
PIEZOMETRO	COORDENADAS		
	NORTE	ESTE	ELEVACION
PE-003	6.650.542,28	298.198,47	1.054,53
PE-004	6.650.498,31	298.142,79	1.058,54
PE-005	6.650.479,44	298.235,43	1.058,17
PE-006	6.650.444,19	298.185,64	1.062,16
PE-019	6.650.622,35	298.276,23	1.048,62
PE-020	6.650.660,81	298.310,16	1.047,34

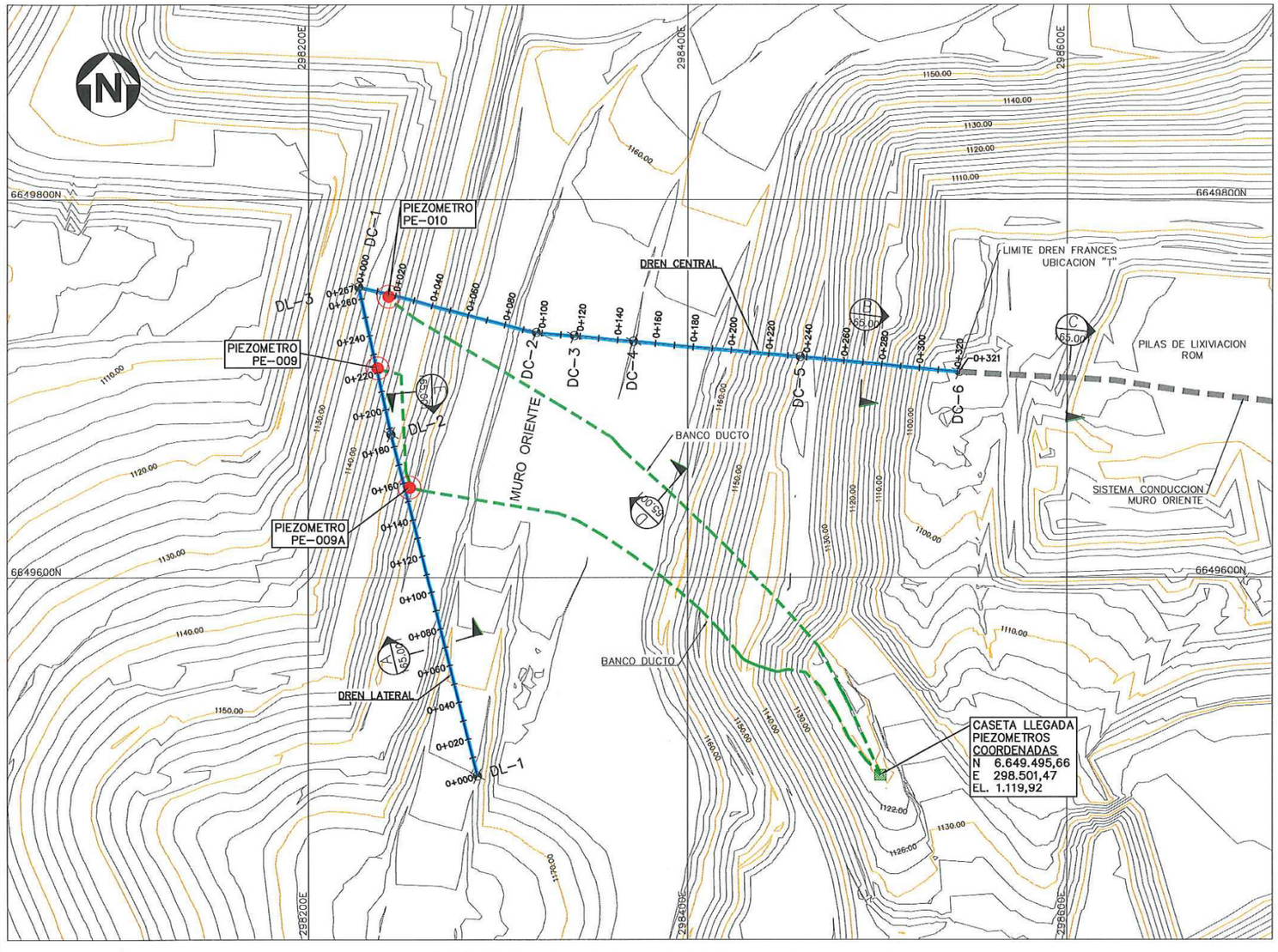
Figura 4-5: Plano E40071-840-R-PL-159.001_RB Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros MNO Perfiles (As Built), 2016.10.21.



NOTAS:

1. DIMENSIONES Y ELEVACIONES EN [m]
2. TOPOGRAFIA BASE SEGUN LEVANTAMIENTO AEROTRANSPORTADO LASER ENERO 2007 Y COMPLEMENTADO CON TOPOGRAFIA ACTUALIZADA A OCTUBRE 2016.
3. SISTEMA DE COORDENADAS UTM, DATUM PSAD56 HUSO 19.
4. PARA REFERENCIA DE SECCIONES VER PLANO N° E40071-840-R-PL-159.000_RC

Figura 4-6: Plano E40071-840-R-PL-165.000_RB Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros MO Planta (As Built), 2016.06.13



CUADRO DE COORDENADAS DREN CENTRAL

VERTICE	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
DC-1	6.649.753,74	298.226,26
DC-2	6.649.729,66	298.320,37
DC-3	6.649.728,00	298.340,35
DC-4	6.649.725,01	298.371,57
DC-5	6.649.716,89	298.459,35
DC-6	6.649.708,90	298.543,27

CUADRO DE COORDENADAS DREN LATERAL

VERTICE	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
DL-1	6.649.494,79	298.289,29
DL-2	6.649.675,78	298.243,36
DL-3	6.649.753,74	298.226,26

CUADRO UBICACIÓN PIEZOMETROS

PIEZOMETRO	COORDENADAS		
	NORTE	ESTE	ELEVACION
PE-009	6.649.710,90	298.236,19	1.110,05
PE-009A	6.649.647,81	298.253,03	1.120,95
PE-010	6.649.748,81	298.242,00	1.103,22

SIMBOLOGIA

- PE-XXX PIEZOMETRO
- BANCODUCTO
- SISTEMA DE DRENAJE
- CASETA

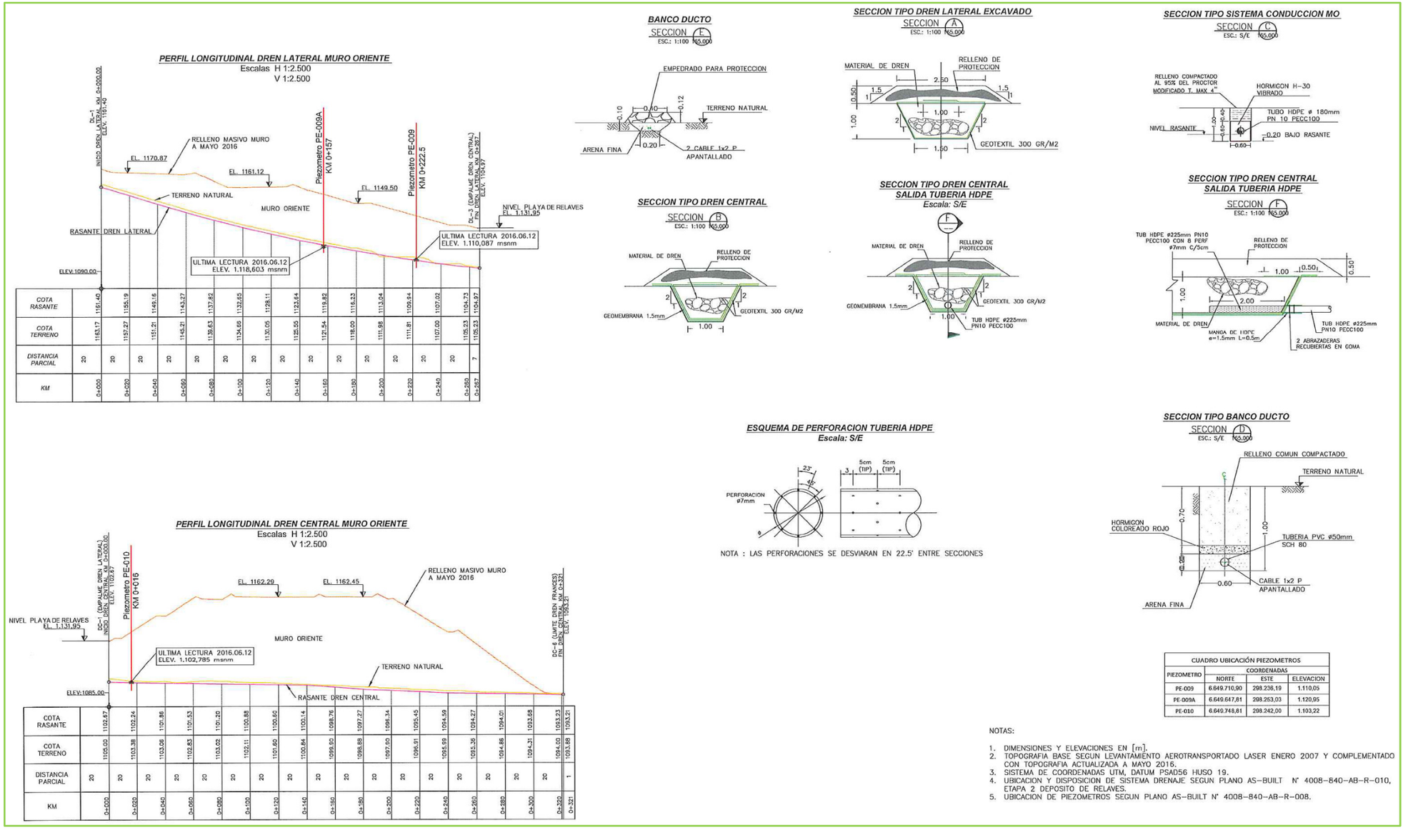
NOTAS:

1. DIMENSIONES Y ELEVACIONES EN [m].
2. TOPOGRAFIA BASE SEGUN LEVANTAMIENTO AEROTRANSPORTADO LASER ENERO 2007 Y COMPLEMENTADO CON TOPOGRAFIA ACTUALIZADA A MAYO 2016.
3. SISTEMA DE COORDENADAS UTM, DATUM PSAD56 HUSO 19.
4. UBICACION Y DISPOSICION DE SISTEMA DRENAJE SEGUN PLANO AS-BUILT N° 4008-840-AB-R-010, ETAPA 2 DEPOSITO DE RELAVES.
5. UBICACION DE PIEZOMETROS SEGUN PLANO AS-BUILT N° 4008-840-AB-R-008.

PLANTA GENERAL SISTEMA DE DRENAJE Y UBICACION DE PIEZOMETROS MURO ORIENTE

Escala 1:2.500

Figura 4-7: Plano E40071-840-R-PL-165.001_RB Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros MO Perfiles (As Built), 2016.06.13.



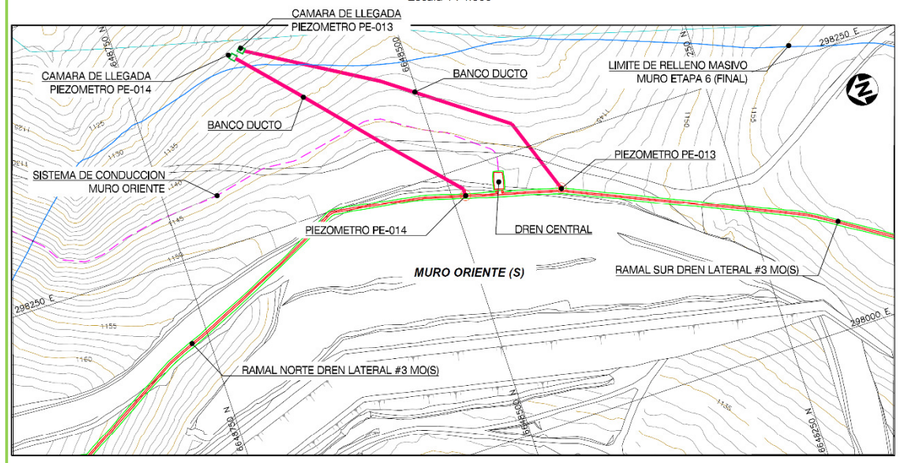
CUADRO UBICACIÓN PIEZOMETROS			
PIEZOMETRO	COORDENADAS		
	NORTE	ESTE	ELEVACION
PE-009	6.649.710,90	298.238,19	1.110,05
PE-009A	6.649.647,81	298.253,03	1.120,95
PE-010	6.649.748,81	298.242,00	1.103,22

NOTAS:

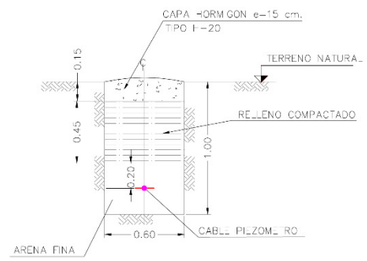
1. DIMENSIONES Y ELEVACIONES EN [m].
2. TOPOGRAFIA BASE SEGUN LEVANTAMIENTO AEROTRANSPORTADO LASER ENERO 2007 Y COMPLEMENTADO CON TOPOGRAFIA ACTUALIZADA A MAYO 2016.
3. SISTEMA DE COORDENADAS UTM, DATUM PSAD56 HUSO 19.
4. UBICACION Y DISPOSICION DE SISTEMA DRENAJE SEGUN PLANO AS-BUILT N° 4008-840-AB-R-010, ETAPA 2 DEPOSITO DE RELAVES.
5. UBICACION DE PIEZOMETROS SEGUN PLANO AS-BUILT N° 4008-840-AB-R-008.

Figura 4-8: Plano E40071-840-R-AB-013_RA Sistema de Drenaje y Disposición de Piezómetros MO(S) Planta y Perfiles (As Built), 2016.05.12.

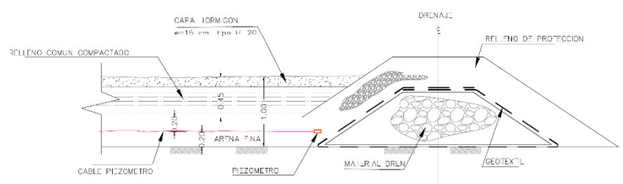
PLANTA GENERAL DISPOSICIÓN DE PIEZOMETROS MO(S)
Escala 1 : 4.500



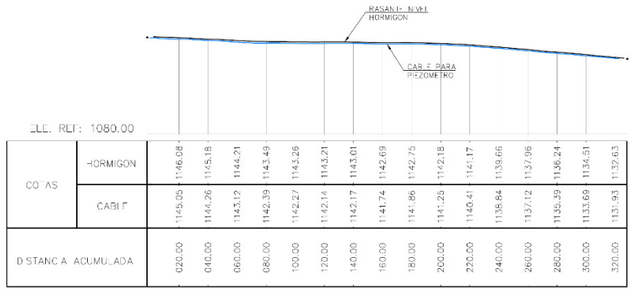
SECCION TIPO BANCO DUCTO
Escala S/E



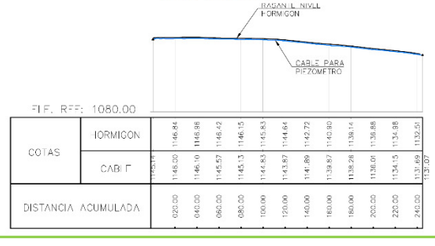
SECCION TIPO UBICACION DE PIEZOMETRO
Escala S/E



PERFIL LOGITUDINAL PIEZOMETRO PE-13 MO(S)
Escala H 1 : 4.500 ; V 1:450



PERFIL LOGITUDINAL PIEZOMETRO PE-14 MO(S)
Escala H 1 : 4.500 ; V 1:450



CUADRO DE COORDENADAS INSTALACION DE CABLEADO Y HORMIGONADO PIEZOMETROS

PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCP.		PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCP.
1	6648488,94	298226,954	1145,14	PIEZ 14		1	6648488,34	298227,129	1146,418	HORMIGON
2	6648488,47	298229,176	1145,9	CABLE		2	6648487,66	298231,543	1146,938	HORMIGON
3	6648489,8	298234,592	1145,87	MUFA		3	6648492,32	298236,753	1146,745	HORMIGON
4	6648492,87	298237,763	1145,85	CABLE		4	6648498,46	298243,447	1146,839	HORMIGON
5	6648503,52	298249,112	1145,944	CABLE		5	6648503,76	298249,314	1147,028	HORMIGON
6	6648509,44	298255,007	1146,125	CABLE		6	6648509,95	298256,161	1147,012	HORMIGON
7	6648513,99	298260,295	1146,046	CABLE		7	6648513,8	298260,3	1146,95	HORMIGON
8	6648520,33	298267,623	1145,771	CABLE		8	6648519,63	298266,734	1146,692	HORMIGON
9	6648525,2	298272,504	1145,59	CABLE		9	6648524,08	298271,737	1146,485	HORMIGON
10	6648528,23	298276,801	1145,534	CABLE		10	6648530,01	298278,381	1146,183	HORMIGON
11	6648530,42	298279,366	1145,503	CABLE		11	6648536,84	298285,962	1146,172	HORMIGON
12	6648535,92	298284,987	1145,27	CABLE		12	6648542,82	298292,981	1146,103	HORMIGON
13	6648539,56	298289,168	1145,198	CABLE		13	6648546,56	298297,479	1146,171	HORMIGON
14	6648543,93	298294,116	1145,275	CABLE		14	6648551,63	298302,976	1145,836	HORMIGON
15	6648548,81	298299,424	1145,118	CABLE		15	6648555,63	298307,64	1145,455	HORMIGON
16	6648553,42	298304,826	1144,74	CABLE		16	6648560,09	298312,605	1145,299	HORMIGON
17	6648556,15	298307,697	1144,624	CABLE		17	6648566,16	298319,453	1144,476	HORMIGON
18	6648565,65	298318,94	1143,823	CABLE		18	6648572,45	298326,619	1143,5	HORMIGON
19	6648573,78	298327,238	1142,544	CABLE		19	6648574,77	298329,257	1143,232	HORMIGON
20	6648578,37	298332,412	1141,94	CABLE		20	6648581,7	298337,095	1142,174	HORMIGON
21	6648585,77	298341,794	1140,731	CABLE		21	6648587,11	298343,145	1141,424	HORMIGON
22	6648589,12	298344,722	1140,359	CABLE		22	6648591,74	298348,33	1140,869	HORMIGON
23	6648596,54	298353,273	1139,361	CABLE		23	6648598,26	298355,633	1140,138	HORMIGON
24	6648606,59	298365,082	1138,002	CABLE		24	6648604,63	298362,814	1139,163	HORMIGON
25	6648610,31	298369,445	1137,378	CABLE		25	6648610,98	298369,895	1138,168	HORMIGON
26	6648617,84	298376,782	1136,035	CABLE		26	6648616,85	298376,294	1137,064	HORMIGON
27	6648621,99	298380,88	1135,672	CABLE		27	6648623,78	298383,876	1136,133	HORMIGON
28	6648630,33	298389,362	1134,411	CABLE		28	6648629,44	298389,888	1135,254	HORMIGON
29	6648634,96	298394,451	1133,7	CABLE		29	6648632,71	298393,538	1134,834	HORMIGON
30	6648641,96	298403,635	1132,371	CABLE		30	6648638,46	298400,098	1133,913	HORMIGON
31	6648644,49	298407,095	1131,754	CABLE		31	6648641,19	298403,35	1133,367	HORMIGON
32	6648648,39	298411,404	1131,033	CABLE		32	6648646,63	298409,518	1132,103	HORMIGON

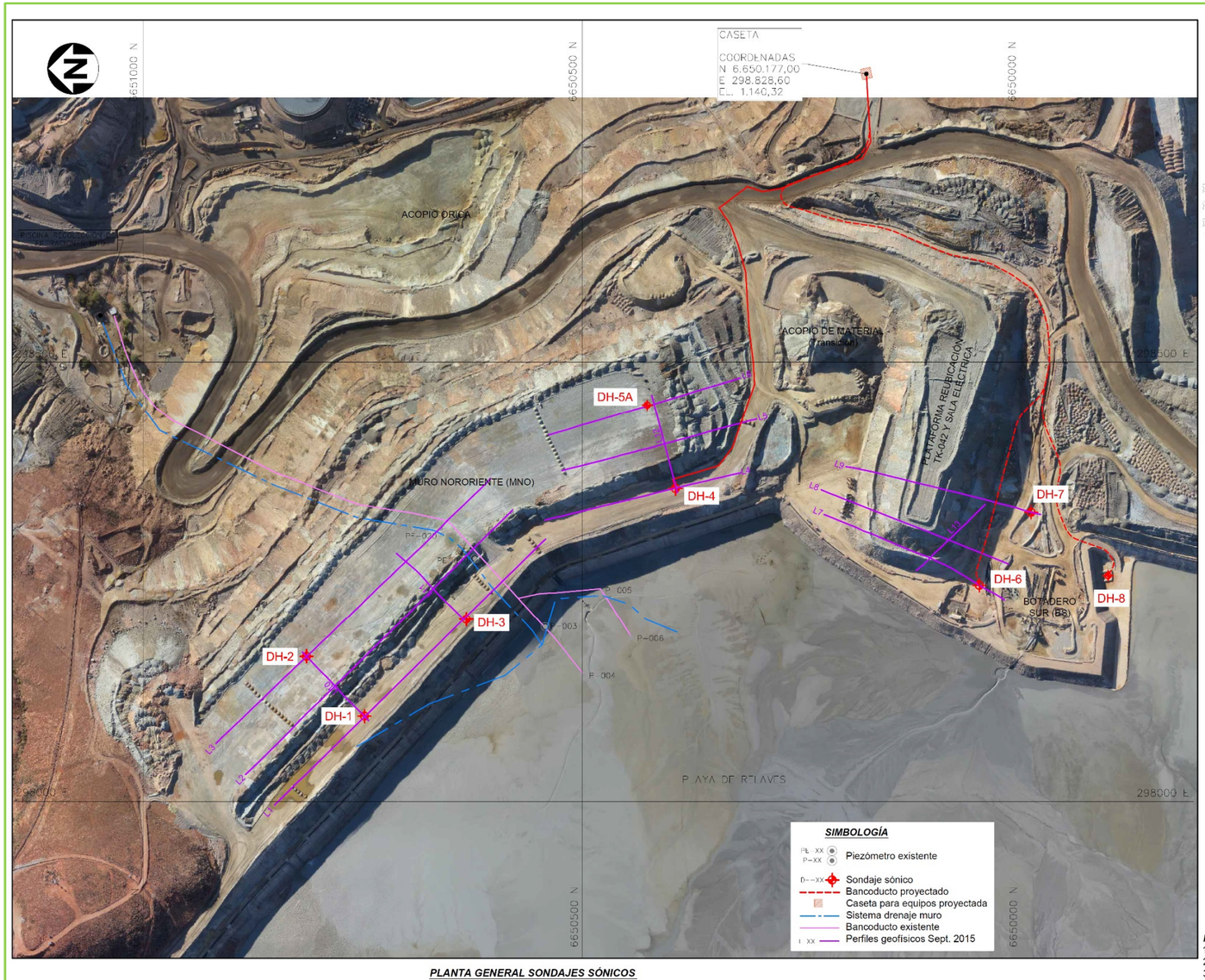
CUADRO DE COORDENADAS DE UBICACION PIEZOMETROS Y CAMARAS

PIEZÓMETRO 13	PIEZÓMETRO 14
N=6648405.231	N=6648488.935
E=298204.126	E=298226.954
COTA=1146.060	COTA=1145.140
CÁMARA N1	CÁMARA N2
N=6648639.232	N=6648648.022
E=298414.781	E=298410.994
COTA=1132.20	COTA=1131.980
CAJA REGISTRADORA.	
N=6648645.156	
E=298415.568	
COTA=1131.722	

NOTAS

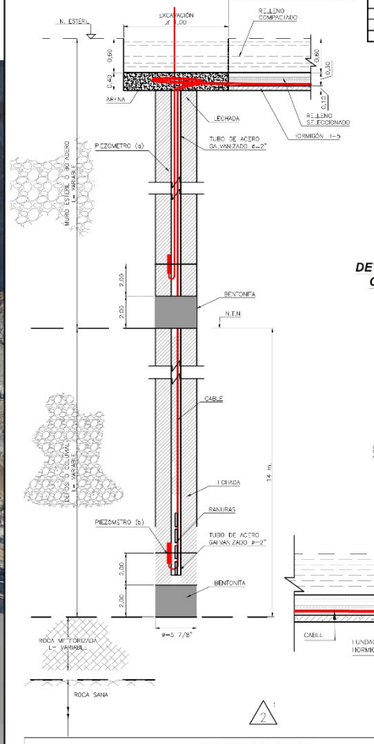
1. *Levantamiento topográfico base a mayo de 2016. Coordenadas UTM y referidas a Datum PSAD 56.*
2. *Dimensiones y elevaciones en metros [m].*
3. *Las coordenadas indicadas en la tabla corresponden al eje del cable para piezometros y el nivel superior para el relleno con hormigon segun seccion tipo*
4. *Para detalle de camaras de llegada ver plano N° E40071-840-R-PL152.*

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

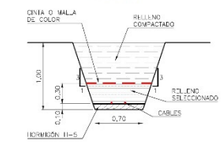


PLANTA GENERAL SONDAJES SÓNICOS
Escala 1:5.000

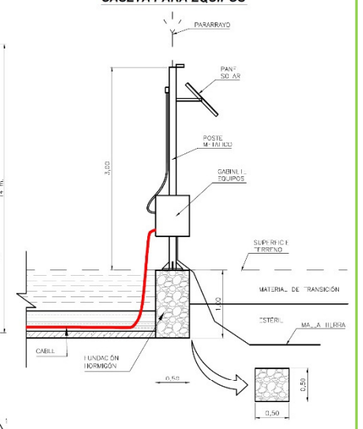
CONSTRUCCION TIPO PIEZOMETRO FIBRA ÓPTICA
Escala S/E



ZANJA TIPO BANCODUCTO
Escala S/E



DETALLE TIPO INSTALACIÓN CASETA PARA EQUIPOS



CUBICACION

ITEM	CANTIDAD	UN.	DESCRIPCION	OBSERVACIONES
1	1.913	m3	EXCAVACION EN SUELO COMUN	ZANJA CABLES
2	137	m3	HORMIGON H-5	ZANJA CABLES
3	482	m3	RELLENO SELECCIONADO	ZANJA CABLES
4	1.852	m2	CINTA O MALLA DE COLOR	ZANJA CABLES
5	1.296	m3	RELLENO COMPACTADO	ZANJA CABLES

CUADRO SONDAJES

POZOS PIEZOMÉTRICOS	Coordenadas UTM (Datum PSAD 56)		Elevación Plataforma (m s.n.m)	Longitud pozo (m)	Sensor de Fibra Óptica	Longitud del Cable en Pozo (m)	Elevación sensor (m s.n.m)	Longitud del Cable en Superficie (m)	Long. Total Cable (m)	Long. Cable en Superficie +10% (m)
	Norte	Este								
DH-1	6.650.748,44	298.096,61	1.160,75	53,8	N/A	-	-	-	-	-
DH-2	6.650.814,07	298.165,33	1.166,00	81,65	N/A	-	-	-	-	-
DH-3	6.650.632,65	298.207,25	1.160,40	131,25	N/A	-	-	-	-	-
DH-4	6.650.393,93	298.355,55	1.155,48	98,85	a (1)	75,00	1.080,48	658,00	733,00	748,00
					b (2)	93,00	1.062,48	658,00	751,00	808,00
DH-5A	6.650.426,10	298.450,87	1.165,83	96,8	N/A	-	-	-	-	-
DH-6	6.650.048,05	298.246,02	1.147,99	92,15	a (1)	59,50	1.088,49	901,00	960,50	1.029,00
					b (2)	87,50	1.060,49	901,00	988,50	1.066,00
DH-7	6.649.988,98	298.328,49	1.147,83	100,05	N/A	-	-	-	-	-
DH-8	6.649.901,53	298.256,79	1.140,84	79	a (1)	55,00	1.085,84	870,00	925,00	957,00
					b (2)	73,00	1.067,84	870,00	943,00	957,00

(1) SENSOR INSTALADO DENTRO DEL MURO DE ESTERIL.
(2) SENSOR INSTALADO DENTRO DEL DEPOSITO COLUVIAL.

NOTAS
1. Topografía actualizada a diciembre de 2017. Coordenadas UTM referidas a Datum PSAD56, Huso 19.
2. Coordenadas y elevaciones en metros [m]
3. Imagen aérea base a Junio de 2018.
4. Las longitudes de los pozos son estimadas y corresponden a la profundidad teórica del contacto con el terreno natural. La penetración en la roca y/o coluvio subyacente se determinará directamente en terreno previo al examen de los testigos de roca y de los objetivos de cada pozo.

Figura 4-10: Detalle Habilitación Piezómetros Casagrande.

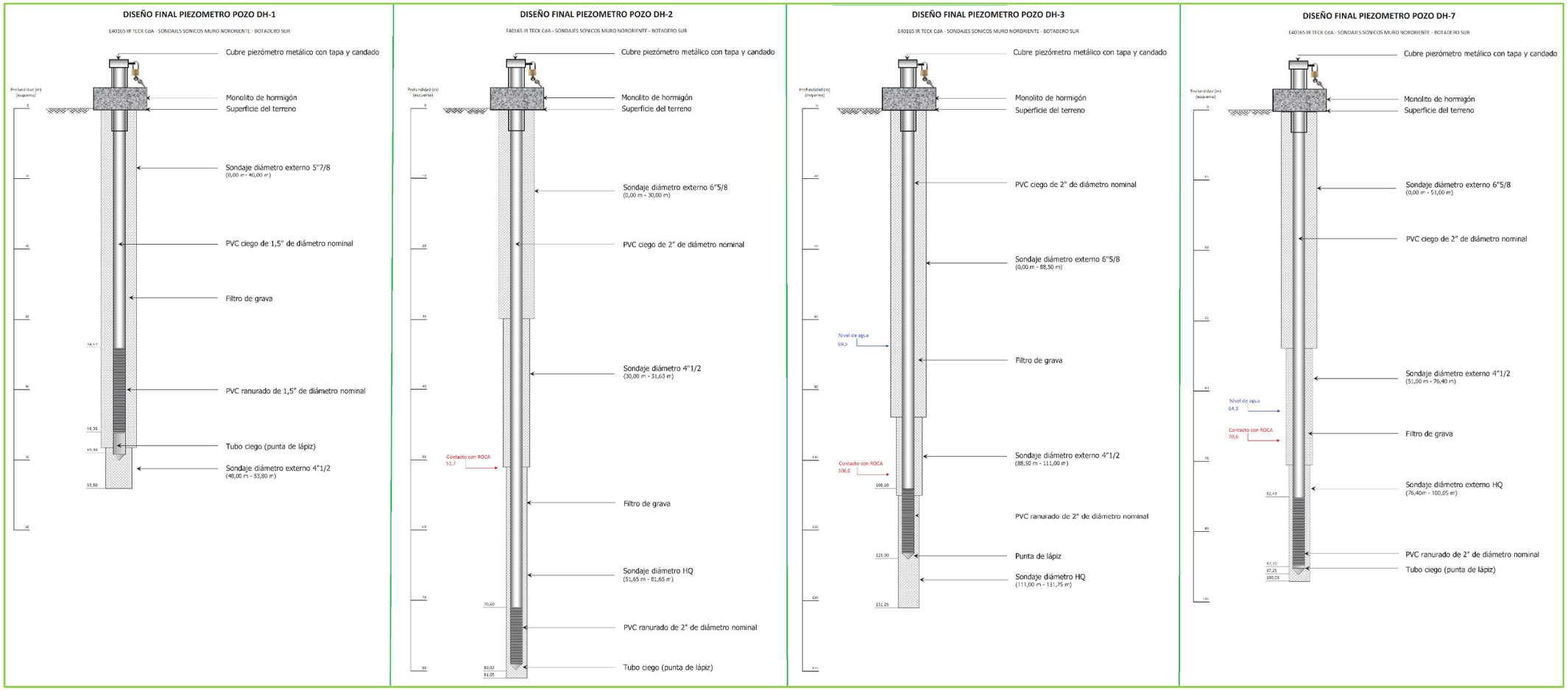
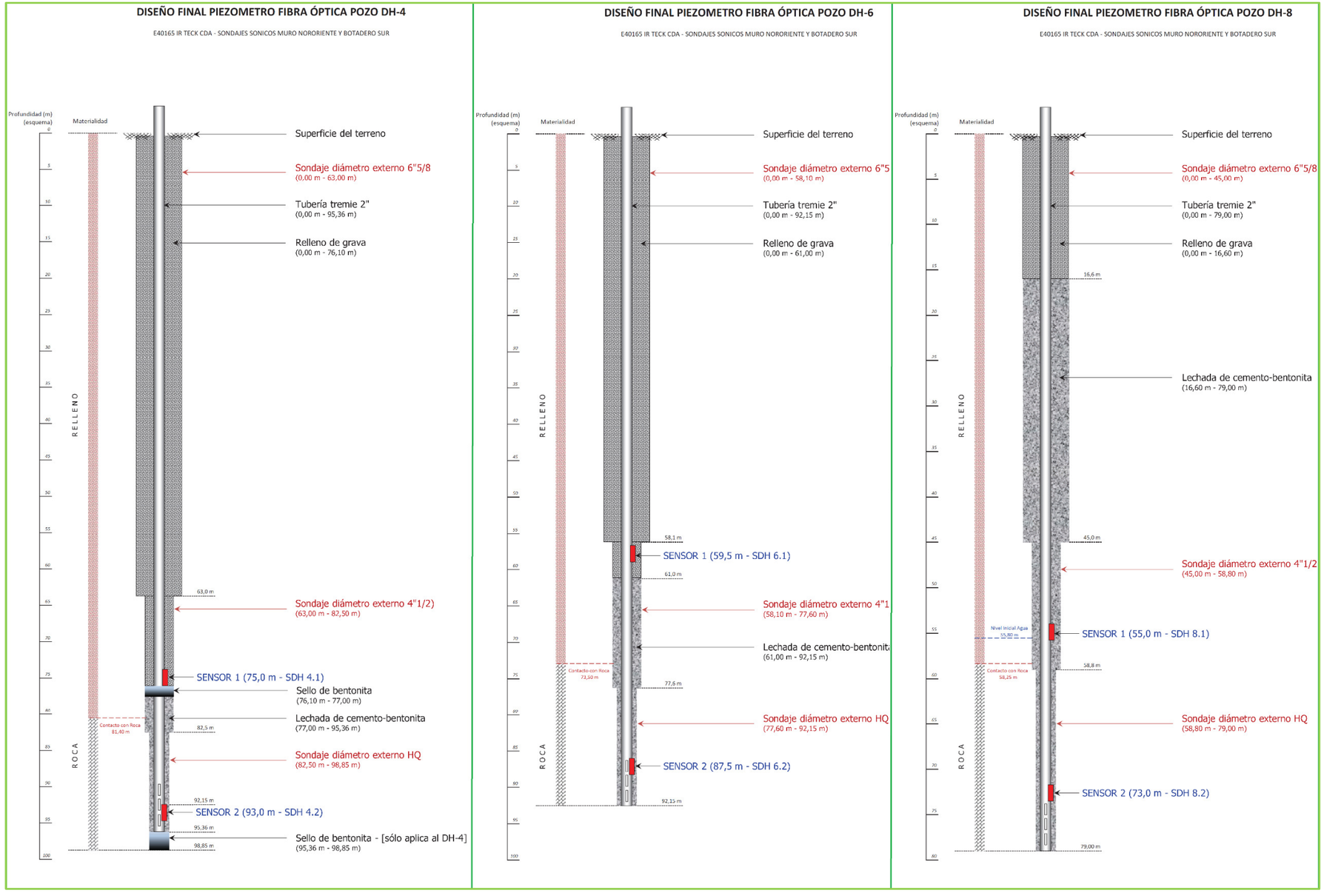


Figura 4-11: Detalle Habilitación Piezómetros Fibra Óptica.



