DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

DEPÓSITO DE RELAVES FILTRADOS
CM FLORIDA

ANEXO Nº 5.1.
PERMISO AMBIENTAL SECTORIAL Nº 135

ELABORADO PARA

COBRE - FIERRO
COMPAÑIA MINERA FLORIDA S.A

INERCO



General Flores 90, Providencia · Santiago · Chile · Fono (+56) 2 2963 8560 · www.inercochile.com · www.ial.cl

ENERO DE 2017

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN 1

2. CONTENIDOS TÉCNICOS Y FORMALES PAS 135 RSEIA 3

2.1. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DE FAENA MINERA Y PROCESO DE LA PLANTA BENEFICIO DE MINERALES QUE GENERA LOS RELAVES (LETRA "A)" DEL ART. 135º D.S. Nº 40/12) 3

2.1.1. Localización de Faena Minera 3

2.1.2. Descripción general de la Faena Minera 3

2.1.3. Descripción de la planta de beneficio 4

2.2. UBICACIÓN DEL DEPÓSITO (LETRA "B)" DEL ART. 135º D.S. Nº 40/12) 6

2.3. CRONOGRAMA DE LA CONSTRUCCIÓN (LETRA "C)" DEL ART. 135º D.S. Nº 40/12) 7

2.4. CAPACIDAD DEL DEPÓSITO (LETRA "D)" DEL ART. 135º D.S. Nº 40/12) 9

2.5. PRESENTACIÓN DE ANTECEDENTES GEOLÓGICOS, GEOTÉCNICOS, HIDROLÓGICOS, HIDROGEOLÓGICOS, SÍSMICOS, METEOROLÓGICOS, TOPOGRÁFICOS Y OTROS QUE CORRESPONDAN (LETRA "E)" DEL ART. 135º D.S. Nº 40/12) 9

2.5.1. Antecedentes geológicos 9

2.5.2. Antecedentes geotécnicos 11

2.5.3. Antecedentes hidrológicos 12

2.5.4. Antecedentes hidrogeológicos 14

2.5.5. Antecedentes sísmicos 16

2.5.6. Antecedentes meteorológicos 17

2.5.7. Antecedentes topográficos 18

2.5.8. Otros antecedentes que correspondan 19

2.6. DIAGRAMA DE FLUJO Y PLANO GENERAL DE LAS OBRAS ASOCIADAS AL DEPÓSITO (LETRA "F)" DEL ART. 135º D.S. Nº 40/12) 20

2.6.1. Conducción de relaves a planta de filtrado 21

2.6.2. Espesamiento de relaves 21

2.6.3. Filtrado de relaves 22

2.6.4. Sistema de conducción agua recuperada a planta concentradora 22

2.6.5. Depósito de relaves filtrados 23

2.6.6. Muro de pie del depósito 23

2.6.7. Sistema de manejo de aguas 24

2.6.8. Instrumentación geotécnica 25

2.7. DESCRIPCIÓN DE LAS DIMENSIONES DEL DEPÓSITO (LETRA "G)" DEL ART. 135º D.S. Nº 40/12) 26

2.8. INDICAR SI EXISTEN OTROS DEPÓSITOS ADYACENTES Y SUS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES (LETRA "H)" DEL ART. 135º D.S. Nº 40/12) 29

2.9. DESCRIPCIÓN E ILUSTRACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DE DISEÑO (LETRA "I)" DEL ART. 135º D.S. Nº 40/12) 33

2.10. DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE RIESGO POTENCIALMENTE AFECTADA EN CASO DE COLAPSO O REMOCIÓN DEL MURO DEL DEPÓSITO DE RELAVES (LETRA "J)" DEL ART. 135º D.S. Nº 40/12) 36

2.11. MANUAL DE EMERGENCIAS DE CONTROL, MITIGACIÓN, REPARACIÓN Y COMPENSACIÓN DE LOS EFECTOS DE ACCIDENTES, SITUACIONES DE EMERGENCIA Y EVENTOS NATURALES, SEGÚN CORRESPONDA (LETRA "K)" DEL ART. 135º D.S. Nº 40/12) 39

3. APÉNDICES 40

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO Nº 2.1.1. GENERACIÓN DE RELAVES DE LA PLANTA DE BENEFICIO EN OPERACIÓN 5
CUADRO Nº 2.2.1. COORDENADAS DEL PROYECTO, DEPÓSITO DE RELAVES FILTRADOS 6
CUADRO Nº 2.5.1. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LAS CUENCAS APORTANTES 14
CUADRO Nº 2.5.2. RAZÓN C(T)/C(10) PROPUESTA EN LA METODOLOGÍA DE VERNI-KING 14
CUADRO Nº 2.7.1. SUPERFICIE DE LAS OBRAS DEL DEPÓSITO DE RELAVES FILTRADOS 26

