ANEXO N° 3.8

RESOLUCIÓN EXENTA N° 2145 PLAN DE ADAPTACION OPERACIONAL DEPÓSITO DE LAMAS LA BREA

SCM MINERA LUMINA COPPER CHILE

DOCUMENTO PREPARADO POR

SCM MINERA LUMINA COPPER CHILE

Versión 0

JULIO 2019

APRUEBA EL PROYECTO "PLAN DE ADAPTACIÓN OPERACIONAL DEPÓSITO DE LAMAS LA BREA", DE LA COMPAÑIA MINERA SCM LUMINA COPPER CHILE, UBICADO EN LA COMUNA DE TIERRA AMARILLA, PROVINCIA DE COPIAPO, REGIÓN DE ATACAMA.

SANTIAGO, 2 DE AGOSTO 2018

RESOLUCIÓN EXENTA N° 2145/2018

VISTO:

Lo dispuesto en el Decreto Ley N° 3.525 de 1980, que Crea el Servicio Nacional de Geología y Minería; el D.F.L. N°1-19.653, de 2000, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que fija texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley N° 18.575, Orgánica Constitucional de Bases Generales de la Administración del Estado; Ley N° 19.880, que establece Bases de los Procedimientos Administrativos que Rigen los Actos de los Órganos de la Administración del Estado; Decreto Supremo N°248, de 2006, del Ministerio de Minería, "Reglamento para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de los Depósitos de Relaves lo dispuesto en el Decreto Supremo N° 72 de 1985, "Reglamento de Seguridad Minera", cuyo texto refundido, coordinado y sistematizado fue fijado mediante el Decreto Supremo N° 132 de 2002, ambos del Ministerio de Minería; Resolución Exenta N° 2374, del 04 de noviembre de 2014, que delega facultades que indica al Subdirector Nacional de Minería, a los Directores Regionales y a los Jefes de Oficinas Técnicas del Servicio Nacional de Geología y Minería; Resolución Exenta N° 1455 del 22 de mayo del 2018 que designa como subrogante en el cargo que indica; ambas del Servicio Nacional de Geología y Minería; Resolución N° 1.600 de 2008 que fija normas sobre exención del trámite de toma de razón, Dictamen N° 04881 de 1982, ambos de la Contraloría General de la República; y

CONSIDERANDO:

1. Que, con fecha 19 de junio del 2017 (Ingreso N° 5445 de Dirección Regional Atacama, Compañía SCM Minera Lumina Copper Chile., RUT N° 99.531.960-8, cuyo representante legal es doña Ana Zuñiga Sanzana, de nacionalidad chilena, Rut 8.398.303-5, domiciliada en Av. Colipí N°879, ciudad de Copiapó; presentó para la revisión y aprobación por el Servicio, el Proyecto *"Plan de adaptación operacional depósito de lamas la brea"*, ubicado en la comuna de Tierra Amarilla, provincia de Copiapó, Región de Atacama.
2. Que, mediante Oficio ORD. N° 2036/2017 de fecha 29 de septiembre 2017 de la Subdirección Nacional de Minería, se formularon observaciones de fondo al proyecto presentado por la empresa.
3. Que, con fecha 15 de enero del 2018, N° de ingreso 264/2018 de la Subdirección Nacional de Minería, la empresa dio respuesta al Oficio ORD. N°2036/2017. Estas respuestas fueron complementadas por parte de la empresa con información adicional presentada en dos ingresos a la Subdirección Nacional de Minería, un ingreso N°2486 de fecha 18 de mayo de 2018 e ingreso 3348 de fecha 18 de julio de 2018. Todas esta información fue revisada

técnicamente y fue encontrada conforme por el Servicio, de acuerdo a las exigencias establecidas en el Reglamento de Seguridad Minera y DS. N°248 Reglamento de para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de los Depósitos de Relaves.

4. Que, el Depósito de Lamas La Brea cuenta con las siguientes resoluciones de Sernageomin:

   - Resolución Exenta N°2149 de fecha 22 de julio de 2011 de la Dirección Nacional de Sernageomin, que aprueba el proyecto "Depósito de Lamas La Brea – Proyecto Caserones"
   - Resolución Exenta N°542 de fecha 06 de marzo de 2017 de la Subdirección Nacional de Minería de Sernageomin, que aprueba el proyecto "Proyecto Definitivo Depósito De Lamas La Brea – Proyecto Caserones"

5. Que, el Servicio de Evaluación Ambiental calificó ambientalmente favorable el Proyecto "Proyecto Caserones", el cual incluye las obras de diseño originales del "Depósito de Lamas La Brea – Proyecto Caserones", según consta en la Resolución de Calificación Ambiental N° 013 de fecha 15 de enero de 2010, emitida por la Comisión Regional del Medio Ambiente de la III región de Atacama, y rectificada por la Resolución Exenta N° 052 del 25 de febrero de 2010, emitida por la Comisión Regional del Medio Ambiente de la III región de Atacama, y modificada por la Resolución Exenta N° 68/2010 de la Dirección Ejecutiva del Servicio de Evaluación Ambiental, que acogió parcialmente el recurso de reclamación interpuesto por MLCC.

6. Que, según consta en las inscripciones de fojas 3888 N°2519 año 2005; fojas 3890 N°2520 año 2005; fojas 388 N°291 año 2008; fojas 389 N°292 año 2008; fojas 539 vta. N°432 año 2008; fojas 541 N°433 año 2008; fojas 1677 N°1392 año 2008; fojas 1678 N°1393 año 2008; fojas 1917 vta. N°1363 año 2010; fojas 1919 N°1364 año 2010; fojas 2542 N°1660 año 2010 y fojas 2544 N°1661 año 2010 del Registro de Propiedad de este Conservador de Bienes Raíces; la empresa "SCM MINERA LUMINA COPPER CHILE", es dueña del Lote A, producto de la subdivisión de los siguientes inmuebles: a) "Hijuela del Norte" o "Ramadilla del Norte", situado en la Subdelegación de San Antonio, Comuna de Tierra Amarilla; y que comprende Tres potreros asfaltados y Cuatro rastrojos, cerranías y quebradas; y b) Fundo denominado "Potrero Grande", situado en la Subdelegación de San Antonio, Comuna de Tierra Amarilla; y que comprende Cuatro potreros, edificios y Un huerto. En dicho Lote A se emplaza el Depósito de Lamas La Brea.

7. Que, el Proyecto fue revisado técnicamente en consideración a lo establecido en el Decreto Supremo N° 248, de 2006, del Ministerio de Minería, "Reglamento para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de los Depósitos de Relaves", de lo cual se concluye que cumple con los requerimientos establecidos.

RESUELVO:

1. **APRUÉBASE** el Proyecto "PLAN DE ADAPTACIÓN OPERACIONAL DEPÓSITO DE LAMAS LA BREA", de la SCM MINERA LUMINA COPPER CHILE, RUT 99.531.960-8, el que consta de los siguientes antecedentes:

1. Ubicación del depósito

a.	Ubicación	:	El proyecto se ubica en la comuna de Tierra Amarilla, a una altura de 2.800 m.s.n.m., provincia de Copiapó, III región; distante a 110 km al suroriente de la ciudad de Copiapó.
b.	Superficie Aproximada	:	El depósito de relaves se encuentra emplazado en una superficie aproximada de 720 hectáreas y el área definida para la depositación de los relaves considera una superficie total de 610 hectáreas aproximadamente.
c.	Coordenadas U.T.M. del polígono referido al WGS 84.	:	

Tabla 1 : Coordenadas

Vértice	Coordenada Este	Coordenada Norte
1	437925	6888599
2	438297	6890012
3	439738	6889412
4	440290	6890220
5	440216	6889313
6	441171	6888694
7	439902	6888379
8	439732	6887843
9	440475	6887221
10	439438	6886764
11	439280	6886466
12	438740	6886513
13	437594	6887413

2. Antecedentes Generales

a.	Depósito de relaves aprobado	:	El depósito de lamas La Brea corresponde a un embalse de relaves espesados, los cuales se depositaran durante los primeros 4 años de operación a una concentración en peso de sólidos CP de 60%, para a partir del quinto año a un CP de 65%. Consta de un muro de confinamiento construido con material de empréstito extraído de canteras cercanas a la zona de emplazamiento del depósito, y tiene un crecimiento mediante el método aguas abajo. Este muro se construirá en 14 etapas; hasta la etapa 6 tendrá un ancho de coronamiento de 50 m y con pendiente aguas abajo 1,8:1(H:V) y aguas arriba de 1,8:1(H:V) hasta alcanzar la elevación 2.875 m.s.n.m.;

			y partir de la fase 7, tendrá un ancho de coronamiento de 30 m y con pendiente aguas abajo 1,9:1(H:V) y aguas arriba de 1,4:1(H:V) hasta alcanzar la elevación 2.972 m.s.n.m. El depósito contará en todas sus fases con impermeabilización mediante una membrana de material sintético en el talud aguas arriba del muro de confinamiento.
b.	Objetivo del proyecto de modificación	:	El yacimiento Caserones perteneciente a SCM Minera Lumina Copper Chile (SCMMLCC), tiene aprobado ambientalmente y sectorialmente una capacidad de almacenamiento total de 1.036 millones de toneladas de relaves. La solución técnica, económica y ambiental de disposición de los relaves considera su disposición en dos depósitos separados: (i) un acopio de arenas (fracción gruesa) con una capacidad de almacenaje igual a 570 Mt aproximadamente ubicado inmediatamente aguas abajo de la Planta, en el sitio denominado quebrada Caserones Bajo, y (ii) un depósito de lamas (fracción fina) con una capacidad para almacenar aproximadamente 478 Mt ubicado en el sitio denominado quebrada La Brea. La puesta en marcha del Acopio de Arena ha resultado más lenta de lo esperado, por lo que una fracción de arenas que no pueden ser depositadas en la quebrada Caserones, requieren ser transportadas y depositadas junto a las lamas en el Depósito La Brea. Atendiendo a que se trata de una situación transitoria producto de la puesta en marcha, SCM MLCC ha elaborado una estrategia operacional para lograr, en un período acotado de tiempo, los tonelajes de depositación de diseño en el Acopio de Arenas y con ello alcanzar también todos los parámetros de diseño para el Depósito La Brea. En virtud de ello, MLCC sometió a evaluación el Plan de Adaptación Operacional (PAO) del Depósito La Brea requerido hasta el término de la utilización de la etapa 9 de crecimiento del muro, lo que se estima ocurra el año 2024, oportunidad en la que se estima se alcanzará la situación de diseño. Este Plan de Adaptación Operacional aborda los siguientes puntos: - Modificación de los flujos de descarga de relaves proyectados. - Nuevas labores asociadas al retiro de aguas claras y su manejo; además del volumen operacional de la laguna de aguas claras - Modificaciones relacionadas con el crecimiento del muro principal de manera tal que permita dar cumplimiento con la revancha operacional mínima comprometida con la autoridad. - Complemento en el sistema de drenaje basal del depósito, impermeabilización ladera norte del estribo derecho del muro, y nueva línea de depositación de relaves - Regularizar los controles operacionales de construcción del muro principal.