4.3. Lecturas Instrumentales 2018

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 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

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

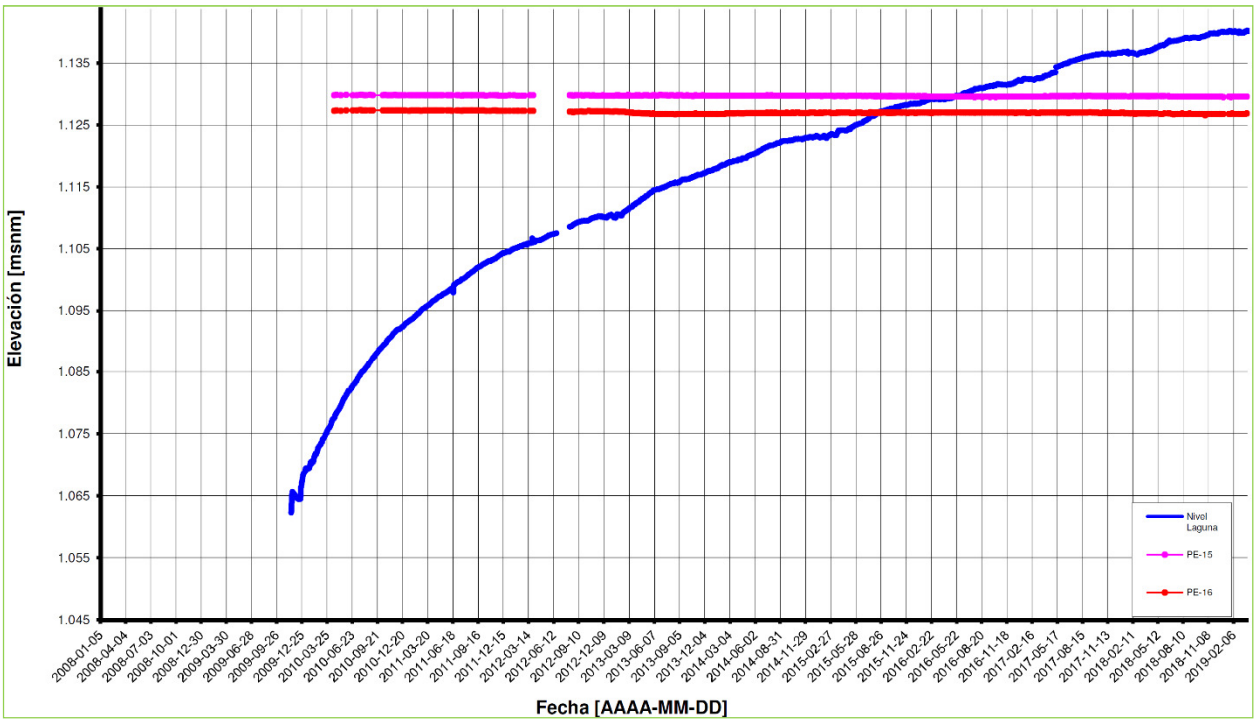
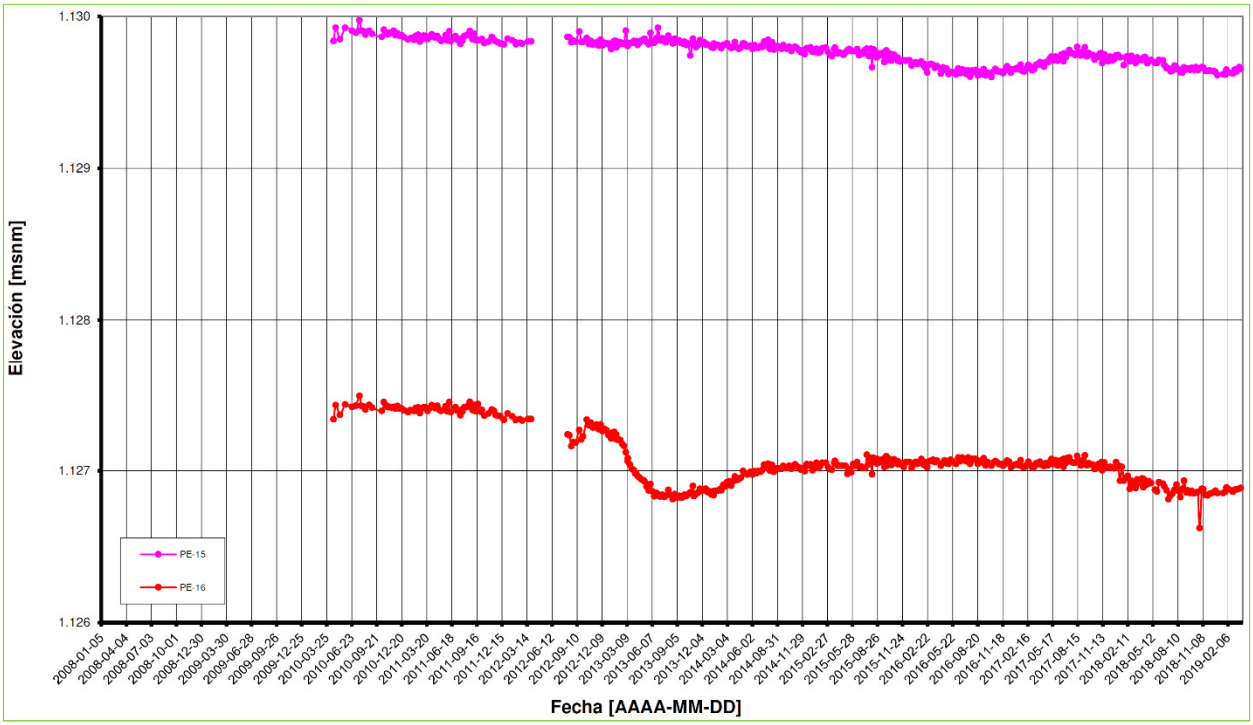


Figura 4-13: Grafico Piezométrico MN, sin El. Laguna – histórico, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).



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 (máximo incremento 62 cm en el periodo, para el PE-003, el que representa un aumento del 100% respecto del periodo anterior), los dos (2) piezómetros restantes, PE-005 y PE-006 presentan actividad desde comienzos del año 2019 y fines del año 2018 respectivamente, verificando un máximo incremento de 0,15 cm para el piezómetro PE-006. Esta tendencia de incremento gradual pero bajo de 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. Por otro lado, se señala 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.

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 4-14: Grafico Piezométrico MNO – histórico, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).

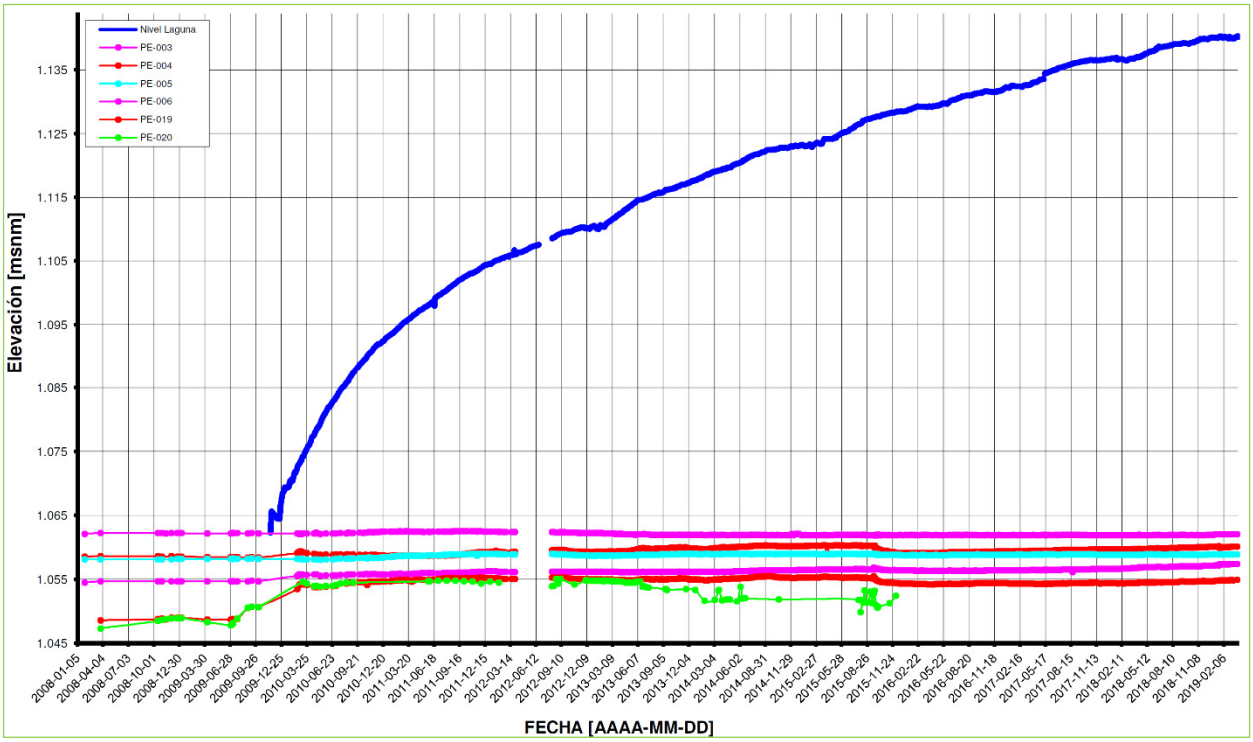
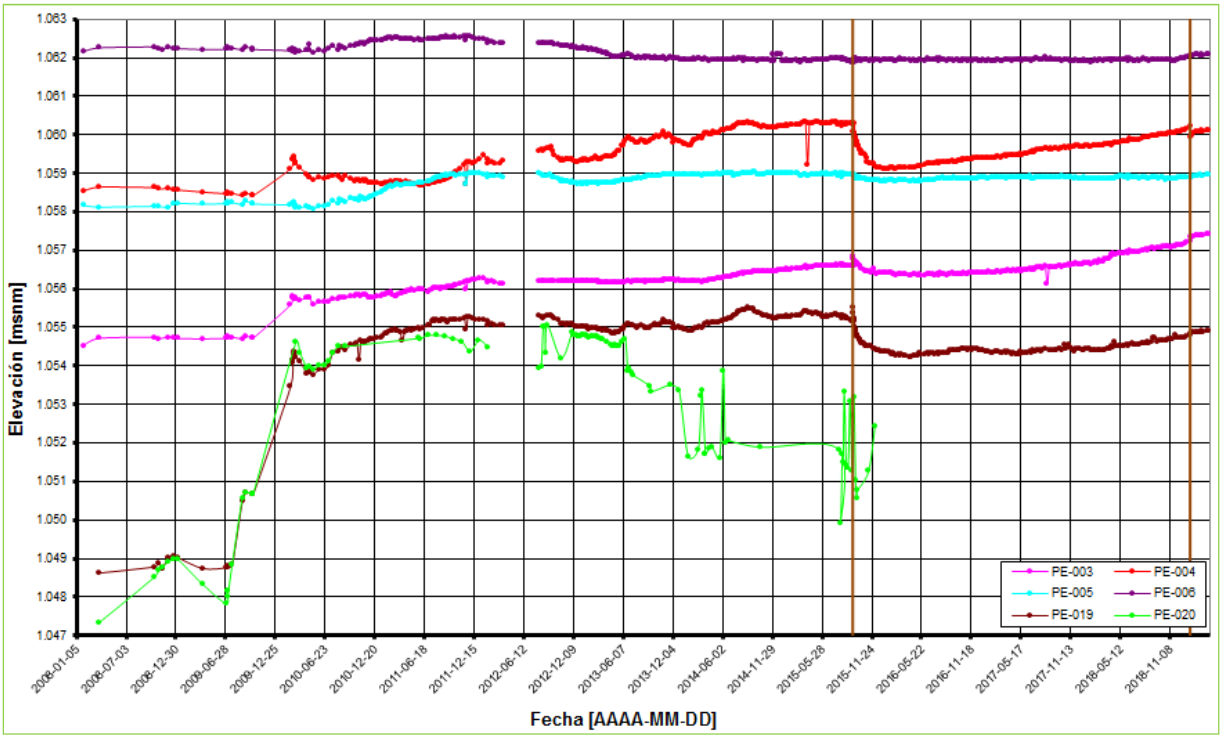


Figura 4-15: Grafico Piezométrico MNO, sin El. Laguna – histórico, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).



En el caso de la Figura 4-15, las líneas verticales de color café representan los sismos 16S del año 2015 y 19E del año 2019, respectivamente

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 del cable 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.

Respecto de las lecturas piezométricas en el caso DH-04, se puede apreciar que durante el periodo, ninguno de los instrumentos detecta nivel piezométrico.

En el caso del DH-06 y DH-08, los piezómetros instalados en el relleno del BS (piezómetros superiores) no muestran actividad, sin embargo, aquellos piezómetros instalados en la roca de fundación (piezómetros inferiores) presentan permanentemente actividad, indicando lecturas piezométricas que incluso alcanzan el nivel de instalación de los piezómetros superiores, pero que no es detectado por estos últimos. Lo anterior, 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 las rocas sobre las que se funda el Botadero Sur constituyen 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.

4-16: Grafico Piezométrico instrumentos de fibra óptica MNO / BS – histórico, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).

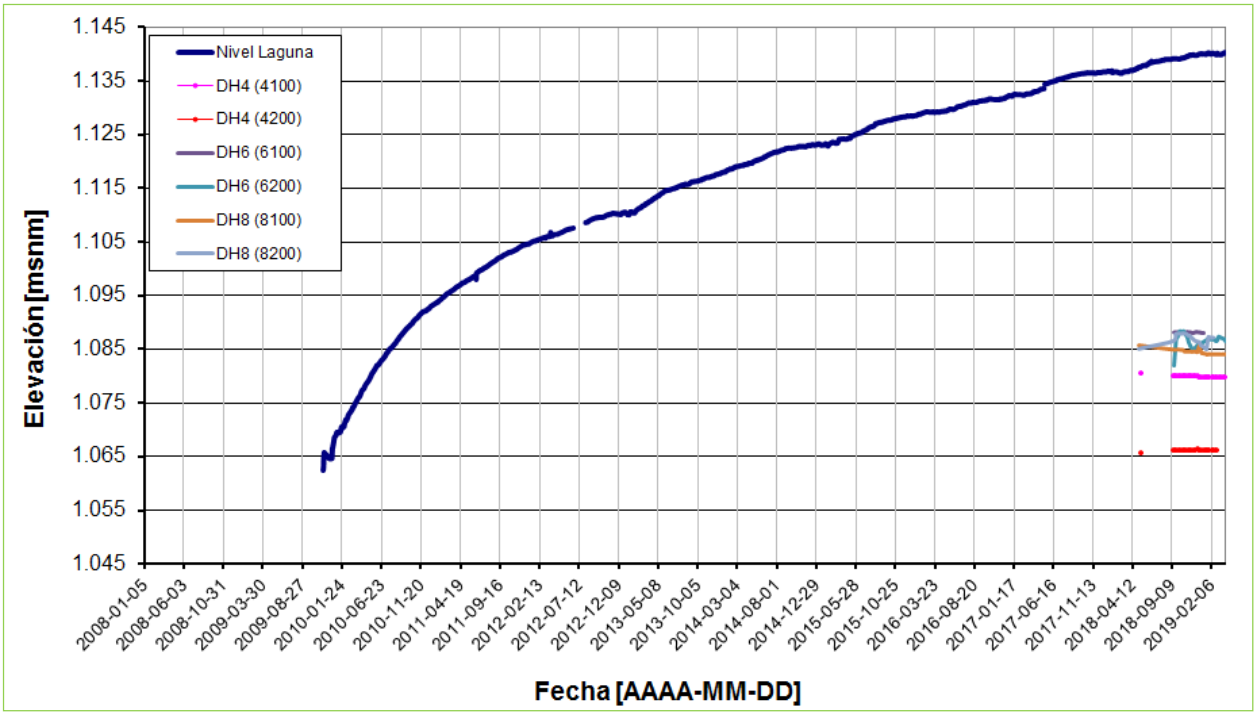
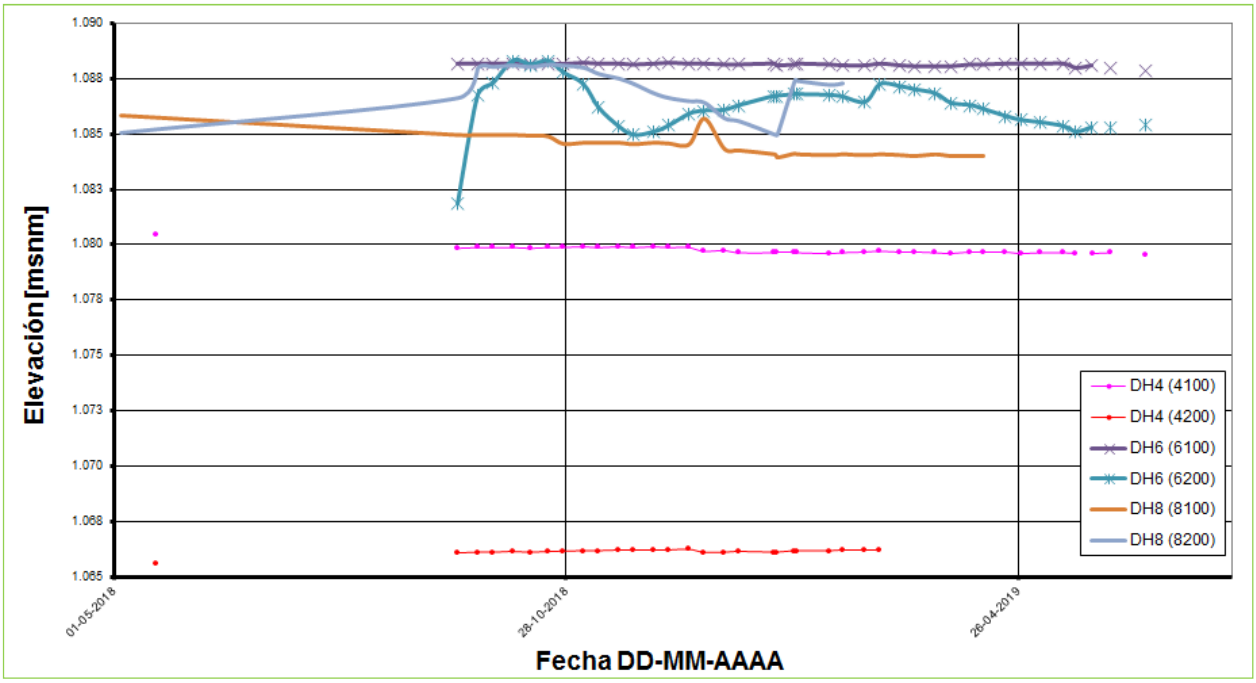


Figura 4-17: Grafico Piezométrico instrumentos de fibra óptica MNO / BS, sin laguna – histórico, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).



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 instalado en el MNO, detectando un nivel piezométrico al nivel de la fundación del muro, y con una tendencia moderada pero constante, al aumento del nivel piezométrico.

Respecto del piezómetro Casagrande habilitado en el pozo DH-07, presenta un comportamiento similar al descrito por los piezómetros de Fibra óptica instalado en el BS, detectando presión de agua un par de metros sobre el nivel de fundación del BS, ver ítem 4.3.3.

Figura 4-18: Hidrograma Piezómetro Casagrande DH-03 MNO, al 28 de febrero de 2019 (ref. Control y Monitoreo permanente, WSP).

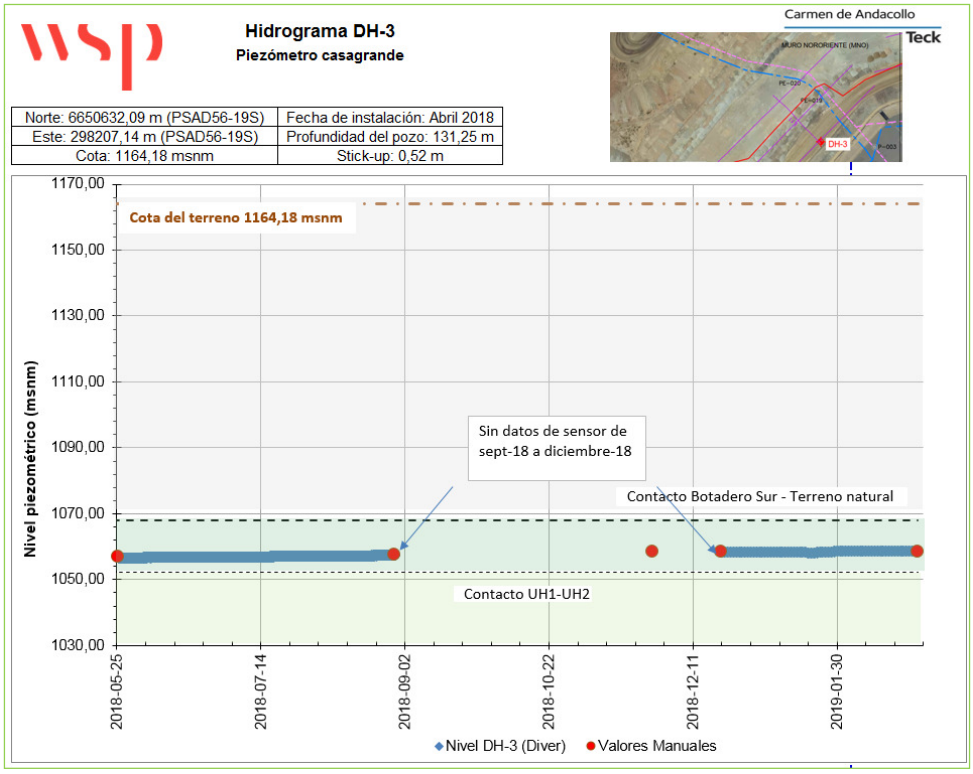


Figura 4-19: Hidrograma Piezómetro Casagrande DH-03 MNO (detalle), al 28 de febrero de 2019 (ref. Control y Monitoreo permanente, WSP).

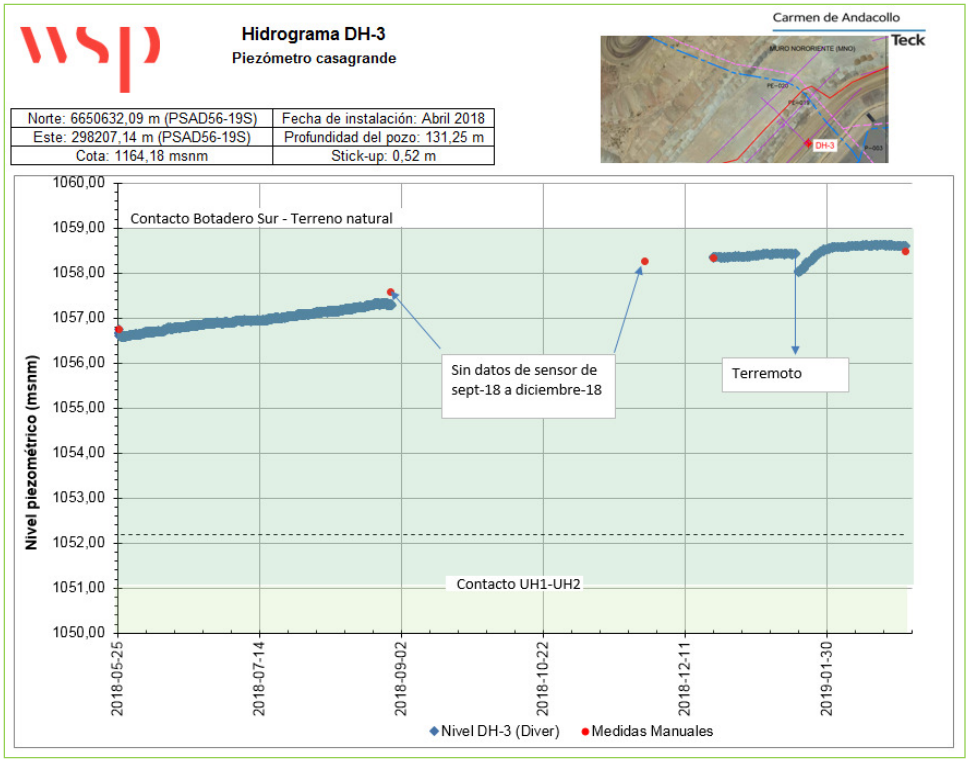


Figura 4-20: Hidrograma Piezómetro Casagrande DH-07 BS, al 28 de febrero de 2019 (ref. Control y Monitoreo permanente, WSP).

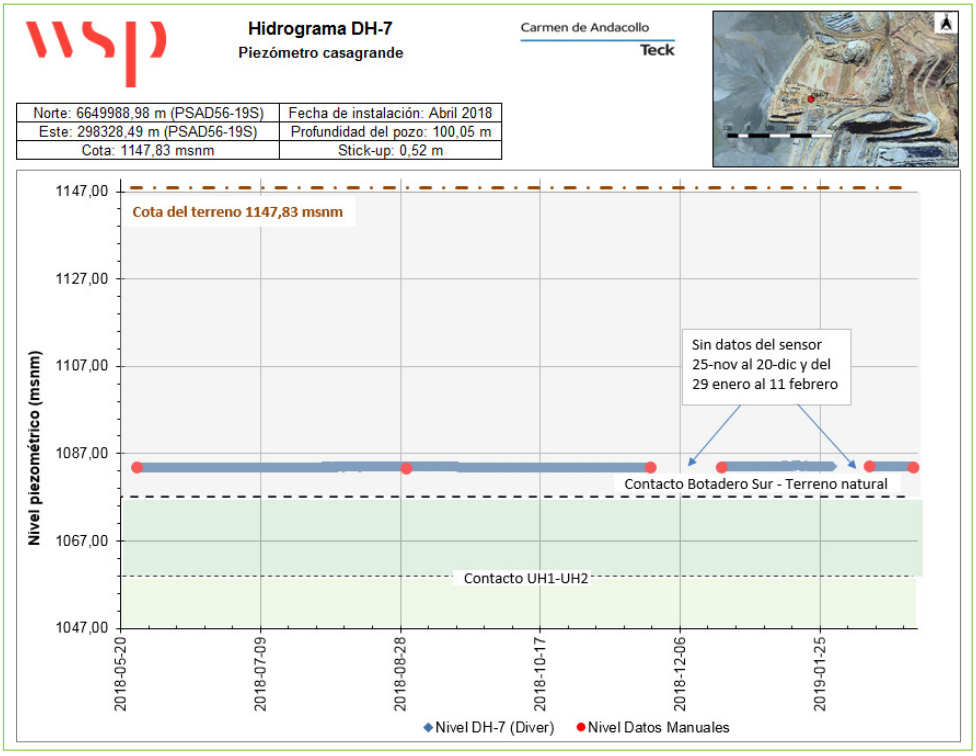
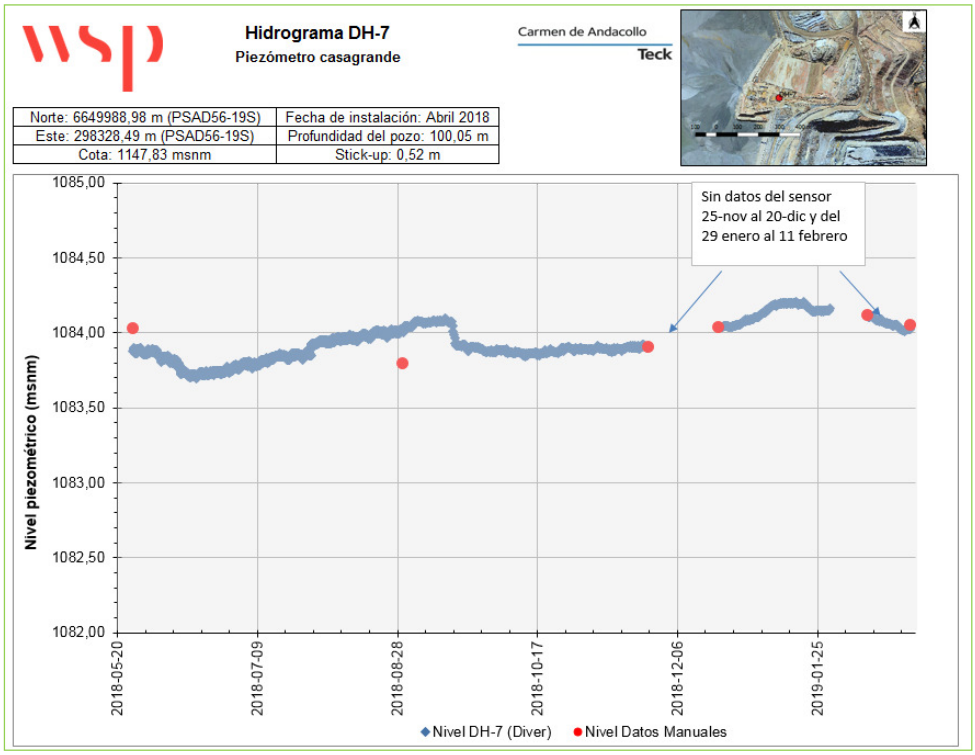


Figura 4-21: Hidrograma Piezómetro Casagrande DH-07 BS (detalle), al 28 de febrero de 2019 (ref. Control y Monitoreo permanente, WSP).



4.3.5. Lecturas Piezómetros MO

Hasta el periodo anterior, el piezómetro PE-009A presentaba un comportamiento estable con aumento sostenido del nivel piezométrico, dicho comportamiento se revierte durante el mes de mayo de 2018. 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 4-22: Grafico Piezométrico MO – histórico, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).