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA Nº 2.3.1. CRONOGRAMA FASE DE CONSTRUCCIÓN 8
FIGURA Nº 2.5.1. ESQUEMA DE CUENCAS APORTANTES 13
FIGURA Nº 2.5.2. ESQUEMA GENERAL DE LAS UNIDADES LITO ESTRATIGRÁFICAS QUE INTERVIENEN EN LA HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ELQUI 15
FIGURA Nº 2.5.3. MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LAS ÁREAS DE RESTRICCIÓN O SENSIBILIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEA 16
FIGURA Nº 2.5.4. ACERCAMIENTO DE LA VISTA EN PERSPECTIVA GOOGLE EARTH, DE LA ZONA DEL ACOPIO PROYECTADO 18
FIGURA Nº 2.5.5. CORTE VERTICAL ESTRATIGRAFÍA Y DESARROLLO DE HORIZONTES 19
FIGURA Nº 2.6.1. DIAGRAMA DE FLUJO 20
FIGURA Nº 2.7.1. DISPOSICIÓN GENERAL FUTURO DEPÓSITO DE RELAVES FILTRADOS 27
FIGURA Nº 2.7.2. GEOMETRÍA DEL DEPÓSITO DE RELAVES 27
FIGURA Nº 2.7.3. SECCIÓN TALUD Y BERMA DEL RELAVE 28
FIGURA Nº 2.7.4. FORMA DE APOYO DEPÓSITO DE RELAVES FILTRADOS SOBRE MURO DE ARENAS EXISTENTE 28
FIGURA Nº 2.7.5. RITMO DE DEPÓSITO DEL RELAVE 29
FIGURA Nº 2.7.6. ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN TERRAZAS (VISTA EN PLANTA) 29
FIGURA Nº 2.8.1. UBICACIÓN DE LOS DEPÓSITOS ADYACENTES 32
FIGURA Nº 2.9.1. DISPOSICIÓN GENERAL FUTURO DEPÓSITO DE RELAVES FILTRADOS 33
FIGURA Nº 2.9.2. GEOMETRÍA DEL DEPÓSITO DE RELAVES 34
FIGURA Nº 2.9.3. SECCIÓN TALUD Y BERMA DEL RELAVE 34
FIGURA Nº 2.9.4. RITMO DE DEPÓSITO DEL RELAVE 35
FIGURA Nº 2.9.5. ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN TERRAZAS (VISTA EN PLANTA) 35
FIGURA Nº 2.8.1. LOCALIZACIÓN DE MURO DE PIE EN ÁREA DE DEPÓSITO DE RELAVES FILTRADOS 36

FIGURA Nº 2.8.2. SECCIÓN TIPO MURO DE PIE DEL DEPÓSITO DE RELAVES FILTRADOS 37
FIGURA Nº 2.8.3. CÁLCULO DE LA DISTANCIA PELIGROSA, DEPÓSITO DE RELAVES FILTRADOS CM FLORIDA 39

1. INTRODUCCIÓN

Compañía Minera Florida S.A. (en adelante e indistintamente "Minera Florida" o "el Titular"), somete a evaluación la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) del proyecto minero denominado "Depósito de Relaves Filtrados CM Florida" corresponde a la implementación de un nuevo depósito de relaves filtrados para la Planta de Beneficio de CM Florida, Faena Tambillos, actualmente en funcionamiento. Dicho depósito estará conformado por siete terrazas con una altura estimada de siete m cada una (7 m). Conforme a la producción de relaves de la Planta de Beneficio, equivalente a 2.880 ton/día, se ha estimado una capacidad de almacenamiento de 3.540.293 m^3 de relaves, equivalentes a 7.256.600 ton.

En forma complementaria, el sistema requerirá la construcción de una serie de unidades de apoyo a la actividad:

- Ductos de conducción de relaves.
- Planta de filtrado de relaves.
- Sistema de drenaje y recuperación de aguas.
- Muro de pie del depósito.
- Oficina sector Planta de Filtrado.
- Bodega de sustancias peligrosas.

En el presente documento se presentan los antecedentes técnicos y formales necesarios que permiten acreditar el cumplimiento del Permiso Ambiental Sectorial N° 135 (PAS 135), indicado en el Artículo 135º del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (RSEIA), D.S. Nº 40/2012 del Ministerio del Medio Ambiente, el que señala:

> *Artículo 135.- Permiso para la construcción y operación de depósito de relaves.*
>
> *El permiso para la construcción y operación de depósito de relaves, será el establecido en el artículo 9º del Decreto Supremo Nº 248, de 2006, del ministerio de Minería, Reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relave.*
>
> *El requisito para su otorgamiento consiste en velar por la estabilidad física y química del depósito y su entorno, con el fin de proteger el medio ambiente de manera de no se ponga en riesgo la vida y salud de las personas.*

Por su parte en señalado el artículo 9º del D.S. Nº 248/07 indica que:

> *Artículo 9°.- Los depósitos de relaves, cualquiera sea su tipo, ritmo de crecimiento, dimensión y ubicación, requieren la aprobación, por parte del Servicio, del proyecto correspondiente en forma previa a su Construcción y Operación. El incumplimiento*

de esta disposición facultará a SERNAGEOMIN para aplicar sanciones de acuerdo al presente Reglamento.

En el contexto de la evaluación ambiental del Proyecto, al Art. 135º, en relación con el Permiso para la construcción y operación de depósito de relaves, señala:

Los contenidos técnicos y formales que deben presentarse para acreditar su cumplimiento son los siguientes:

a) Localización y descripción general de la faena de explotación minera y proceso de la planta de beneficio de minerales que genera los relaves.
b) Ubicación del depósito.
c) Cronograma de la construcción.
d) Capacidad del depósito.
e) Presentación de antecedentes geológicos, geotécnicos, hidrológicos, hidrogeológicos, sísmicos, meteorológicos, topográficos y otros que corresponda.
f) Presentación de un diagrama de flujo y plano general de las obras asociadas al depósito de relaves.
g) Descripción de las dimensiones del depósito tanto en altura y largo de muro, como de área y volumen del depósito, como también su plan de crecimiento.
h) Indicar si existen otros depósitos adyacentes y sus características principales.
i) Descripción e ilustración de las características especiales de diseño.
j) Determinación del área de riesgo potencialmente afectada en caso de colapso o remoción del muro del depósito de relaves.
k) Manual de emergencias de control, mitigación, reparación y compensación de los efectos de accidentes, situaciones de emergencia y eventos naturales, según corresponda.

En este sentido, la vinculación del Proyecto con el citado artículo se refiere a que el Proyecto corresponde a una faena minera, por tanto, en el presente informe se presentan los contenidos técnicos y formales requeridos para dar cumplimiento a lo estipulado en el D.S. Nº 40/12 y el artículo mencionado.

2. CONTENIDOS TÉCNICOS Y FORMALES PAS 135 RSEIA

Los contenidos técnicos y formales que deben presentarse para acreditar el cumplimiento del PAS 135, son los siguientes:

2.1. Localización y Descripción General de Faena Minera y Proceso de la Planta Beneficio de Minerales que Genera los Relaves (letra "a)" del Art. 135º D.S. Nº 40/12)

2.1.1. Localización de Faena Minera

La ubicación político-administrativa a nivel regional, provincial y comunal del Proyecto es la siguiente:

Región **:** Región de Coquimbo.
Provincia **:** Elqui.
Comuna **:** Coquimbo.