El detalle de los cambios del proyecto tratados en la presente resolución, se observan en la siguiente Tabla 2

Para el resto de las obras y parámetros operacionales del depósito de relaves La Brea que no se encuentren definidos en la presente resolución, se considera lo aprobado por la anterior resolución exenta SERNAGEOMIN del depósito de relaves indicada en el **CONSIDERANDO 4** Resolución Exenta N°542 de fecha 06 de marzo de 2017.

Tabla 2 : Resumen modificaciones proyecto original

Item	Aprobado Resolución N°542	Modificación
Método de crecimiento muro	Crecimiento con método aguas abajo.	Sin cambios
Tipo de Construcción	Construcción por volteo del empréstito en capas de 2 a 3,0 m.	Construcción por volteo del empréstito en capas de 1,5 a 3,0 m.
Compactación material muro	Compactación mediante paso de camiones mineros que transportan el empréstito (camiones de 230 ton), densidad del material in situ mínima de 2,1 ton/m^2.	Compactación con uso de camiones de 190ton
Capacidad de Almacenamiento	478 millones de toneladas correspondientes a 359Mm3	172,2 millones de toneladas correspondientes a 121 millones de m^3 hasta el fin etapa 9 de crecimiento del muro. Capacidad máxima de 478 millones de toneladas correspondientes a 359Mm3 al fin de la vida útil sin cambios
Tasa de Depositación Promedio anual	18 millones de toneladas	Sin cambios
Cota final de coronamiento	2.972 m.sn.m	Sin cambios en la cota final de coronamiento. La presente modificación abarca hasta completar la utilización de la etapa 9 de crecimiento del muro (2.914 m.s.n.m.)
Talud muro aguas abajo	1,8:1 (H:V) hasta una elevación de la cresta del muro de 2.875 m.s.n.m. 1,9:1 (H:V) hasta la elevación 2.972 m.s.n.m.	1,9:1 (H:V) hasta la elevación 2.914 m.s.n.m.
Talud muro aguas arriba	1,8:1 (H:V) hasta elevación de la cresta del muro de 2.875 m.s.n.m. 1,4:1 (H:V) hasta una elevación de la cresta del muro final de 2.972 m.s.n.m	1,5:1 (H:V) desde elevación 2.875 m.s.n.m hasta una elevación de la cresta del muro final de 2.914 m.s.n.m. Se elimina uso de pretiles TEM
Ancho de coronamiento	50 m	Sin cambios
Revancha Mínima	5 m en operación	Sin cambios
Material de construcción muro del depósito	Empréstito enrocado.	Sin cambios
Relación Arenas/Lamas (RAL)	40/60	Rango de operación 40/60 a 60/40
Volumen Laguna de Clarificación	300.000 m^3	350.000 a 900.000 m^3 (Ref. 5)

Pendiente máxima de Depositación de Lamas	4,1%	1,3% (Ref. 13)
Sistema de depositación de relaves	3 puntos de descarga Cola, Lateral y Muro	Se adicionan los puntos de descarga estribo sur y descarga auxiliar a descarga lateral
Sistema de captación de filtraciones	Incluye sistema de drenaje, piscina de captación de filtraciones y zanja cortafuga	Se incorporan drenes laterales 07, 08 y 09. Además, un nuevo aforador que conduciría potenciales filtraciones a piscina de captación.
Sistema de Manejo de aguas superficiales	Evacuadores de crecida por cada etapa constructiva. Se acepta la no construcción del evacuador para la elevación 2.805 m.s.n.m.	De acuerdo a capacidad de almacenamiento remanente de cada etapa de la cubeta, se eliminan los evacuadores de crecida
Sistema de instrumental de Monitoreo y control de estabilidad	Piezómetros eléctricos, acelerógrafos y aforos de caudal	Se agrega prismas de control topográfico y radar de monitoreo
Distancia Peligrosa	Calculo de distancia peligrosa para la etapa final del depósito y a la elevación 2.875 m.s.n.m. con ocurrencia de la CMP	Se agrega cálculo de la distancia peligrosa para la elevación 2.914 m.s.n.m. con una laguna operacional de 900.000m^3

c.	Capacidad de almacenamiento y vida útil del depósito	:	El proyecto no cambia la capacidad de almacenamiento ni la vida útil del depósito aprobado en la Resolución Exenta N°542 de fecha 06 de marzo de 2017, que autoriza una capacidad de almacenar 478 Mton en la cubeta del depósito, equivalente aproximadamente a 359 Mm3 y una vida útil hasta el año 2042.
d.	Obras principales asociadas al depósito de relaves	:	• Muro de confinamiento de material de empréstito. • Sistema de depositación de relaves. • Vertedero de crecidas. • Sistema de descarga de relaves a través de spigots. • Sistema de manejo de aguas lluvias mediante obras de intercepción de las cuencas aportantes al depósito de relaves • Sistema de recuperación de aguas claras mediante un sistema de balsas con bombas flotantes ubicada en un sector del estribo izquierdo (sur) del muro del depósito
e.	Instalaciones auxiliares	:	• Sistema de recuperación de drenaje, el cual recircula el agua de drenaje de los relaves, captado por dedos drenantes bajo el cuerpo del muro; desde la piscina recolectora de filtraciones hasta la planta de procesos. • Zanja cortafuga aguas debajo del muro, la cual capta las potenciales filtraciones de agua del relave y que no hayan sido captadas por el sistema de drenes bajo el muro • Sistema de instrumentación del depósito.

			• Telemetría y control.
3. Características del proyecto objeto de la modificación			
a.	Resumen del proyecto	:	Dadas las menores tasas de producción de mineral, lamas y arenas que se han tenido a la fecha y las características de la operación actual, ha sido necesario definir ciertas medidas transitorias para llegar a situación de diseño. Estas medidas son las que se describen a continuación.
b.	Proyección de depositación de relaves/lamas		TONELAJE A LA BREA De acuerdo al plan minero vigente y las proyecciones de depositación de arenas en el acopio, para lograr alcanzar la producción nominal, se ha definido el siguiente vector de producción hasta el término de la etapa 9 (cota de muro 2.914) (Tabla 3).

Tabla 3 : Tonelajes a La Brea

Año de Operación	Relaves Acumulados totales (Mton)	Elevación muro (ms.n.m.)	Elevación Relaves en contacto con el muro (m.s.n.m.)	Revancha (m)
2018	68,4	2.875	2.862	12
2019	86,9	2.888	2.873	15
2020	104,8	2.888	2.882	6
2021	123,3	2.901	2.890	11
2022	141,7	2.914	2.897	17
2023	160,7	2.914	2.905	9
2024	172,2	2.914	2.909	5

PROYECCIÓN DE LA RELACIÓN ARENAS/LAMAS (RAL)

De acuerdo al plan minero y el vector de producción indicado en la Tabla 3, se espera que durante el periodo de adaptación operacional la RAL aumente de 30/70 a un promedio de 50/50 (rango de operación 40/60 a 60/40), manteniéndose en el futuro dentro de una banda en torno al 40/60 y 60/40.

SECUENCIA DE DEPOSITACIÓN

Actualmente, la depositación de lamas al depósito procura mantener la laguna operacional en el sector sur del depósito, de manera que permita la operación del sistema de recuperación de agua ya instalado.

De acuerdo al plan, las descargas se mantendrán como hasta ahora, planificándose de acuerdo a un programa mensual, el cual es actualizado semanalmente de acuerdo al comportamiento que exhiben las descargas y la laguna de agua recuperada.