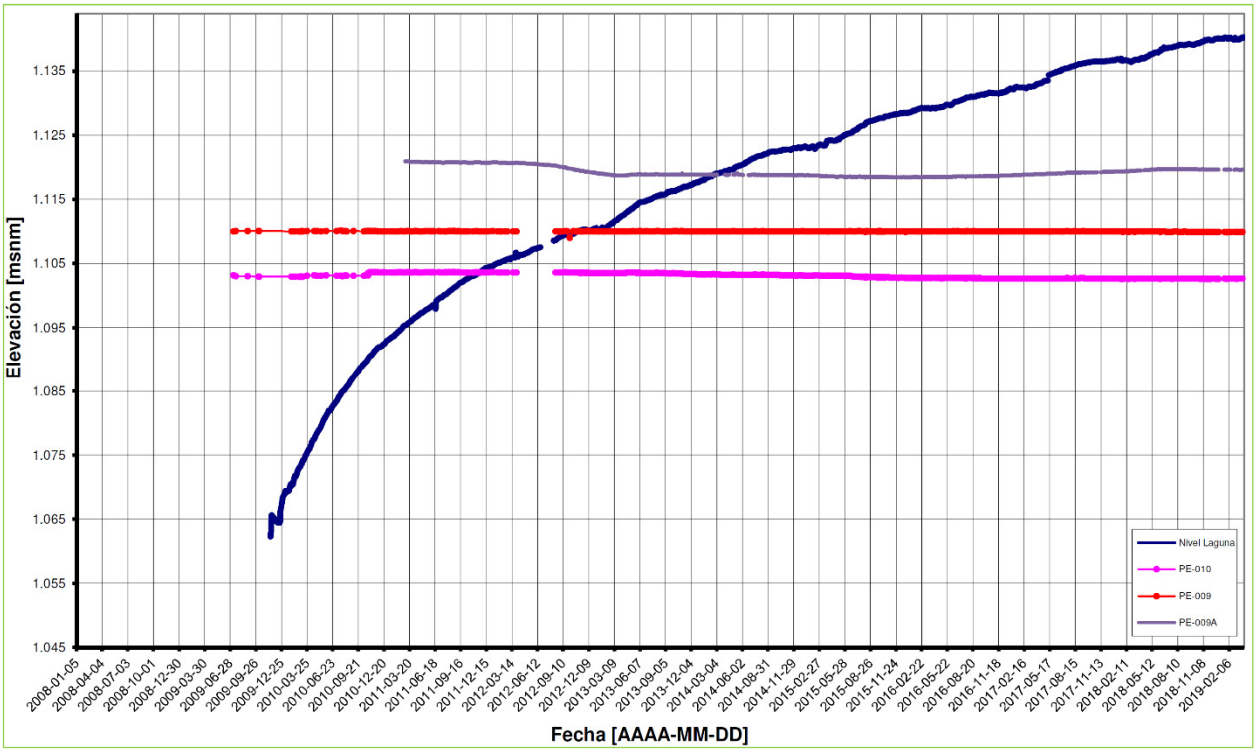
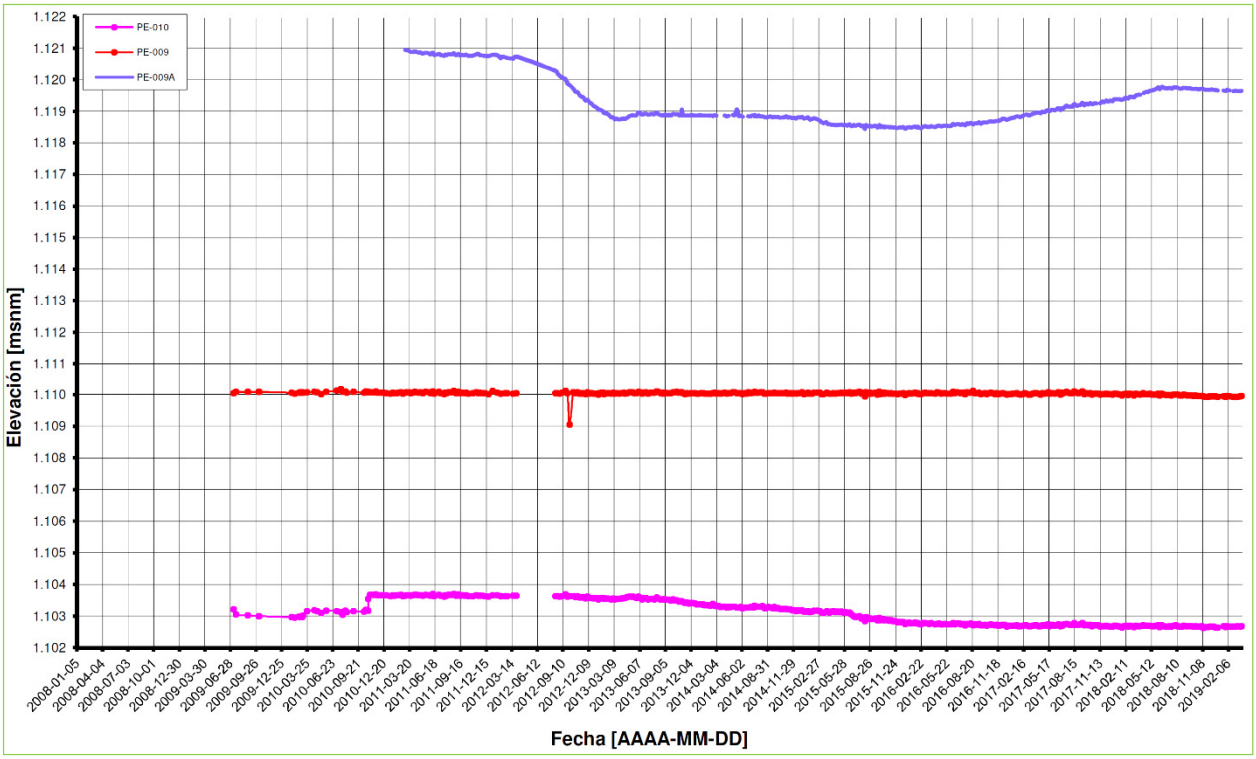


Figura 4-23: Gráfico Piezométrico MO, sin El. Laguna – histórico, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood)



4.3.6. Lecturas Piezómetros MO(S)

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

Figura 4-24: Grafico Piezométrico MO(S) – histórico, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).

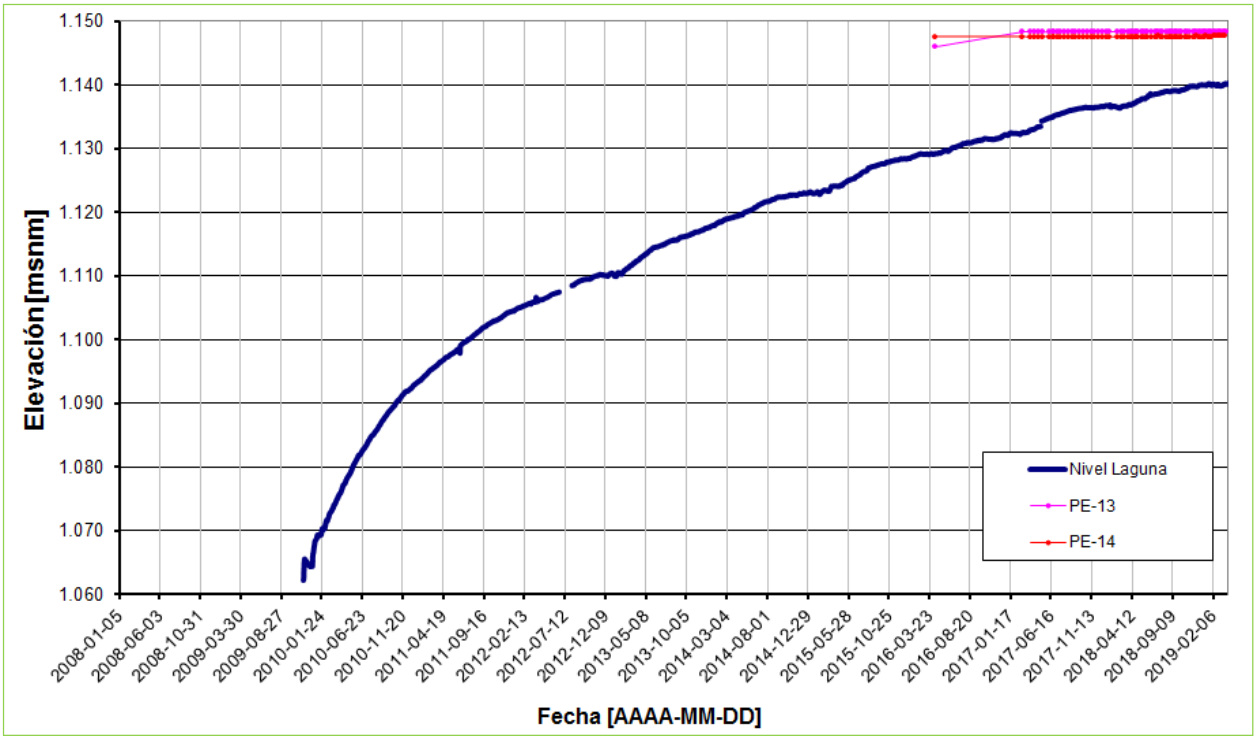
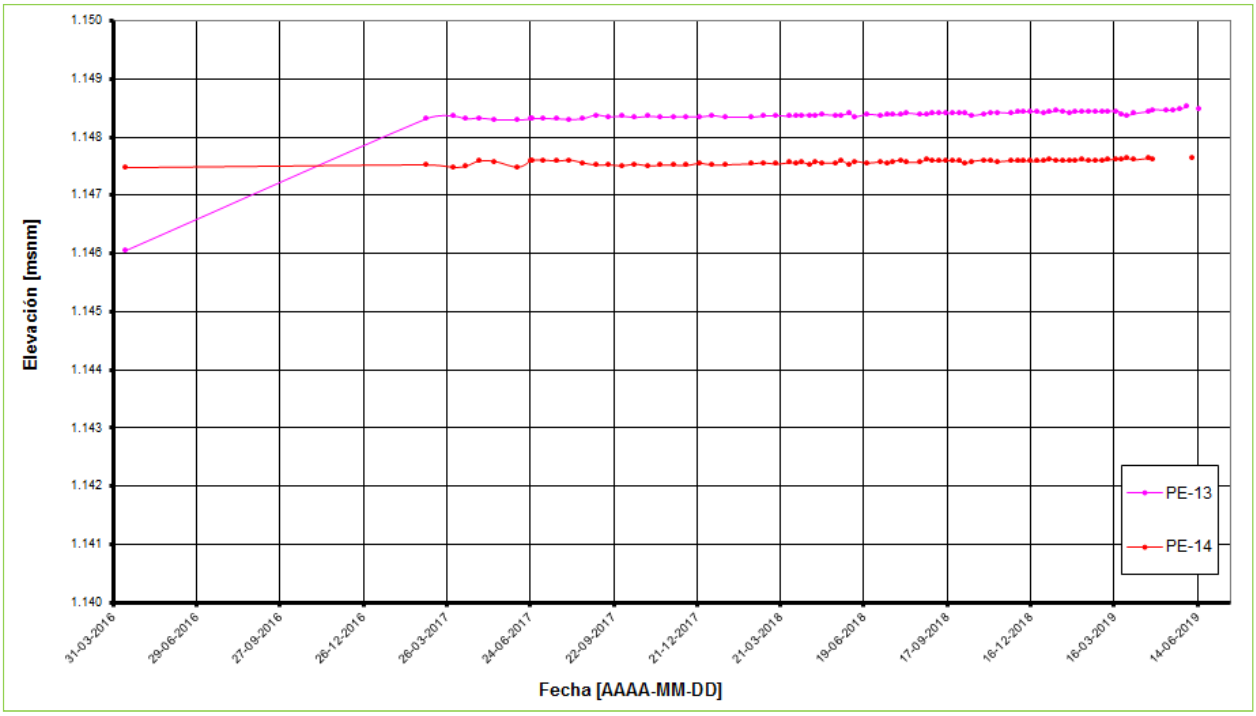


Figura 4-25: Grafico Piezométrico MO(S), sin El. Laguna – histórico, al 31 de marzo de 2019 (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood)



En general, salvo para el evento puntual del terremoto del 16S, los piezómetros 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 del MNO.

Respecto del comportamiento de los piezómetros de Fibra Óptica instalados en el BS, se requiere de un mayor lapso de monitoreo para determinar sus tendencias.

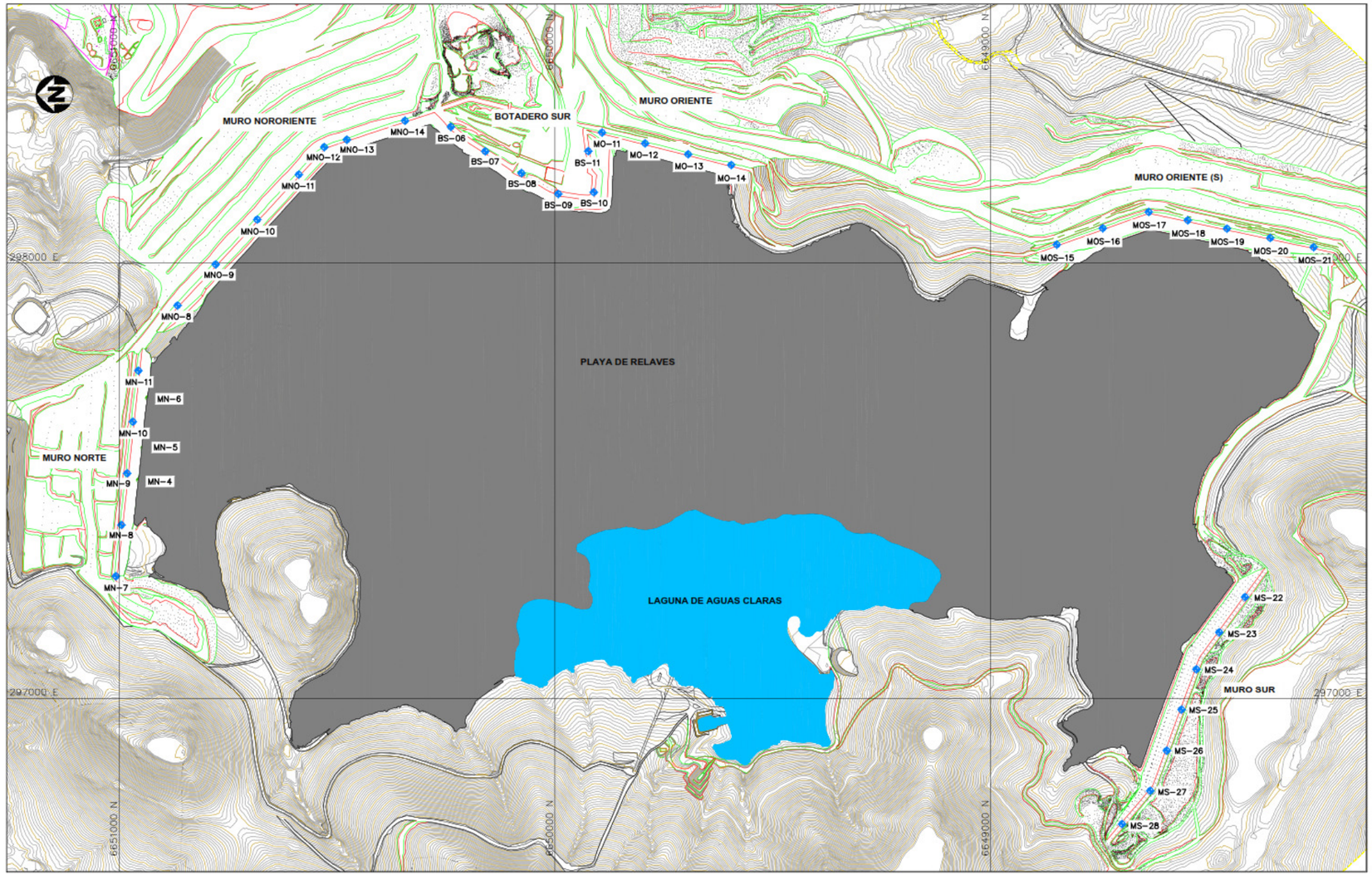
4.4. Deformaciones

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 4-26, se presenta la distribución de los monolitos para la E3 los cuales se encuentran todos operativos en el periodo evaluado, excepto el monolito MN-7 ubicado en el MN que se encuentra cubierto con material de camino operacional hacia el acopio de relaves U – V y los monolitos asociados al MO(S) y MS, los que no se pueden nivelar debido a los trabajos de construcción asociados a la E4 de crecimiento.

Figura 4-26: Monolitos para control de Asentamientos – Etapa 3 (ref. Wood)



MURO NORTE				
PLACA	COORDENADAS			OBSERVACIONES
	NORTE	ESTE	ELEVACION	
MN-7	6.651.007,37	297.281,62	1.149,50	
MN-8	6.650.994,46	297.398,96	1.149,50	
MN-9	6.650.981,44	297.517,24	1.149,50	
MN-10	6.650.968,43	297.635,51	1.149,50	
MN-11	6.650.955,59	297.752,19	1.149,50	

MURO NORORIENTE				
PLACA	COORDENADAS			OBSERVACIONES
	NORTE	ESTE	ELEVACION	
MNO-8	6.650.865,69	297.902,84	1.149,50	
MNO-11	6.650.587,49	298.202,70	1.149,50	

MURO ORIENTE				
PLACA	COORDENADAS			OBSERVACIONES
	NORTE	ESTE	ELEVACION	
MO-11	6.649.891,74	298.299,04	1.149,50	
MO-12	6.649.792,93	298.274,20	1.149,50	
MO-13	6.649.694,13	298.249,34	1.149,50	
MO-14	6.649.595,40	298.224,55	1.149,50	

BOTADERO SUR				
PLACA	COORDENADAS			OBSERVACIONES
	NORTE	ESTE	ELEVACION	
BS-10	6.649.910,56	298.162,39	1.149,50	
BS-11	6.649.923,27	298.256,41	1.149,50	

MURO ORIENTE (S)				
PLACA	COORDENADAS			OBSERVACIONES
	NORTE	ESTE	ELEVACION	
MOS-15	6.648.848,29	298.042,31	1.149,50	
MOS-16	6.648.742,83	298.079,72	1.149,50	
MOS-17	6.648.637,36	298.117,13	1.149,50	
MOS-18	6.648.547,67	298.098,02	1.149,50	
MOS-19	6.648.457,98	298.078,91	1.149,50	
MOS-20	6.648.358,42	298.057,70	1.149,50	
MOS-21	6.648.258,85	298.036,49	1.149,50	

MURO NORTE				
PLACA	COORDENADAS			OBSERVACIONES
	NORTE	ESTE	ELEVACION	
MN-4	6.650.953,236	297.501,399	1.134	
MN-5	6.650.942,894	297.575,491	1.134	
MN-6	6.650.932,467	297.689,442	1.134	

MURO NORORIENTE				
PLACA	COORDENADAS			OBSERVACIONES
	NORTE	ESTE	ELEVACION	
MNO-9	6.650.778,348	297.996,98	1.149,5	
MNO-10	6.650.682,917	298.099,842	1.149,5	
MNO-12	6.650.529,089	298.265,648	1.149,5	
MNO-13	6.650.477,322	298.282,554	1.149,5	
MNO-14	6.650.343,947	298.326,108	1.149,5	

BOTADERO SUR				
PLACA	COORDENADAS			OBSERVACIONES
	NORTE	ESTE	ELEVACION	
BS-06	6.650.238,576	298.312,097	1.149,5	
BS-07	6.650.159,69	298.255,989	1.149,5	
BS-09	6.649.992,005	298.158,28	1.149,5	
BS-08	6.650.076,396	298.206,21	1.149,5	

MURO SUR				
PLACA	COORDENADAS			OBSERVACIONES
	NORTE	ESTE	ELEVACION	
MS-22	6.648.416,18	297.233,79	1.149,5	
MS-23	6.648.475,35	297.153,18	1.149,5	
MS-24	6.648.527,77	297.068,71	1.149,5	
MS-25	6.648.561,93	296.974,72	1.149,5	
MS-26	6.648.595,88	296.880,67	1.149,5	
MS-27	6.648.633,91	296.788,56	1.149,5	
MS-28	6.648.698,44	296.712,22	1.149,5	

PLANTA GENERAL
Esc. 1/10000

LEYENDA

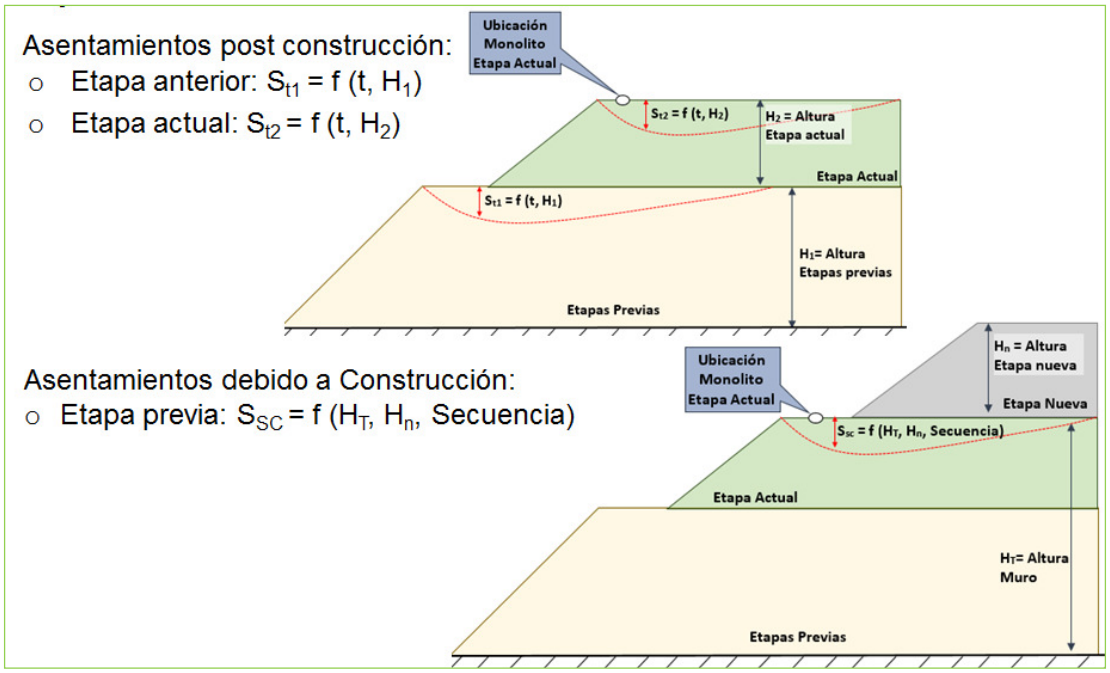
MONOLITOS PARA CONTROL DE ASENTAMIENTOS

NOTAS

1.- LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO BASE ACTUALIZADO AL 2016.12.31.COORDENADAS UTM Y REFERIDAS A DATUM PSAD 56.
2.- DIMENSIONES Y ELEVACIONES EN [m].

Durante el período anterior se analizaron los asentamientos estáticos, de acuerdo con las siguientes consideraciones (ref. presentación GRB 2018: "Análisis de asentamientos muros y botadero 2018", AmecFW):

Figura 4-27: 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

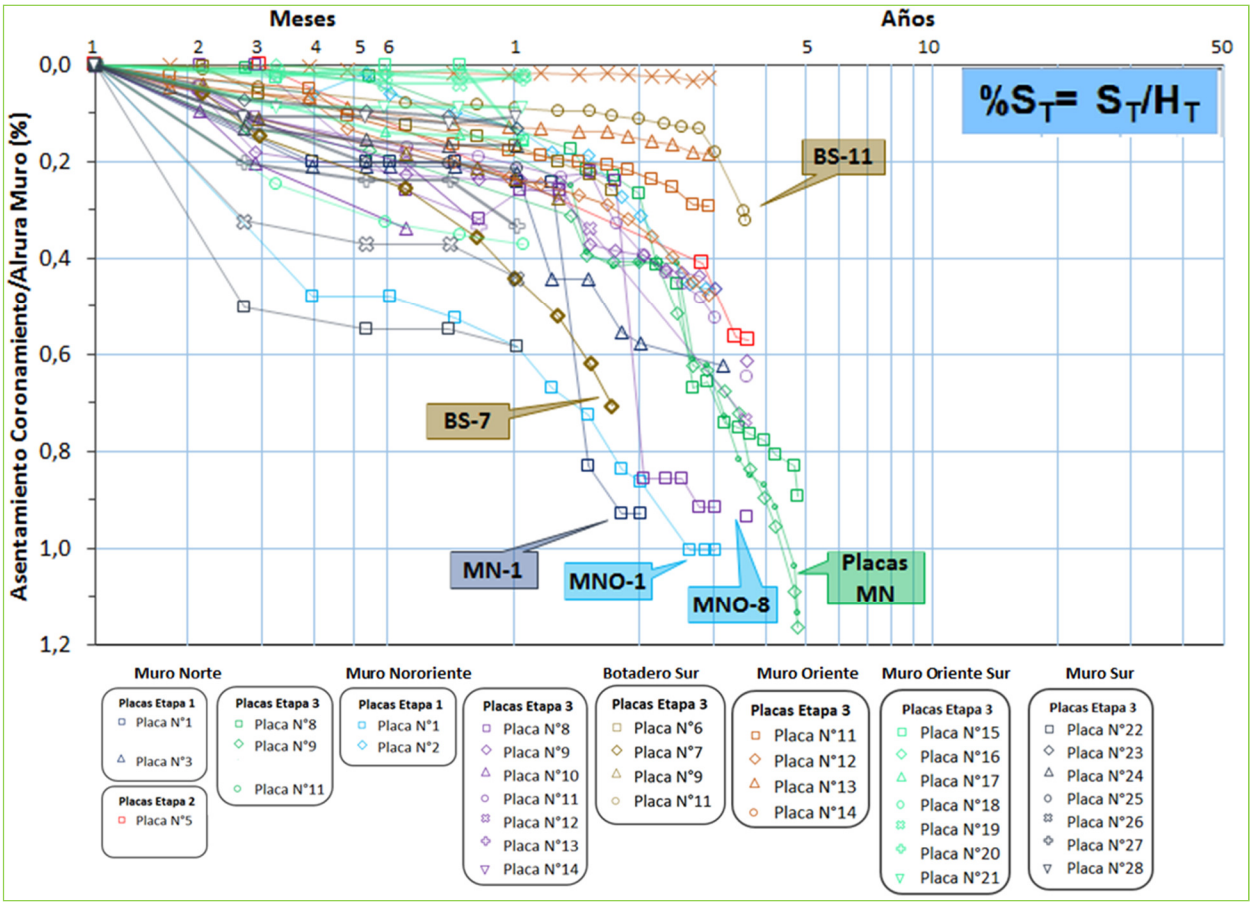
El análisis, efectuado no contempló los asentamientos inducidos por la carga de los relaves durante la depositación, sobre la cara del talud aguas arriba de los muros, los que deberán incluirse en una siguiente etapa del estudio.

A continuación, se presentan los gráficos construidos con la información de las nivelaciones trimestrales cerradas que se realizan trimestralmente, la última para el alcance de este informe se realizó el Q1 del año 2019. Se han dejado fuera del análisis aquellos monolitos que presentan asentamientos post construcción (S_{t2}) que excedan los valores reportados para depósitos construidos 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, a 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 4-28 y 4-29.

Relativo a lo anterior, se deja establecido que, al momento de escribir el presente informe, Teck CdA ya tiene habilitada una estación total 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. 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 4-28: Asentamiento Total (ref. actualización gráfico hasta marzo de 2019, Wood)

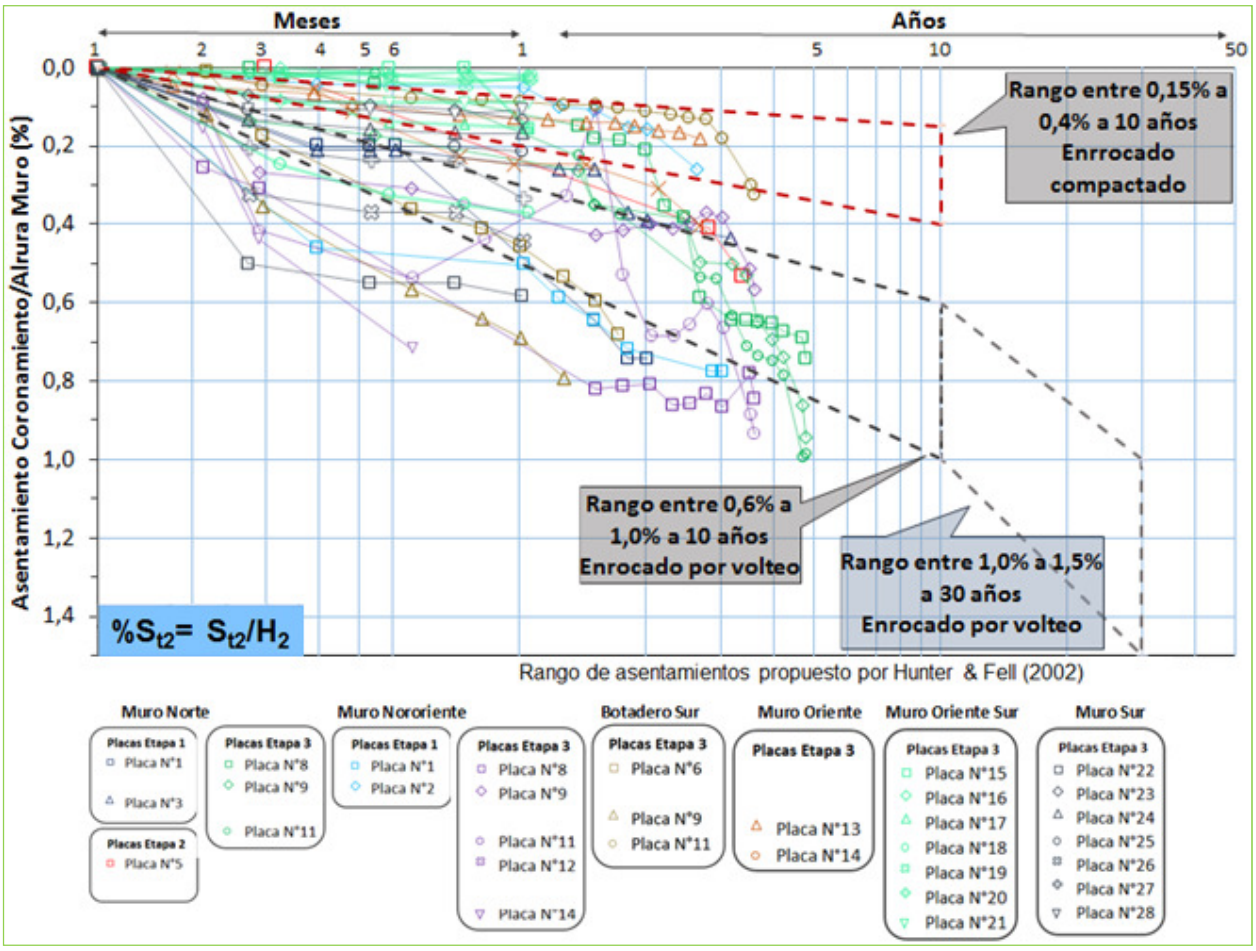


Los mayores asentamientos, se encuentran en torno al 1% respecto de la altura del muro, lo que a juicio de Wood se considera esperable para este tipo de estructuras.

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 4-29: 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.

En las Figuras 4-30 @ 4-32 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 solicitaciones sísmicas extremas. Para más detalles revisar el ítem 8.3.1.1.

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

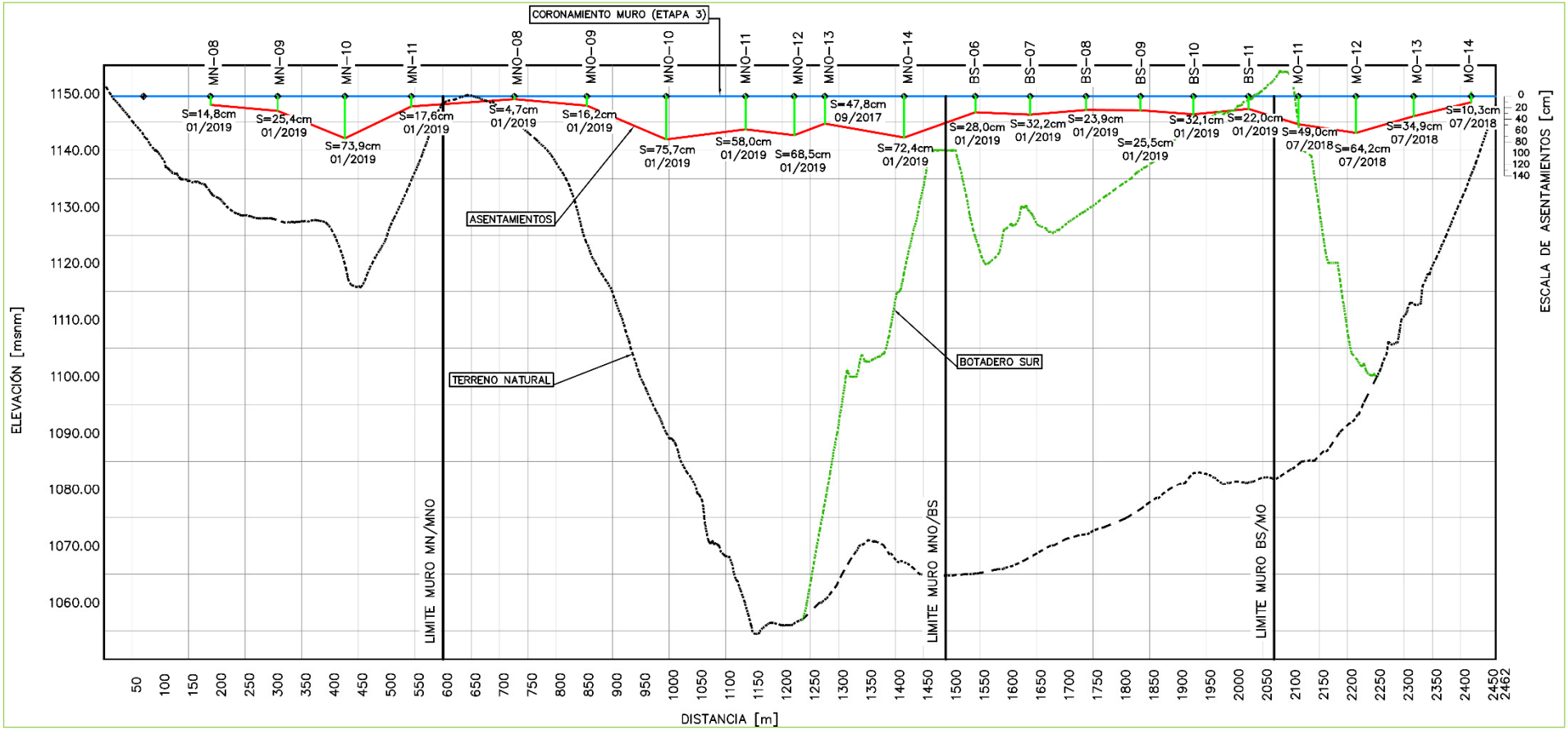
La línea roja representa la El. real de la plataforma, el asentamiento acumulado hasta la última nivelación de control;

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). 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 solicitaciones sísmicas extremas. Para más detalles revisar el ítem 8.3.1.1.