El acceso al área del Proyecto se realiza a través de la Ruta 43, a la cual se accede desde la ciudad de La Serena, 28 km hacia el Sur empalmado con el camino a Planta Tambillos, Rol D-421, el que se encuentra debidamente señalizado, continuando por este acceso en dirección poniente, por aproximadamente 800 m hasta la entrada a la Planta de Beneficios, posteriormente se realizará el acceso al área de Proyecto a través de los caminos internos de la Planta.

El Proyecto específicamente se localizará en el sector sur de la Planta de Beneficios Tambillos en funcionamiento, emplazada próxima a la localidad rural de la comuna de Coquimbo.

En el capítulo Descripción de Proyecto de la presente DIA, se encuentra disponible la Figura Nº 2.3.1. "Mapa de ubicación general del Proyecto".

2.1.2. Descripción general de la Faena Minera

Desde Mina Florida se abastece de mineral a la Planta de Beneficio para la producción de concentrado de cobre. Actualmente, la operación minera cuenta con aprobación ambiental a través de la RCA Nº 032/16, para desarrollar un régimen de beneficio de mineral igual a 3.000 ton/día, equivalentes 90.000 ton/mes. No obstante lo anterior, este régimen productivo solo será alcanzado una vez se cuente con el nuevo depósito de relaves.

En cuanto a la disposición de relaves, se ha estimado que la vida útil del embalse actualmente en funcionamiento corresponde a aproximadamente dos años (2 años). Conforme a lo anterior, y en virtud de la existencia de reservas mineras e instalaciones operativas adecuadas para mantener el desarrollo de la faena minera de acuerdo al régimen de producción evaluado y aprobado ambientalmente (botadero, mina y Planta de Beneficio), se requiere la implementación de un nuevo depósito de relaves para dar continuidad operacional al proyecto minero.

Se debe precisar que no se requerirá la instalación de faenas para la construcción del nuevo depósito de relaves, considerando que se utilizarán las instalaciones existentes en el sector de la Planta de Beneficio. No obstante lo anterior, se habilitará un contenedor modular como oficina en el sector sur de la Planta de Beneficio, donde se contemplan los nuevos equipos asociados al filtrado de los relaves.

En cuanto al manejo, almacenamiento temporal y disposición final de los residuos generados en el marco del Proyecto, la implementación de éste no supondrá una modificación a las instalaciones de almacenamiento existentes en la Planta de Beneficio CM Florida ni a su periodicidad de retiro/limpieza.

Se contempla para la fase de construcción una dotación total de 50 trabajadores externos (contratistas), estimándose contar con un promedio y peak diario de 25 trabajadores, quienes trabajarán en turnos diarios (25 personas por turno).

2.1.3. Descripción de la planta de beneficio

La Planta de Beneficio ha obtenido recientemente la aprobación ambiental (RCA Nº 032/2016) para incrementar su producción de concentrado de cobre a 3.000 ton/día y contar con una capacidad nominal de la Planta a 6.000 ton/día. En cuanto a las instalaciones requeridas para el desarrollo del proceso productivo de la Planta proyectado, se contará con 3 líneas de proceso en la Planta, dos asociadas al chancado del mineral y una asociada al proceso de flotación. A continuación, se listan las principales partes y componentes del proceso de beneficio, a saber:

- **Cancha de Acopio de Mineral:** La cancha de acopio de mineral se encuentra en la sección oriental de la Planta de Beneficio, tiene por objetivo acumular temporalmente el mineral proveniente de la Mina Florida que posteriormente será utilizado en el proceso productivo.
- **Chancador Primario / Secundario / Terciario / Cuaternario:** En general el proceso de chancado es la etapa donde se reduce el tamaño del mineral, como éste no puede ser realizado de una sola vez, es necesario dividir en etapas sucesivas de chancado primario, secundario, terciario y cuaternario en caso de ser necesario.

  En la primera etapa de reducción de tamaño del mineral, éste ingresa al chancador primario con un tamaño de hasta 750 mm, el que luego de ser triturado reduce su tamaño hasta 6 veces. CM Florida posee un chancador primario (de mandíbulas), al que se le puede ajustar la abertura de salida. Ello dependerá de las características y de las exigencias que la Planta requiera. El chancador primario se ubica en un sector aledaño a los sectores de acopio de mineral, el que es cargado por medio de cargadores frontales, evitando colapsar la abertura de entrada del material grueso al chancador.
- **Correa Trasportadoras:** Las correas transportadoras trasportan el mineral hacia los chancadores secundarios, terciarios, cuaternarios y molino.
- **Harnero:** El harnero selecciona el mineral si cumple con el tamaño especificado de los distintos dispositivos que disminuyen tamaño.

- **Stock Pile:** Esta unidad corresponde a un área de acopio transitorio de mineral, es necesario acopiar el mineral antes de abastecer la etapa de molienda, puesto que al mineral se le agrega cal para mejorar este proceso.
- **Molinos:** Reduce a material fino el mineral proveniente de la etapa de chancado. Los molinos utilizados en la Planta de Beneficio, corresponden al tipo molino de bolas de acero. La base de su operación consiste en hacer girar el molino y por efecto cascada las bolas golpean el mineral, el que reduce su tamaño a partículas finas.