			Además, el presente proyecto busca disponer de un sistema de depositación de lamas flexible, que cumpla con el objetivo de manejar la laguna hacia un punto cercano al estribo sur del muro, donde se ubica el sistema de agua recuperada y maximice el volumen a extraer. Con ese fin, se mantiene las descargas aprobadas Cola, Lateral y Muro, agregándose la descarga en el estribo sur y la auxiliar a la Lateral. Para controlar el cumplimento del plan se mantendrán los registros y controles actuales: • Volúmenes en los puntos de descarga mediante flujómetros existentes. • Muestro de concentraciones de solidos (cajón 6620-DI-024). • Levantamientos mensuales de la cubeta mediante aerofotogrametría y batimetría de la laguna.
b.	Crecimiento muro	:	<u>General</u> Las etapas de crecimiento del muro, continúan siendo las definidas en el proyecto original, en tanto que el crecimiento del muro se realiza con material de empréstito proveniente de la Cantera Nº 4, el cual es extraído y luego transportado mediante camiones mineros de 100 t (CAT 777). El programa contempla ajustar el crecimiento del muro de manera de mantener siempre la revancha operacional mínima de 5 [m] (impermeabilizados) <u>Ajuste de la tasa de crecimiento de Muro Principal La Brea</u> SCMMLCC con la finalidad de mantener la revancha mínima operacional (5 m), puede ajustar la tasa de colocación de material en el muro, aumentándola en caso de ser necesario, considerando los siguientes factores: • Tasa de colocación requerida • Capacidad de los equipos disponibles • Alcance del contrato actual • Seguridad de la operación. Para el presente proyecto se considera Construcción de las capas por volteo del empréstito en capas de 1,5 a 3,0 m, y compactación con uso de camiones de 190 t.

Geometría

El Muro del Depósito de Lamas La Brea tiene por objeto contener de una manera segura y estable los relaves depositados. Se proyecta construir el muro mediante el método de crecimiento aguas abajo. La construcción fue definida en dos fases de distinta pendiente aguas abajo. La primera etapa ya construida, consta de seis (6) etapas de crecimiento, alcanzando el coronamiento del muro la elevación 2.875 m.s.n.m.. En esta fase se considera la siguiente geometría:

Talud aguas arriba: 1,8:1 (H:V)

Talud aguas abajo: 1,8:1 (H:V)

Ancho de coronamiento: 50 m.

Posteriormente, la segunda fase consta inicialmente de tres (3) etapas, permitiendo alcanzar la cota del muro proyectado a la elevación 2.914 m.s.n.m. que finalizará su construcción al año 2022 y permite una holgura de depositación de lamas hasta la revancha operacional (5 m) al año 2024. La geometría a emplear se indica a continuación es:

Talud aguas arriba: 1,5:1 (H:V)

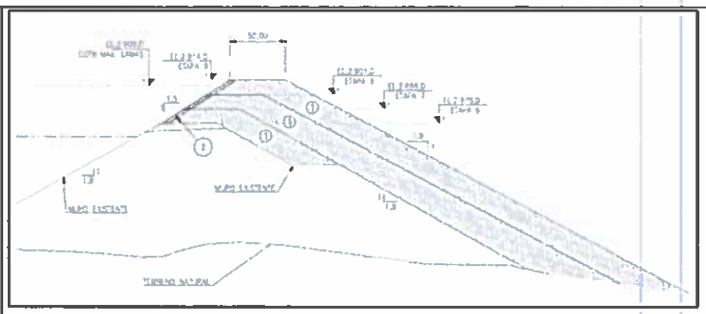
Talud aguas abajo: 1,9:1 (H:V)

Ancho de coronamiento entre Etapas: 50 m.

Se modifica el talud aguas arriba de 1,4:1 (H:V) a 1,5:1 (H:V) eliminando el uso de pretiles de tierra mecánicamente estabilizados. En la Tabla 4 y Figura 1 se presentan las diferentes etapas de crecimiento, tal como fue señalado en los párrafos anteriores.

Tabla 4: Crecimiento del muro del Depósito de Lamas La Brea

Fase	Etapa	Cota Coronamiento [m.s.n.m.]
1	1	2.805
	2	2.819
	3	2.833
	4	2.847
	5	2.861
	6	2.875
2	7	2.888
	8	2.901
	9	2.914

			 **Figura 1: Etapas de Crecimiento del Muro** <u>Incorporación de etapas intermedias para el crecimiento del muro</u> El diseño considera el peraltamiento del muro principal en etapas de 13 a 14 m de altura entre coronamientos. En caso de ser requeridos por el programa de crecimiento del muro, se evaluó incorporar crecimientos intermedios que permitan contar con el talud de aguas arriba impermeabilizado previo a concluir la etapa en construcción, asegurando la revancha mínima. Estos crecimientos intermedios cumplen con los requerimientos de estabilidad, dado que corresponden a una geometría intermedia que mantiene los taludes aguas arriba y abajo de proyecto, sin embargo de igual manera fueron realizados análisis de estabilidad para estos crecimientos intermedios considerando que corresponden configuraciones temporales. El resultado de los análisis realizados indican que la geometría considerada es estable según los criterios de aceptabilidad considerados. Los crecimientos intermedios se proyectan de 7 [m] por sobre la elevación de la etapa anterior, con un coronamiento de 25 [m] el cual permite adelantar la construcción de la capa de filtro y la impermeabilización. Otorgando mayor holgura para completar la etapa en construcción.
c.	Potenciamiento sistema de bombeo y volumen operacional de la laguna de aguas claras	:	El sistema de recuperación de aguas de la laguna, considerado en la etapa de diseño tiene una capacidad 92 [l/s] (en una configuración 2 operativas + 1 stand-by) esta capacidad corresponde al sistema completo que considera 2 estaciones de reimpulsión que alimentan a la Booster Nº2, donde se incorporan las aguas recuperadas por medio de las sentina de filtraciones. Debido al aumento del volumen depositado y a un mayor contenido de arena en el relave, se ha considerado incorporar el sistema complementario denominado Plan B, un nuevo trazado a través del estribo sur, y un aumento de la capacidad a 340 [l/s] mediante 4 bombas en configuración (3 operativas + 1 stand-by). Este sistema considera la descarga en la Sentina Nº1, donde puede ser retornado

mediante el sistema de agua recuperada hacia la Booster 2 o bien mediante el sistema de agua fresca a través de la estación de bombeo Nº4 (EB4).

Respecto del volumen operacional de la laguna de aguas claras, la siguiente Tabla 5 presenta los resultados de un análisis de sensibilidad a distintos casos para evaluar un volumen de laguna sostenible para la operación; se presentan valores promedio, máximo y mínimo de volumen de laguna en el periodo 2018-2023 para cada caso sensibilizado. Se aprecia que el caso más desfavorable corresponde a los días de nieve caída con la variación de la concentración de sólidos, con un volumen máximo de laguna de 887.000 m3 y una media de 600.000 m3 en todo el periodo. Cabe señalar que el volumen mínimo considerado de cada caso es de 350.000 m3, debido a que corresponde al mínimo con el cual el riesgo de bombeo de pulpa es menor.

Tabla 5: Resumen resultados - Volumen de laguna en sensibilización

Caso Operacional	Promedio (m^3)	Máximo (m^3)	Mínimo (m^3)
Operación Normal	503.534	659.642	351.495
Días de Nieve y cambio Cp (7 días)	569.183	887.034	351.495
Mantención Bombas (7 días)	518.202	782.253	351.495
Parada de Planta (5 días)	546.799	831.822	351.495

De la Tabla 5 se desprende que el volumen de la laguna con los parámetros operacionales proyectados variaría entre **un mínimo de 350.000 m3 y un máximo de 900.000 m3, siendo estos los volúmenes de la laguna operacional mínimo y máximo aprobados por la presente resolución**

d. Sistema de drenaje basal, impermeabilización ladera norte y nueva línea de relaves

SISTEMA DE DRENAJE BASAL

Se construirá un sistema de drenaje adicional compuesto por tres drenes laterales denominados DL-7, DL-8 y DL-9. Como se ha mencionado con anterioridad, el objetivo de este sistema será captar eventuales flujos que pudieran producirse durante la operación del depósito.

En la Figura 2 se muestra la ubicación en planta del sistema mencionado con respecto al existente y al muro del depósito.

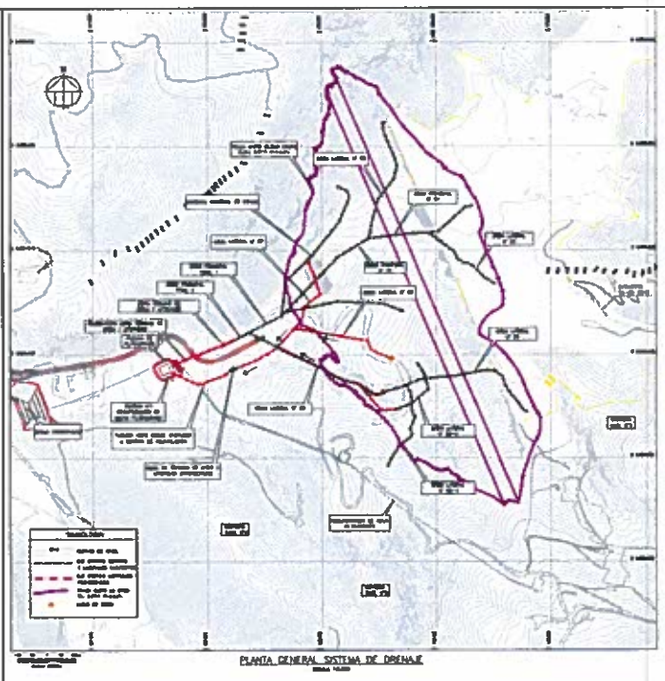


Figura 2: Sistema de drenaje proyectado aguas abajo el Depósito de Lamas La Brea.

A continuación, se describen las principales características de los drenes proyectados:

Dren DL-7: Este dren tendrá su origen en la ladera norte de la quebrada La Brea y se desarrollará a lo largo de 572 m hasta la obra de término, la que se encuentra en paralelo con la existente en la actualidad. Desde el Dm 0+000 hasta el 0+405 el dren consistirá en una zanja excavada y rellenada con material granular drenante, mientras que desde ese punto en adelante se colocará al interior de la zanja una tubería de acero de 14" de diámetro.