Figura 4-30: Perfil MN (58 mo); MNO (44 mo); BS (10 mo); MO (37 mo) (ref. Wood).



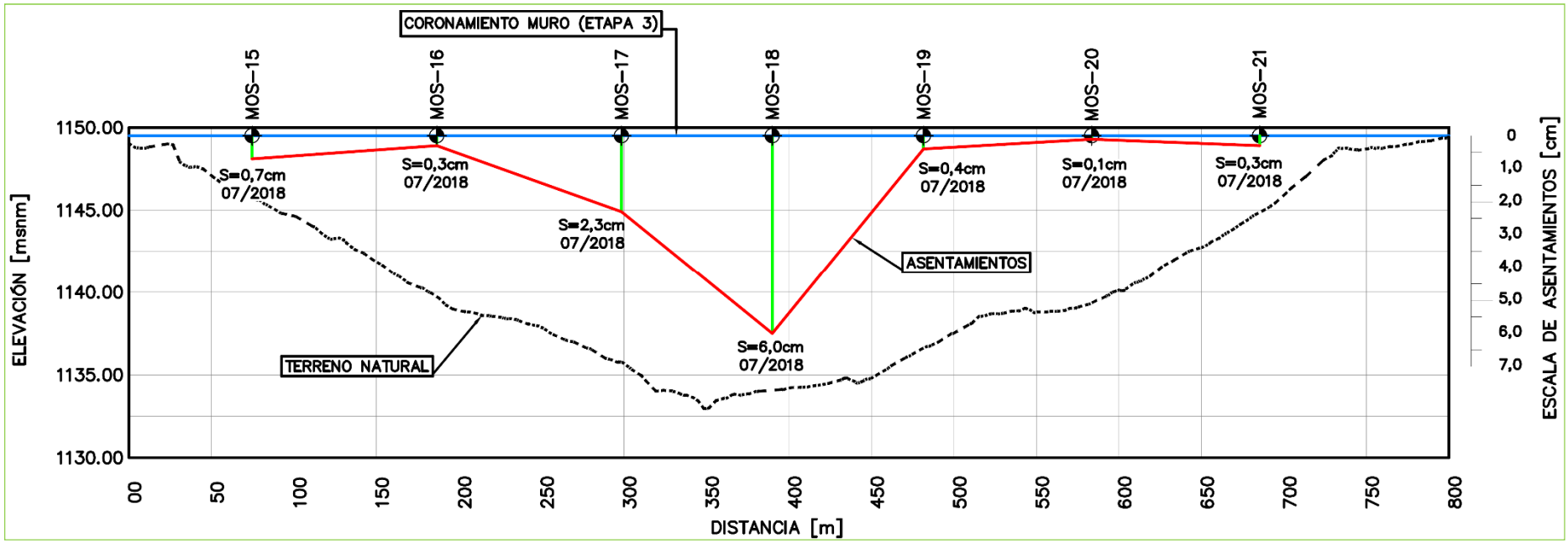
Nota: La línea azul, representa la superficie de coronamiento de la plataforma operacional a la El. de diseño de la E3 (El.= 1.149,5 msnm);

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 4-31: Perfil MO(S) (15 mo) (ref. Wood).



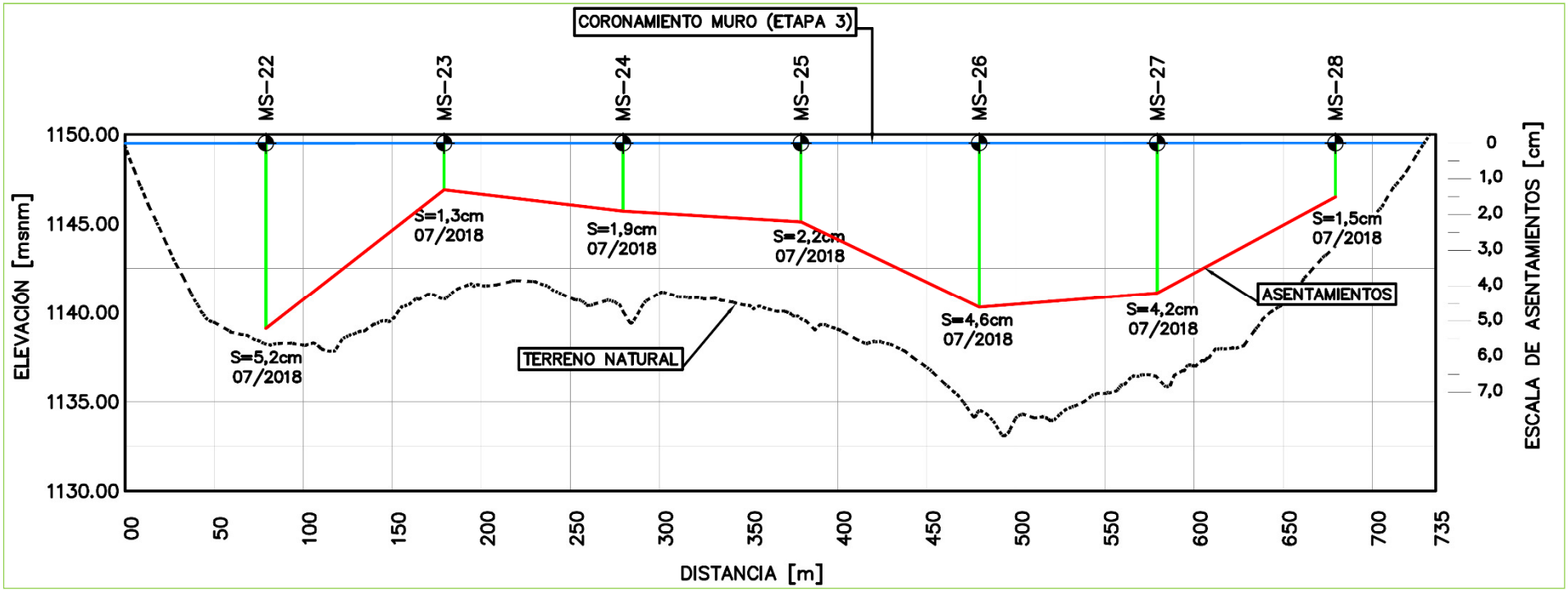
Nota: La línea azul, representa la superficie de coronamiento de la plataforma operacional a la El. de diseño de la E3 (El.= 1.149,5 msnm);

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 4-32: 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 (1)	Asentamiento Proyectado sismo 19E (2)	Asentamiento post sismo 19E (3)	S_{19E}: Inducido sismo 19E (4)		El. Terreno Natural	H_T: Altura Relleno	S_{19E} / H_T
		Fecha inicial			Fecha final											
		02-04-2018	03-04-2018	04-07-2018	02-01-2019	03-01-2019	23-01-2019	28-01-2019	[mm/d]	[mm]	[mm]	[mm]	[cm]	[msnm]	[m]	[%]
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 (1), 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 (2) y el medido efectivamente post sismo (3).

Adicionalmente, en las figuras 4-33 @ 4-37 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 6 meses, desde febrero @ agosto de 2019. Respecto de los prismas asociados al MN y 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 estos dos (2) muros en particular.

Respecto de la figura 4-36, 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 pude 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 +/- 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.

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 a 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.

Figura 4-33: Asentamiento Prismas MN (6mo), Pl. E3 (ref. TAPD2017, Teck CdA).

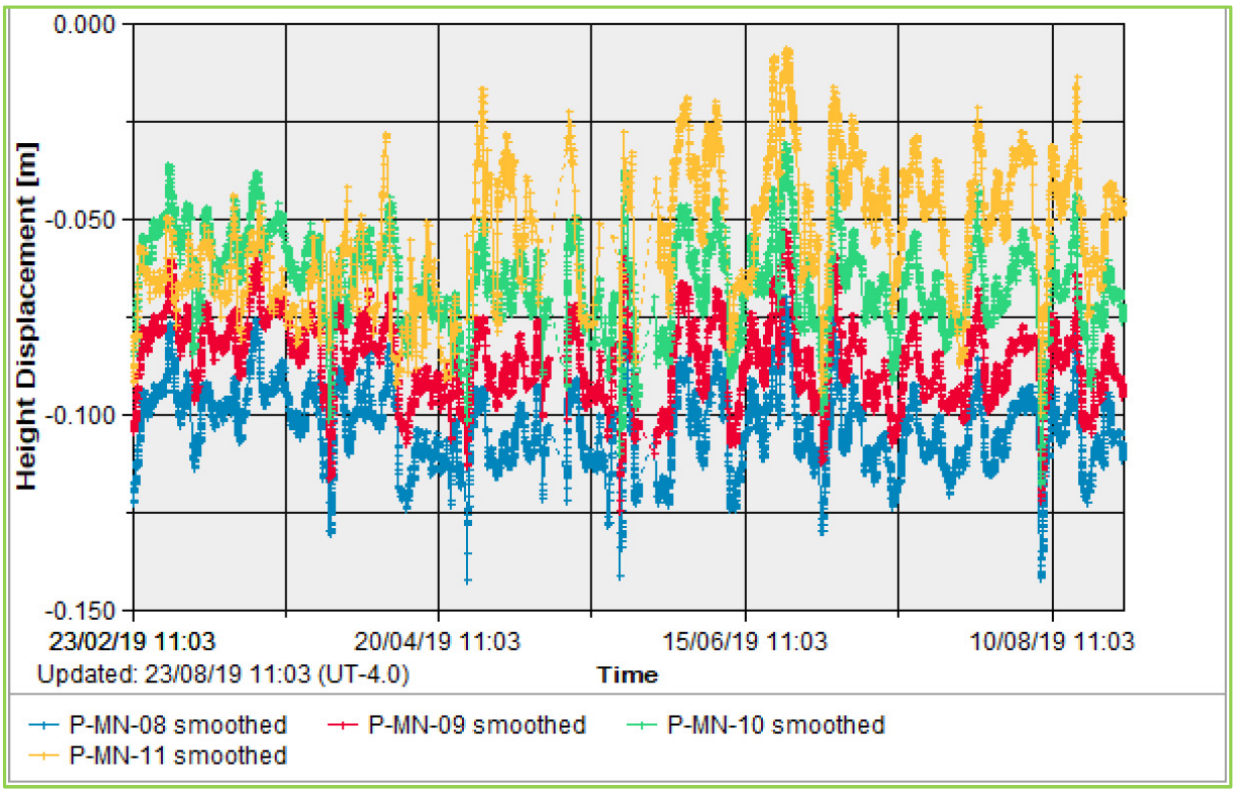


Figura 4-34: Asentamiento Prismas MNO (6mo), Pl. E3 (ref. TAPD2017, Teck CdA).

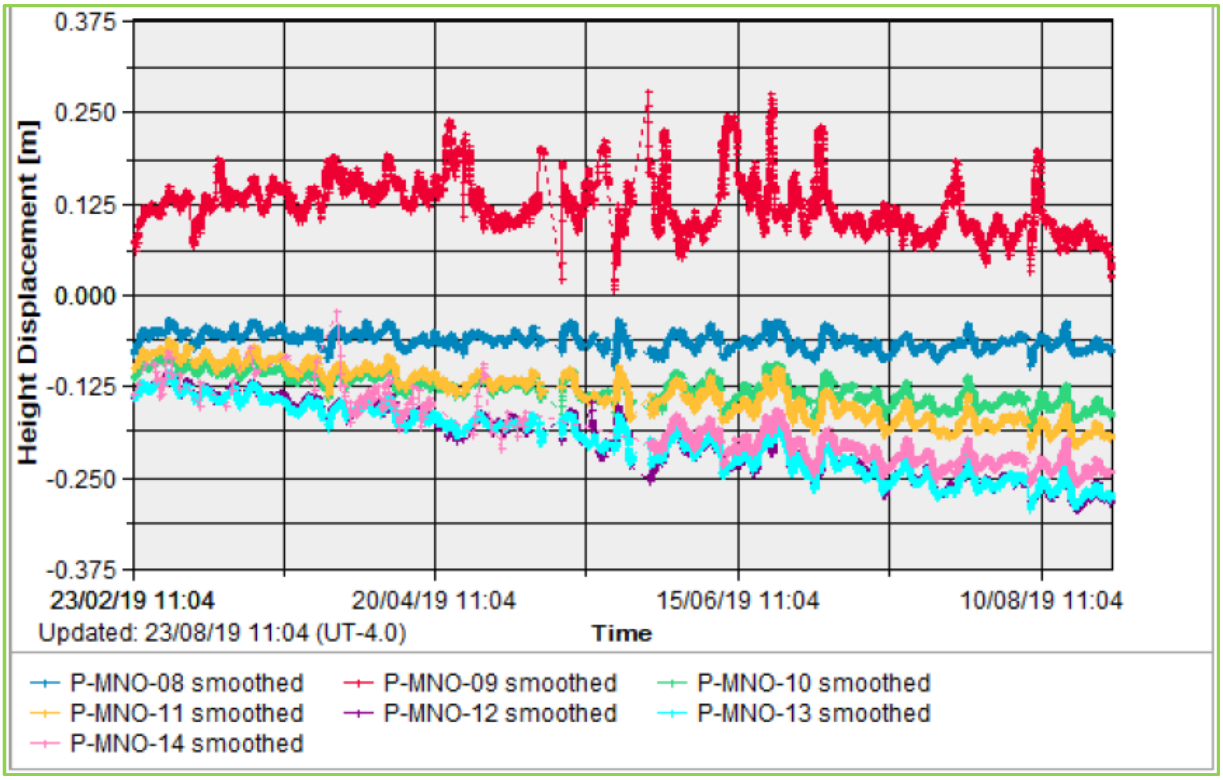


Figura 4-35: Asentamiento Prismas BS (6mo), Pl. E3 (ref. TAPD2017, Teck CdA).

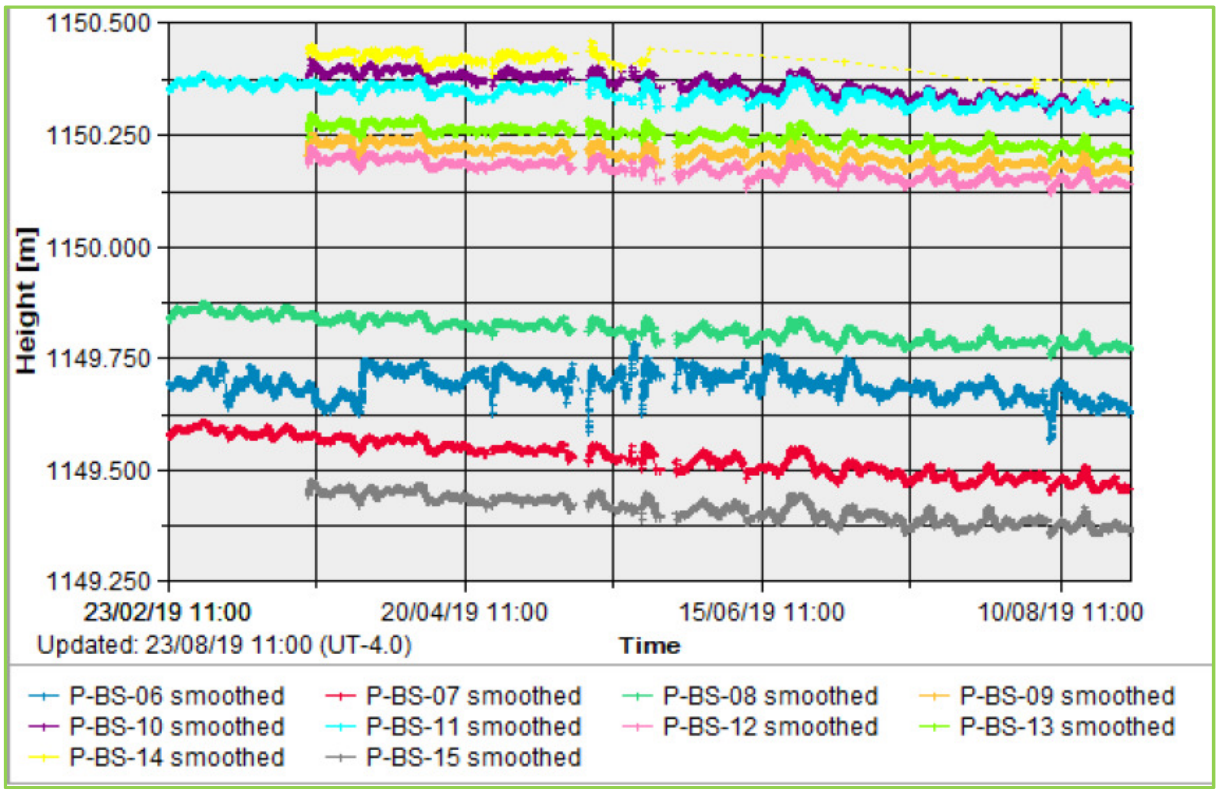


Figura 4-36: Asentamiento Prismas MO (6mo), Pl. E3 (ref. TAPD2017, Teck CdA).

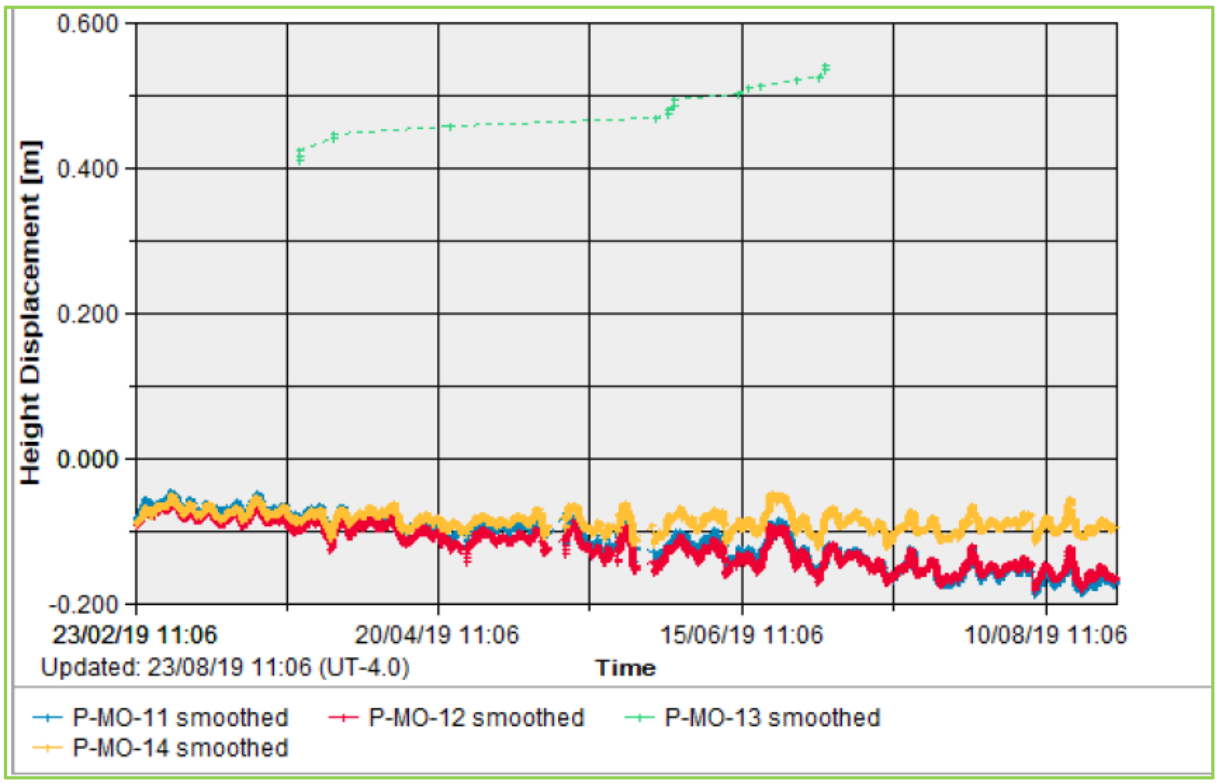
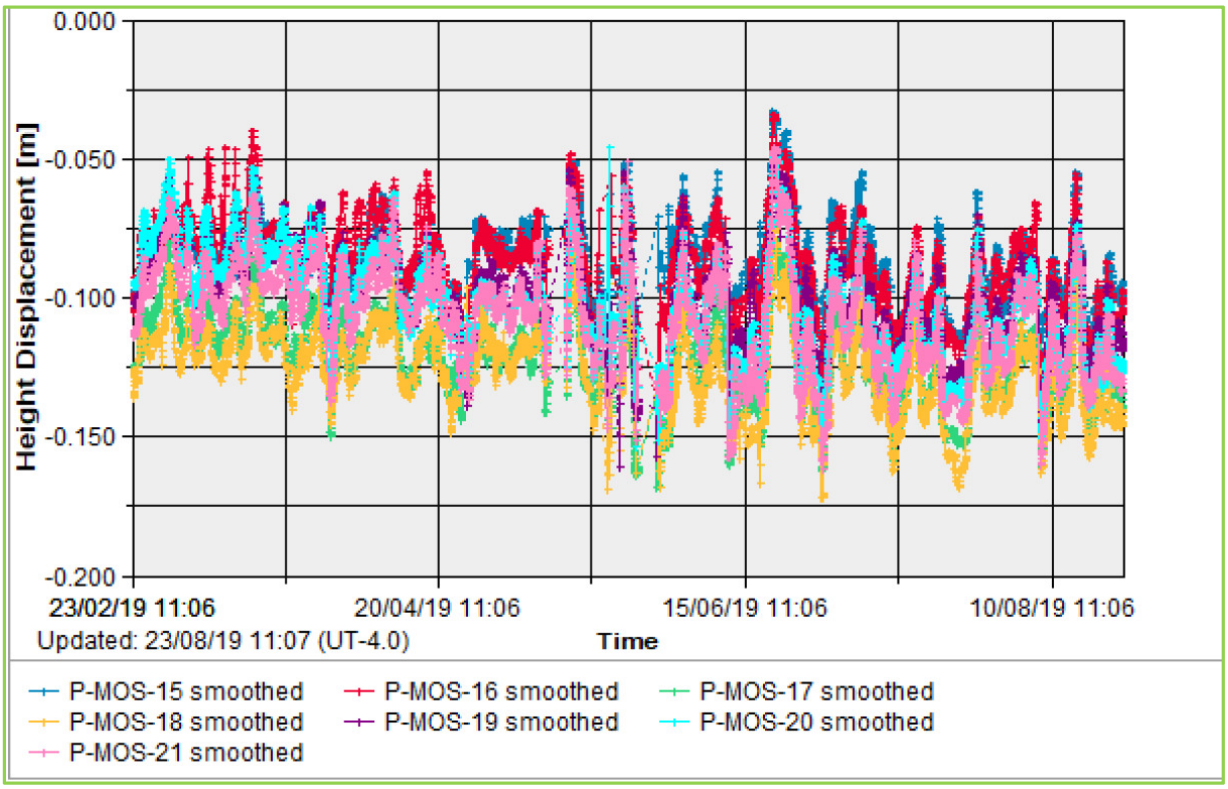


Figura 4-37: Asentamiento Prismas MO(S) (6mo), Pl. E3 (ref. TAPD2017, Teck CdA).



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 Pl. operacional de la E3, y que fueron instalados durante el año 2018, como parte del proyecto de monitoreo remoto TAPD2017. El periodo de lectura corresponde a los mismos seis (6) meses que aquel presentado para los asentamientos, es decir febrero @ agosto del año 2019. 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.

5.0 Estabilidad

Durante las inspecciones de seguridad anteriores, se observaron agrietamientos, en el Botadero Sur hacia el Sur, en las plataformas a la El. 1.134 msnm. y El .1.141 msnm. y que se pueden observan en las fotografías informadas en el DSI 2017 y DSI 2018. Una condición similar se pudo constatar en el sitio durante la presente visita, para la plataforma operacional asociada a la E3, para los muros MNO, BS y MO.

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, salvo aquellos puntos de inestabilidad superficial que se desarrollan en el ítem 7.3.2.

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 01 y 02 de abril de 2019, 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;
- Sergio Barrera, Consultor Senior de Relaves, Wood Santiago, Chile; y
- John Pottie: Gerente Ingeniería Geotécnica, Teck, Santiago, Chile.

7.2. Programación

Las actividades se desarrollaron de acuerdo con el siguiente programa:

Tabla 7-1: Programación DSI 2019

Inicio	Término	Actividad	Estructura												
			Coronamiento	Talud AArriba	Estribos	Playa	Talud AAbajo	Pie	Sistema Colector de Filtraciones	Aforador	Piscina	Instrum.	Taludes	Terreno Natural	Comentarios
Lunes 01															
8:00	8:30	Ingreso a Faena													
8:30	9:00	Reunión de Inicio													
9:00	9:30	Visita Mirador BS													
9:30	11:00	Inspección MS	☑	☑	☑	☑									Inicio relleno transición
11:00	12:30	Inspección MO(S)	☑	☑	☑	☑									Inicio Corte y Retiro
12:30	13:30	Inspección MO	☑	☑	☑	☑									Afloramiento en estribo y playa
13:30	14:30	Almuerzo													
14:30	16:00	Inspección MN	☑	☑	☑	☑									Finalizado Corte y Retiro
16:00	17:30	Inspección MNO	☑	☑	☑	☑									
17:30	18:30	Inspección BS	☑	☑	☑	☑									
18:30		Fin día 1													
Martes 02															
8:00	8:30	Ingreso a Faena													
9:00	10:00	Inspección BS	☑				☑	☑							Plataforma TK-042
10:00	11:30	Inspección MN	☑				☑	☑	☑	☑	☑	☑			Afloramientos secos
11:30	12:30	Inspección Trincheras y MP											☑	☑	Nueva ubicación Trincheras
12:30	13:30	Almuerzo													
13:30	15:00	Inspección MNO					☑	☑	☑	☑	☑	☑			
15:00	16:30	Inspección MO	☑				☑	☑	☑	☑	☑	☑			
16:30	17:30	Inspección MO(S)					☑	☑	☑	☑		☑			
17:30	18:00	Muro de Cierre												☑	
18:00	18:30	Reunión de Cierre													
18:30		Fin DSI 2019													

Abreviaturas:

AAbajo / AArriba: aguas abajo / aguas arriba:

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 observa contenida lejos de los muros del embalse de relaves. En el BS se pudo observar agua superficial cercana al pie del muro, lo que se considera normal en este tipo de instalaciones, inmediatamente después de haber operado una descarga, y no reviste ningún riesgo siempre y cuando sea una condición momentánea (un par de días). Sin embargo se puede apreciar agua local y de mayor profundidad (hasta 1,0 m aproximadamente) y área que comprende 1/3 de la longitud del muro aproximadamente, en contacto con el talud del muro Norte. Estas acumulaciones de agua deben ser evitadas operacionalmente.

El diseño vigente de los muros perimetrales considera el desarrollo y mantención de largas y extensas playas sobre el nivel del pelo de agua de la laguna de aguas claras, con el objetivo principal, en conjunto con el relleno de transición, de limitar las filtraciones a través de los muros lo que podría originar tubificación (piping). Por lo tanto, el largo de playas de relaves superficiales (expuestas) se transforma en la principal característica de la operación de esta TMF, principalmente teniendo en consideración que las pendientes de depositación de los relaves son bajas (menores a lo que anticipaba el diseño) tanto para los relaves expuestos (playas) como aquellos que se depositan bajo la laguna. La extensión de las playas se maneja mediante la operación de los puntos de descarga y el manejo del nivel de la laguna de aguas claras, a través del sistema de bombeo de agua recuperada, en acuerdo con lo indicado en el diseño. El manejo de la laguna, en particular, es muy importante ya que pequeñas variaciones en el volumen de agua (por precipitación, evaporación, bombeo de agua) puede modificar significativamente el área de la laguna y la longitud de las playas, modificando la posición de la laguna de aguas claras, además de afectar los sólidos suspendidos interfiriendo con la normal operación del sistema de bombeo. El diseño del plan de llenado contempla el desarrollo de extensas playas (longitud mínima L= 100 m) y los apozamientos de agua someros que han resultado de algunas características irregulares localizadas del terreno y/o de la superficie de depositación (intersección de conos), no son una preocupación durante el llenado del embalse. Sin embargo, a la luz de los eventos mayores de tormentas verificados durante el año 2017, así como el agrietamiento del relleno de transición (que se discute más abajo), controlar el nivel del pelo de agua de la laguna de aguas claras y el mantener playas extensas son los aspectos operacionales más importantes de la instalación.

7.3.2. Agrietamiento de la Zona de Transición

Durante las visitas a terreno para las inspecciones de seguridad anteriores, se observaron agrietamientos de la zona de transición, y algunos se mantienen durante la presente visita, particularmente en el MNO, BS y MO. En general las grietas son consistentemente superficiales 0,8 a 1,5 m y se aprecian tanto en la superficie de las plataformas operacionales como en los taludes aguas arriba. Las grietas en los taludes

se orientan paralelas a los mismos, así como también diagonalmente hacia arriba del talud y de forma semi circular.

La causa específica de los agrietamientos requiere mayor análisis, sin embargo, alguna inestabilidad local y superficial en la cara del talud aguas arriba el que es empinado (1,6 (H) / 1,0 (V)), esfuerzos de tensión en el relleno de transición, junto con el asentamiento del relleno masivo para los muros y/o del estéril en el caso del BS, pueden ser causantes de algún colgamiento y posterior agrietamiento del relleno de transición. La pérdida de relleno de transición dentro del relleno masivo se considera posible, pero con mínimo riesgo de ocurrencia y salvo cuando la estructura sea sometida a apozamiento durante condiciones de precipitación extrema, por un prolongado periodo de tiempo o en el caso que la laguna de aguas claras se ponga en contacto con los muros sin impermeabilizar. Cabe destacar que aun cuando las precipitaciones del año 2017 fueron inusualmente altas para la zona, la laguna de aguas claras nunca entró en contacto con algún muro, ni tampoco existe evidencia de la formación de sinkholes, tanto en las plataformas operacionales construidas con relleno de transición en donde la escorrentía superficial de las aguas lluvias pudo haberse aposado, ni tampoco en las playas de relaves en las inmediaciones de los muros.

Tal como se indicó anteriormente, el personal de terreno de Wood reporta que en las plataformas, la profundidad de los agrietamientos no supera el 1,0 m, en tanto que los agrietamientos de los taludes no superan los 1,5 m. Dado que el espesor del relleno de transición en las plataformas es de 1,5 m y el ancho del relleno de transición colocado en el talud es de 4,0 m (1,0 m superior al recomendado en el diseño original de 3,0 m), sugieren que la reducción de espesor efectivo por agrietamiento del relleno de transición sería mínimo pudiéndose asegurar que no es la causa del agrietamiento.

Se estima que los esfuerzos de tensión serían los principales responsables del fenómeno de agrietamiento en los materiales de transición inducido por fuerzas de arrastre hacia abajo de los relaves y del asentamiento normal del relleno masivo.

Es importante destacar cuatro (4) condiciones que se verifican en el depósito de relaves Teck CdA, y que hacen que las grietas en el relleno de transición de la cara de los muros no sean un tema de preocupación estructural:

- Dado que la capa de transición es de espesor menor, respecto del relleno masivo no cumple una función estructural de resistencia. Los análisis de estabilidad no la consideran y es relevante solo por su baja permeabilidad y granulometría;

- En la medida que aumenta la elevación de la playa en contacto con la cara del muro, se verifica que las grietas de talud disminuyen abertura, ya que, al ser consistentemente verticales en su desarrollo y se esperaría que se cierren bajo la compresión de la carga de relaves;

- El relave depositado posee una granulometría similar al material denominado “crack stopper”, que se utiliza como relleno de reparación en

geoestructuras del tipo embalse, por lo que en la práctica se verifica que el mismo relave se encarga de rellenar y sellar las grietas expuestas al momento que son cubiertas por la playa en contacto con el muro;

- A partir del próximo periodo se utilizará arena para rellenar los agrietamientos de talud, previo a que sea cubiertos con relaves.