  La alimentación a molienda, la componen agua y mineral de producción disminuido a una granulometría máxima menor a 9 mm, este material mediante dosificadores se le agrega Cal antes de ingresar a molienda, con la finalidad de generar una pulpa básica con pH 11.
- **Celdas Flotación:** En esta unidad el material fino se transporta como pulpa, donde se agregan reactivos para incorporarles propiedades hidrofóbicas a las partículas de cobre, oro y plata, con el objetivo de que dichas partículas puedan repeler el agua, éstas se adhieran a las paredes de burbujas de aire que se generan en las celdas, para poder ser transportadas a la parte superior a través de estas burbujas y depositadas en una canaleta por intermedio de una paleta. El material que no se adhiere a las burbujas, es retirado de las celdas de flotación por medio de tuberías hacia el embalse de relaves que posee la planta.
- **Filtro Cerámico:** A continuación de las celdas de flotación se encuentran los filtros cerámicos, los que por medio de temperatura y presión extraen la humedad de la solución acuosa rica en cobre dejando un polvo fino llamado concentrado de cobre con aproximadamente 10% de humedad y 26% de cobre.
- **Patio de Secado:** El concentrado de cobre actualmente se acopia en el patio de secado antes de realizar el transporte para su comercialización. Para ello se dispone de un lugar destinado exclusivamente al almacenamiento transitorio, el cual cuenta con todas las medidas de seguridad para evitar accidentes.

En síntesis, el funcionamiento de la Planta de Beneficio genera un Residuo Minero Masivo correspondientes a *"relaves"*, los que actualmente son dispuestos en el embalse de autorizado (RCA Nº 076/2011) .

Cuadro Nº 2.1.1. Generación de Relaves de la Planta de Beneficio en Operación

RESIDUOS	CANTIDAD (TON/MES)	ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD	DISPOSICIÓN FINAL
Relaves Sin Filtrar	48.481 ton/mes	Inerte	Embalse de Relaves (en funcionamiento)
Relaves Filtrados	86.400 ton/mes		Acopio de Relaves Filtrados (proyectado)

Fuente: Compañía Minera Florida S.A, 2016.

2.2. Ubicación del Depósito (letra "b)" del Art. 135º D.S. Nº 40/12)

La ubicación político-administrativa a nivel regional, provincial y comunal del Depósito es la siguiente:

Región **:** Región de Coquimbo.
Provincia **:** Elqui.
Comuna **:** Coquimbo.

Tal como ha sido indicado anteriormente, éste se emplazará en el predio de propiedad de CM Florida, Faena Tambillos. Las coordenadas asociadas al nuevo depósito de relaves filtrados y sus principales unidades se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro Nº 2.2.1. Coordenadas del Proyecto, Depósito de Relaves Filtrados

VÉRTICE	COORDENADAS UTM WGS 84	
	ESTE	NORTE
DEPÓSITO DE RELAVES FILTRADOS		
1	284.580	6.656.585
2	284.456	6.656.305
3	284.187	6.656.385
4	283.809	6.656.512
5	283.811	6.656.623
6	283.836	6.656.642
7	283.887	6.656.639
8	283.907	6.656.650
9	283.937	6.656.666
10	284.061	6.656.667
11	284.136	6.656.669
12	284.198	6.656.652
13	284.248	6.656.657
14	284.348	6.656.647
15	284.350	6.656.679
16	284.375	6.656.699
17	284.398	6.656.709
18	284.577	6.656.703
PLANTA DE FILTRADO		
1	284.390	6.656.832
2	284.464	6.656.832
3	284.464	6.656.741
4	284.390	6.656.741
PISCINA DE EMERGENCIA		
1	283.720	6.656.608
2	283.775	6.656.608
3	283.775	6.656.558

VÉRTICE	COORDENADAS UTM WGS 84	
	ESTE	NORTE
4	283.720	6.656.558
OFICINA		
1	284.449	6.656.827
2	284.451	6.656.827
3	284.451	6.656.821
4	284.449	6.656.821
MURO DE PIE		
1	283.794	6.656.707
2	283.789	6.656.505
3	284.463	6.656.280

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En el capítulo Descripción de Proyecto de la presente DIA se encuentra disponible Figura Nº 2.3.1. “Mapa de ubicación general del Proyecto”.

2.3. Cronograma de la Construcción (letra “c)” del Art. 135º D.S. Nº 40/12)

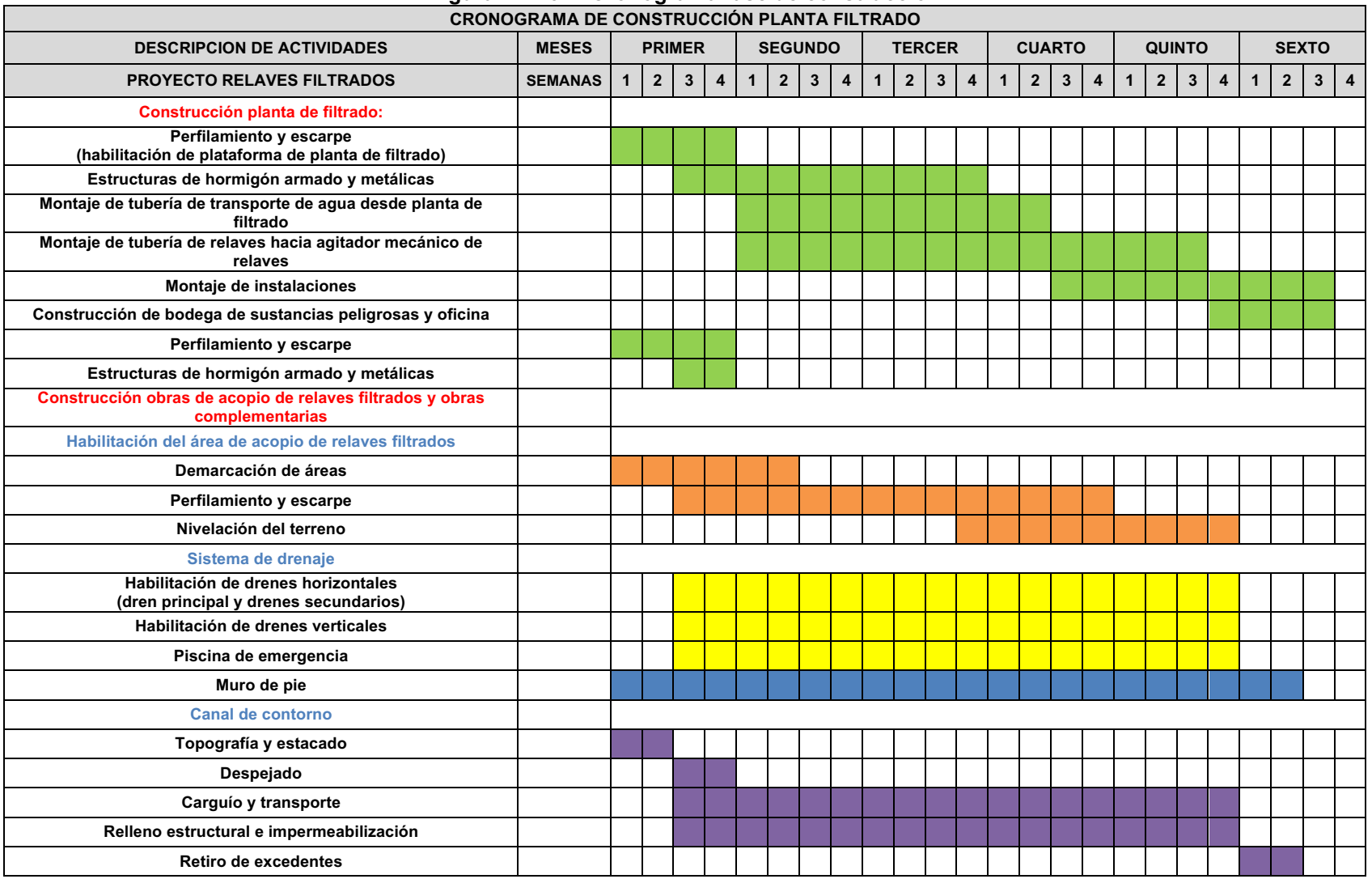
La obra que dará inicio a la fase de construcción corresponde al inicio del proceso de movimientos de tierra requerido para comenzar con la construcción del acopio de relaves, específicamente con la habilitación de la plataforma de las plantas de espesamiento y filtrado. La fecha estimada de inicio de esta fase corresponde al mes de abril del año 2017.