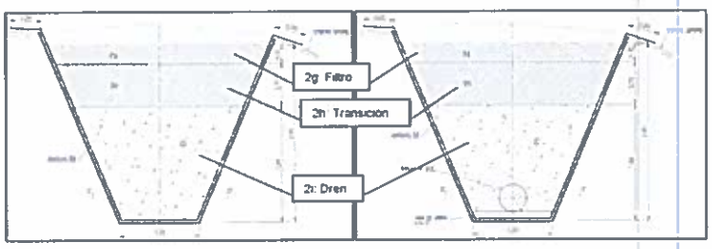


Figura 3: Secciones tipo del dren DL-7 en su tramo sin tubería (izq.) y en su tramo con tubería (dcha.).

La excavación de la zanja se realizará mediante un único banco de 7 m de altura máxima y pendiente 1H:2V. Solo en casos puntuales, como en los cruces de caminos, podrá ser necesaria la realización de

más de un banco, entre los que se deberán llevar a cabo bermas de 3 m de ancho.

En el contorno de la zanja se extenderá un geotextil que impedirá la migración de partículas desde o hacia el interior de la misma. El relleno de la zanja estará compuesto por una base de material drenante de 1,9 m de espesor, seguido de 0,7 m de material de transición y 0,3 m de material de filtro. El objetivo de estos dos últimos materiales es impedir que se produzca piping durante la circulación de agua al interior del dren.

Por otra parte, en su tramo inicial (Dm 0+010 - 0+140) el dren será construido sobre un relleno previo que permitirá el paso sobre el Dren Principal N° 2 (ya existente), sin dañarlo. Sobre dicho relleno, se colocará a su vez un material que tendrá la propiedad de filtro y evitará que se produzca sifonamiento/piping entre el relleno en el que será excavado el dren y el futuro material del muro (ver Figura 4).

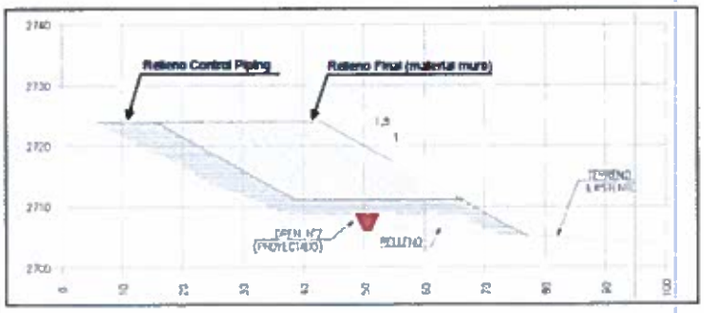


Figura 4: Sección tipo mostrando la ubicación del dren DL-7 así como el relleno posterior que lo cubrirá

Dren DL-8: El dren lateral N°8, de 375 m de longitud, tendrá su origen en el lado sureste de la quebrada La Brea y estará íntegramente compuesto por una zanja rellena de material granular, sin tubería. Este dren confluye con el DL-7 en el Dm 0+300 de dicho dren. El DL - 8 tiene menores dimensiones que el DL-7, tal como se indica en la Figura 5:

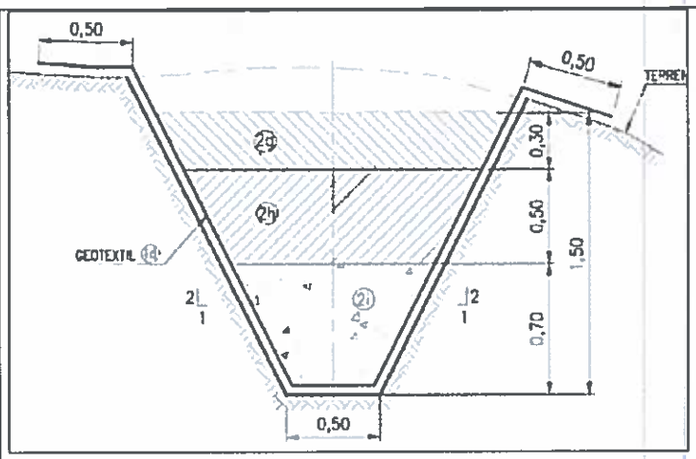


Figura 5: Sección tipo del DL-8 mostrando sus dimensiones y materiales

Dren DL-9: Este dren tendrá 423 m de longitud y se desarrollará desde el sector sureste de la quebrada La Brea hasta el Dm 0+397 del DL-7, en el cual confluye. El dren DL-9 recogerá las aguas procedentes de los actuales drenes DL-6 y DL-6-2.

Tal como se puede observar en la Figura 6 y Figura 7, gran parte del dren consistirá en una zanja de 2 m de ancho y 1,60 m de altura, la cual será rellenada por los materiales descritos con anterioridad, es decir, dren, transición y filtro. Únicamente entre el Dm 0+100 y 0+120 se proyecta la colocación de una tubería de acero de 450 mm de diámetro al interior de la zanja, con el objetivo de dar continuidad a la tubería procedente del dren DL-6-2 .

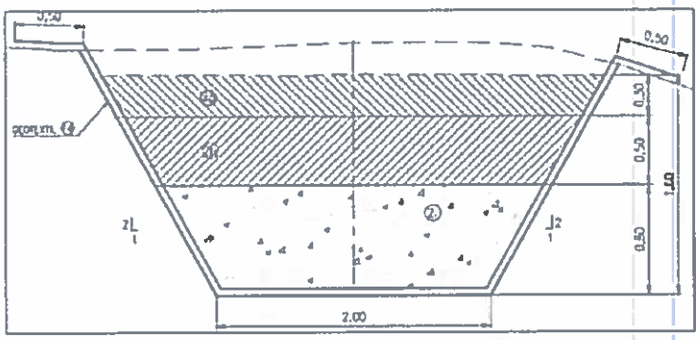


Figura 6: Secciones tipo del DL-9 sin tubería (Dm 0+000 a 0+100 y 0+120 a +0423)

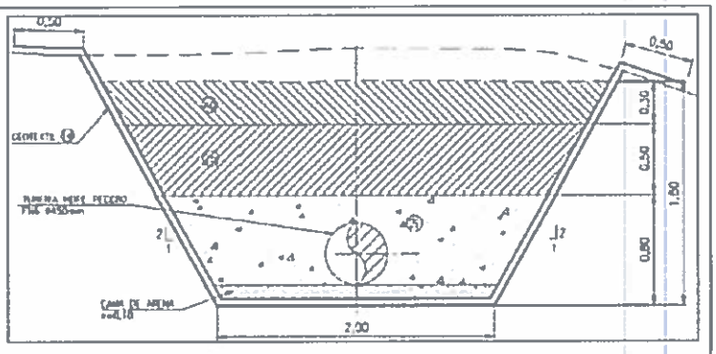


Figura 7: Secciones tipo del DL-9 con tubería (Dm 0+100 a 0+120).

IMPERMEABILIZACIÓN LADERA NORTE

Se observa la presencia de una potencial vía preferencial de infiltraciones en el estribo norte producto de la presencia de rocas sedimentarias intruidas por diques de composición andesítica e intensamente fracturados, por lo cual se recomienda la extensión de la geomembrana que cubre el talud aguas arriba por aproximadamente 200 m (ver Figura 8 y Figura 9).

Figura 8: Sector afectado de alteración y fracturamiento

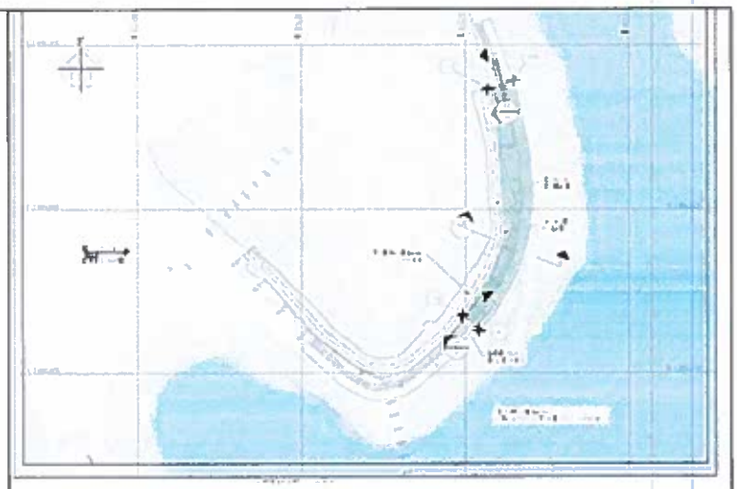


Figura 9: Zona de extensión de impermeabilización con geomembrana (en verde).

La impermeabilización corresponde a una geomembrana lisa LLDPE e=1,5mm, apoyada sobre una capa de geotextil no tejido de gramaje mayor a 200 gr/m2 para evitar posible daño al estar en contacto con el relleno de transición. Los detalles de anclaje se muestran a continuación en Figura 10.

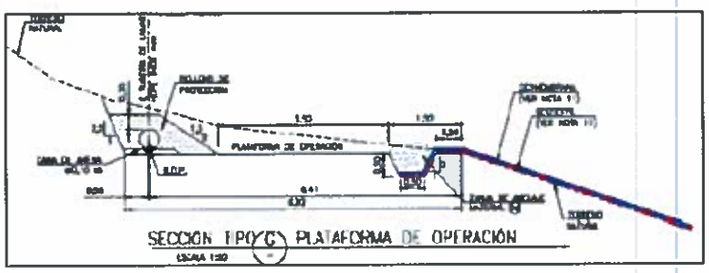


Figura 10: Anclaje de geomembrana en plataforma de acceso a ladera.

<u>Nueva línea de descarga muro</u>

Se considera la implementación de una nueva línea de descarga que deposita relave en el sector del estribo norte, denominada Línea Muro. Dicha tubería va a lo largo de todo el coronamiento del muro (Figura 11).