- La existencia de playas de relaves extensas, manteniendo la laguna de aguas claras lo más alejada posible de la cara de los muros, minimiza el riesgo de tubificación de relaves hacia el cuerpo de los muros; y

- A partir del año 2014, la granulometría del relleno masivo con que se han construido los muros del embalse de relaves ha estado más cercana a la banda más fina de la especificación de relleno, lo que sirve de medida de mitigación contra el potencial de tubificación (piping), ya que un material más fino, en principio, tiene menor permeabilidad.

7.3.3. Filtraciones

Durante la visita, solo se aprecian filtraciones al pie MNO donde se mantienen las filtraciones históricas, activas desde el inicio de la operación en febrero de 2010. Estas filtraciones se han mantenido aproximadamente constantes sin mayor cambio durante el periodo. Respecto de los flujos asociados, estos no han sufrido variación significativa, lo que en parte se debe, a que se mantienen playas extensas y muy por sobre el nivel del pelo de agua de la laguna de aguas claras.

Con anterioridad, se ha reportado un flujo de agua muy pequeño intermitente aguas abajo del MO, conducido hasta el vertedero tipo V por la cañería de descarga del sistema de drenaje de dicho muro. Este flujo de agua era, hasta el periodo anterior, consistente con el aumento mínimo, pero constante del nivel freático medido en el piezómetro PE-009A. Cabe destacar que al momento de la visita, no había flujo en el aforador. Adicionalmente, se pueden apreciar zonas húmedas intermitentes aguas abajo del MO, pero dado su emplazamiento relativo respecto de la pila ROM, se requiere de un mayor análisis, previo a determinar su origen.

Del mismo modo a lo largo de la operación en los últimos 3 años, se ha reportado un flujo bajo – bajo de agua que aflora intermitentemente hacia aguas abajo del MN y a una distancia de 80 m del pie del muro, surgiendo desde el terreno natural. Este último punto siempre se activa ante la ocurrencia de precipitaciones de aguas lluvias, sin embargo se puede indicar además, que siempre presenta actividad luego que han entrado en operación las descargas D2 y/o D3. Tal como se indicó, este flujo es intermitente, desapareciendo luego de un par de semanas de ocurrido el evento pluviométrico y/o a un par de meses de finalizada la operación de las descargas ya mencionadas. Al momento de visitar el sitio, la D3 completaba su quinto (5°) día de operación continua, por lo que se espera que los afloramientos se activen en el corto plazo.

Respecto de la instrumentación del MN, los piezómetros PE-015 y PE-016 no muestran actividad alguna asociada a la aparición / desaparición del flujo de agua, conducido por la cañería de drenaje, y dado que la ubicación de los instrumentos es contigua a los drenes laterales y hacía aguas arriba del muro, se puede indicar que dicha agua es producto de una condición local hacia aguas abajo del muro, ya que el dren central está diseñado con el coronamiento (top) abierto y es capaz de captar el agua de la piezometría somera, cuyo nivel freático supere en elevación su tope superior.

En general las filtraciones son una condición normal en este tipo de instalaciones, pueden ser manejadas fácilmente, no presentan una preocupación, y requieren control, monitoreo y vigilancia, los que en el periodo se han desarrollado de acuerdo a las recomendaciones del manual OMS_R4 (siglas en inglés para el manual de Operación, Mantención y Vigilancia del Depósito de Relaves Teck CdA, ver ítems 8.3.3 y 8.6).

Además, en la medida que se incrementa la elevación de la laguna de aguas claras, se puede anticipar la aparición de nuevas filtraciones y/o incremento de las ya existentes. De ahí que sea importante mantener playas extensas por sobre el nivel de agua de la laguna de aguas claras para ayuda a bajar la elevación el nivel freático. Se recomienda mantener la vigilancia permanente de estos afloramientos.

Por último, es esperable que la tasa de filtraciones aumente en la medida que la altura de la TMF continúe creciendo, el monitoreo es una importante forma de planificar y entender la condición futura del Embalse. Del mismo modo es importante estudiar el efecto del agrietamiento del relleno de transición respecto de las filtraciones.

7.3.4. Muro MS / Aguas Arriba y Estribos

Al momento de la visita el muro MS se encontraba impermeabilizado hasta el coronamiento de la E3 de crecimiento, El. 1.149,50 msnm.

Los trabajos relativos al relleno de transición de la E4 han comenzado la última semana de marzo de 2019. Habiendo terminado hace una semana (al momento de la visita) los trabajos de corte y retiro del relleno masivo suelto desde la cara del talud aguas arriba del muro correspondiente a la Etapa 4, (E4 en adelante), este talud se observa en excelentes condiciones. Respecto del talud impermeabilizado actualmente en operación, este también se encuentra en excelentes condiciones no apreciándose la ondulación de la lámina, que había reportado durante el año 2017. Se encuentra reparada la erosión de la zanja de anclaje lateral de la geomembrana, la que había resultado dañada durante las fuertes precipitaciones de mayo del año 2017. Se encuentra pendiente la protección con enrocado (riprap) y geotextil, para ambas zanjas de anclaje laterales (oriente y poniente).

Una vez finalizado el relleno masivo del muro correspondiente a la E4 de crecimiento, y previo a las tareas de corte y retiro, para permitir la instalación de las escuadras guías para el trabajo de corte, una capa superficial de relleno de transición se colocó sin mayor compactación en varios sectores a lo largo del hombro del alineamiento de corte, esto para nivelar la superficie del relleno masivo el que, en general, se entrega con una tolerancia de ± 20 cm en elevación. Con motivo del terremoto 6,7 (Mw), ocurrido a las

22:30 h del sábado 19 de enero del año 2019, dicha capa resultó agrietada en algunos sectores aislados. Al momento de la visita, se pueden apreciar grietas de hasta 20 m de largo, y de no más de 15 cm de profundidad, siendo decididamente superficiales. El material agrietado será removido como parte del proceso propio de construcción del relleno de transición, al momento de construirse la capa correspondiente al coronamiento del relleno masivo de la E4, mediante la construcción del diente de anclaje de 40 cm, requerido por la especificación de construcción para dicho tipo de rellenos.

7.3.5. Muro MO(S) / Aguas Arriba y Estribos

Al momento de la visita los muro MO(S) se encontraba impermeabilizado hasta el coronamiento de la E3 de crecimiento, El. 1.149,50 msnm.

Tanto el relleno masivo y el de transición correspondientes a la E4 de crecimiento, se encuentran finalizados al momento de la visita, iniciándose durante la última semana del mes de marzo de 2019, los trabajos de perfilado respectivos, y que prepararán la superficie del talud aguas arriba para la colocación de la geomembrana que lo impermeabiliza.

Respecto del talud impermeabilizado actualmente en operación, correspondiente a la E3 de crecimiento este se encuentra en excelentes condiciones.

Al momento de la visita, la superficie a impermeabilizar durante la E4, queda delimitada por la cara completa del talud aguas arriba, anclada a la roca en ambos estribos. El empalme de la E3 con la E4, se verifica en la plataforma operacional relativa a la E3 a la cota El.: 1.149,5 msnm, la cual según diseño, también queda completamente impermeabilizada.

Se deberá revisar si es necesario cubrir con geomembrana parte del terreno natural en la zona tal y como se hizo para las obras temprana en el sector sur del Embalse (MO(S) y MS) durante el año 2014.

7.3.6. Muro MO – Aguas Arriba y Estribos

Durante la visita los relaves se encuentran aproximadamente 1,0 m por sobre el coronamiento de la plataforma El. 1.141 msnm del BS, frente al estribo norte del MO. Se puede apreciar un pequeño “hundimiento” (sinkhole) y varios “volcancitos” (sand boils) en la playa de dicho sector. La ubicación del sinkhole coincide con la del sondaje DH-08, construido al final de la campaña del año 2018, por lo que se asocia con el llenado de vacíos en la perforación.

No obstante lo anterior, ambos eventos se monitorean periódicamente de manera visual para detectar cualquier cambio en su tamaño y condiciones.

El talud aguas arriba, correspondiente a la E3 de crecimiento, se aprecia en buenas condiciones. Se observa erosión del talud debido a la escorrentía superficial, principalmente concentrada en el estribo sur. También se aprecian varias grietas en el

talud aguas arriba construido con relleno de transición. Se pueden mencionar dos (2) temas por los cuales se debe dar seguimiento respecto de estas grietas, (1) primero el potencial de inestabilidad superficial de la cara aguas arriba del talud y (2) el potencial de filtración de relaves a través de estas, sin embargo, tal como se explica en el ítem 7.3.2 las grietas en el relleno de transición de la cara del MO, no son un tema de preocupación estructural, requiriendo control, monitoreo y seguimiento tal y como se ha hecho en el sitio hasta la fecha.

7.3.7. Muro Nororiente (MNO) – Aguas Arriba

El talud (E3) aguas arriba se encuentra erosionado y con agrietamientos horizontales y semi circulares, los primeros principalmente se ubican hacia el eje del muro y los segundos hacia el estribo sur, en donde el muro se apoya sobre el BS. Se estima que las grietas semicirculares en el estribo sur del MNO se producen por asentamiento del material de botadero, así como que las horizontales, se deberían a inestabilidad local y superficial del talud aguas arriba, las fuerzas de arrastre hacia abajo de los relaves y/o el asentamiento normal del relleno masivo, apreciándose mayor asentamiento en aquellos sectores con mayor altura de relleno, los que equivalen a los puntos bajos de las quebradas naturales existentes en el suelo de fundación del muro (ver Figura 4-30). Del mismo modo se pueden apreciar varias cárcavas producto de la escorrentía superficial posterior al intenso período se precipitaciones del año 2017.

Tal como se explica en el ítem 7.3.2 las grietas en el relleno de transición de la cara del MNO, no son un tema de preocupación estructural, requiriendo control, monitoreo y seguimiento tal y como se ha hecho en el sitio hasta la fecha.

7.3.8. Muro Nororiente (MNO) – Aguas Abajo.

El talud aguas abajo del muro está en buenas condiciones al momento de la visita, se aprecian filtraciones al pie del muro, las que están siendo recolectadas y monitoreadas diariamente. Un acelerógrafo de reemplazo se encuentra instalado dentro de la caseta para proteger el poste de llegada de los cables de los piezómetros instalados en la fundación del MNO, y está operativo el momento de la visita. Para el primer semestre del año 2020, está contemplada la instalación de un segundo acelerógrafo, destinado a la TMF, que se posicionará al coronamiento de la plataforma para la reubicación del TK-042 sobre el BS.

Se deja establecido, que existe un acelerógrafo en el sector del molino SAG, el que se encuentra totalmente operativo como parte de la instrumentación de planta, que ha registrado en tiempo real los terremotos 16S de 2015 y 19E de 2019.

7.3.9. Muro Norte (MN) – Aguas Arriba

El relleno masivo correspondiente a la E4 de crecimiento se encuentra construido y los trabajos de corte y retiro del relleno masivo suelto del talud aguas arriba del muro correspondiente a la misma etapa, finalizaron el mes de noviembre del año 2018. El talud aguas arriba correspondiente a la E4 se encuentra en excelentes condiciones.

Del mismo modo a lo ya explicado para el caso del MS (ver 7.3.4), se pueden apreciar agrietamientos a lo largo del coronamiento del muro en la capa superficial de relleno transición que se colocó por razones geométricas, sin compactación para la instalación de las guías de corte (taluceras), previo al inicio del trabajo de corte y retiro. Al momento de la vista, se pueden apreciar grietas de hasta 25 m de largo, alineadas longitudinalmente al eje del muro y de no más de 15 cm de profundidad, siendo decididamente superficiales. Tal y como ocurre en el caso del MS, el material agrietado será removido del relleno, al momento de construirse la capa cuya El. equivalga a la cota de coronamiento del relleno masivo de la E4 de crecimiento, al momento de ejecutarse el diente de anclaje de 40 cm requerido por la especificación de construcción. En el caso del MN, dicha capa delgada de material de transición se colocó en un espesor mayor que en el caso del MS, por lo que el material que quede por sobre la elevación de coronamiento, deberá ser esparcido e incorporado al relleno de transición de la capa respectiva, sobre el relleno masivo construido, conformando la base para la plataforma operacional de la E4, a la El. 1.162,5 msnm.

Al momento de la visita, una laguna parasita de profundidad de 1,00 m aproximadamente y de superficie extensa, se encontraba apozada sobre la extensión central del MN, en contacto con la cara del muro y el relleno de transición, producto de la operación de la descarga D3 ubicada en el estribo oriente del muro, revisando el registro fotográfico de días anteriores se puede indicar que dicha desviación comenzó el día anterior a la vista al sitio, es decir el domingo 31 de marzo de 2019. El agua profunda en contacto con los muros por un periodo de tiempo prolongado, vulnera el criterio de diseño principal del embalse de relaves, que se resume en operar playas de relaves extensas, con la laguna de aguas claras alejada de los muros. El agua en contacto con los muros es una condición no deseable que podría causar la tubificación (piping) del relleno de transición, el desarrollo de sinkholes, lo que debe ser evitado, cuando el muro no esté impermeabilizado con geomembrana, tal y como es el caso del talud aguas arriba del MN.

El talud aguas arriba correspondiente a la E3 de crecimiento se aprecia en buenas condiciones, observándose sectores con erosión por escorrentía superficial concentrada en el estribo poniente de muro, lo que habitualmente ocurre luego de precipitaciones intensas, ya que existe un camino operacional que el departamento de Mina Teck CdA, utiliza para el traslado de los relaves retirados desde la zona urbana de Andacollo (denominados relaves U-V), los que son finalmente dispuestos dentro de la cubeta. Del mismo modo, a lo largo del talud aguas arriba hacia el oriente, se pueden apreciar algunos puntos de erosión por escorrentía superficial localizados y menores.

Hacia el estribo poniente del muro, al pie del Cerro Arenas, en un área pequeña del relleno masivo, se observó agua de color azul apozada sobre el coronamiento del muro. En dicho sector, se puede apreciar una cobertura de material fino que sella la superficie del relleno masivo, producto de la preparación de dicha superficie que fue utilizada como estacionamiento de camiones para los trabajos de corte y retiro desarrollados durante el segundo semestre del año 2018. Exploraciones realizadas con posterioridad a la visita, permitieron comprobar que dicha capa de material presenta un espesor máximo de 5 cm.

7.3.10. Muro Norte (MN) / Aguas Abajo

Se aprecia inactiva la filtración intermitente al pie del MN, que se detalla en el ítem 7.3.3

7.3.11. Botadero Sur (BS)

El Botadero Sur es una gran protrusión, de hasta 100 m de alto y 1 km de ancho aproximadamente en algunos sectores, de estéril de mina volteado en la cubeta previo al inicio de la construcción del embalse, situado entre los muros MNO y MO. En el total de su superficie perimetral (taludes y hombro) internos, se encuentra recubierto con relleno de transición, con un ancho compactado promedio (ponderado en función del volumen colocado por capa) de 5,12 m efectivo (sin sobre ancho de construcción), el que fue construido durante la E3 y representa un 28% más que el ancho de diseño mínimo (4 m).

El estéril del BS fue cargado sin control de compactación, ni control alguno de la construcción y aparentemente es muy variable respecto del tamaño del estéril, sin embargo, el personal de minera Carmen de Andacollo (Teck CdA ahora) que participó de estos trabajos indican que el botadero se construyó por volteo en capas de hasta 4,00 m de alto y los datos de densidad no han mostrado gran diferencia con aquellos rellenos compactado con el tránsito de camiones de alto tonelaje.

El estanque distribuidor de relaves (TK – 042), se localiza sobre el BS y al momento de la visita, se encontraba finalizada la construcción de la plataforma para la nueva ubicación de la estación de distribución de relaves, hasta la cota de coronamiento El. 1.177,5 msnm, equivalente a la E5 de crecimiento diferido. Del mismo modo, al momento de la visita estaba por terminar el montaje mecánico y en pleno desarrollo el montaje eléctrico de las instalaciones.

Paralela a la línea de rebose, se pueden apreciar dos (2) cañerías de agua de diámetro menor, que descargan sobre la cara del muro, aparentemente asociadas al agua de sello de la bomba de distribución de relaves (PU-090).

Esta área se identifica como la de mayor preocupación, tanto en el diseño como en la operación, respecto a que se deben limitar las filtraciones y/o el ingreso de relaves dentro del relleno del botadero, minimizando la posibilidad de que se forme un sinkhole, dentro del cual una gran cantidad de agua y relaves pueda ser liberada desde el embalse, cuando las instalaciones hayan crecido significantemente en altura desde cómo están hoy, según lo planificado. El plan de llenado vigente, exige el desarrollo de una playa de relaves extensa como un método minimizar los problemas que puedan desarrollarse en esta área. Sin embargo, considerando los agrietamientos que han ocurrido y muy posiblemente continuarán ocurriendo en el relleno de transición y ante la posibilidad cierta de que sismos de gran magnitud vuelvan a ocurrir a lo largo de la vida útil y del abandono de la TMF (para el cierre la laguna de aguas claras debe reducir su volumen y debe contar con un vertedero de alivio, el que está contemplado en el diseño vigente), se debe mantener un esquema robusto de operación, monitoreo, mantención y vigilancia, que permita asegurar playas extensas por sobre el nivel de agua de la laguna de aguas claras. El monitoreo de las filtraciones, asentamientos y

agrietamientos, son elementos fundamentales para garantizar la seguridad de esta zona.

7.3.12. Muro Poniente – Fundación

Al momento de la visita, no se ha iniciado la construcción del MP (programada para comenzar durante el segundo semestre del año 2019), ya que debido a la condición topográfica del terreno natural en el sector poniente del embalse, la E4 marca el inicio de su construcción (no contempla obras para las E1 @ E3). Durante la visita, se revisa la traza de muro, cuyo escarpe se desarrolló durante el año 2013 y que deberá ser repasado en el footprint de la E4 del muro, previo al inicio de la construcción.

7.3.13. Trincheras – Sistema de recuperación de Aguas Claras.

Se inspeccionó el sistema existente para la recuperación de aguas claras, el volumen de la laguna es de 100.000 m^3 aproximadamente y la capacidad de bombeo se encuentra alrededor de 200 L/s. El sistema será decomisionado a inicios de 2020, para elevar la altura de recuperación mediante la construcción de una nueva trinchera (#9) en una distinta de la del diseño original y que minimizará la excavación en roca, cumpliendo al mismo tiempo, con la intención del diseño.

7.3.14. Instrumentación y Monitoreo

El programa de instrumentación y monitoreo se desarrolla de acuerdo con lo indicado en el OMS. Continua la implementación del plan de desarrollo tecnológico TAPD2017, para que la información colectada por los instrumentos esté disponible en línea y en tiempo real, de manera que pueda ser revisada remotamente por personal clave asociado al seguimiento de la TMF, lo anterior se considera una mejora, que sitúa las instalaciones de Teck CdA al nivel de los más actualizados estándares de vigilancia en depósitos de relaves.

Desde diciembre de 2018 hasta mayo de 2019, asociado a la estabilidad física y seguimiento operacional del Embalse, Teck CdA se ha realizado cada quince (15) días, un monitoreo de prueba mediante tecnología InSAR con imágenes de satélite radar, y que incluye:

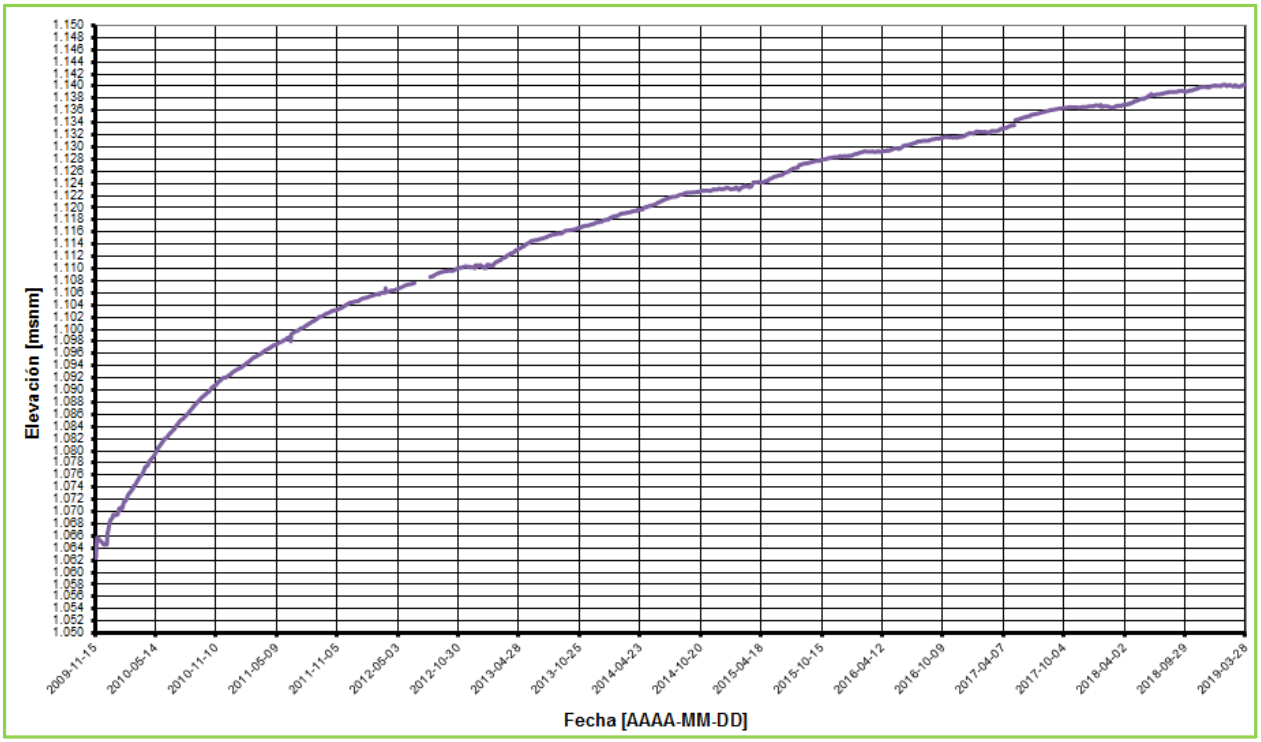
- Variación (aumento / disminución) tanto, de la El. de la superficie de la TMF, como de la humedad superficial de dicha superficie, aplicado sobre el área de interés del embalse de relaves, incluyendo: las playas de relaves, los muros del embalse y el terreno e instalaciones aguas abajo de la TMF.

Se visitó la instalación de la torre de vigilancia, en donde se sitúa la estación total de monitoreo.

7.3.15. 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 alguna 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. 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 % (menores a las esperadas)
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^3 y 1,9 t/m^3	En promedio E1 @ E4 1,8 t/m^3 ; en el periodo 2018.04 @ 2019.03: 1,9 t/m^3), alcanzandose sistemáticamente densidades de compactación secas de 2,0 t/m^3 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	Salvo lo descrito para el MN de 24h de duración, esto es 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 y son 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 finalizada la campaña de sondajes 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_{24h}= 444 mm, y la PMP_{3d} = 809 mm, valores que se consideran conservadores, y con holgura para precipitaciones de 24h T_{50}, T_{100} y T_{200}
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 va 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 Riegos 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, salvo el overtopping que, a juicio de Wood, es el único modo de falla creíble para la TMF en estudio.

Tabla 8-2: Chequeo del Estatus de los Tipos de Falla durante el período 2018 (ref. HAZOP 2017 AmecFW).

ELEMENTO	TIPO DE FALLA	EFECTOS	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, salvo el evento puntual descrito en el caso del MN cuya duración fué menor a las 24h;
	Filtraciones por la fundación	Contaminación de la napa subterránea / Filtración de agua y relaves hacia aguas abajo	Existen indicios los cuales apunta a que hay una condición de mezcla de aguas (naturales + industriales), en las filtraciones del sector norte del embalse de relaves principalemnte. Lo anterior está en proceso de estudio a través del Modelo Hidrogeológico Distrital, actualmente en desarrollo de 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 zonas con cierta inestabilidad superficial del relleno de transición, la que se puede asociar a la inclinación del talud, 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. En todos los casos la erosión, no compromete la integridad de las estrcuturas;
	Deformación excesiva de los muros	Agrietamiento transición / Reducción del espesor efectivo / Mal aspecto de los taludes / Pérdida de la funcionabilidad	Las principales deformaciones se refieren a los asentamientos propios de la consolidadción 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;
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.

ELEMENTO	TIPO DE FALLA	EFECTOS	CHEQUEO DE LA CONDICIÓN
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.	Sink hole en playa de relaves, asociado a perforación del sondaje DH-08. Sin evidencia de la presencia de sinkholes, en la estrucutra 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 periodo;
SISTEMA DE RECUPERACIÓN	**Estabilidad trinchera**	Suspensión de la operación / Daño en las instalaciones de recuperación	Se aprecia que los bancos de contención han contenido la roca meteorizada que se ha desprendido desde los taludes, proteginedo a las persona y las instalaciones;
	Rotura cañería	Erosión en la zona de la falla de la cañería / Suspensión recuperación de agua.	Sin eventos de rotura durante el periodo;
	Suspensión energía	Suspensión recuperación de agua / Crecimiento de la laguna	Sin eventos de suspensión de energía durante el periodo;
	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 periodo;
	Exceso relaves en el agua	Deterioro bombas	Al término del periodo se ha debido operar con máximo Make Up, por condición de volumen bajo, bajo en laguna de agua recuperada, sin evidencia de falla de equipos de bombeo durante el periodo;
SISTEMA DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCION DE RELAVES	**Rotura cañería**	Erosión rellenos transición y estéril del muro	Eventos de rotura menor durante el periodo, contenido
	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	En proceso de Estudio a través del Modelo Hidrogeológico Distrital;
		Interrupción del sistema de recuperación de agua	
		Reducción de la revancha	
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 estuidio 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 mismo.

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, es 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.

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 acelerógrama 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 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 contemple 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 de Diseño Operacional (2006) correspondientes al diseño original y solo con fines comparativos; 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 MCE (2006); MC y Op (2016) para el sitio del depósito de relaves Teck CdA (ref. S y S, 2006 y 2016).

Sismo	Magnitud	Máxima Acel. Horizontal en el sitio	Distancias		
			Focal (H)	Epicentral (D)	Hipocentral (R)
	[Mw]	[g]	[km]		
Estudio Riesgo Símico 2006 (diseño)					
Thrust MCE	8,5	0,801	40	45	60
Intrapalaca MCE	7,8	1,204	70	0	70
Estudio Riesgo Símico 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

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 es prácticamente la de diseño (2006), e indujo una aceleración de 0,4533 g (57% de la aceleración máxima inducida en el sitio por el sismo de diseño), según el registro del acelerógrafo ubicado en el edifico 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 es menor que la de diseño pero indujo una aceleración de 0,4964 g (62% de la aceleración máxima inducida en el sitio por el sismo de diseño), según el registro del acelerógrafo ubicado en el edifico 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	Máxima Acel. Horizontal en el sitio	Distancias		
			Focal (H)	Epicentral (D)	Hipocentral (R)
	[Mw]	[g]	[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 MCE (2006)	57	62
Thrust MC (2016)	45	50
Thrust Op (2016)	73	80

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

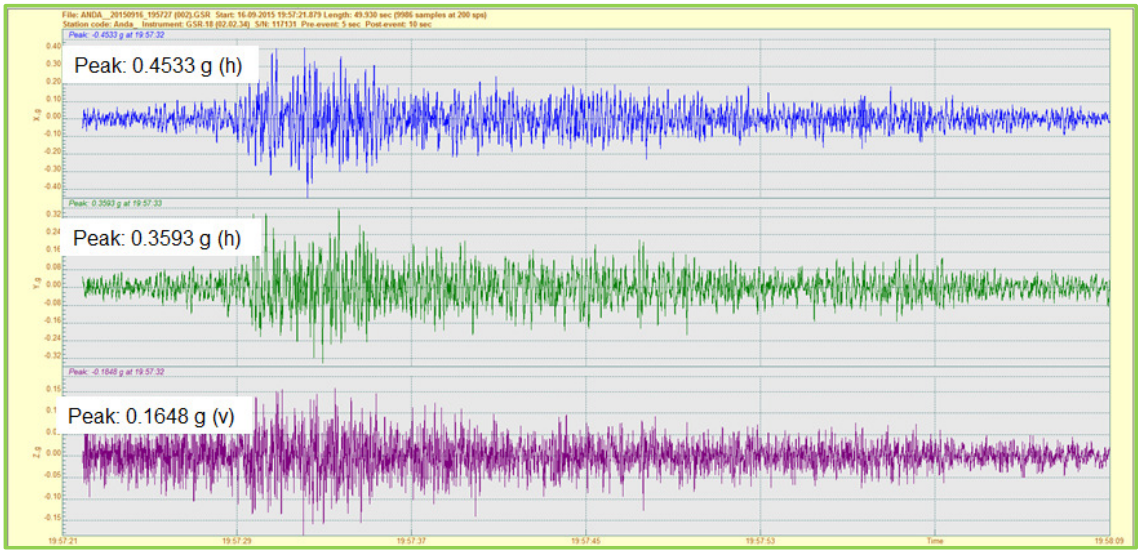


Figura 8-2: Registro sismo 19E.2019 (ref. Acelerógrafo SAG, Teck CdA)

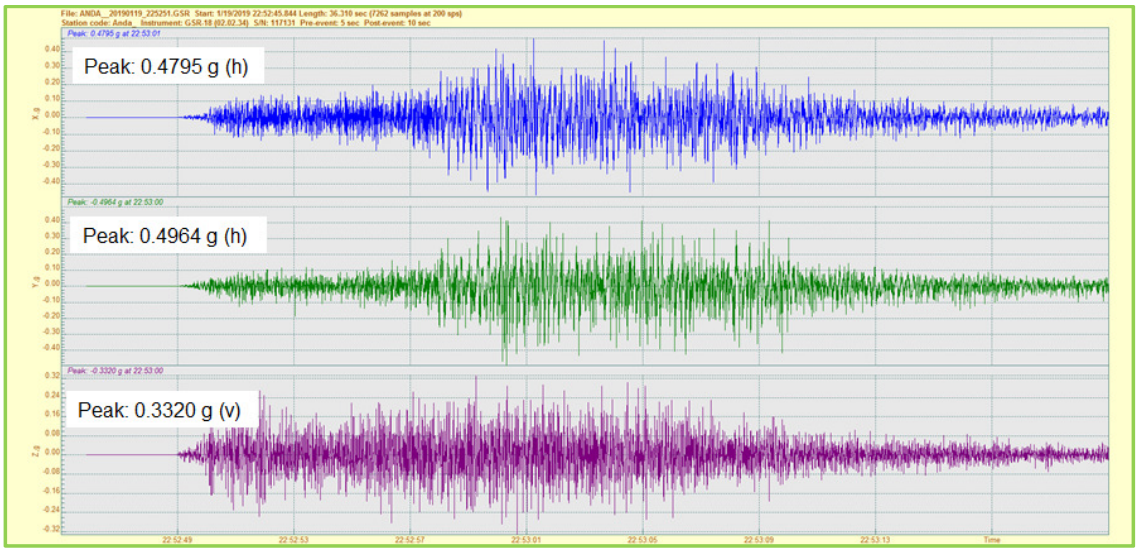
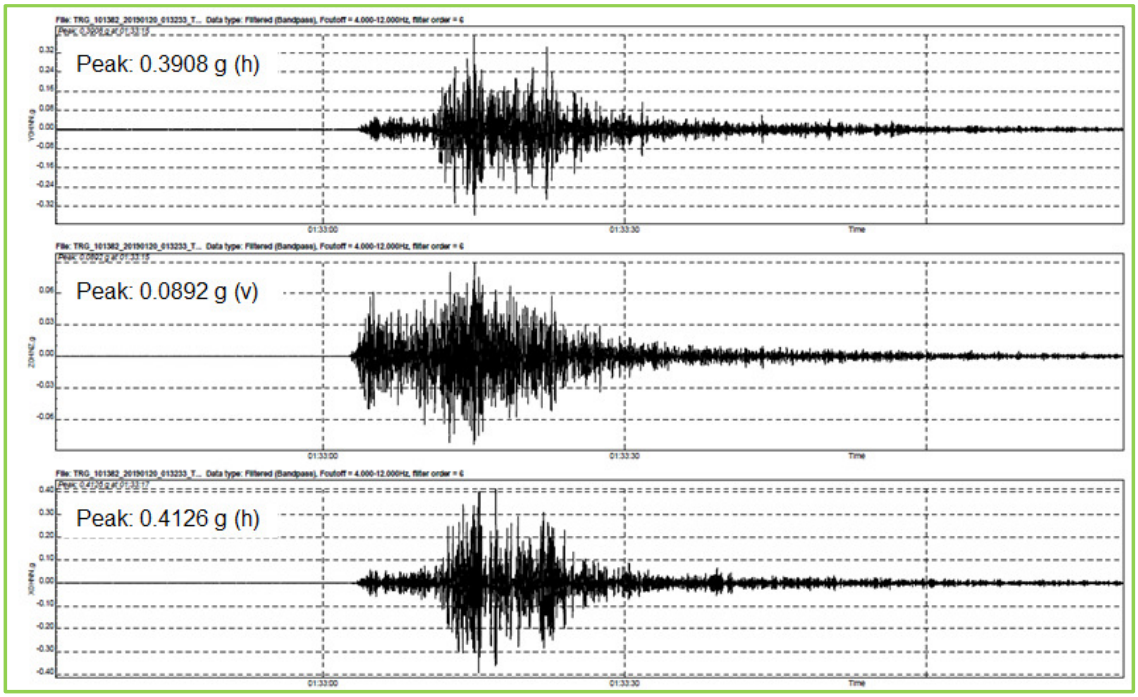


Figura 8-3: Registro sismo 19E.2019 (ref. Acelerógrafo MNO, GeoMediciones)



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 a lo esperado según el diseño.