Para la fase de construcción del Proyecto se contempla una duración de 6 meses. La acción que dará término a la fase de construcción, se refiere a las pruebas y puesta en marcha de los equipos del sistema de filtrado y la posterior disposición de los relaves en el acopio habilitado para dichos efectos. La fecha estimada de término de la fase de construcción corresponde al mes de septiembre del año 2017.

No obstante lo anterior, la fecha de inicio de la fase está condicionada a la obtención de la RCA favorable al Proyecto y a otras labores administrativas asociadas al inicio de la fase de construcción.

La Figura Nº 2.3.11. considera el cronograma de la fase de construcción y las actividades específicas que componen ésta.

Figura Nº 2.3.1. Cronograma fase de construcción



Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.4. Capacidad del Depósito (letra "d)" del Art. 135º D.S. Nº 40/12)

La capacidad de almacenamiento del Depósito de relaves filtrados corresponde a un volumen equivalente a 3.540.293 m^3 o a un peso equivalente a 7.256.600 ton de relaves.

El depósito estará conformado por siete (7) terrazas con una altura estimada de siete (7) m cada una (7 en total), dispuestos de manera tal que permita la existencia de bermas de 5 m y un talud general de H:1 = 3:1.

2.5. Presentación de antecedentes geológicos, geotécnicos, hidrológicos, hidrogeológicos, sísmicos, meteorológicos, topográficos y otros que correspondan (letra "e)" del Art. 135º D.S. Nº 40/12)

2.5.1. Antecedentes geológicos

El área del depósito de relaves filtrados, se ubica referencialmente en el valle de relleno aluvial Las Cardas, el cual se sitúa sobre unidades sedimentarias correspondientes a depósitos aluviales compuestos por sedimentos y material detrítico cataclástico, más rocas volcánicas andesíticas, de textura brechosa, de edad cretácica superior temprana, de la Fm. Arqueros. De acuerdo a las unidades lito estratigráficas mapeadas y reconocidas en la carta publicada por el SERNAGEOMIN (Thomas, 1987). Éstas unidades sedimentarias se detallan a continuación:

Rocas sedimentarias modernas. En el área existen, además, rocas sedimentarias marinas fosilíferas, de edad terciaria y cuaternaria, que en parte engranan con' depósitos aluviales y de terraza de amplia distribución en la hoja geológica

- **Qa**: Depósitos aluviales del Cuaternario (Holoceno) correspondientes a brechas no consolidadas polimicticas en matriz de arena y limo, en matriz arenosa constituyen el relleno de valles, quebradas y escombreras de cerros. Estos sedimentos son mal clasificados y heterogéneos, con clastos y colpas que van desde 3 a 4 centím hasta colpas de varios decím.
- **Qf2**: Depósitos fluviales (Holoceno Reciente). Son gravas gruesas a muy gruesas, polimícticas, en abundante matriz de arena. Constituyen el relleno de valles y quebradas y forman conos de deyección en la salida de estas quebradas En contacto con estos, a lo largo de antiguos valles fluviales se disponen depósitos fluviales (Holoceno). De más antiguos, gravas gruesas a muy gruesas polimicticas (de composición de clastos heterogéneos) en abundante matriz de arena, poco consolidadas. Los más recientes (Holoceno) son gravas gruesas a muy gruesas polimicticas en abundante matriz de arena, no consolidadas.
- **MPlc**: Formación Confluencia (Mioceno~Pleistoceno). (a) Conglomerados medios a muy gruesos, clasto soportados (transporte gravitacional) polioligomicticos, poco consolidados. Clastos redondeados, discoidales, imbricados y un 30-40% meteorizados. Matriz intersticial de arena muy fina a muy gruesa. Brechas en matriz auto soportadas, gruesas a muy gruesas, oligomícticas, mediana a baja consolidación. Clastos angulosos, en parte orientados, con matriz limo arenosa a areniscas de guijarros.