Figura 11: Trazado línea Muro, descarga a estribo Norte.

e. Evacuador de crecidas

Se realizó un estudio para la eliminación de los evacuadores de crecidas hasta la Etapa 14 del crecimiento del muro. El análisis consideró el plan vigente (Tabla 3).

La actualización del estudio, consideró el compromiso de la revancha operacional mínima, de manera de independizarlo del plan vigente. Se ha considerado que el volumen disponible para almacenar una eventual crecida está definido entre la cota a la que se encontrarían las lamas en contacto con el muro y la cota de umbral del vertedero proyectado para las distintas etapas, lo que se ha esquematizado en la Figura 12.

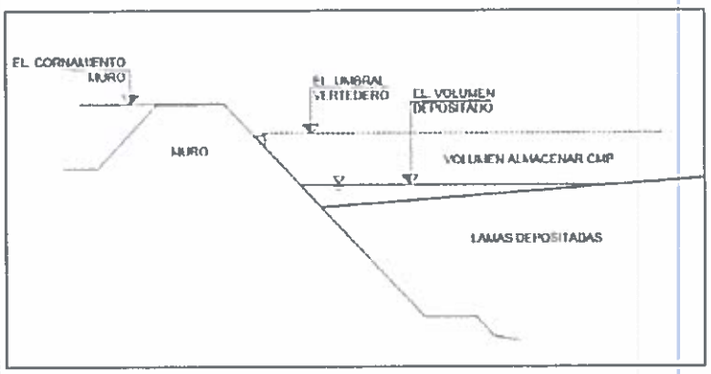


Figura 12: Esquema para almacenamiento de la CMP

El crecimiento de las lamas dentro del plan de depositación de adaptación, varía entre una pendiente de depositación actual (casi horizontal) y la de proyecto. Por lo tanto, conservadoramente se realizaron dos simulaciones de crecimiento:

Cortes horizontales,
Pendientes de Depositación de Proyecto.

Ambas simulaciones se ajustaron a la topografía y volumen almacenado al 31 de Enero de 2017. Para el caso de la simulación con las pendientes de proyecto se realizó el incremento de la pendiente utilizando los hitos de almacenamiento del plan original (tonelaje), de manera de independizarlo del tiempo

De acuerdo a lo anterior se obtuvieron las elevaciones de laguna, contacto con muro, elevación de almacenamiento de la CMP para las distintas etapas de crecimiento del muro y su respectivo evacuador, considerando una revancha operacional (REV OP) de 5 [m], tal como está comprometido en la Resolución Exenta SERNAGEOMIN N°542 de fecha 06 de marzo de 2017 indicada en **CONSIDERANDO 4**.

Los resultados de la revancha con respecto al umbral del vertedero (REV VER) al almacenar la CMP, para cada una de las etapas de crecimiento del muro, manteniendo los 5 metros de Revancha operacional antes de la crecida se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6: Revanchas Proyectadas Etapas Crecimiento Muro

Etapa Muro	EL. Muro [msnm]	EL. Vertedero [msnm]	EL. Contacto Muro [msnm]	Revancha Umbral (REV VER) [m]	
				Cortes Horizontales	Pendientes Proyecto
5	2.861	2.858,30	2.856	0,5 – 1,0	5,5 – 6,0
6	2.875	2.871,90	2.870	0,5 – 1,0	6,5 – 7,0
7	2.888	2.884,74	2.883	0,5 – 1,0	9,5 – 10,0
8	2.901	2.897,89	2.896	1,0 – 1,5	12,5 – 13,0
9	2.914	2.910,92	2.909	1,0 – 1,5	15,5 – 16,0
10	2.927	2.922,91	2.922	0,0 – 0,5	22,0 – 22,5
11	2.940	2.935,90	2.935	0,0 – 0,5	23,5 – 24,0
12	2.953	2.948,92	2.948	0,0 – 0,5	18,0 – 18,5
13	2.966	2.961,92	2.961	0,0 – 0,5	10,5 – 11,0

De la Tabla 6, se desprende que de acuerdo a ambas modelaciones, el depósito contará con el volumen suficiente para almacenar el volumen de la CMP, durante la operación considerando una revancha de operación mínima de 5 [m]. **Por lo tanto, se considera que el depósito de lamas la Brea puede construir su evacuador de crecidas solo para su etapa 14, como medida para el cierre del depósito.**

f. Análisis de estabilidad

Las verificaciones de la estabilidad del Muro del Depósito de Lamas La Brea se realizó a través de los siguientes métodos:

- Método de Equilibrio Límite
- Modelo Tensión Deformación 3D

Para la caracterización de los materiales de fundación y de construcción del muro a utilizar en los análisis de estabilidad, fueron

recopilados resultados de campañas de ensayos en terreno y laboratorio realizados desde la etapa de diseño del proyecto hasta la fase de operación.

Parámetros Geotécnicos Materiales Muro

Los parámetros geotécnicos del suelo de fundación y de los materiales que conforman el depósito fueron obtenidos a partir de investigaciones de terreno y ensayos de laboratorio efectuados durante las distintas etapas del proyecto. En términos generales las unidades de materiales consideradas son:

- Material de Empréstito: El muro construido a la fecha y su futuro crecimiento será con un material de empréstito proveniente de una cantera de enrocado, el cual se compacta por medio del tránsito de los camiones de transporte del material. El material de enrocado estará compuesto de rocas sedimentarias, rocas intrusivas de composición granítica y rocas volcánicas de composición andesítica provenientes de una cantera. Todas ellas en general presentan valores de resistencia a la compresión simple fuerte a muy fuerte (UCS > 50 Mpa) según ISRM (1981), constituyendo el material de enrocado de partículas angulosas y mayoritariamente sanas obtenido mediante tronaduras o excavado con bulldózer, el cual tiene características geotécnicas similares a un estéril de mina. Adicionalmente, se contempla utilizar el material de sobrecarga (depósitos aluviales) para conformar parte del muro.

- Fundación: Depósito fluvio aluvial compuesto por materiales granulares del tipo gravas arenosas a arenas gravosas, con contenidos de fino cercanos al 10% y sobretamaño (material sobre 3") entre 45% y 60%. Para efectos de los análisis de estabilidad en las secciones de interés, el espesor promedio del estrato aluvial se ha supuesto de 30 m. En general, se ha reconocido una potencia máxima de 45 m, bajo el cual se encuentra la roca basal, la cual se asume que no estará afecto a potenciales superficies de deslizamiento.

- Lamas: Las Lamas corresponden a material fino depositado en forma hidráulica a la cubeta. Se ha asumido conservadoramente que las lamas se mantienen completamente saturadas, por lo que los parámetros resistentes que rigen el comportamiento de estos materiales están asociados a una respuesta no drenada. Para efectos del modelo de análisis de estabilidad del muro y bajo un criterio conservador, se adopta una resistencia nula al corte en las lamas.

Los parámetros de resistencia al corte de los materiales de fundación, material de empréstito y lamas fueron obtenidos a partir de investigaciones de terreno y ensayos de laboratorio efectuados en etapas anteriores del proyecto. Estos parámetros se resumen en la Tabla 7.

Tabla 7 Parámetros geotécnicos de densidad y resistencia considerados en el Análisis de Equilibrio Límite

Material	Densidad Seca (t/m³)	Cohesión (t/m²)	Ángulo de Fricción (°)	Su (kg/cm²)
Fundación	1,96	0,5	38	-
Material de Empréstito	2,10	0	$\sigma'_n \leq 0,1$ MPa, $\phi = 44°$ $\sigma'_n > 0,1$ MPa, $\phi = -2,815 \cdot \ln \sigma'_n + 37,8$	-
Lamas	1,42	-	-	0,0

Respecto a las Lamas, con el fin de ser caracterizadas de manera suficiente para un modelo dinámico, se efectuaron los siguientes ensayos:

- Clasificación completa.
- Consolidación edométrica.
- Proctor estándar y modificado.
- Triaxial CIU.
- Triaxial CID
- Ensayo triaxial cíclico no drenado.

Respecto del Material de Empréstito, se han definido las propiedades para los análisis de estabilidad considerando ensayos granulométricos, de densidad in situ, de resistencia al corte y de medición de velocidad de propagación de ondas realizados durante la construcción de la obra.

Las propiedades consideradas para estos análisis dinámicos se resumen en las siguientes tablas:

Tabla 8: Parámetros geotécnicos de las lamas

Parámetro	Unidad	Valores adoptados	
		Condición drenada	Condición no drenada
Densidad seca, γ_d (*)	t/m³	1,42	
Densidad saturada, γ_{sat} (*)	t/m³	1,92	
Cohesión, c'	-	0	$0,29 \cdot \sigma'_n$
Ángulo de Fricción Interna, ϕ'	°	31	-
Módulo de deformación estático, E_s	kg/cm²	$E_s = 400 \cdot \sigma'_3{}^{0,48}$	$E_s = 170 \cdot \sigma'_3{}^{0,57}$
Módulo de Poisson, ν	-	0,30	0,50 (**)

Tabla 9: Parámetros geotécnicos del material de empréstito considerados en el Análisis Tensión Deformación 3D

Parámetro	Unidad	Valores adoptados
Densidad natural, γ_d	t/m³	2,10
Parámetros de resistencia al corte	-	$\sigma_n' \leq 1$ kg/cm², ϕ=44° $\sigma_n' > 1$ kg/cm², $\phi = -2{,}815 \cdot \ln(\sigma_n') + 37{,}8$
Módulo de deformación estático, E_s	kg/cm²	$E_s = 600 \cdot \sigma'_3{}^{0.5}$
Módulo de deformación máximo, E_{max}	kg/cm²	$E_{max} = 10 \cdot E_s$
Módulo de Poisson, ν	-	0,30

Análisis de Estabilidad Equilibrio Límite

Los cálculos se efectuaron mediante el programa SLOPE/W 2018, que permite determinar los factores de seguridad asociados a un gran número de potenciales superficies de deslizamiento. Los factores de seguridad reportados se calcularon mediante el método de Morgenstern-Price, el cual se basa en un análisis que considera el equilibrio de fuerzas y de momentos.