8.3.2. Manejo de Agua Superficial

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 de este. La explicación de esto está en la baja pluviometría del área, la reducida cuenca aportante, la ubicación de la laguna en un punto alejado de los muros y las revanchas existentes. Como respaldo a este diseño se han actualizado los estudios para el VMP (ver capítulo 3.2), el cual 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^3, 4,0 Mm^3 y 3,7 Mm^3 respectivamente, se deja establecido que Wood considera que estos valores son conservadores;

- De acuerdo con el Plan de Llenado Actualizado (2016), 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, 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 ser incorporadas en la actualización del plan de llenado (2019), agregando 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_{50}, T_{100} y T_{200}, eventos que el comité considera son más probables que ocurran durante la operación de las instalaciones. Todos 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.

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 marzo de 2019 es 18,48 Mm^3. De acuerdo con estas características la clasificación de este depósito, según la regulación de la DGA (ver punto1.3) es Categoría C (muro mayor a 30 m de altura y/o almacenamiento superior a 60 Mm^3).

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 desde el rockfill de gran tamaño hasta una grava o una grava arenosa. En primera instancia esto mejoraría la compactación de los rellenos, sin embargo, se requiere de una campaña de ensayos de terreno / laboratorio para estimar las 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.

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 del muro y de la capa de transición, durante la operación del depósito.

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 relave una vez la playa cubra la grieta y además evitar la erosión que se puede generar durante la temporada de lluvias.

8.4.2. Hidráulico

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 +/- 0,4 L/s, lo que comparados con los +/- 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.

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 4-22 y 4-23), a mediados de 2018 detiene su tendencia, revirtiéndola incluso, mostrando hasta el término del periodo una disminución en el nivel freático detectado.

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 de la pata 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 estaban secos, sin embargo tal como se indicó anteriormente, la descarga 3 cumplía su quinto (5°) día de operación continua, por lo que se proyecta que los flujos vuelvan a aparecer en el corto plazo, lo que efectivamente se verifica el día 13 de abril de 2019, posterior a la visita.

Se debe mencionar que, además de la descarga de relaves a través de las descargas D2 y D3, durante el mes de octubre del año 2018, entre los días 04 y 19, el embalse recibió de manera segura, 63.000 m^3 (≈ 46 L/s) de agua proveniente de la mina, tal y como se puede apreciar en la Figura 8-6. A diferencia de lo que ocurre con el MO, 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.

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 de 350 m aproximadamente, por lo tanto, es opinión de Wood que el flujo de agua asociado al punto de control AFR-MN, está siendo captado en un sector hacia aguas abajo del MN, ya que una campaña de calicatas en el sector del AFL-MN, ha detectado 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 al momento de escribir el presente informe, se considera que esta condición no reviste un peligro para la seguridad de las instalaciones.

Tabla 8-6: Resumen actividad filtraciones MN (ref. Control y Monitoreo de terreno, Wood).

Pto. Control	Actividad [d]	Caudal [L/s] (agua)	
		medio	maximo
AFR-MN	231	0,161	0,288
AFL-MN	121	0,012	0,031
D2 / D3	50	392	491
mina	16	46	46
Lluvia	9	-	-

Figura 8-4: AFL – MN



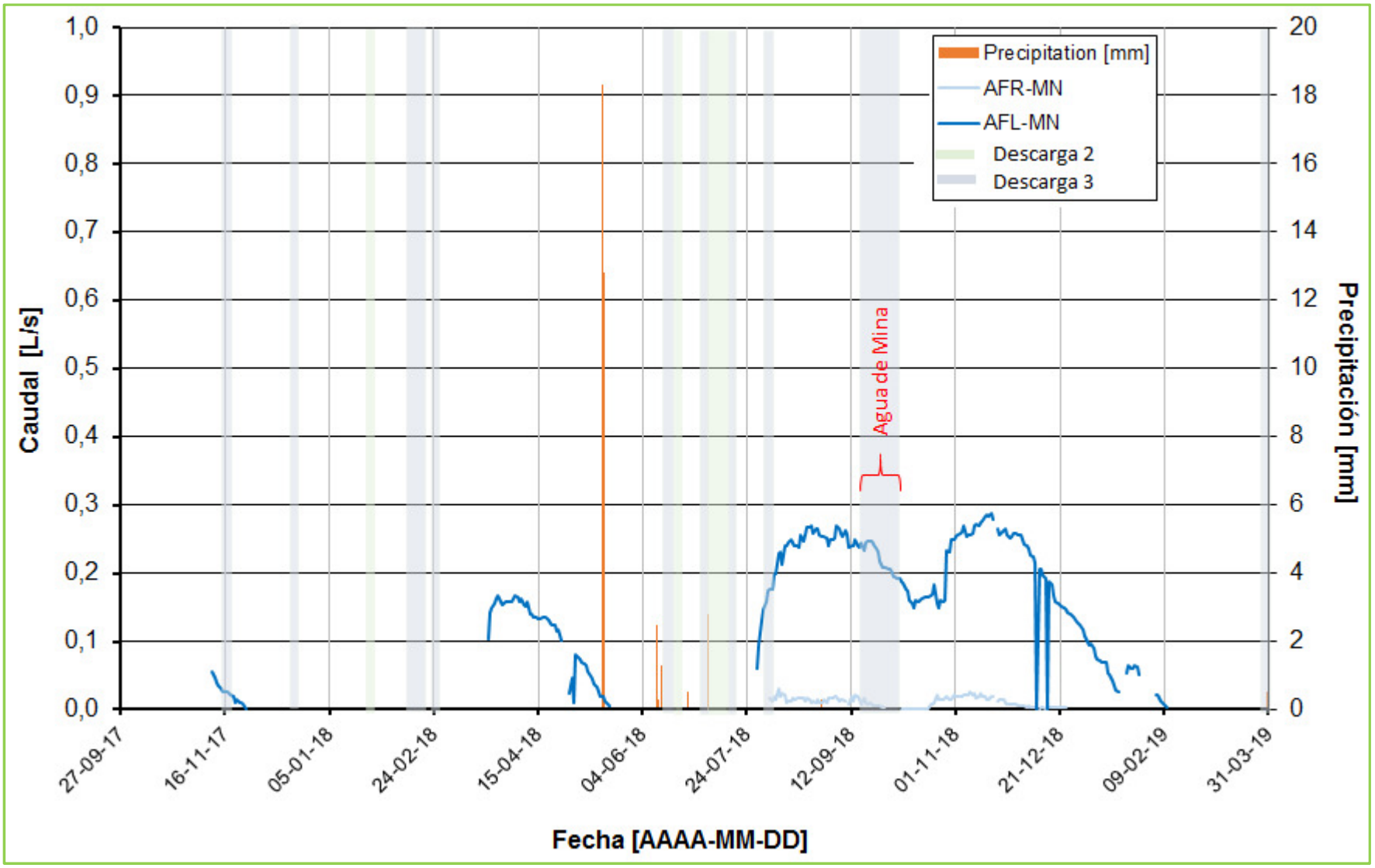
Figura 8-5: AFR - MN



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 en 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, la suciedad que se puede apreciar en el agua estancada dentro del aforador del MN (ver Figura 8-5) se debe a la condición de suciedad del cajón aforador, no guardando relación con la calidad física del agua captada.

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. La revancha excede a la mínima operacional requerida de 3,0 m, para las playas de relaves en contacto con los muros.

Figura 8-6: Caudal de Afloramientos MN, al 31 de marzo 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. MN: Hundimiento Playa

Posterior a la visita a terreno, a las 16: 30 h del jueves 04 de abril personal de operaciones Teck CdA reporta un flujo de agua en la playa de relaves frente al MN, con dirección nor poniente, que ingresaba por el talud del botadero de relaves U-V. Personal Wood visita el sector y puede constatar la existencia de un sinkhole de tamaño mediano, ver fotos # 39, # 40, # 41, # 42 y # 43 del anexo A. Esta condición está directamente relacionada con la desviación operacional que generó un volumen importante de agua acumulado.

La descarga D2 estaba en operación al momento de reportarse el evento, puesta en operación la tarde del lunes 01 de abril con el objetivo de levantar la playa en contacto con el MN y desplazar así el exceso de agua profunda apozada contra la sección central del MN lo que se logró el martes 02 de abril, en horas de la mañana.

Es habitual que el acopio de relaves UV presente hundimientos en las playas que se encuentran en contacto con sus taludes, sin embargo esta es la primera ocasión en que se apreciaba en las proximidades del talud del muro, por lo que se solicita Teck CdA suspender inmediatamente la operación de la D2 e iniciar la descarga de relaves en el sector sur del embalse, operando la descarga D6B, lo que se verificó a las 18:00 h del mismo jueves 04 de abril.

Desde el punto de vista de la vigilancia, el sector se recorrió a pie en horas de la tarde del mismo día, tanto aguas arriba como aguas abajo (hasta la cañería de aducción de agua fresca ubicada a unos 100 m aguas abajo del pie del MN), y se establece que el mismo recorrido deberá hacerse de manera diaria una vez al día, por el periodo de los siete (7) días siguientes al hallazgo. Adicionalmente, se determinó que el sector será visitado de manera general (aguas arriba y aguas abajo) dos (2) veces por día, adicionalmente a la inspección detallada, rescatándose la información de los piezómetros dos (2) veces al día durante el mismo periodo. El estatus de la condición se informó a todos los interesados mediante reporte diario adicional y específico para esta materia por el plazo de una semana.

En gabinete, se emplazó el sinkhole respecto a la construcción de la E2, E3 y las singularidades que se han detectado en el MN a lo largo de la historia de la construcción / operación de la TMF, descartándose cualquier relación con el clúster de piques mineros existentes en el sector previo a la construcción del MN, todos los cuales se

ubican en la fundación del muro al eje de la quebrada de fondo y orientados de sur a norte.

La intención de redoblar la inspección por parte del personal de terreno (Teck CdA y Wood), tanto aguas arriba como aguas abajo, fue detectar cualquier cambio en la condición de la playa y/o en el patrón de afloramientos por el periodo de una semana.

Se suspende definitivamente la descarga de relaves desde el sector norte del embalse, hasta que se hiciera un despeje completo del talud hacia el estribo poniente del MN, retirando todo el relave U-V en contacto con el talud del muro y que fue colocado por volteo y apoyado directamente sobre el mismo, sin ningún tipo de control de la construcción ni compactación.

El retiro se hace desde la elevación de la playa de relaves, hasta el coronamiento de la Pl. operacional correspondiente a la E3 (El. 1.149,5 msnm) con el Co Varilla (estribo izquierdo), trabajos que finalizan la primera semana de junio de 2019.

Una vez finalizado el despeje del material se inspeccionó visualmente en detalle el talud, buscando evidencias del hundimiento, y cualquier señal que pudiera indicar alguna afectación del relleno de transición, de manera de descarta cualquier riesgo en la estabilidad de la estructura, no encontrándose ningún indicio de merma en la cobertura del relleno.

Luego de los siete (7) días de monitoreo intensivo, la playa de relaves se encontraba seca y el sinkhole no volvió a presentar actividad del día de su aparición, determinándose que el hundimiento se relacionó al relleno no estructural dispuesto sobre el talud del MN como botadero de relaves UV. En terreno se apreciaba claramente que la succión en la playa se dirigía hacia el nor poniente y no hacia el norte donde se encuentra el talud del MN propiamente tal, siendo el hundimiento local y habiendo evidencia, al pie del talud de los relaves UV (hacia el sur), de otros eventos similares, es decir succión de la playa hacia el botadero de relaves UV.

Una vez descartada afectación a la estructura, se ratifica que el fenómeno estuvo relacionado con el botadero de relaves UV, recomendándose reanudar la operación normal desde la D2, solo después que se desplazara la descarga para dejarla habilitarla en el vértice despejado, es decir hacia el sur poniente de su ubicación actual, y direccionándola en sentido sur oriente (orientándola hacia el BS, como referencia local) modificando su orientación previa dirigida hacia el sur geográfico, lo que generaba un punto bajo en el vértice del MN con los relaves U-V, en donde precisamente se formó el sinkhole. La intención final de esta nueva posición es levantar la playa longitudinalmente a lo largo de todo el pie del MN, con pendiente hacia el oriente y evitar así el apozamiento de agua profunda frente al muro. Del mismo modo, y como directriz para la operación del sector norte del embalse, se deja establecido, que la secuencia correcta de operación de las descargas asociadas al MN siempre debe iniciar con la puesta en servicio de la D2, y a continuación operar la D3.

En conclusión, el evento se debió al exceso de agua apozada contra el talud de los relaves U-V, considerando que dicho relleno se construyó por volteo (sin compactación)

siendo un material de granulometría fina, clasificado como limo de baja plasticidad (ML según USCS), el cual al saturarse, cambia su estado de sólido a líquido, fluyendo desde los sectores sueltos hacia aquellos vacíos que se hayan producido por la compactación hidráulica del material al interior del botadero, por la acción del exceso de agua. Se insiste respecto de que la condición siempre fue local y estática (detenida) desde el día en que se detectó hasta el momento que se despejó el talud, a comienzos del mes de junio de 2019.

Figura 8-7: MN, emplazamiento sinkhole playa de relaves, respecto de clúster de piques mineros previo a la construcción (ref. figura base por Wood, año 2019).

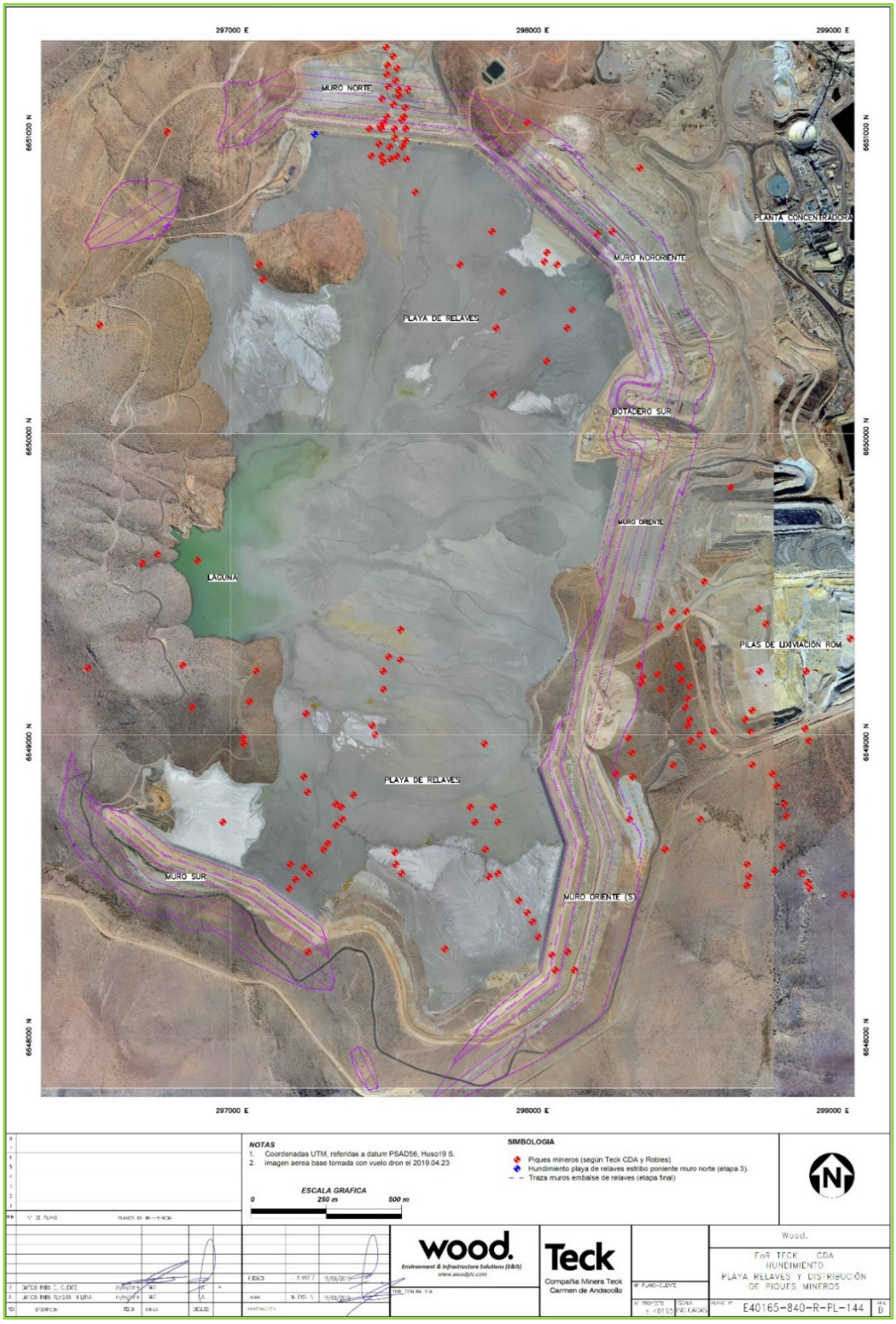
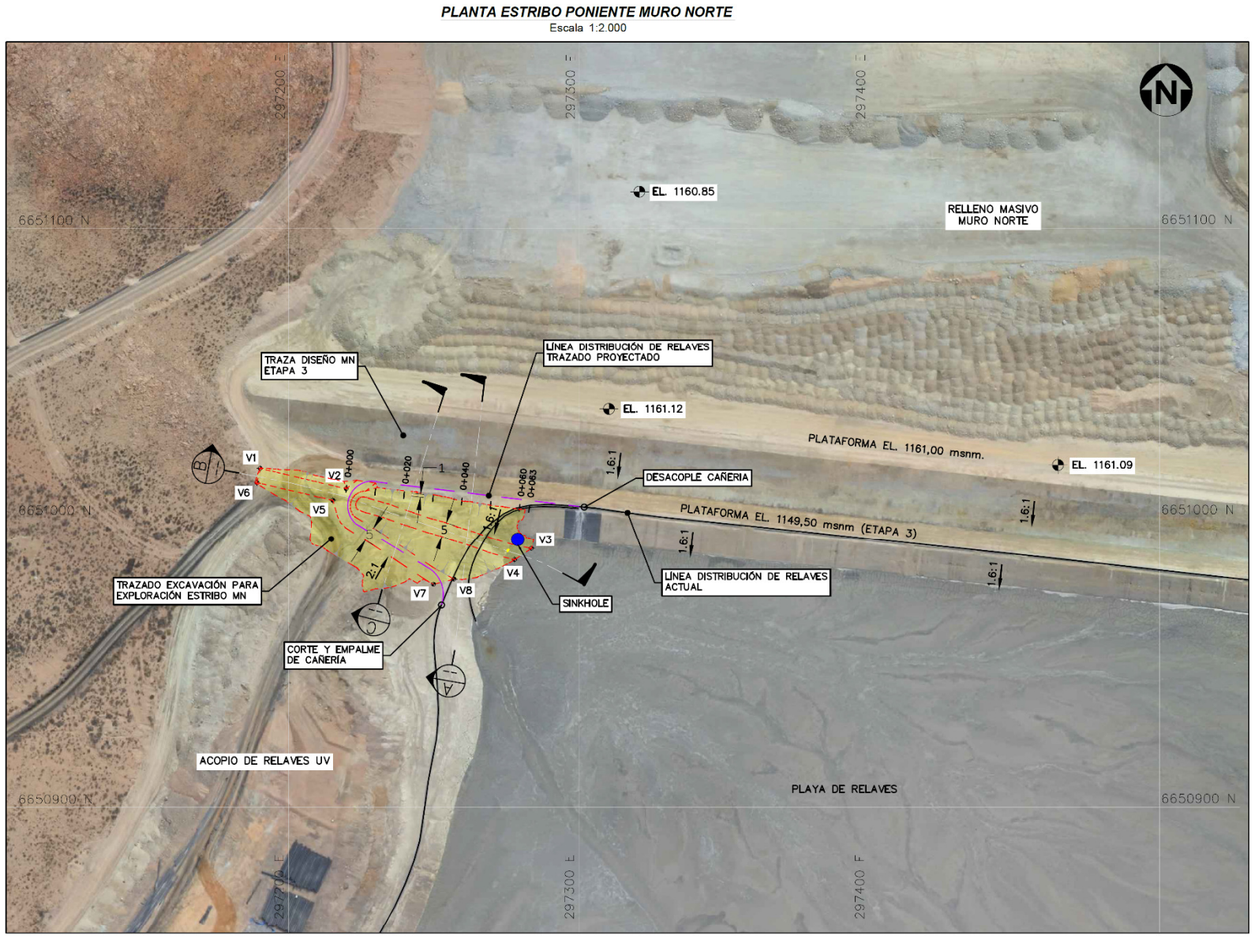
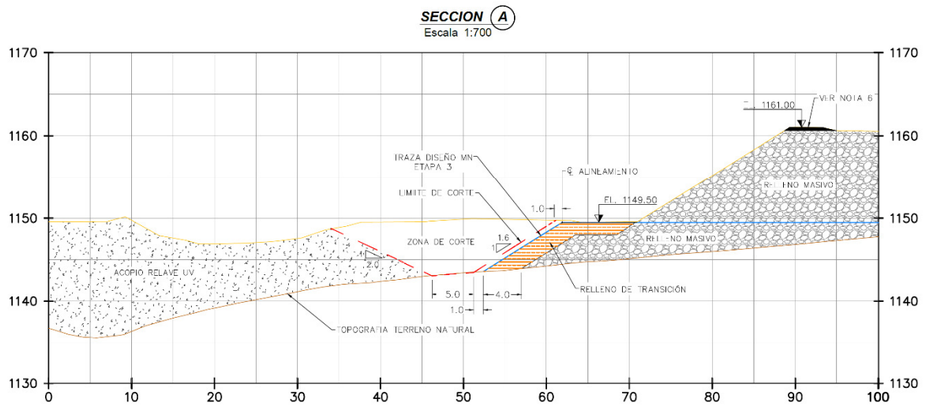
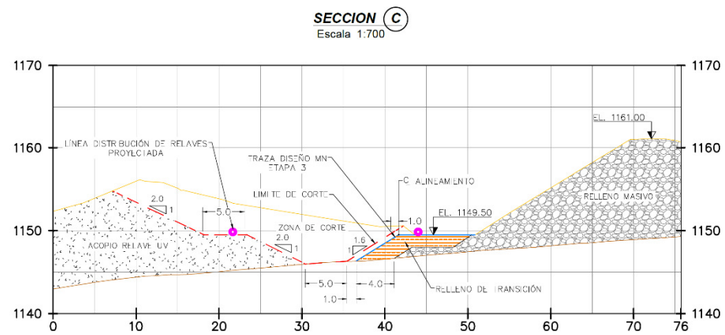
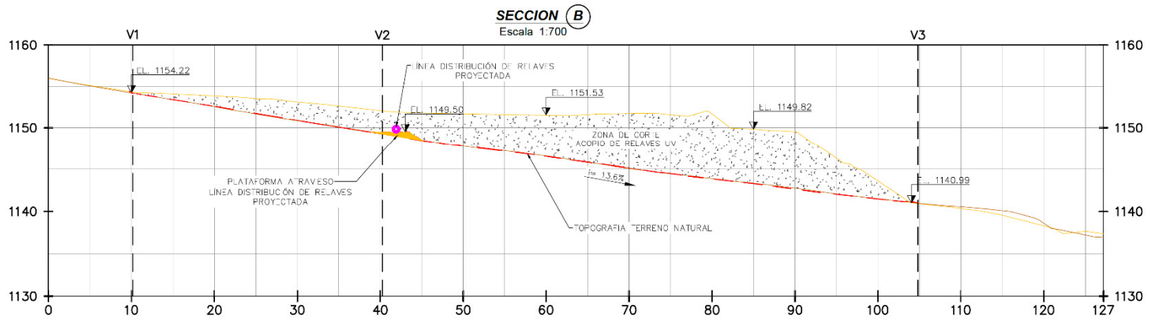


Figura 8-8: MN, despeje de estribo poniente E3, planta y secciones, Plano E40165-840-R-PL-129_RB (ref. Wood).









Cuadro de coordenadas base para excavación			
Vertice	Coordenadas		
	Norte	Este	Elevación
V1	6651017.14	297190.24	1154.50
V2	6651010.13	297219.93	1149.50
V3	6650989.43	297283.69	1141.00
V4	6650985.54	297277.92	1141.07
V5	6651006.14	297215.31	1149.50
V6	6651012.27	297189.11	1153.95
V7	6650977.04	297249.99	1149.50
V8	6650978.79	297257.09	1149.50

Alineamiento para corte (ver nota 5)		
Vertice	Coordenadas	
	Norte	Este
0+000.00	6,651,010.13	297,219.93
0+010.00	6,651,009.04	297,229.87
0+020.00	6,651,007.94	297,239.81
0+030.00	6,651,006.85	297,249.75
0+040.00	6,651,005.76	297,259.69
0+050.00	6,651,004.66	297,269.63
0+060.00	6,651,003.57	297,279.57
0+063.34	6,651,003.20	297,282.88

Cuadro de cubicación despeje estribo poniente MN	
Corte para despeje	5.517m³
Corte banco cañeria	884 m³
Total a cortar	6.401 m³

SIMBOLOGIA:

- Traza Etapa 3 (diseño)
- Traza de corte (proyectada)
- Cañería distribución de relaves existente.
- Cañería distribución de relaves proyectada.
- Sinkhole

NOTAS

1. Coordenadas UTM referidas a datum PSAD56.
2. Dimensiones y elevaciones en metros [m].
3. Imagen área base tomada con vuelo dron el 2019.04.23.
4. Topografía base actualizada a abril de 2019.
5. El alineamiento considerado para el corte del talud del muro aguas arriba se encuentra desplazado 1 m en la horizontal respecto al alineamiento de construcción del muro con el fin de no intervenir el talud del muro construido.
6. Material sin compactar utilizado solo con fines geométricos para el alineamiento del corte y retiro, ejecutado entre agosto a noviembre de 2018

8.5.3. Mantenimiento

Las actividades de mantención están siendo realizadas directamente por Teck CdA. Las mantenciones periódicas (semestrales) de la instrumentación geotécnica, se retoma durante el año 2018. Wood realiza lectura y registro periódico de los piezómetros, y GeoMediciones revisa los sistemas de respaldo (baterías, paneles solares, memoria de almacenamiento, etc.).

Se requiere el siguiente mantenimiento periódico:

- Mantener las bombas de impulsión y distribución de relaves, de recuperación de agua y sus cañerías asociadas;
- Mantener los equipos, las conducciones eléctricas, de agua, y su instrumentación asociada; y
- Reparar cualquier deficiencia indicada en el DSI.

Del mismo modo, se identifican dos (2) tipos de mantenimiento principales, el Mantenimiento de Rutina y Predictivo y el Mantenimiento post evento.

El mantenimiento de Rutina y Predicitvio, incluye pero no se limita a las siguientes estructuras y sistemas:

- Muros;
- Zanja de aproximación, Trincheras y Plataforma Manifold;
- Instrumentación Geotécnica y para Monitoreo de Agua;
- Sistema de Bombeo y Cañerías; y
- Equipos de Construcción.

En tanto 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 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.

8.7. Revisión del Plan de Preparación y Respuesta ante Emergencia

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

No existe Plan de Preparación ante Emergencias específico para la TMF, se sugiere su emisión durante el año 2019.

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:

- **Tabla 8-7: Plan de Acciones Específicas ante Recomendaciones DSR (1 de 2) (ref. Doc. 5071-0000-RE-INF-001_R2, ACL).**

#	Ítem	Detalle	Comentario en DSR	Acción
			HALLAZGOS	
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.	*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 hipógeno "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.*	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.
		(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.	*Dichos taludes de los muros MN, MNO, MO presentan rasgos de agrietamientos tanto en el talud mismo como en la berma 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"*	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.
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.	*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 DS0 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.*	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.
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.	*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.*	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).
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.

- **Tabla 8-8: Plan de Acciones Específicas ante Recomendaciones DSR (2. De 2) (ref. Doc. 5071-0000-RE-INF-001_R2, ACL).**

#	Ítem	Detalle	Comentario en DSR	Acción
			HALLAZGOS (2)	
5	Documentos EPP-ERP-TARP	Generar documentos individuales como parte de los documentos clave para la gestión del TMF	*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 cómo 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.*	Independizar documentos, y actualizarlos anualmente
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.	*Ambos documentos ("Informe Técnico Balance de Aguas. N° 2111-1IT-R-073. CDA, Proyecto Nº 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.*	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.
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 importanccia 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.
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	*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.*	Actualizar criterio de Diseño Hidrológico
			MEJORAS	
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.
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.
3	Biblioteca documentos claves operación	Crear un archivo de documentos clave de gestión TMF		Requerimiento de la guía Teck. Carpeta Corporativa Share Point
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

8.9. Actualización de Distancia Peligrosa

Tal como se indicó en el DSI del año 2017, según lo indicado en el capítulo 1.3 la normativa chilena *en el artículo 14 del DS 248 exige la estimación de la denominada distancia peligrosa consistente en la estimación del área que cubrirían los relaves en el caso de una hipotética ruptura de los muros y consecuente derrame de relaves embalsado.* A continuación, se presenta la actualización de dicha estimación, la que se detalla en el informe E40165-840-R-TR-001 Rev. C.

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 las distancias anteriormente detallas, para la condición actual de los muros del depósito de relaves (Etapa 3). Para la actual etapa no hay riesgo de derrame en 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.

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: se estaba construyendo el relleno masivo de la Etapa 4 de los muros MO y MO(S);
- Rellenos de transición y/o rectificación: MS, inicio del carguío del relleno de transición E4; BS, relleno de base para el crecimiento del estribo norte del muro MO sobre el coronamiento del botadero;
- Instalación de geosintéticos en la cara aguas arriba de los muros, piscinas, sistemas de captación y conducción de drenajes: inicio del perfilado del relleno de transición en el MO(S);
- Excavación y relleno de zanjas corta fugas, de anclaje superior, inferior y laterales: sin actividad al momento de la visita;
- 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 este y se ha realizado siguiendo las recomendaciones del Manual de Operaciones. Las deformaciones de los muros a medida que crece el depósito se consideran normales. Se recomienda ampliar el monitoreo principalmente en el BS que permitan un seguimiento y evaluación permanente del comportamiento. Así mismo, se recomienda realizar un modelo de deformaciones que permita entender más acabadamente el o los mecanismos de formación de las grietas.

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

9.3.1. Diseño MP

El estudio de almacenamiento de la VMP, y de las crecidas producidas por precipitaciones de 24 h para periodos de retorno T_{50}, T_{100} y T_{200} arrojó que el MP, siempre estará en contacto con el agua acumulada, por lo tanto, se deberá revisar el diseño del muro, es decir, se deberá impermeabilizar completo el talud aguas arriba hasta la E6 inclusive. No es necesario aumentar la inclinación del talud aguas arriba de 1,6 (H) / 1 (V) a 2 (H) / 1 (V), ya que en el sitio existe experiencia respecto de la

impermeabilización de taludes empinados, cuando se impermeabilizó la E2 del MN durante el año 2014.

9.3.2. Descargas adicionales MN, MNO y MO

El estudio de almacenamiento del VMP, arrojó que los muros MN, MNO y MO, estarán en contacto en zonas puntuales con el agua acumulada producto de la PMP_{3d}, esto implica que, para la E4, E5 y E6 se deberá considerar la adición de puntos de descarga adicionales que permitan levantar la playa en contacto con el muro y evitar que el agua entre en contacto con el muro sin impermeabilizar.

9.3.3. Descarga adicional BS

Operacionalmente cada vez que opera la D4, se forma una pequeña laguna parásita somera y de un par de días de duración, en contacto con el BS, bajo la ubicación de monolito para control de asentamientos BS-07, siendo el monolito que presenta mayor actividad que el resto de los hitos del BS, incluyendo desplazamiento lateral. Por lo tanto, se recomienda agregar un punto de descarga adicional en las inmediaciones del estribo sur del MNO en el empalme con el BS. Dicha ubicación ya está incorporada en el plan de manejo de relaves.

9.3.4. Desplazar D5, MO

Según diseño la D5 se ubica al eje del muro, la actualización del plan de llenado sugiere desplazarla dese dicha posición hacia el estribo norte del muro en el punto de empalme con la plataforma para la ubicación del estanque distribuidor de relaves en la E6 y que comienza a construirse en la E4.