Rocas estratigráficas cretácicas. En torno a secuencias estratificadas, en el área del depósito de relaves, éstas se componen de rocas sedimentarás y volcánicas, además de volcano- clásticas. Dichas formaciones estratigráficas se describen a continuación:

- Ka(a1): Formación Arqueros (Neocomiano) Corresponden a rocas volcánicas, de composición andesítico-basáltica, de desopilación submarina y sub aérea, con intercalaciones de rocas sedimentarias marinas. Niveles de lavas porfíricas ('ocoítas'): andesitas basálticas de piroxeno, basaltos de piroxeno-olivino, andesitas de anfíbola-piroxeno y de anfíbola.
- Ka(a2): Formación Arqueros del Cretácico Inferior, Basaltos y andesitas porfíricas de anfíbola--piroxeno con intercalaciones de niveles sedimentarios marinos.

Estas secuencias estratificadas tienen una actitud monoclinal hacía el este, factor que favorece que las infiltraciones de agua en los sectores donde se exponen haga migrar las aguas subterráneas hacia valles y acuíferos localizados hacia el este del área de estudio.

Estratigrafía local en área depósito de relaves filtrados: La intemperización en el sustrato rocoso en el lecho del valle Las Cardas evidencia un desarrollo de sedimentos regolíticos fragmentados in situ y con tres horizontes de suelo con una permeabilidad débil, la que disminuye en profundidad y que, más abajo del metro de profundidad, se comporta como el nivel de roca basal, correspondiente a una brecha volcánica muy competente y compactada.

En base a perfil estratigráfico analizado, el suelo del área del Proyecto se puede describir de la siguiente manera:

- Horizonte A: capa de suelo vegetal orgánico, café claro a oscuro, en contacto directo con atmósfera, posee defectos de clima e intemperización. Elementos líticos y restos orgánicos en matriz de arena y clastos. Permeabilidad media. 25-30 cm.
- Horizonte B: capa de suelo mixto, orgánico con mayor porcentaje de líticos, en matriz areno arcillosa, de color pardo café a pardo rojizo. Fracción fina o matriz más compacta, clastos de tamaño heterogéneo polimícticos, forma terrones compactos, menos permeable que el anterior. 25-30 cm.
- Horizonte C: Mayor aporte de líticos y menos orgánico. Clastos de mayor tamaño, pero más homogéneos, en fracción fina más pardo rojiza claro, con limos y arcillas cementando los clastos mayores. Nivel más compacto, de mayor dureza y resistencia mecánica y menos permeable que el anterior. Clastos y fragmentos de roca de la interface con la sirca en mayor proporción. 40-50 cm.
- Interfase D: Conocida como “sirca” o “circa”, de textura regolítica, compuesta principalnebte por grandes fragmentos y rodados cataclásticos de unidades de rocas volcánicas tipo brechas andesíticas de la Formación Arqueros. Nivel muy compacto, duro y tenaz de gran resistencia mecánica, aunque muy fragmentada in situ por esfuerzos tectónicos ocurridos durante el enfriamiento y consolidación de las ricas volcánicas del Cretácico Superior. Poca a casi nula permeabilidad. Variable entre 70 a 90 cm, hasta 1 m.

- Nivel basal E: Unidad de roca volcánica brechosa, muy alterada de color pardo verdoso a verde azulado blanquecino, muy dura, competente e impermeable. De aspecto regolítico, fragmentada in situ, pero con escaso a nulo transporte. Efectos de meteorización en colpas y bloques parcialmente removidos., de textura regolítica, compuesta principalmente por grandes fragmentos y rodados cataclásticos de unidades de rocas volcánicas tipo brechas andesíticas de la Formación Arqueros. Nivel muy compacto, duro y tenaz de gran resistencia mecánica, aunque muy fragmentada in situ por esfuerzos tectónicos ocurridos durante el enfriamiento y consolidación de las ricas volcánicas del Cretácico Superior. Poca a casi nula permeabilidad. Más de 1.0 m de espesor y profundidad. Detectados en el presente informe.

Desde los horizontes de suelo, en el corte vertical examinado en la parte sur del área, hasta el nivel de brecha andesítica basal identificada, el área del depósito se ve continua en su extensión areal, salvo pequeñas variaciones de fases, propias de los sedimentos, y con las características geotécnicas de buena estabilidad y compactación, sin ningún tipo de estructuras menores que las puedan afectar en el evento de algún sismo.

La permeabilidad de estas unidades, desde el nivel denominado como *"Tertel"* o *"Duripan"* en el Informe de Permeabilidad de Minera Tambillos (2008), reconocido ahora como el Horizonte C más la Interface D o "circa", ambos con un coeficiente o factor de permeabilidad casi nulo, altamente impermeables.

Del Perfil geológico se distingue claramente que, en la Región de Coquimbo, La Depresión Intermedia o valle longitudinal queda delimitado por la Falla Romeral al oeste y la Falla El Cobre hacia el este.

La Fallas Romeral, que delimita el Dominio Costero del Dominio Occidental, en el que se sitúa el área de estudio y donde se encuentra actualmente la Planta Concentradora Tambillos. (Emparan, SERNAGEOMIN, 2006).

Para el interés del presente estudio, a escala local no existen grandes estructuras de importancia dentro de los límites del depósito o en las inmediaciones de la Planta que puedan concitar algún tipo de monitoreo en este aspecto

2.5.2. Antecedentes geotécnicos

En torno a la interpretación geológica geotécnica del lugar, la fragmentación de las rocas *in situ* favorece el desarrollo de regolitos, material clástico de la roca sustrato que se depositan en el lugar, con espesores o profundidades no superares a 90 cm a 1,2 m de profundidad. No obstante, estas unidades presentan un alto grado de cementación de los líticos, con un escaso transporte. Esto unido a la fracción arcillosa y limosa que actúa como cementante, le otorga a este tertel un alto grado de competencia, dureza y muy poca permeabilidad.