Para efectuar los análisis de estabilidad del muro del Depósito de Lamas La Brea en su configuración al término de la etapa 9, se consideró la topografía del terreno natural en el centro de la quebrada, en que la pendiente basal es máxima, como se presenta en la sección A en Figura 13. En cuanto a la proyección del muro, se ha considerado un plano ortogonal a éste, manteniendo sus verdaderas dimensiones. Adicionalmente, se analiza la sección B, correspondiente a un perfil ortogonal por el lado sur del muro.

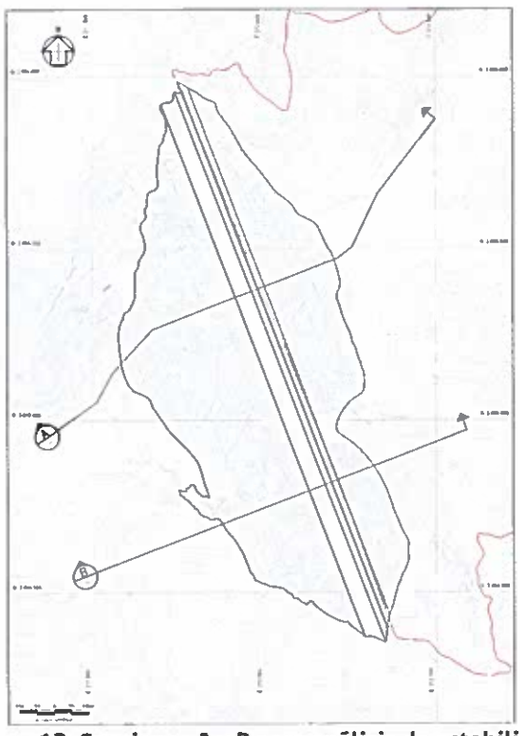


Figura 13: Secciones A y B para análisis de estabilidad

Para el análisis de estabilidad se ha considerado la siguiente geometría:

- Talud aguas abajo del muro etapa 6 y 7 = 1,8:1,0 (H:V).
- Talud aguas abajo del muro etapas 8 y 9 = 1,9:1,0 (H:V).
- Talud local aguas arriba del muro etapas 7, 8 y 9 = 1,5:1,0 (H:V).
- Bermas entre etapas aguas arriba del muro= 1,0 m.

Para los análisis aguas abajo se consideró que las lamas se encuentran 5 m bajo el nivel de coronamiento, lo que corresponde a la capacidad máxima de la cubeta en su respectiva etapa. En Figura 14 y Figura 15 se muestra la geometría y las elevaciones

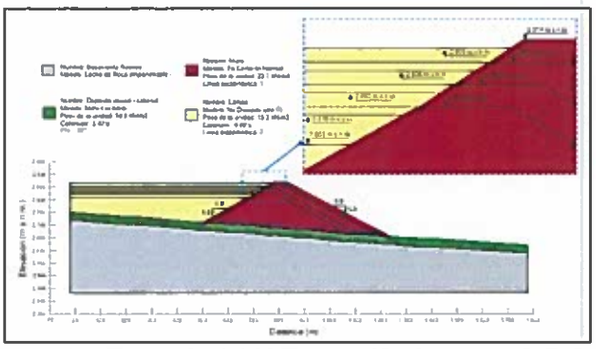


Figura 14: Geometría del Muro Sección A, etapas 6, 7 ,8 y 9

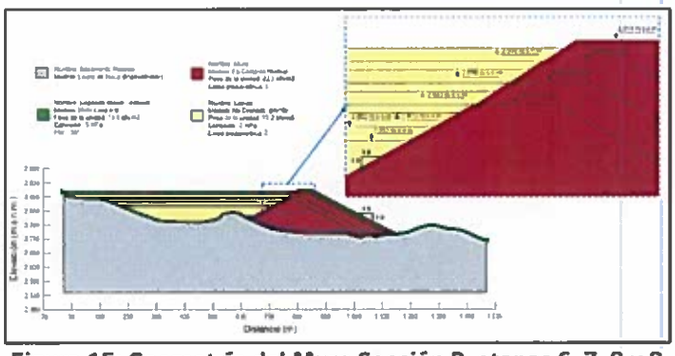


Figura 15: Geometría del Muro Sección B, etapas 6, 7 ,8 y 9

Se ha considerado que las lamas se encuentran saturadas en todo momento del crecimiento del muro. Por lo tanto, para efectos del modelo, se han considerado dos niveles freáticos, tal y como se presenta en Figura 16 y Figura 17 para la geometría de cierre. Al interior del muro se ha adoptado un nivel freático de 10 m desde su base, correspondiente a supuesto conservador.

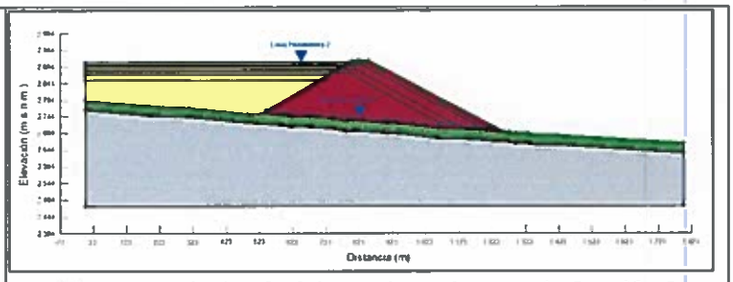


Figura 16: Niveles freáticos adoptados para la Sección A

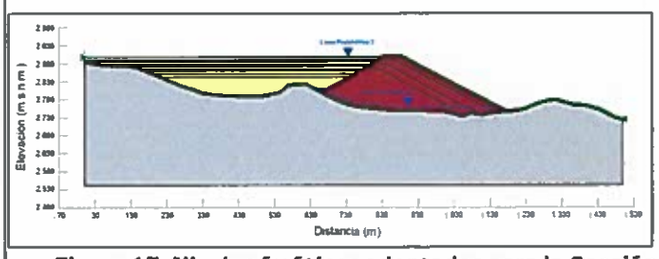


Figura 17: Niveles freáticos adoptados para la Sección B

Para los análisis pseudo estáticos se utilizaron los valores:

- Coeficiente sísmico horizontal de diseño (kh)= 0,13
- Coeficiente sísmico vertical de diseño (kv)= 0,065

Respecto a los criterios de aceptabilidad, en Tabla 10 se presentan los Factores de Seguridad (FS) mínimos definidos como dichos criterios. Estos factores corresponden a los definidos por la normativa chilena vigente del DS248

Tabla 10: Criterios de aceptabilidad

Condición de Análisis	FS
Estático [1]	FS ≥ 1,50
Sísmico (Seudo-Estático)	FS ≥ 1,20

Nota [1] El DS50 de la DGA exige un mínimo de FS=1,40.

Se verificó la estabilidad del muro del Depósito de Lamas La Brea, en Tabla 11 y Tabla 12 se resumen los Factores de Seguridad (FS) obtenidos en los distintos análisis.

Tabla 11: Resumen análisis de estabilidad sección A del muro Depósito de Lamas La Brea

Etapa	Cota m.s.n.m.	Dirección	Condición	FS
9	2.914	Aguas Abajo	Estático	1,64
			Seudo-Estático	1,23
		Aguas Arriba	Estático	2,07
			Seudo-Estático	1,54

Tabla 12: Resumen análisis de estabilidad sección B del muro Depósito de Lamas La Brea

Etapa	Cota m.s.n.m.	Dirección	Condición	FS
9	2.914	Aguas Abajo	Estático	1,72
			Seudo-Estático	1,29
		Aguas Arriba	Estático	2,06
			Seudo-Estático	1,52

Se observa que todos los casos logran satisfacer con los criterios de aceptabilidad, garantizándose la estabilidad del muro a lo largo de toda su historia de crecimiento en el período comprendido

Análisis de Estabilidad Modelo Tensión Deformación 3D

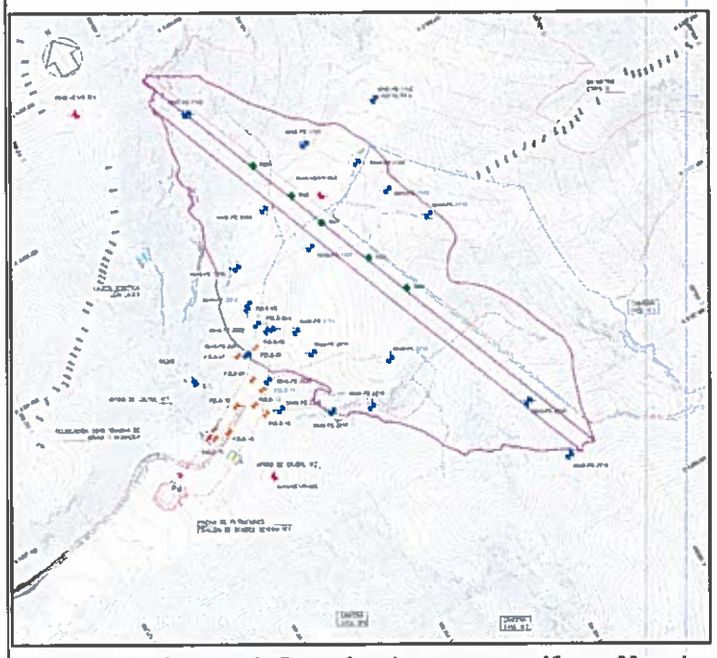
Con el objetivo de verificar la estabilidad estática y dinámica del depósito a una cota de coronamiento igual a 2.914 m.s.n.m., se ha desarrollado un modelo numérico tridimensional de diferencias finitas mediante el software FLAC 3D versión 5.01

Se generó una malla de diferencias finitas para la representación del muro a una cota de coronamiento de 2.914 m.s.n.m. y una etapa de crecimiento intermedia a la cota 2.875 m.s.n.m. En la Figura 18 se presenta una vista general y una sección transversal del muro, donde es posible visualizar los diferentes materiales involucrados en la modelación numérica.