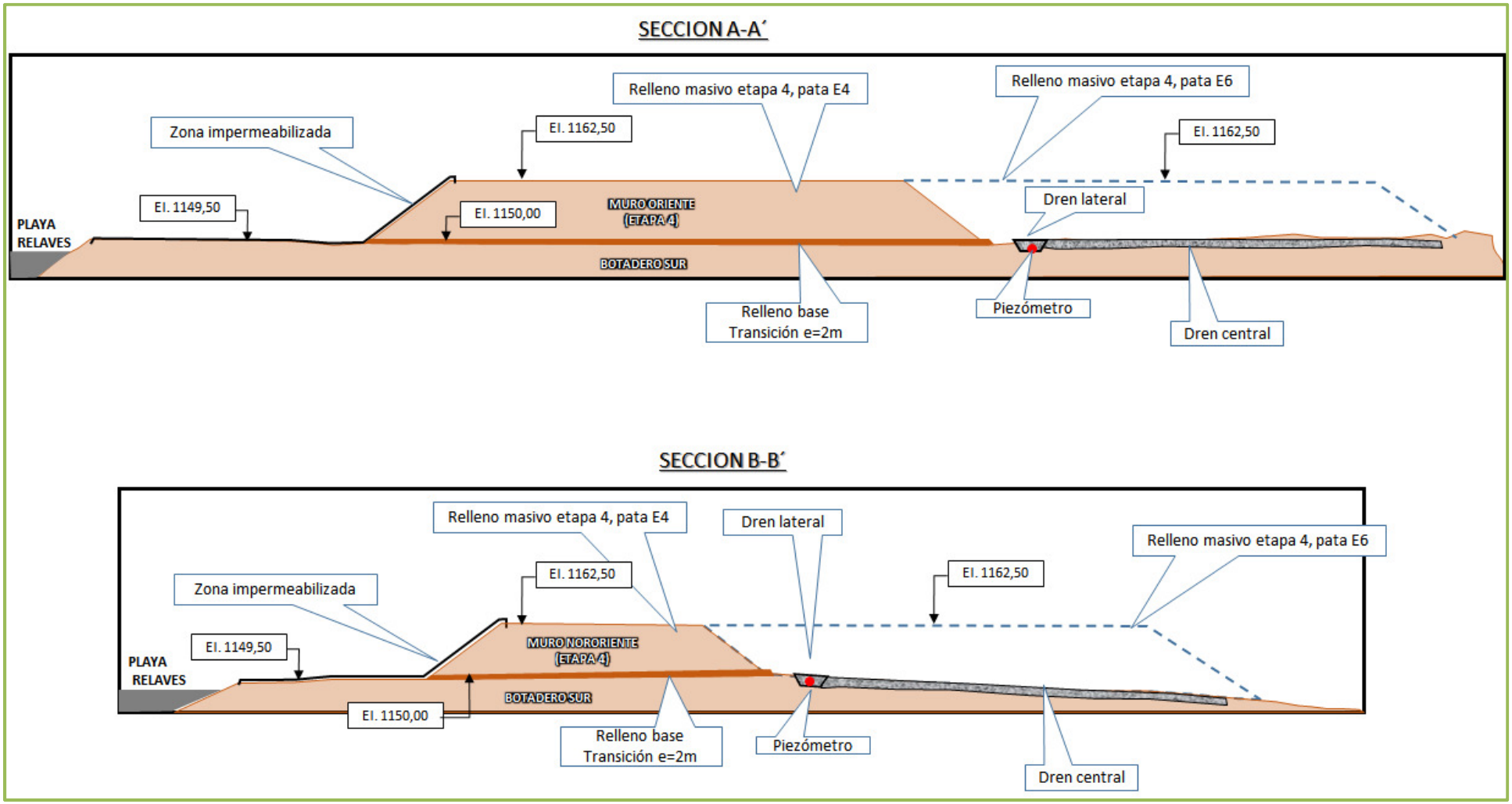
9.3.5. Impermeabilización Coronamiento BS (Aguas Arriba)

En la figura 9.1, se presenta la propuesta en estudio para la impermeabilización de la superficie de coronamiento del BS que quedará cubierta por los relaves cuando dicha plataforma entre en operación, así como una propuesta para el aumento de la instrumentación geotécnica (piezómetros). Se considera además la superficie de los taludes aguas arriba del estribo sur del MNO y el estribo norte del MO (E4) y que se apoyan sobre el BS. Contempla un sistema de drenaje aguas abajo consistente en drenes centrales y laterales sobre el coronamiento del botadero, similares a los construidos para los muros del embalse.

Figura 9-1: Solución en estudio Impermeabilización coronamiento BS, E4, Planta (ref. Wood)



Figura 9-2: Solución en estudio Impermeabilización coronamiento BS, E4, Secciones (ref. Wood)



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

Dam Safety
High Consequence Dams: West / North / NE / East (North End) Dams



Operation	CdA
Height	4 dams 33 to 151 m
Crest Length	3,2 km (combined)
Tailings Storage	297 Mm^3
Water Storage	650.000 m^3 (Operational max.)

Potential Inundation Impacts	Surveillance & Monitoring
• Inundation of open pit and plant area	• Daily, Weekly, Monthly & Quarterly surveillance • Annual Dam Safety Inspection by EoR • DSI and ITRB every one (1) yrs (Latest – 2018.03 / 2018.05)

Dam Safety
High Consequence Dams: West / North / NE / East (North End) Dams



Operation	CdA
Height	4 dams 33 to 151 m
Crest Length	3,2 km (combined)
Tailings Storage	297 Mm^3
Water Storage	650.000 m^3 (Operational max.)

Potential Inundation Impacts	Surveillance & Monitoring
• Inundation of open pit and plant area	• Daily, Weekly, Monthly & Quarterly surveillance • Annual Dam Safety Inspection by EoR • DSI and ITRB every one (1) yrs (Latest – 2018.03 / 2018.05)

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 2018

Ítem	Área	Sub Ítem	Estructura	Detalle	Estatus
1	Mantención	1.1	MS / MO / BS / MNO / MN	Prevenir la erosión de los estribos, taludes y coronamiento, mediante el control de la escorrentía superficial por precipitaciones;	Finalizado
		1.2	MS / MO(S)	Proteger de la erosión por escorrentía superficial las zanjas de anclaje lateral (geomembrana), mediante la colocación de geotextil y enrocado de armadura (Riprap);	Finalizado
		1.3	MO / MN / MNO / BS	Realizar trabajos de sellado de las grietas de talud en la capa de transición, a modo de prevenir la infiltración de relaves una vez queden cubiertas por la playa;	Finalizado
		1.4	MN / MNO	Retirar los arbustos del talud aguas arriba;	Finalizado
		1.5	MO(S) / MN	Instalar piezómetros en la playa de relaves frente al muro, de manera de monitorear la presión de poros;	2019.Q3
		1.6	MNO / BS	Instalar instrumentación en playas y en taludes, según diseño;	2020.Q2
		1.7	MNO	Alimentar con energía eléctrica el sistema de carga de la batería del acelerógrafo;	Finalizado
		1.8	BS	Instalar un segundo sismógrafo en el coronamiento de la nueva plataforma para la distribución de relaves El. 1.177,5 msnm;	2019.Q3
		1.9		Perforar un sondaje en la plataforma El. 1.141 msnm e instalar piezómetro; y	Finalizado
		1.10	MO	Nivelar la superficie del coronamiento, favoreciendo así el bombeo, y que la escorrentía superficial sea evacuada hacia el relleno masivo.	Finalizado
2	Operación	2.1	MN / MNO / BS / MO	Verificar mínimo 100 m de playa frente a aquellos muros sin impermeabilizar;	Finalizado
		2.2	MN	Mejorar aforador;	2020.Q1
		2.3		Mejorar el sistema de recolección del afloramiento intermitente, además de habilitar el sistema de bombeo que recupera las filtraciones desde la piscina del MN;	2020.Q1
		2.4	MO	Reconstruir el sistema de aforo de los drenajes; el existente se encuentra deteriorado debido a la acidez de las aguas conducidas por el sistema de recolección;	2020.Q1
		2.5	MNO / BS	Agregar un punto de descarga adicional en el estribo sur del MNO (empalme con el BS);	2019.Q3
		2.6	BS	Alejar el agua de la cara del botadero sur producto de la operación del punto de descarga rebose, mediante la instalación de otra descarga; y	Finalizado
		2.7	Trincheras	Extender la cañería de drenaje del manifold de impulsión del agua recuperada, para prevenir la erosión.	Finalizado
3	Estudios y Diseño	3.1	Embalse	Concluir estudio de almacenamiento para crecida máxima;	Finalizado
		3.2		Actualizar plan de llenado que contemple la adición de descargas adicionales;	Finalizado
		3.3		Actualizar la metodología de monitoreo de las filtraciones, de manera de identificar claramente la cantidad y orígenes de los flujos interceptados, esto deberá hacerse al momento que WSP entregue los resultados de su modelo hidrogeológico distrital;	2020.Q2
		3.4	Talud interior / coronamiento (muros)	Mayor investigación del fenómeno de agrietamientos, control de calidad del relleno de transición;	En Proceso
		3.5		Modelo de deformaciones que permita entender más acabadamente el o los mecanismos de formación de las grietas;	2019.Q4
		3.6	MO(S)	Analizar las granulometrías del relleno masivo, desarrolladas durante la construcción de la E4 del muro para chequear la compatibilidad entre el relleno de transición y el relleno masivo;	2019.Q4
		3.7	MNO	Implementar recomendaciones (ítem 8.5.2.2.4 DSI.2018), respecto de las subsidencias aguas abajo del pie del Muro;	2020.Q2
		3.8	MP	Ejecutar calicatas y/o sondajes a lo largo de eje central del muro de manera de definir la profundidad de la roca de fundación; y	2019.Q3
		3.9		Impermeabilizar con geomembrana el talud aguas arriba del MP, incorporando zanja cortafugas al pie del muro.	Finalizado
4	Monitoreo y Control	4.1	BS	Monitorear las grietas; y	Finalizado
		4.2		Ampliar el monitoreo principalmente en el Botadero Sur que permitan un seguimiento y evaluación permanente de su comportamiento, luego de la entrada en operación de la E4, cuando el coronamiento del botadero se encuentre cubierto de relaves.	2019.Q4

9.6. Recomendaciones DSI 2019

9.6.1. Longitud de Playas

Tener longitudes de playas adecuadas, es fundamental para limitar las filtraciones a través de los muros además de prevenir la saturación del relleno de transición, lo que podría producir una pérdida del relleno dentro de los rellenos masivos más gruesos, que conforman el cuerpo de los muros ya que el propósito primario del relleno de baja permeabilidad es servir de barrera para los sólidos de los relaves sometidos a una baja cabeza hidráulica, pero no para prevenir completamente que el relleno de transición ni tampoco el agua, fluyan dentro del relleno masivo. Se deja establecido que el ancho del relleno de transición fue diseñado conservadoramente (3 m de ancho) y construido a partir de la E3 más conservadoramente aún, aumentando en 1 m el ancho, debido a razones constructivas. Sin embargo, con un relleno de transición debilitado, los relaves y el agua podrían fluir dentro del cuerpo del muro y más allá. Una longitud de playa mínima de 100 m debiera mantenerse bajo condiciones extremas del nivel del pelo de agua (tormenta de diseño y/o falla en la operación del sistema de recuperación de aguas claras).

Completada ya la modelación para la capacidad de almacenamiento del embalse, bajo condiciones extremas de precipitaciones, los resultados indican que se mantienen longitudes de playa extensas, lo que permite limitar las filtraciones, salvo en algunos sectores puntuales del embalse los que deberán ser controlados mediante la adición de nuevas descargas de relaves, ya modeladas en la actualización del plan de llenado (2019). Del mismo modo, está diseñado la instalación de instrumentación tanto en los taludes de aguas arriba, como en playas, para verificar la ubicación de la superficie freática y así monitorear los efectos de los cambios de longitud de las playas. Su instalación está reprogramada para el año 2020.

La presencia de una laguna parásita no menor, de hasta 1,00 m de profundidad aproximadamente, en contacto con el MN debe tomarse como una advertencia para el actual esquema de manejo (disposición) de relaves y los procedimientos de control operacional. El diseño no considera lagunas en contacto con muros no impermeabilizados y excepcionalmente puede haber pozas por un reducido periodo de tiempo, no más de un par de días. Para evitar la ocurrencia de lo anterior, se recomienda que la operación de las descargas del MN, siempre inicie con la operación de la D2, y luego secuencialmente con la operación de D3, así se levanta la playa al pie del talud, longitudinalmente, y con inclinación poniente a oriente. Se deja establecido que el monitoreo intensivo durante el periodo de una semana, al sector aguas abajo del MN, que se verificó con motivo del hundimiento en la playa en contacto con los relaves U – V, no mostró actividad alguna que no se pueda relacionar con la operación de las mencionadas descargas, como ha ocurrido desde el año 2017, lo anterior se

estima debido a que la laguna parásita, permaneció en contacto con el muro por un periodo máximo de dos (2) días, y fue desplazada rápidamente mediante la entrada en operación de la D2.

9.6.2. Filtraciones

Se deberá monitorear de cerca, la tasa de filtración, asimismo como la duración de las descargas de relaves locales, lluvias recientes, la elevación de los relaves, la elevación del pelo de agua y calidad (principalmente la carga de sedimentos) del agua de las filtraciones.

Los registros piezométricos en el MNO muestran una ligera tendencia al alza pero con una tendencia muy inferior a la del crecimiento del relave / laguna. En la práctica en los últimos 3 años el nivel ha subido del orden de 1 m mientras que el relave / laguna ha subido del orden de 12 m. Todo lo anterior muestra un comportamiento muy estable.

Se recomienda un saneamiento de los flujos superficiales esporádicos que se verifican aguas abajo del MN, similar al que se ejecutó recientemente en el sector “El Churque” relacionado con las filtraciones del MNO.

En el costado de aguas abajo del BS, se recomienda hacer calicatas en el curso de la quebrada a pie del botadero y controlar tanto los niveles, como la calidad del agua subterránea que está siendo colectada en una piscina ya que en el sector existía una quebrada natural, la que fue parcialmente cubierta por material del botadero. En principio parece que las filtraciones que van a esta piscina escurren subterráneamente por esta quebrada.

9.6.3. Agrietamientos en la Transición

La causa específica de los agrietamientos en la capa de transición requiere de mayor investigación. El control de calidad del relleno de transición y su construcción, además del seguimiento de las grietas son muy importantes, cada una de estas actividades se desarrollan en el sitio de acuerdo a las mejores prácticas de la industria. Según lo indicado en el ítem 7.3.2, los agrietamientos existentes no presentan riesgo para la seguridad de las instalaciones, debiendo ser controlados, monitoreados y vigilados regularmente, tal y como se ha venido haciendo en el sitio hasta la fecha.

Una medida para reducir este efecto es disminuir la altura de crecimiento entre el nivel superior de la capa de transición y la playa de relave, lo que se conseguiría de manera óptima, si se implementa un cambio de la construcción de etapa completa a subetapas para cada una de las dos (2) etapas de construcción restantes. Esto debe ser evaluado por Teck CdA, previo a su eventual implementación.

En el mismo contexto, otra opción para tratar el problema sería reducir la densidad de la capa de transición, lo que no eliminaría la aparición de grietas, dada la cohesión del material del relleno de transición, sin embargo se estima que podría reducir el espesor de los agrietamientos. Estas medidas están en estudio como parte del alcance de la actualización del diseño, y al igual que lo indicado en el párrafo anterior, esto debe ser evaluado por Teck CdA, previo a su posible implementación.

Agrietamientos distintos a los históricos, se reportaron en el hombro del muro MS y del muro MN luego del terremoto 19E, se deja establecido que estos no constituyen ningún riesgo para las instalaciones, dado que se verificaron en tramos del relleno masivo sobre el cual se había colocado una pequeña capa de relleno de transición sin compactar, con el objetivo de dar continuidad geométrica a las escuadras para corte (taluceras), que se instalan previo al trabajo de corte y retiro.

9.6.4. MS

Se debe controlar la escorrentía superficial mediante zanjas;

Finalizar la protección de las zanjas de anclaje laterales para la geomembrana, de la erosión por escorrentía superficial mediante la colocación de geotextil y enrocado de armadura (riprap); y

Monitorear las grietas al hombro de la E4 y repararlas al momento que el relleno de transición alcance la cota de coronamiento del relleno masivo.

9.6.5. MO(S)

Se debe controlar la escorrentía superficial mediante zanjas;

Revisar el diseño de la impermeabilización, para definir si es necesario cubrir con liner la superficie del terreno natural en la interfaz de las etapas E3 y E4;

Proteger la zanja de anclaje lateral de la geomembrana, de la erosión por escorrentía superficial mediante la colocación de geotextil y enrocado de armadura (riprap); y

Instalar piezómetros en la playa de relaves frente al muro.

9.6.6. MO – Aguas Arriba

Prevenir la erosión de los estribos, taludes y coronamiento, controlando la escorrentía superficial por precipitaciones;

Retirar el material con exceso de humedad presente en el relleno masivo al coronamiento del muro, en la parcela #3; y

Reparar las grietas de la plataforma E3, previo a la construcción de la E4.

9.6.7. MO – Aguas Abajo

Reconstruir el sistema de aforo de las filtraciones, ya que el existente se encuentra deteriorado. Requiere diseño y la solución debe estar implementada antes del periodo invernal del 2020 y;

Cubrir la cañería de descarga del sistema de drenaje del muro, la que se encuentra descubierta por las pruebas de estanqueidad ejecutadas a la cañería;

9.6.8. MNO – Aguas Arriba

Habilitar descarga de relaves en el vértice del MNO con el BS, a la El. de coronamiento de la E3;

Prevenir la erosión de los estribos, taludes y coronamiento, controlando la escorrentía superficial por precipitaciones, Requiere diseño y la solución debe estar implementada antes del periodo invernal del 2020.; y

Reparar las grietas de la plataforma El. 1.149,5 msnm previo al inicio de la construcción del relleno de transición de la E4 y rellenar con arena las grietas de talud previo a que queden cubiertas por los relaves.

9.6.9. MN – Aguas Arriba

Prevenir la erosión de los estribos y taludes, controlando la escorrentía superficial por precipitaciones. Requiere diseño y la solución debe estar implementada antes del periodo invernal del 2020;

Iniciar siempre la secuencia de descarga de relaves en el MN, operando primero la D2 y secuencialmente la D3;

Desplazar la D2 hacia el vértice del muro y orientarla en sentido sur poniente;

Explorar el área del coronamiento que presenta baja permeabilidad (agua estancada y de color azulado en el estribo oriente al pie del Co. Arenas). Este sector que fue utilizado como estacionamiento de camiones durante los trabajos de corte y retiro en el periodo; y

Instalar (2) dos piezómetros en la playa de relaves frente al muro, para monitorear la presión de poros.

9.6.10. MN – Aguas Abajo

Mejorar el sistema de recolección de filtraciones del afloramiento intermitente, además de habilitar el sistema de bombeo que recupera las filtraciones desde la piscina del MN.

9.6.11. BS

Monitorear las grietas;

Evitar la erosión del talud, asociado con la operación del rebose del TK-042, alejando del talud la cañería respectiva, junto con sus cañerías de agua (menores) asociadas, desplazándolas hacia el poniente dentro de la playa de relaves;

Proteger la cara del talud de la actividad descontrolada del rebose por caída de la bomba PU-090 (distribución de relaves), protegiendo el talud con un enrocado y / o impermeabilizando la zona de influencia con liner, el que ha dado buenos resultados cuando se asocia con las descargas de relaves;

Instalar el segundo sismógrafo en el coronamiento de la nueva plataforma para la distribución de relaves El. 1.177,5 msnm (E5); y

Definir en el más corto plazo la necesidad del revestimiento con liner de la plataforma de coronamiento del Botadero y del talud aguas arriba de los muros apoyados sobre dicha plataforma, es decir el estribo sur del MNO, la plataforma del TK-042 reubicado y el estribo norte del MO.

9.6.12. MP

Ejecutar calicatas y sondaje a lo largo del eje central y de las zanjas de anclaje laterales del muro, para definir la profundidad de la roca de fundación; y

Impermeabilizar el talud aguas arriba del muro con geomembrana.

9.6.13. Trincheras

Evaluar la factibilidad técnica de desplazar las trincheras restantes hacia la quebrada inmediatamente hacia el sur de aquella del diseño original, y emitir diseño.

9.6.14. Monitoreo y control

Se requiere actualizar la metodología de monitoreo de las filtraciones, de manera de identificar claramente la cantidad y orígenes de los flujos interceptados, esto deberá hacerse al momento que WSP entregue los resultados de su modelo hidrogeológico distrital;

Considerar la instalación de piezómetros aguas arriba de los muros, según diseño del año 2017;

Otorgar permisos al EoR, Sr. Luis Gonzalez Caro, para revisar en tiempo real la actividad de la instrumentación que forma parte del proyecto TAPD 2017;

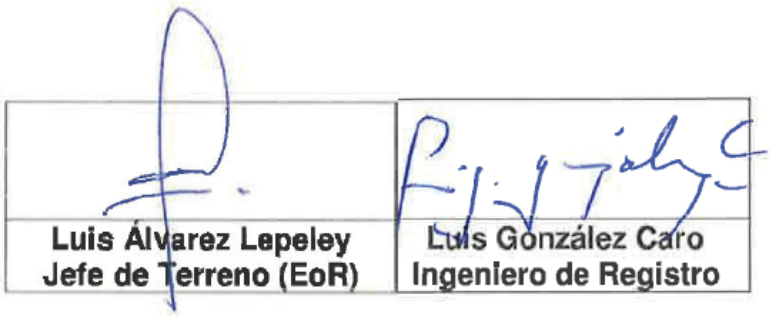
Se debe gestionar que el EoR reciba el informe InSAR inmediatamente una vez emitido por el responsable del monitoreo; y

El EoR debe emitir informe mensual con el análisis del InSAR, al momento que se contrate definitivamente el monitoreo mediante dicha tecnología.

10.0 ANEXOS

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

Wood - División de Medio Ambiente e Infraestructura



Luis Álvarez Lepeley Jefe de Terreno (EoR)	Luis González Caro Ingeniero de Registro

ANEXO A
REGISTRO FOTOGRÁFICO



Foto 1: Mirador Co. Tapadera – Agua alejada de los muros # 1, vista hacia el Nor - Poniente



Foto 2: Mirador Co. Tapadera – Agua alejada de los muros # 2, vista hacia el Sur - Poniente

wood.	PROJECT: TECK CdA TSF				
	CLIENT: TECK	DATE: April 2019	JOB No.: E40165	PAGE: 1	REV.:



Foto 3: Mirador Co. Tapadera – Playa de relaves húmeda por reciente operación de la D5, vista hacia el Norte



Foto 4: MN – Laguna parásita profunda (1,00 m) en contacto con el muro # 1, vista hacia el Sur - Poniente

wood.	PROJECT: TECK CdA TSF				
	CLIENT: TECK	DATE: April 2019	JOB No.: E40165	PAGE: 2	REV.:



Foto 5: MNO estribo Sur – Agrietamientos en el relleno de transición # 1, vista hacia el Nor - Poniente



Foto 6: El Churque – Sistema colector de afloramientos (MNO-AFL) # 1

wood.	PROJECT: TECK CdA TSF				
	CLIENT: TECK	DATE: April 2019	JOB No.: E40165	PAGE: 3	REV.:



Foto 7: MS estribo Oriente – E4 – El. 1.162,5 msnm, vista hacia el Poniente



Foto 8: MS estribo Poniente – E4 – El. 1.162,5 msnm, vista hacia el Oriente

wood.	PROJECT: TECK CdA TSF				
	CLIENT: TECK	DATE: April 2019	JOB No.: E40165	PAGE: 4	REV.:



Foto 9: MS estribo Poniente – E3 – El. 1.149,5 msnm, Riprap zanja de anclaje lateral, vista hacia el Oriente



Foto 10: MS – Talud aguas arriba post corte y retiro, vista hacia el Poniente

wood.	PROJECT: TECK CdA TSF				
	CLIENT: TECK	DATE: April 2019	JOB No.: E40165	PAGE: 5	REV.:



Foto 11: MS estribo Oriente - Panorámica - E3 (liner) y E4 (corte y retiro), vista hacia el Poniente



Foto 12: MS – Agrietamientos en el hombro E4 #1

wood.	PROJECT: TECK CdA TSF				
	CLIENT: TECK	DATE: April 2019	JOB No.: E40165	PAGE: 6	REV.:



Foto 13: MS – Agrietamientos en el hombro E4 #2

wood.	PROJECT: TECK CdA TSF				
	CLIENT: TECK	DATE: April 2019	JOB No.: E40165	PAGE: 7	REV.:



Foto 14: MS – Agrietamientos en el hombro E4 #3



Foto 15: MO(S) vertice Sur – E4 - El. 1.162,5 msnm - Talud aguas arriba previo perfilado # 1, vista hacia el Norte



Foto 16: MO(S) vertice Sur – E4 - El. 1.162,5 msnm - Talud aguas arriba previo perfilado # 2, vista hacia el Norte

	PROJECT: TECK CdA TSF				
	CLIENT: TECK	DATE: April 2019	JOB No.: E40165	PAGE: 9	REV.:

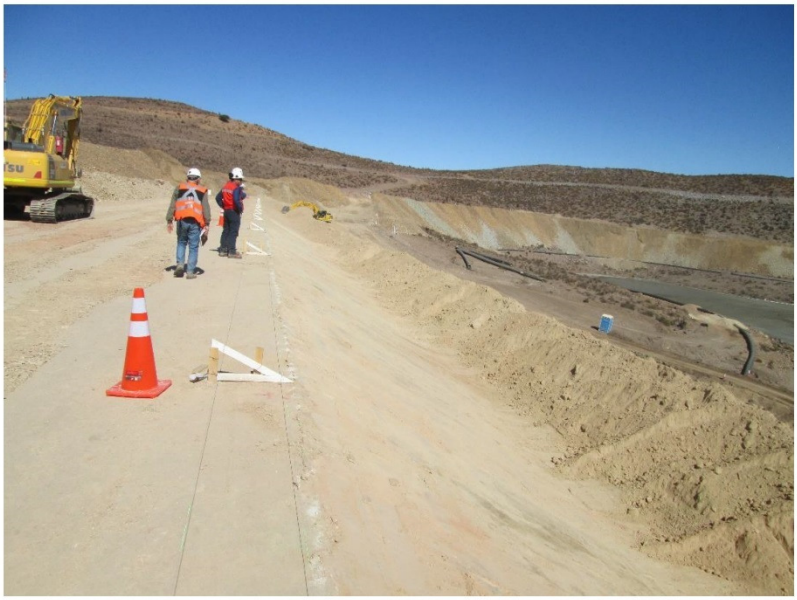


Foto 17: MO(S) – E4 - El. 1.162,5 msnm - Talud aguas arriba inicio perfilado # 1, vista hacia el Sur - Poniente



Foto 18: MO(S) – E4 - El. 1.162,5 msnm - Talud aguas arriba inicio perfilado # 2, vista hacia el Nor - Oriente

wood.	PROJECT: TECK CdA TSF				
	CLIENT: TECK	DATE: April 2019	JOB No.: E40165	PAGE: 10	REV.:



Foto 19: MO(S) – E4 - El. 1.162,5 msnm - Talud aguas arriba previo a perfilado # 3, vista hacia el Sur



Foto 20: BS - Pl. El. 1.141 msnm cubierta por relaves – Playa húmeda por operacion D5 # 1, vista desde el estribo Norte del MO hacia el Poniente

wood.	PROJECT: TECK CdA TSF				
	CLIENT: TECK	DATE: April 2019	JOB No.: E40165	PAGE: 11	REV.:



Foto 21: BS - Pl. El. 1.141 msnm cubierta por relaves – Playa húmeda por operacion D5 # 2, vista desde el MO hacia el Nor - Poniente



Foto 22: BS – Hundimiento en playa en posición del sondaje DH-08 # 1, visto desde el MO estribo Norte

wood.	PROJECT: TECK CdA TSF				
	CLIENT: TECK	DATE: April 2019	JOB No.: E40165	PAGE: 12	REV.:



Foto 23: BS – Hundimiento playa de relaves en posición del sondaje DH-08 # 2, visto desde MO estribo Norte



Foto 24: MO – Burbujeo en playa



Foto 25: MO - Talud aguas arriba, vista desde el BS hacia el Oriente



Foto 26: MO estribo Sur – Erosion superficial por escorrentía superficial, vista hacia el Norte

wood.	PROJECT: TECK CdA TSF				
	CLIENT: TECK	DATE: April 2019	JOB No.: E40165	PAGE: 14	REV.:



Foto 27: MO – Talud aguas arriba agrietamientos, vista desde el BS hacia el Oriente



Foto 28: MNO estribo Sur – Agrietamientos en el relleno de transición # 2, vista hacia el Nor - Poniente

wood.	PROJECT: TECK CdA TSF				
	CLIENT: TECK	DATE: April 2019	JOB No.: E40165	PAGE: 15	REV.:



Foto 29: MN estribo Oriente – Pl. E3 – El. 1.162,5 msnm – Talud aguas arriba, vista hacia el Poniente



Foto 30: MN – Talud aguas arriba E4



Foto 31: MN – Agrietamientos en el hombro E4 # 1



Foto 32: MN – Agrietamientos en el hombro E4 # 2

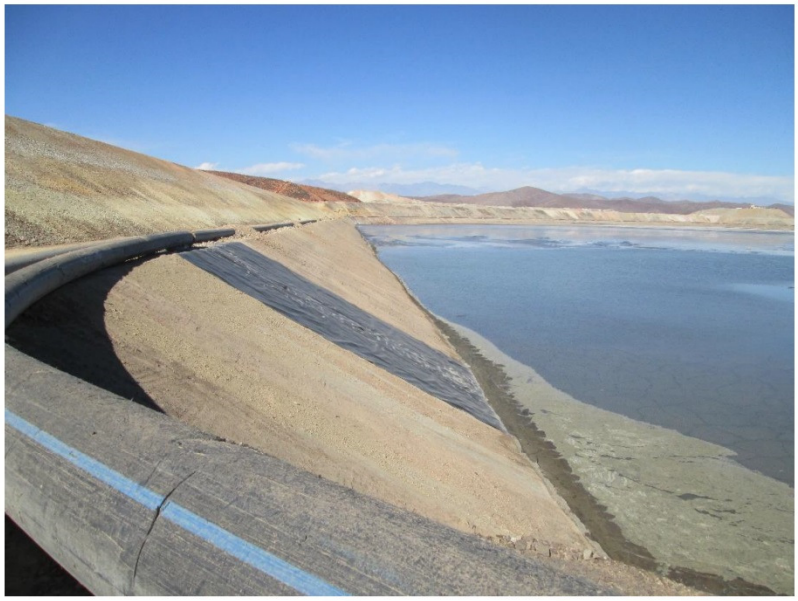


Foto 33: MN estribo Poniente – Talud aguas arriba, vista hacia el Oriente



Foto 34: MN – Laguna parásita profunda (1,00 m) en contacto con el muro # 2, vista hacia el Sur - Poniente

wood.	PROJECT: TECK CdA TSF				
	CLIENT: TECK	DATE: April 2019	JOB No.: E40165	PAGE: 19	REV.:



Foto 35: MN – Laguna parásita profunda (1,00 m) en contacto con el muro # 3, vista hacia el Sur - Poniente



Foto 36: MN – Laguna parásita profunda (1,00 m) en contacto con el muro # 4, vista hacia el Sur - Poniente

wood.	PROJECT: TECK CdA TSF				
	CLIENT: TECK	DATE: April 2019	JOB No.: E40165	PAGE: 20	REV.:



Foto 37: MN – Laguna parásita profunda (1,00 m) en contacto con el muro # 5, vista hacia el Oriente



Foto 38: Botadero relaves UV – Burbujeo en playa aguas arriba, vista hacia el Oriente

wood.	PROJECT: TECK CdA TSF				
	CLIENT: TECK	DATE: April 2019	JOB No.: E40165	PAGE: 21	REV.:



Foto 39: MN – Sinkhole en playa hacia botadero relaves UV # 1, vertice relaves UV - MN, vista hacia el Oriente



Foto 40: MN – Sinkhole en playa hacia botadero relaves UV # 2, vertice relaves UV - MN, vista hacia el Sur

wood.	PROJECT: TECK CdA TSF				
	CLIENT: TECK	DATE: April 2019	JOB No.: E40165	PAGE: 22	REV.:



Foto 41: MN – Sinkhole en playa hacia botadero relaves UV # 3, vertice relaves UV - MN



Foto 42: MN – Sinkhole en playa hacia botadero relaves UV # 4, vertice relaves UV - MN, vista hacia el Norte

wood.	PROJECT: TECK CdA TSF				
	CLIENT: TECK	DATE: April 2019	JOB No.: E40165	PAGE: 23	REV.:



Foto 43: MN – Sinkhole en playa hacia botadero relaves UV # 5, vertice relaves UV - MN



Foto 44: Estación de monitoreo remoto – Vista desde el BS, Pl. El. 1.177,5 msnm hacia el Oriente



Foto 45: BS – Pl. 1.177,5 msnm nuevo TK de distribución



Foto 46: BS – Erosión de talud por actividad de cañerias de rebose y agua



Foto 47: Trinchera #8



Foto 48: Estación total para monitoreo remoto en tiempo real

wood.	PROJECT: TECK CdA TSF				
	CLIENT: TECK	DATE: April 2019	JOB No.: E40165	PAGE: 26	REV.:



Foto 49: MNO – Aguas abajo camino minero



Foto 50: El Churque – Sistema colector de afloramientos (MNO-AFL) #2

wood.	PROJECT: TECK CdA TSF				
	CLIENT: TECK	DATE: April 2019	JOB No.: E40165	PAGE: 27	REV.:



Foto 51: MN – Aguas abajo (afloramientos secos)



Foto 52: MO – Aguas abajo - Aforador sistema de drenajes

wood.	PROJECT: TECK CdA TSF				
	CLIENT: TECK	DATE: April 2019	JOB No.: E40165	PAGE: 28	REV.:



Foto 53: MO / BS – Aguas abajo - Piscina colectora agua ácida pila ROM



Foto 54: MO / BS – Aguas abajo - Piscina colectora filtraciones ácidas

ANEXO B1
REGISTRO DE INSPECCIÓN DE TERRENO
MS

Teck wood.