A lo anteriormente expuesto se debe sumar el hecho que la actitud de las rocas volcánicas de la Formación Arqueros que sirve de sustrato rocoso tienen una disposición inclinada hacia el este, lo que significa que los planos de estratificación de las mismas se

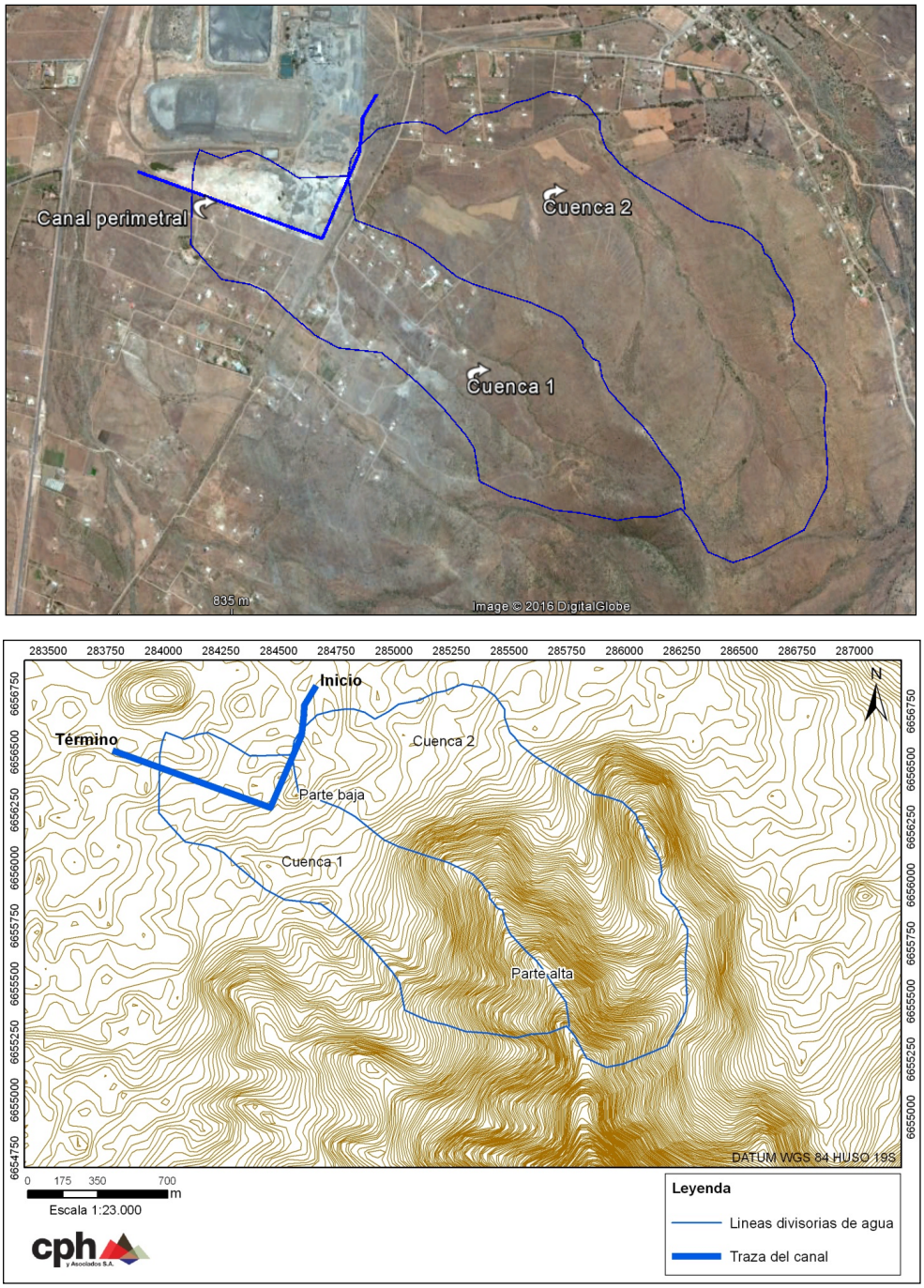
profundizan en dirección a las capas más profundas de la corteza. Esto es un factor favorable que minimiza el riesgo potencial de infiltraciones hacia las extensiones de suelo vegetal o áreas cultivables.

El Informe Técnico de Permeabilidad (Compañía Minera Florida, 2007), describe en el área del Proyecto el desarrollo de dos horizontes de suelo de carácter superficial, muy heterogéneos, ambos que forman un suelo orgánico con buena permeabilidad, este suelo alcanza una profundidad variable de 0,9 a 1,0 m. Los 50 a 70 centímetros más profundos ya corresponden a un tertel o suelo aterronado con mayor compactación y con permeabilidad media a baja, El tercer suelo es un suelo rocoso, compuesto principalmente por fragmentos de roca y guijarros fracturados y muy compactados; suelo cementado por una matriz oligomíctica y con un grado de permeabilidad muy bajo a impermeable.

2.5.3. Antecedentes hidrológicos

En base al análisis de las quebradas aledañas a la zona del futuro acopio de relaves filtrados, se puede establecer la existencia de 2 cuencas aportantes al acopio de relaves filtrados. En la siguiente figura se identifican estos 2 sistemas hídricos antes señalados.

Figura Nº 2.5.1. Esquema de cuencas aportantes



Fuente: Compañía Minera Florida S.A, 2017.

Las características morfométricas de interés para el cálculo son las siguientes:

Cuadro Nº 2.5.1. Características geomorfológicas de las cuencas aportantes

Cuenca	Superficie arriba canal	Largo cauce principal	Desnivel
	km^2	m	m
1	0,8	858	186
2	1,3	2200	220

Fuente: Compañía Minera Florida S.A, 2017.

Para el cálculo del caudal de diseño se ha adoptado el coeficiente de escorrentía base C(T=10) propuesto para la IV región, Cuenca del Limarí, que de acuerdo a la metodología toma un valor de C(T=10)=0,078. Para determinar el coeficiente de escorrentía C(T), asociado a una frecuencia T años, se utiliza la razón C(T)/C(T=10) presentada en el Cuadro a continuación, propuesta en la metodología de Verni-King contenida en el *"Manual de cálculo de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información fluviométrica"*, DGA, 1995.