Figura 18: Malla de diferencias finitas - Modelo 3D La Brea

Los resultados del análisis estático muestran que los desplazamientos máximos son de aproximadamente 1,4 m, los que se concentran en el sector de mayor altura de muro. El aumento del nivel de agua al interior del muro mantiene prácticamente las deformaciones, aumentando levemente en el área del pie del muro. En el caso de las lamas almacenadas, los desplazamientos son menores a 40 cm.

Las deformaciones estimadas en el análisis dinámico se concentran en el espaldón o berma, con valores que superficialmente superan el metro de desplazamiento y con un valor máximo aproximado igual a 7 m. En el coronamiento las deformaciones en general son menores

		a 1,5 m, con un valor máximo igual a 2,5 m. En el caso de las lamas, éstas presentan deformaciones en general menores a 50 cm, con desplazamientos mayores de forma adyacente al muro, alcanzando los 3 m. En el caso de análisis dinámico con nivel freático se aprecia un aumento del desplazamiento al pie del muro. Los desplazamientos obtenidos no comprometen la estabilidad global del depósito para el caso del sismo máximo creíble.
g.	Sistema instrumental para el monitoreo, control de la estabilidad y operación del depósito	La presente actualización de la instrumentación La instrumentación geotécnica existente en el muro, tiene por objeto registrar y controlar parámetros geotécnicos. Para esto se han implementado los siguientes controles e instrumentos: • Piezómetros Eléctricos, con el fin de verificar que el nivel de agua en el muro sea menor que el aceptable por diseño. • Acelerógrafos, con el fin de verificar las aceleraciones consideradas en los modelos en la etapa de diseño. • Aforos de caudales que salen por el sistema de drenaje basal, con el fin de detectar anomalías en los caudales (magnitud, color de agua, intermitencia, etc.), y así verificar el buen funcionamiento del sistema de drenaje y de los diseños realizados, y complementar el balance de agua del depósito. • Prismas y monolitos para monitorear las deformaciones y desplazamientos experimentados. • Radar para el monitoreo de deformaciones del talud de aguas abajo del muro. La ubicación de los distintos instrumentos de puede observar en la Figura 19.  **Figura 19: Sistema de Drenaje e Instrumentación en Muro La Brea**

Piezómetros de Cuerda Vibrante

La instalación de los piezómetros de cuerda vibrante (CV) se ha realizado en variadas etapas durante la construcción del muro, la Tabla 13 presenta los instrumentos instalados a mayo 2018.

Tabla 13: Piezómetros Cuerda Vibrante (CV) – Caseta Instrumentación N°1 (mayo 2018 (DATUM WGS84)

Caseta Instrumentación N°1 (6640-IR-001)		
Piezómetro	**Norte**	**Este**
6640-PE-1101	-	-
6640-PE-1102	6.888.089,44	438.629,13
6640-PE-1103	6.888.075,61	438.370,60
6640-PE-1104	6.887.962,48	438.158,12
6640-PE-1105	6.887.849,56	437.966,43
6640-PE-1106	6.888.341,61	438.101,31
6640-PE-1107	6.887.789,86	438.224,57
6640-PE-1108	6.887.944,83	438.481,07
6640-PE-1109	6.887.823,64	438.520,90
6640-PE-1110	6.887.694,07	438.592,97
6640-PE-1111	6.887.588,01	438.056,57
6640-PE-2221	6.887.602,12	437.887,22
6640-PE-2222	6.887.668,61	437.962,55
6640-PE-2212	6.887.736,38	437.971,32
6640-PE-2213	6.887.367,49	438.266,28
6640-PE-2214	6.887.037,00	438.571,00
6640-PE-2215	6,886,827,53	438.597,36
6640-PE-2216	6.887.267,95	438.142,72
6640-PE-2217	6.887.315,72	438.028,87
6640-PE-2218	6.887.504,73	438.067,05
6640-PE-2219	6.887.403,64	437.894,23
6640-PE-2220	6.887.500,42	437.904,31
PZLB-05 (pozo)	6.887.725,00	437.960,00
PZLB-06 (pozo)	6.887.636,00	437.979,00
PZLB-06A (pozo)	6.887.634,00	437.995,00

Acelerómetros

Con respecto al registro de eventos sísmicos, en el diseño se consideró la instalación de tres (3) acelerómetros en el Depósito de Lamas La Brea.

En Tabla 14, se presenta la identificación de cada acelerómetro, además de su ubicación

Tabla 14: Acelerómetros ubicados en el Muro La Brea.

TAG INSTRUMENTO	UBICACIÓN	Norte	Este
6640-VE/VR-001	MIRADOR (Estribo Derecho)	6.888.516,04	437.802,11
6640-VE/VR-002	PATIO DE TUBOS (Aguas Abajo Muro La Brea)	6.887.228,55	437.768,56
6640-VE/VR-003	MURO (Coronamiento)	6.887.887,37	438.335,76

Luego, se desprende que se mantienen dos (2) acelerómetros instalados, uno al pie del muro y otro en el estribo, mientras que la posición del proyectado en el coronamiento se debe modificar en las distintas etapas de crecimiento del muro.

Al término de cada etapa de crecimiento para lo cual se realizarán las siguientes actividades:

- Construcción de obra civil de hormigón anclada para conexión de acelerómetro, la cual fue desmontada completa cuando peraltaron el muro.
- Revisar instalación eléctrica mediante paneles solares.
- Revisar señal telefónica en el punto de instalación.

Aforo de Caudal

Los aforadores de caudal se controlan mediante lecturas diarias del caudal efluente del sistema de drenaje. El registro, se obtiene visualmente mediante una regla de medición situada en el punto de ubicación del aforador. También se evalúa visualmente la turbiedad de las aguas efluentes.

Adicionalmente, durante el primer trimestre de 2018, se construyó un segundo aforador de caudal correspondiente a la obra de término del sistema de drenaje complementario.

Primas de Control topográfico

Se ubican monolitos de control en el coronamiento de cada etapa de crecimiento del muro La Brea, distanciados cada 200 m, con el objetivo de monitorear las deformaciones superficiales del muro, es decir, laterales (horizontales) y verticales.

El monitoreo de las deformaciones del muro mediante monolitos y/o prismas de control está limitado durante el periodo construcción de cada etapa de crecimiento, donde posteriormente deberán ser reubicados, debido a la ejecución de la siguiente etapa. Esto permite a partir de levantamientos topográficos, monitorear

desplazamientos, asentamientos y/o deformaciones superficiales que pueda experimentar el muro durante su construcción y operación. En la Figura 20 se aprecia un esquema de la ubicación de la caseta robótica y los prismas.

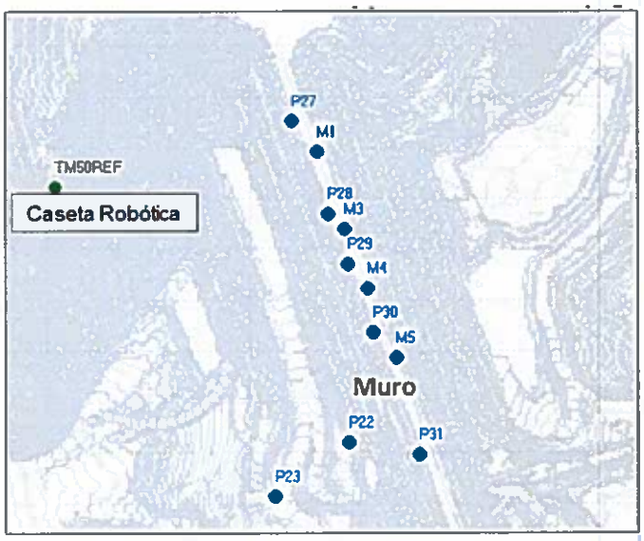
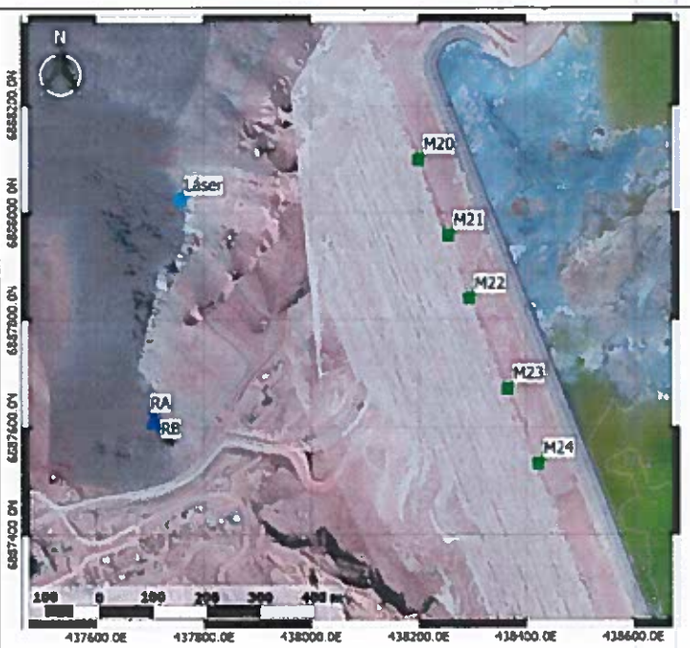