Proyecto #	E40165	**Ubicación**	Teck - CdA
Muro	MS	**Fecha de Inspección**	2019.04.01

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 JUAN AGUILERA **Otros** MICKEY DAUGHTY. LUIS GONZALEZ

Representante Wood LUIS ALVAREZ L JOHN POTTIE. LUIS DIAZ

Clima

	Actual	3 días atrás	2 semanas atrás
Seco	☑	☑	☑
Neblina	☐	☐	☐
Lluvia	☐	☐	☐
Lluvia Intensa	☐	☐	☐

Condición del Muro

Operando ☑ **Abandonado** ☐ **Notas:**

Información del Muro

El. Laguna 1140,24 [msnm] **Revancha** 592 [m]

El. Coronamiento 1149,5 [msnm] **Δ Laguna / Coronamiento** 9,26 [m]

Metodo de Constructivo del Muro

Eje central ☐ **Otro**

Aguas Abajo ☑

Actividades de Construcción / Operación Local

Relleno Masivo	☑	CORTADO Y RETIRADO E4
Relleno Transición	☑	RELLENO TRANSICIÓN (iniciando)
Impermeabilización	☐	
Descarga	☐	
Otro	☐	

Razón de la Inspección

Rutinaria	☐	
Condición Especial	☑	DSI 2019

Nomenclatura Puntaje

S = Satisfactorio. Cumple intención de diseño,
F = Apropiado. Cumple intención de diseño. Mantención / 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.

Teck wood.

1. Talud Aguas Arriba / Playa de Relaves

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
1.1	Protección del Talud	✓	S		
1.2	Erosion Superficial	✓	F		
1.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	S		
1.4	Sinkholes	✓	S		
1.5	Grietas / desplazamientos	✓	F	PEQUEÑA GRIETA LOCAL EN TALUD	
1.6	Escombros	✓	S		
1.7	Vegetación	✓	S		
1.8	Evidencia de nivel freatico alto	✓	S	SIN EVIDENCIA	
1.9	Otras condiciones inusuales	–			

Notas: LAS GRIETAS DE TALUD SE UBICAN EN UN SECTOR SOBRE EL CORONAMIENTO SOBRE EL CUAL SE COLOCO SIN COMPACTAR RELLENO DE TRANSICION PARA NIVELAR GEOMETRIA

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

/ LAS TALUDES DE CORTE Y RELLENO

Teck wood.

2. Coronamiento

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
2.1	Grietas Superficiales Transversales	✓	~~F~~ 15		
2.2	Grietas Superficiales Longitudinales	✓	F	AGRIETAMIENTO S.D. EN EL ESTRIBO PONIENTE. ASOC. TPE/RELLENO FINO NO DRENANTE ✓	
2.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	S		
2.4	Sinkholes	✓	S		
2.5	Desplazamientos Laterales	✓	S		
2.6	Protección Superficial	✓	S		
2.7	Erosión	✓	S		
2.8	Vegetación	✓	S		
2.9	Madrigueras de animales	✓	S		

Notas: • SI EL MAT. DE RELLENO MASIVO REUSAR COMO ESTA ✓
• COMPACTADO DEL 30% DE DE RELLENO.
• REUSADA C/FONDO DE QUEBRADA. MAXIMA ALTURA

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

Teck wood.

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: TALUD AGUAS ABAJO.
NO TIENE A LA FECHA DE LA INSPECCION

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

Teck wood.

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

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
4.1	Condición Superficial	✓	S		
4.2	Vegetación y Escombros	✓	S		
4.3	Protección del talud	✓	S		
4.4	Desplazamientos	✓	S		
4.5	Erosión	✓	I	PROTEGER RUN OFF DEL VENO MASIVO C.° CONTROLAR.	
4.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	S		
4.7	Otras condiciones inusuales	—	—		

Notas: PROTEGER LA ZANJA DE ANCLAJE DEL RUN OFF COLOCANDO RIP RAP.

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

Teck wood.

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

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
5.1	Condición Superficial	✓	S		
5.2	Vegetación y Escombros	✓	S		
5.3	Protección del talud	✓	S		
5.4	Desplazamientos	✓	S		
5.5	Erosión	✓	F	PARCIALMENTE PROTEGIDO (RIPRAP)	
5.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	S		
5.7	Otras condiciones inusuales	—	—		

Notas:

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

Teck wood.

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: SIN OBRAS DE CONTROL DE DRENAJE AL MOMENTO DE LA VISITA.

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

Teck wood.

7. Instrumentación

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
7.1	Piezómetros	—	—	—	
7.2	Monolitos	✓		NO SE PUEDEN NIVELAR X ACTIVIDAD DE CONSTR.	
7.3	Aforadores	—	—	—	
7.4	Otros				

Notas: SIN INSTRUMENTACION HABILITADA PARA LA ACTUAL ETAPA DE DISEÑO (E3)

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

ANEXO B2
REGISTRO DE INSPECCIÓN DE TERRENO
MO(S)

Teck wood.

Proyecto #	E40165	Ubicación	Teck - CdA
Muro	MO(S)	Fecha de Inspección	2019.04.01

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: JA. Otros: M.D - LG

Representante Wood: LA. J.P. - LD

Clima

	Actual	3 días atrás	2 semanas atrás
Seco	☑	☑	☑
Neblina	☐	☐	☐
Lluvia	☐	☐	☐
Lluvia Intensa	☐	☐	☐

Condición del Muro

Operando ☑ Abandonado ☐ Notas:

Información del Muro

El. Laguna 1140,24 [msnm] Revancha S/H [m]

El. Coronamiento 1149,5 [msnm] Δ Laguna / Coronamiento 9,26 [m]

Metodo de Constructivo del Muro

Eje central ☐ Otro

Aguas Abajo ☑

Actividades de Construcción / Operación Local

Relleno Masivo	☐	
Relleno Transición	☑	INICIO PERFILADO EA
Impermeabilización	☐	
Descarga	☐	
Otro	☐	

Razón de la Inspección

Rutinaria	☐	
Condición Especial	☑	DSI 2019

Nomenclatura Puntaje

S = Satisfactorio. Cumple intención de diseño,
F = Apropiado. Cumple intención de diseño. Mantención / 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.

Teck wood.

1. Talud Aguas Arriba / Playa de Relaves

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
1.1	Protección del Talud	✓	S		
1.2	Erosion Superficial	✓	S		
1.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	S		
1.4	Sinkholes	✓	S		
1.5	Grietas / desplazamientos	✓	S		
1.6	Escombros	✓	S		
1.7	Vegetación	✓	S		
1.8	Evidencia de nivel freatico alto	✓	S		
1.9	Otras condiciones inusuales				

Notas:

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

Teck wood.

2. Coronamiento

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
2.1	Grietas Superficiales Transversales	✓	S		
2.2	Grietas Superficiales Longitudinales	✓	S		
2.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	S		
2.4	Sinkholes	✓	S		
2.5	Desplazamientos Laterales	✓	S		
2.6	Protección Superficial	✓	S		
2.7	Erosión	✓	S		
2.8	Vegetación	✓	S		
2.9	Madrigueras de animales				

Notas: LA ULTIMA CAPA DE RELLENO DE TRANSICION SE CONSTRUYO C/ 1% DE PENDIENTE HACIA AGUAS ABAJO

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

Teck wood.

3. Talud Aguas Abajo

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
3.1	Protección del Talud	✓	5		
3.2	Erosion Superficial	✓	5		
3.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	5		
3.4	Sinkholes	✓	5		
3.5	Grietas / desplazamientos	✓	5		
3.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	5		
3.7	Vegetación	✓	5		
3.8	Madrigueras de animales	✓	5		
3.9	Angulo	✓	5		
3.10	Otras condiciones inusuales				

Notas:

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

Teck wood.

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

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
4.1	Condición Superficial	✓	S		
4.2	Vegetación y Escombros	✓	S		
4.3	Protección del talud	✓	S		
4.4	Desplazamientos	✓	S		
4.5	Erosión	✓	S	PROTEGER RE (RIPRAP) EROSIÓN SUPERFICIAL ZANJA DE ANCLAJE LATERAL	
4.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	S		
4.7	Otras condiciones inusuales				

Notas: FALTA RETIRAR COBERTURA DE SUELO ENTRE ESTACA (OBRAS TEMPRANAS) — LINER

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

Teck wood.

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

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
5.1	Condición Superficial	✓	S		
5.2	Vegetación y Escombros	✓	S		
5.3	Protección del talud	✓	S		
5.4	Desplazamientos	✓	S		
5.5	Erosión	✓	S	thin TLAP	
5.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	S		
5.7	Otras condiciones inusuales	-	-		

Notas:

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

Teck wood.

6. Drenaje Aguas Abajo y Obras Colectoras de Filtraciones

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
6.1	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	5		
6.2	Signos de Inestabilidad	✓	5		
6.3	Vegetación	✓	5		
6.4	Otras condiciones inusuales	—	—		

Notas: LOS DRENES SE ENCUENTRAN CONSTRUIDOS Y TAPADOS X EL CRECIMIENTO NATURAL DE PIEZOMETROS SIN ACTIVIDAD

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

Teck wood.

7. Instrumentación

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
7.1	Piezómetros	✓	S		
7.2	Monolitos	✓	S	NO ~~[illegible]~~ NIVELAR X ACTIVIDAD DE CONSTRUCCIÓN	
7.3	Aforadores	—	—		
7.4	Otros	—	—		

Notas:

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

ANEXO B3
REGISTRO DE INSPECCIÓN DE TERRENO
MO

Teck wood.

Proyecto #	E40165	Ubicación	Teck - CdA
Muro	MD	Fecha de Inspección	2019.04.01

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	JA.	Otros	M.D – L.G.
Representante Wood	LA		J.P. – L.D.

Clima

	Actual	3 días atrás	2 semanas atrás
Seco	☑	☑	☑
Neblina	☐	☐	☐
Lluvia	☐	☐	☐
Lluvia Intensa	☐	☐	☐

Condición del Muro

Operando ☑ Abandonado ☐ Notas: _____

Información del Muro

El. Laguna 1149,24 [msnm] Revancha 1,84 [m]

El. Coronamiento 1149,50 [msnm] Δ Laguna / Coronamiento 9,26 [m]

Metodo de Constructivo del Muro

Eje central ☐ Otro _____

Aguas Abajo ☑

Actividades de Construcción / Operación Local

Relleno Masivo	☐	FALTA CONFIRMAR ESTIMACION EN TERRENO
Relleno Transición	☐	
Impermeabilización	☐	
Descarga	☐	
Otro	☐	

Razón de la Inspección

Rutinaria	☐	
Condición Especial	☑	Post 2015

Nomenclatura Puntaje

S = Satisfactorio. Cumple intención de diseño,
F = Apropiado. Cumple intención de diseño. Mantención / 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.

Teck wood.

1. Talud Aguas Arriba / Playa de Relaves

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
1.1	Protección del Talud	✓	5		
1.2	Erosion Superficial	✓	5		
1.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	5		
1.4	Sinkholes	✓	5	MONITOREAR DH 08 EMPLAZAMIENTO.	
1.5	Grietas / desplazamientos	✓	7	LONGITUDINAL // AL MURO	
1.6	Escombros	✓	5		
1.7	Vegetación	✓	7	ARBOLES (REMOVER) O MATAR.	
1.8	Evidencia de nivel freatico alto	✓	5	— o.	
1.9	Otras condiciones inusuales				

Notas:

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

Teck wood.

2. Coronamiento

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
2.1	Grietas Superficiales Transversales	✓	S		
2.2	Grietas Superficiales Longitudinales	✓	F	GRIETAS EN CORONAMIENTO SUPERFICIALES. RELLENO C/ARENA FINA/MEDIA.	
2.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	S	CHEQUEAR PTO. MÁX ASENT. MAY? NO	
2.4	Sinkholes	✓	S		
2.5	Desplazamientos Laterales	✓	S		
2.6	Protección Superficial	✓	S		
2.7	Erosión	✓	F	PROTEGER DRENOFF	
2.8	Vegetación	✓	S	ARBOL PEQUEÑO EN TALUD ESTRIBO DERECHO.	
2.9	Madrigueras de animales	✓	S		

Notas: EXCESO DE Hdd, PARCELA 3 RELLENO MAGRO.

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

Teck wood.

3. Talud Aguas Abajo

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
3.1	Protección del Talud	✓	S		
3.2	Erosion Superficial	✓	S		
3.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	S		
3.4	Sinkholes	✓	S	—	
3.5	Grietas / desplazamientos	✓	S		
3.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	S		
3.7	Vegetación	✓	S		
3.8	Madrigueras de animales	✓	S		
3.9	Angulo	✓	F	ANGULO LEVEMENTE SUPERIOR AL DE DISEÑO > 1,8(H):1(V)	
3.10	Otras condiciones inusuales				

Notas:

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

Teck wood.

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

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
4.1	Condición Superficial	✓	S		
4.2	Vegetación y Escombros	✓	S		
4.3	Protección del talud	✓	S		
4.4	Desplazamientos	✓	S		
4.5	Erosión	✓	S		
4.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	S		
4.7	Otras condiciones inusuales	—	—		

Notas:

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

Teck wood.

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

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
5.1	Condición Superficial	✓	S		
5.2	Vegetación y Escombros	✓	S		
5.3	Protección del talud	✓	S		
5.4	Desplazamientos	✓	S		
5.5	Erosión	✓	F	RUNOFF CONDUCIR Y SACAR DEL MURO	
5.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	S		
5.7	Otras condiciones inusuales				

Notas: ESTE ESTRIBO SE APOYA SOBRE CO SE DEBE PROTEGER DE LA EROSIÓN SUPERFICIAL

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

Teck wood.

6. Drenaje Aguas Abajo y Obras Colectoras de Filtraciones

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
6.1	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	S	Gi-tiltrado ES	
6.2	Signos de Inestabilidad	✓	S		
6.3	Vegetación	✓	S		
6.4	Otras condiciones inusuales				

Notas:

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

Teck wood.

7. Instrumentación

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
7.1	Piezómetros	✓	S	3 OPERATIVOS SIN ACTIVIDAD	
7.2	Monolitos	✓	S		
7.3	Aforadores	✓	F	RECONSTRUIR	
7.4	Otros				

Notas:

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

ANEXO B4
REGISTRO DE INSPECCIÓN DE TERRENO
BS

Teck wood.

Proyecto #	E40165	Ubicación	Teck - CdA
Muro	2.5	Fecha de Inspección	2019.04.01

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: IA — Otros: MD · LG

Representante Wood: LA — JP · LD

Clima

	Actual	3 días atrás	2 semanas atrás
Seco	☑	☑	☑
Neblina	☐	☐	☐
Lluvia	☐	☐	☐
Lluvia Intensa	☐	☐	☐

Condición del Muro

Operando: ☑ — Abandonado: ☐ — Notas:

Información del Muro

El. Laguna: 1140,24 [msnm] — Revancha: 7,13 [m]

El. Coronamiento: 1149,50 [msnm] — Δ Laguna / Coronamiento: 9,26 [m]

Metodo de Constructivo del Muro

Eje central: ☐ — Otro:

Aguas Abajo: ☑

Actividades de Construcción / Operación Local

Relleno Masivo	☐
Relleno Transición	☐
Impermeabilización	☐
Descarga	☐
Otro	☐

Razón de la Inspección

Rutinaria: ☐

Condición Especial: ☑ DSi 2019

Nomenclatura Puntaje

S = Satisfactorio. Cumple intención de diseño,
F = Apropiado. Cumple intención de diseño. Mantención / 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.

Teck wood.

1. Talud Aguas Arriba / Playa de Relaves

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
1.1	Protección del Talud	✓	7		
1.2	Erosion Superficial	✓	±	EROSION EN LA CARA DEL BS X CERCA DE TEBOSE / DE PAMA	
1.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	S		
1.4	Sinkholes	✓	S	CHEQUEAR DH.08 EN PLAYA, (SINK HOLE) SEGUIMIENTO DIARIO	
1.5	Grietas / desplazamientos	✓	±	REVISAR X GRIETAS BS MONITOREAR EN DETALLE	
1.6	Escombros	✓	S		
1.7	Vegetación	✓	S		
1.8	Evidencia de nivel freatico alto	✓	S		
1.9	Otras condiciones inusuales				

Notas: NUEVA CAÑERIA DE REBOSE SOBRE LA PLATAFORMA DE ENROCADO Y QUE SE VAYA SUBIENDO PERIODICAMENTE / DESCARGANDO DENTRO DE LA PLAYA.

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

Teck wood.

2. Coronamiento

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
2.1	Grietas Superficiales Transversales	✓	F		
2.2	Grietas Superficiales Longitudinales	✓	F		
2.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	S		
2.4	Sinkholes	✓	S		
2.5	Desplazamientos Laterales	✓	S		
2.6	Protección Superficial	✓	S		
2.7	Erosión	✓	S		
2.8	Vegetación	✓	S		
2.9	Madrigueras de animales	✓	S		

Notas: DI SENSO FINAL SELLO CORONAMIENTO LINEA AGUAS ARRIBA DE LADERA DELA

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

Teck wood.

3. Talud Aguas Abajo

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
3.1	Protección del Talud	✓	5		
3.2	Erosion Superficial	✓	5		
3.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	5		
3.4	Sinkholes	✓	5		
3.5	Grietas / desplazamientos	✓	5		
3.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	5		
3.7	Vegetación	✓	5		
3.8	Madrigueras de animales	✓	5		
3.9	Angulo	✓	5		
3.10	Otras condiciones inusuales				

Notas:

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

Teck wood.

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

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
4.1	Condición Superficial	√	F		
4.2	Vegetación y Escombros	√	S		
4.3	Protección del talud	√	F	AGRIETAMIENTOS EN EL CTTO C/EL MURO	
4.4	Desplazamientos	√	S		
4.5	Erosión	√	F		
4.6	Filtraciones / Superficies húmedas	√	S		
4.7	Otras condiciones inusuales				

Notas:

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

Teck wood.

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

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
5.1	Condición Superficial	✓	S		
5.2	Vegetación y Escombros	✓	S		
5.3	Protección del talud	✓	S		
5.4	Desplazamientos	✓	S		
5.5	Erosión	✓	S		
5.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	S		
5.7	Otras condiciones inusuales				

Notas: PRESENTA MEJOR CONTROL QUE EL RESTO DEL BS.

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

Teck wood.

6. Drenaje Aguas Abajo y Obras Colectoras de Filtraciones

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
6.1	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	5		
6.2	Signos de Inestabilidad	✓	5		
6.3	Vegetación	✓	5		
6.4	Otras condiciones inusuales				

Notas:

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

Teck wood.

7. Instrumentación

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
7.1	Piezómetros	✓	S	No tiene AGUAS ARRIBA / DH8: PROFUNDO OUT DH6 ✓ PIEZOMETRO OK DH4: OK ✓ OK AMBOS	
7.2	Monolitos	✓	S		
7.3	Aforadores	✓	S		
7.4	Otros				

Notas:

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

ANEXO B5
REGISTRO DE INSPECCIÓN DE TERRENO
MNO

Teck wood.

Proyecto #	E40165	Ubicación	Teck - CdA
Muro	MNO	Fecha de Inspección	2019.04.02

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	JA	Otros	MD . LG
Representante Wood	LA		JP . LD

Clima

	Actual	3 días atrás	2 semanas atrás
Seco	☑	☑	☑
Neblina	☐	☐	☐
Lluvia	☐	☐	☐
Lluvia Intensa	☐	☐	☐

Condición del Muro

Operando ☑ Abandonado ☐ Notas:

Información del Muro

El. Laguna 1140,67 [msnm] Revancha 6,35 [m]

El. Coronamiento 1149,5 [msnm] Δ Laguna / Coronamiento 9.23 [m]

Metodo de Constructivo del Muro

Eje central ☐ Otro

Aguas Abajo ☑

Actividades de Construcción / Operación Local

Relleno Masivo	☑	FINALIZADO R. MASIVO E<
Relleno Transición	☐	
Impermeabilización	☐	
Descarga	☐	
Otro	☐	

Razón de la Inspección

Rutinaria	☐	
Condición Especial	☑	DSI 2019

Nomenclatura Puntaje

S = Satisfactorio. Cumple intención de diseño,
F = Apropiado. Cumple intención de diseño. Mantención / 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.

EN FICHA DE WSP. MN.

~~MN. AGUA ESTANCADA EN EL ESTRIBO PONIENTE~~

~~MN. RELLENO MASIVO FINO. SE ACUMULA EL CORONAMIENTO HACIA PONIENTE~~

Teck wood.

1. Talud Aguas Arriba / Playa de Relaves

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
1.1	Protección del Talud	/	7	AGRIETAMIENTOS DE TALUD DEBEN SELLARSE C/ARENA	
1.2	Erosion Superficial	√	5	ALGO DE EROSION X RUN OFF	
1.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	√	5	ABULTAMIENTO EN TALUD [redacted] HACIA LA PLAYA DE RELAVES COINCIDENTE C/TALUD AGUAS ARRIBA. EN EL SECTOR QUE NO SE REPORTA	
1.4	Sinkholes	√	5		
1.5	Grietas / desplazamientos	√	7	A ARRIBA / ABAJO DE DECLARACIETA MIENTOS C/ARENA.	
1.6	Escombros	√	5	ROCAS DE R. MACIZO DISPUESTAS EN PLAYA. SE MONITOREAN DESDE LATL. POSTERIOR AL TERREMOTO 19E	
1.7	Vegetación	√	5	SIN VEGETACION	
1.8	Evidencia de nivel freatico alto	√	5		
1.9	Otras condiciones inusuales				

Notas:

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

CHEQUEAR CONCENTRADORES

Teck wood.

2. Coronamiento

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
2.1	Grietas Superficiales Transversales	√	5		
2.2	Grietas Superficiales Longitudinales	√	5		
2.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	√	5		
2.4	Sinkholes	√	5		
2.5	Desplazamientos Laterales	√	5		
2.6	Protección Superficial	√	5		
2.7	Erosión	√	5		
2.8	Vegetación	√	5		
2.9	Madrigueras de animales	√	5		

Notas:

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

Teck wood.

3. Talud Aguas Abajo

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
3.1	Protección del Talud	√	S		
3.2	Erosion Superficial	√	S		
3.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	√	S		
3.4	Sinkholes	√	S		
3.5	Grietas / desplazamientos	√	S		
3.6	Filtraciones / Superficies húmedas	√	S		
3.7	Vegetación	√	S	ALGO DE VEGETACIÓN EN EL TALUD	
3.8	Madrigueras de animales	√	S		
3.9	Angulo	√	S		
3.10	Otras condiciones inusuales				

Notas:

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

Teck wood.

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

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
4.1	Condición Superficial	✓	5		
4.2	Vegetación y Escombros	✓	5		
4.3	Protección del talud	✓	5		
4.4	Desplazamientos	✓	5		
4.5	Erosión	✓	5		
4.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	5		
4.7	Otras condiciones inusuales				

Notas:

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

Teck wood.

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

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
5.1	Condición Superficial	✓	7	~~DETERIORADO~~ X RUNOFF YACIMIENTO.	
5.2	Vegetación y Escombros	✓	5		
5.3	Protección del talud	✓	5		
5.4	Desplazamientos	✓	5		
5.5	Erosión	✓	7	~~RUNOFF~~	
5.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	5		
5.7	Otras condiciones inusuales				

Notas:

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

Teck wood.

6. Drenaje Aguas Abajo y Obras Colectoras de Filtraciones

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
6.1	Filtraciones / Superficies húmedas	√	S	ENCAUSADAS Y MEDIDAS.	
6.2	Signos de Inestabilidad	√	S		
6.3	Vegetación	√	S		
6.4	Otras condiciones inusuales				

Notas:

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

Teck wood.

7. Instrumentación

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
7.1	Piezómetros	✓	5	6 PIEZOMETROS OPERATIVOS	
7.2	Monolitos	✓	5	NIVELADOS POST SISMO 1C/E	
7.3	Aforadores	✓	5	3 FUNCIONANDO Ob.	
7.4	Otros				

Notas:

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

ANEXO B6
REGISTRO DE INSPECCIÓN DE TERRENO
MN

Teck wood.

Proyecto #	E40165	**Ubicación**	Teck - CdA
Muro	MW	**Fecha de Inspección**	2019.04.02

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	JA	**Otros**	ND . LG
Representante Wood	LA		J . P . LD

Clima

	Actual	3 días atrás	2 semanas atrás
Seco	☑	☑	☑
Neblina	☐	☐	☐
Lluvia	☐	☐	☐
Lluvia Intensa	☐	☐	☐

Condición del Muro

Operando ☑ **Abandonado** ☐ **Notas:**

Información del Muro

El. Laguna 1140,29 **[msnm]** **Revancha** 5,35 **[m]**

El. Coronamiento 1149,5 **[msnm]** **Δ Laguna / Coronamiento** 9,26 **[m]**

Metodo de Constructivo del Muro

Eje central ☑ **Otro**

Aguas Abajo ☐

Actividades de Construcción / Operación Local

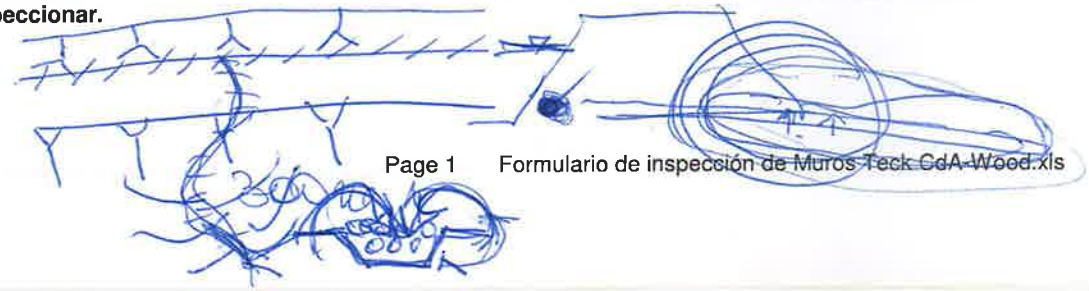
Relleno Masivo	☑	CONTADO Y DETENIDO EL
Relleno Transición	☑	LISTO PARA RECIBIR TRSC.
Impermeabilización	☐	
Descarga	☐	
Otro	☐	

Razón de la Inspección

Rutinaria	☐	
Condición Especial	☑	Dri 2019

Nomenclatura Puntaje

S = Satisfactorio. Cumple intención de diseño,
F = Apropiado. Cumple intención de diseño. Mantención / 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.



Teck wood.

1. Talud Aguas Arriba / Playa de Relaves

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
1.1	Protección del Talud	✓	S		
1.2	Erosion Superficial	✓	S		
1.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	S		
1.4	Sinkholes	✓	S		
1.5	Grietas / desplazamientos	✓	S		
1.6	Escombros	✓	S		
1.7	Vegetación	✓	S	SIN VEGETACIÓN	
1.8	Evidencia de nivel freatico alto	✓	S		
1.9	Otras condiciones inusuales	✓	P	LAGUNA PROFUNDA (1,00m) EN CONTACTO C/EL MURO	

Notas: SE REQUIERE ~~DESCAZAR~~ EL AGUA ENCHO C/EL MURO ASAP.

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

Teck wood.

2. Coronamiento

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
2.1	Grietas Superficiales Transversales	✓	S		
2.2	Grietas Superficiales Longitudinales	✓	S	IDEM CASO MS AGRIETAMIENTO EN EL CORONAMIENTO Y RELLENO SIN CONTACTAR CAMBIOS GEOMETRICOS	
2.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	S		
2.4	Sinkholes	✓	S		
2.5	Desplazamientos Laterales	✓	S		
2.6	Protección Superficial	✓	S		
2.7	Erosión	✓	S		
2.8	Vegetación	✓	S		
2.9	Madrigueras de animales	✓	S		

Notas: AL PIE DEL CO. ARENA SE APLICA GEOMATO IMPERMEABLE C/AGUA APOZADA DE COLOR AZUL

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

Teck wood.

3. Talud Aguas Abajo

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
3.1	Protección del Talud	✓	S		
3.2	Erosion Superficial	✓	S		
3.3	Asentamientos superficiales / hundimientos	✓	S		
3.4	Sinkholes	✓	S		
3.5	Grietas / desplazamientos	✓	S		
3.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	S		
3.7	Vegetación	✓	S	MUCHA VEGETACIÓN EN TALUD A ABAJO	
3.8	Madrigueras de animales	✓	S		
3.9	Angulo	✓	S		
3.10	Otras condiciones inusuales				

Notas:

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

Teck wood.

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

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
4.1	Condición Superficial	√	S		
4.2	Vegetación y Escombros	√	S		
4.3	Protección del talud	√	S		
4.4	Desplazamientos	√	S		
4.5	Erosión	√	F	DESVIAR RUNOFF PARA EVITAR EROSION	
4.6	Filtraciones / Superficies húmedas	√	S	~~ACUMULACION DE AGUA HACIA ESTRIBO~~ PONIENTE	
4.7	Otras condiciones inusuales			EL ESTRIBO NO ES VISIBLE DADO QUE ESTA CUBIERTO X EL BOLADERO DE RELAVES U-U.	

Notas:

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

Teck wood.

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

#	Item	rev.	Condición		
			/Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
5.1	Condición Superficial	✓	S		
5.2	Vegetación y Escombros	✓	S		
5.3	Protección del talud	✓	S		
5.4	Desplazamientos	✓	S		
5.5	Erosión	✓	F	DESVIAR DRENAJE	
5.6	Filtraciones / Superficies húmedas	✓	S		
5.7	Otras condiciones inusuales				

Notas:

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

Teck wood.

6. Drenaje Aguas Abajo y Obras Colectoras de Filtraciones

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
6.1	Filtraciones / Superficies húmedas	√	S	LOS AFLORAMIENTOS INTERMITENTES ESTAN SECOS	
6.2	Signos de Inestabilidad	√	S		
6.3	Vegetación	√	S		
6.4	Otras condiciones inusuales			~~SE~~ ESPERA QUE LOS AFLORAMIENTOS ~~SE~~ REACTIVEN EN LAS PROXIMAS SEMANAS ~~X COMO~~ DE LAS DESCARGAS D3 y D2.	

Notas: NECESITAMOS ENTENDER SISTEMA DE DRENAJE AGUAS ABAJO DEL MURO NORTE.

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

Teck wood.

7. Instrumentación

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
7.1	Piezómetros	✓	S	2 PZ. CUEVA V. 100% OPERATIVOS Y SIN LECTURA. ~~DESACTIVADO~~	
7.2	Monolitos	✓	S	~~NO SE PUEDEN INCLUIR ACTIVIDADES DE CONSTRUCCION.~~ INSTALADOS POST TERREMOTO 19 E	
7.3	Aforadores	✓	S		
7.4	Otros	—	—		

Notas:

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

ANEXO B7
REGISTRO DE INSPECCIÓN DE TERRENO
MP

Teck wood.

Proyecto #	E40165	**Ubicación**	Teck - CdA
Muro	MP	**Fecha de Inspección**	02.04.2019

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	JA	**Otros**	MD . LG
Representante Wood	LA		JP . LD

Clima

	Actual	3 días atrás	2 semanas atrás
Seco	☑	☑	☑
Neblina	☐	☐	☐
Lluvia	☐	☐	☐
Lluvia Intensa	☐	☐	☐

Condición del Muro

Operando ☑ **Abandonado** ☑ **Notas:** Reconstruir

Información del Muro

El. Laguna 1140.267 **[msnm]** **Revancha** ____ **[m]**

El. Coronamiento ~~1147~~ — **[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	☑	ESCARPE

Razón de la Inspección

Rutinaria	☐	
Condición Especial	☑	DS 2019

Nomenclatura Puntaje

S = Satisfactorio. Cumple intención de diseño,
F = Apropiado. Cumple intención de diseño. Mantención / 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.

Teck wood.

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 freatico alto				
1.9	Otras condiciones inusuales				

Notas: X CONSTRUIR

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

Teck wood.

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, continue en otra página)

Teck wood.

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:

x CONSTRUIR

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

Teck wood.

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:

X CONSTRUIR

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

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:

X COASTWIN

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

Teck wood.

6. Drenaje Aguas Abajo y Obras Colectoras de Filtraciones

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
6.1	Filtraciones / Superficies húmedas	✓		~~ZANJA~~ DE EXPLORACIÓN, LONGITUDINAL AL EJE DEL MURO, MAPEAR, PROPONER LINEAS GEOFÍSICAS	
6.2	Signos de Inestabilidad			NO, NO HUNDIMIENTO, Y NO SOCAVACIÓN.	
6.3	Vegetación				
6.4	Otras condiciones inusuales				

Notas:

X CONSTRUIR

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

Teck wood.

7. Instrumentación

#	Item	rev.	Condición		
			Puntaje	Comentarios / Descripción	Foto #
7.1	Piezómetros				
7.2	Monolitos				
7.3	Aforadores				
7.4	Otros				

Notas:

X CONSTRUIR.

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