Figura 20: Ubicación caseta robótica y prismas de control topográfico

Radar de Monitoreo

Para complementar las lecturas de desplazamiento de los prismas de control topográfico, el 01 de noviembre de 2017 se inició el monitoreo del muro a través de un radar interferométrico instalado aguas abajo del depósito. Este equipo permite verificar continuamente los desplazamientos del talud aguas abajo del muro, para así conocer su estado de deformaciones de manera continua y en un área definida, y no sólo en sectores puntuales, como los monolitos o prismas. En la Figura 21 se observa la ubicación de estos equipos

			 **Figura 21: Ubicación radar de monitoreo, prismas de control y estación total láser**
G.	Manual de manejo de Emergencia		Como parte de lo aprobado, la empresa dispone de un manual para manejar las emergencias y riesgos operacionales del depósito, así como también para enfrentar los riesgos asociados al embalse hacia aguas abajo. Este documento corresponde al "Reglamento de Emergencias Nivel 3, Depósito de Lamas La Brea" (Código MLCC N°RE-RA-001), el cual debe ser revisado y actualizado cada dos años y conocido por el personal. El manual vigente considera la evaluación de la distancia peligrosa a la elevación del muro de 2.875 m.s.n.m y volumen de agua almacenado correspondiente a la CMP. Las contingencias o casos a manejar incluyen los accidentes a personas, incidentes a equipos, maquinarias y/o vehículo, incendios, sismos de alta intensidad, lluvias intensas, colapso del muro del depósito y de los canales de contorno.
H.	Determinación de Distancia Peligrosa		En el contexto del proyecto, se desarrolló una evaluación de la Distancia Peligrosa según la normativa vigente (D.S. N°248/2007), es decir, se determina la distancia que recorrerían los relaves y agua frente a una hipotética falla del muro de contención del Depósito de Lamas La Brea. Para los cálculos se consideró el estado del depósito al término de la etapa N°9 de operación, donde el muro alcanzará una cota de coronamiento igual a 2.914 m.s.n.m. y mantiene una laguna operacional de 900.000m3.

Para estimar la distancia a la que escurrirían los relaves licuados se empleó el método gráfico y el método de Hungr (implementado en el software DAN-W), mientras que, para estimar las zonas afectadas por el flujo de agua, se desarrolló un modelo numérico en el software Iber.

Tabla 15: Resultados análisis de Distancia Peligrosa para flujo de laguna de aguas claras (software IBER).

Instalación	Alturas de escurrimiento promedio (m)	Velocidades de flujo promedio (m/s)
IIFF Muro La Brea	0,5 a 1,0	6 a 10
Vivero Caserones	1,0 a 2,0	1 a 2
Bodega Carrizalillo	N/A	N/A
IIFF Hertz, Pullman, otros.	(*)	(*)
Campamento	(*)	(*)

(*) Nota: Durante las 10 horas de simulación el flujo de agua no alcanzó estas instalaciones.

Tabla 16: Resumen resultados del análisis de Distancia Peligrosa Muro La Brea

Material	Volumen derramado (Mm^3)	Distancia recorrida (km)
Relaves	15,7	13,0
Agua	0,9	18,4

Figura 22: Áreas afectadas por lamas producto de una falla del Depósito La Brea

Estos nuevos resultados, tanto volumen como superficie de inundación por efecto del escurrimiento del agua se encuentran por debajo de la situación resultados para la elevación 2.875 m.s.n.m. dado que éste fue evaluado a una condición más desfavorable que corresponde a un volumen de laguna equivalente a la crecida máxima probable. En el caso del volumen de lamas derramados, se incrementan del orden de 2 km la longitud de escurrimiento, sin afectar los puntos de encuentro expuestos en el Proyecto Definitivo. Tal como se muestra en las Figura 23 a Figura 25 muestran las potenciales zonas de afectación y los puntos de encuentro de emergencia respectivamente

Figura 23: Definición de puntos de encuentro y potencial área afectada

Figura 24: Definición de puntos de encuentro y potencial área afectada

Figura 25: Definición de puntos de encuentro y potencial área afectada

Se considera la instalación de un sistema de alarmas sonoras aguas abajo del depósito en caso de un evento de rotura que impacte las personas que se encuentre en la zona de inundación definida.

I.	Proyecto Plan de Cierre		La Empresa debe presentar el Plan de Cierre de acuerdo a lo establecido en la Ley N°20.551, que Regula el Cierre de Faenas e instalaciones Mineras y su D.S. N°41/2012, Reglamento de la Ley de Cierre de Faenas E Instalaciones Mineras.

2. **ESTABLÉZCASE,** que la empresa deberá dar cumplimiento a las siguientes medidas mínimas de seguridad:

2.1 Notificar de inmediato al Servicio la ocurrencia de cualquier emergencia, indicando las características del siniestro, los daños causados, los riesgos potenciales de un posible empeoramiento de la situación y las medidas para subsanar la emergencia. Art 35 DS.N°248.

2.2 Si la causa de la emergencia se debe a fenómenos naturales externos, imprevistos, como sismos, nevazones, lluvias intensas, erupciones volcánicas u otros, que impidan una normal operación o pongan en peligro la vida de personas o el medio ambiente, deberán suspenderse las operaciones de depositación de relaves, hasta que las condiciones de seguridad del depósito se restablezcan. Art 38 DS.N°248.

2.3 La empresa deberá proceder a ejecutar y dar total cumplimiento, en cuanto a los diseños y acciones de todas las obras detallas en el proyecto de construcción del depósito de relaves que por este acto se aprueba, por considerarse antecedentes complementarios a la presente Resolución, siendo de su exclusiva responsabilidad, dar cumplimiento a los términos de la presente Resolución Exenta.

2.4 Esta aprobación es sin perjuicio de otros permisos, autorizaciones y aprobaciones que procedan, en conformidad al artículo 3° del Decreto Supremo N° 248, de 2006, del Ministerio de Minería, Reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de depósitos de relaves.

2.5 La Empresa Minera, en la ejecución de sus operaciones, deberá considerar los aspectos de control de riesgos de accidentes y enfermedades profesionales, sin perjuicio de las obligaciones y/o compromisos que el titular del proyecto deba cumplir, ante éste u otros organismos o instituciones del Estado.

2.6 La Empresa Minera deberá aplicar todos los procedimientos y medidas de seguridad, de acuerdo con sus propios Planes de Prevención de Riesgos e instructivos de seguridad, Programas de Monitoreo e inspección, Reglamentos de operaciones, Acuerdos de Producción Limpia, Compromisos ambientales y otras medidas que estime pertinentes, para que todas las operaciones se efectúen previniendo los riesgos de accidentes.

2.7 La Empresa Minera deberá dar cumplimiento a lo establecido en el Art.33 y Art.34 del D.S. 132, Reglamento de Seguridad Minera, para contar en forma permanente o esporádica, con la dirección o asesoría técnica de uno o más ingenieros de minas o metalurgistas, civiles o de ejecución responsables por las obras mineras cuya ejecución tengan a cargo.

2.8 La Empresa Minera deberá enviar al Servicio un informe trimestral sobre la operación y mantención del Embalse de Relaves. Además deberá cumplir con todo lo establecido en el Decreto Supremo N°248 del 11 de Abril de 2007, del Ministerio de Minería "Reglamento para

la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de los Depósitos de Relaves".

2.9 La Empresa Minera deberá mantener de forma permanente en la faena minera, una copia íntegra de esta Resolución, conjuntamente con el proyecto y observaciones que dieron origen a ésta.

2.10 Toda la documentación pertinente presentada, esto es, tanto el Proyecto como los antecedentes adicionales proporcionados a este Servicio, forman parte integrante de esta Resolución Aprobatoria, la que se extiende sólo para la faena descrita, en las condiciones, tipo de trabajo y lugar indicado.

2.11 Los antecedentes tenidos a la vista para otorgar la presente resolución aprobatoria han sido aportados por el requirente, quien asume la responsabilidad de su veracidad.

3. **TÉNGASE PRESENTE,** que de conformidad a lo dispuesto en el artículo 10 del D.S. N°248, de 2006, del Ministerio de Minería, Reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de depósitos de relaves, las modificaciones durante la construcción u operación del depósito de relaves, cuyo proyecto es aprobado por este acto, deberán ser informadas al Servicio antes de su implementación, para obtener su aprobación.

4. **TÉNGASE PRESENTE**, que en contra de la presente Resolución Exenta procede el recurso de reposición establecido en el capítulo IV, Párrafo 2° de la Ley N° 19.880, el que deberá interponerse dentro del plazo de 5 días siguientes a su notificación ante este Sub Director Nacional de Minería, y en subsidio el Recurso Jerárquico ante el Director Nacional del Servicio.

5. **NOTÍFIQUESE,** la presente Resolución al interesado mediante carta certificada a doña Ana Zuñiga Sanzana, de nacionalidad chilena, Rut 8.398.303-5, representante legal de Compañía SCM Minera Lumina Copper Chile, domiciliada en Av. Colipí N°879, ciudad de Copiapó

ANÓTESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
SUB-DIRECTOR DE MINERIA

PABLO RIVAS MUÑOZ
SUBDIRECTOR NACIONAL DE MINERIA (S)
SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

ARL/SMDP/SUA
DISTRIBUCIÓN.-
- Sra. Ana Zuñiga Sanzana,
  Representante legal Compañía SCM Minera Lumina Copper Chile
  Dirección en Av. Colipí N°879, Copiapó
- Dirección Nacional
- Subdirección Nacional de Minería
- Dirección Regional Atacama
- Depto. Seguridad Minera
- Depto. de Relaves
- Of. de Parte