Cuadro Nº 2.5.2. Razón C(T)/C(10) propuesta en la metodología de Verni-King

T (AÑOS)	C(T)/C(T=10), IV REGIÓN, LIMARÍ
2	0,44
5	0,75
10	1,00
20	1,26
50	1,62
100	1,91

Fuente: Compañía Minera Florida S.A., 2017.

La precipitación de diseño se calcula con los datos de lluvias máximas en 24 horas medidas en la estación meteorológica ubicada en La Serena, dependiente de la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas. Con estos datos actualizados se calculó, mediante software Frec de análisis de frecuencias, las probabilidades de excedencia asociadas a la serie de datos. Para determinar el caudal máximo para distintos Períodos de Retorno (PR), según indica el método, se adopta el monto de 66,12 mm como precipitación máxima en 24 horas, para un período de retorno de 10 años (P2410).

Conforme a los datos precedentes, el caudal de diseño del canal de contorno es de 1,56 m^3/s.

2.5.4. Antecedentes hidrogeológicos

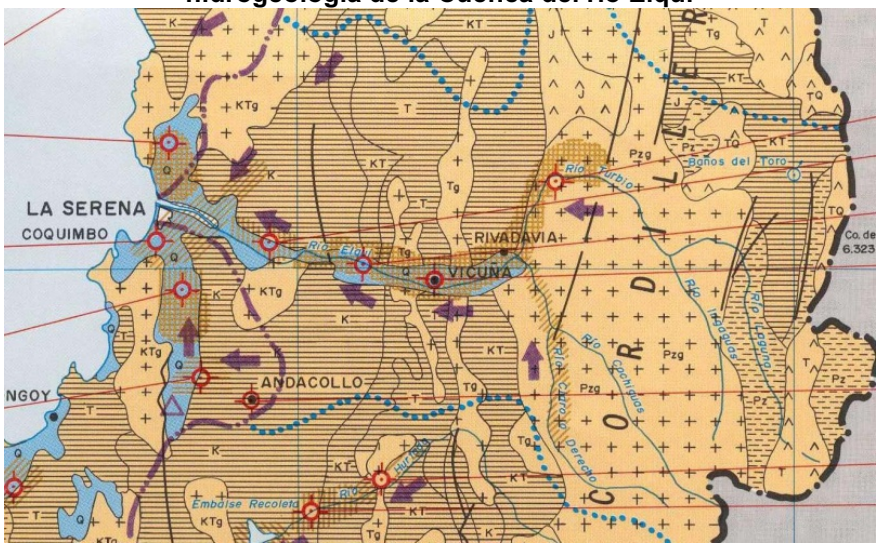
De los antecedentes hidrogeológicos revisados (DGA, Informes Técnicos y Minuta Técnica Nº 42) para el sector de Tambillos no presentan información detallada. Sin embargo, en términos hidrogeológicos clasifican a las rocas del sector en el marco de la cuenca del río Elqui, cuya cuenca hidrográfica en su parte alta, destaca la existencia de permeabilidad muy baja debido al tipo de roca que presenta, motivo por el cual el escurrimiento subterráneo ocurre paralelo a los cauces.

Por otra parte, en las cercanías de La Serena existe un acuífero que escurre en dirección norte – sur - oeste, paralelo a la cordillera de la Costa. En la parte alta y media, destaca la existencia de permeabilidad muy baja. Las características de impermeabilidad de las rocas originan que el acuífero escurra paralelo a los cursos de agua. Destacan tres escurrimientos, el primero en dirección Sur - Oeste (S – W) que escurre paralelo al río Hurtado, hasta las cercanías de la localidad de Ovalle.

En dirección noroeste escurre un acuífero paralelo al río Grande hasta la confluencia con el río Hurtado en Ovalle. En dirección Sur - Norte (S – N) escurre el último acuífero paralelo al río Combarbalá hasta el Embalse La Paloma.

El Proyecto se sitúa sobre dos unidades de rocas intrusivas graníticas, una de edad jurásica hacia el Oeste y la otra de edad cretácica inferior a media hacia el este (un rango mayor a 115 a 120 millones de años). Por su origen magmático y la configuración de los plutones intrusivos, ya sean graníticos o granodioríticos en la parte occidental del perfil geológico (Figura Nº 2.5.2) es poco probable el emplazamiento o desarrollo de acuíferos de importancia en profundidad, bajo las raíces de los plutones graníticos y/o granodioríticos de edad jurásica superior o cretácica Inferior a Media.

Figura Nº 2.5.2. Esquema general de las unidades lito estratigráficas que intervienen en la hidrogeología de la Cuenca del río Elqui



Fuente: Fuente: Compañía Minera Florida S.A, 2016.

En el mapa de distribución de las áreas de restricción de aguas subterráneas superpuesto a la ubicación del depósito de relave filtrado proyectado en Tambillos, muestra el límite de estas áreas deja a las localidades de Andacollo y Tambillos justo en el borde de ellas, lo que significa que en el sector examinado la determinación de permeabilidad y el sustrato rocoso del depósito de relaves filtrados, quedan fuera de estas áreas sensibles, descartándose la probabilidad de existencia de acuíferos que pudiesen ser afectados por posibles riesgos de infiltración.

Figura Nº 2.5.3. Mapa de distribución de las áreas de restricción o sensibilidad de las aguas subterránea



Fuente: Compañía Minera Florida S.A, 2016.

2.5.5. Antecedentes sísmicos

En forma específica, el área del Proyecto se encuentra atravesada por el Sistema de Fallas Romeral, la que cruza en dirección Norte - Sur (N – S) el área del depósito proyectado.

Estas son fallas antiguas del periodo Cretácico, (110 - 120 millones de años), que a pesar de ser un rasgo estructural de importancia, no revisten ningún tipo de riesgo geotécnico, pues son estructuras litificadas hace millones de años y que no participan desde esas edades geológicas de ningún tipo de dinámica tectónica por lo que no revisten ningún grado de riesgo geológico mayor para el Proyecto.

La mayoría de los sismos de la región corresponden a liberación de tensiones y deformaciones producidas a lo largo del plano de Benioff, producto del movimiento relativo de las placas, por lo que se denominan sismos interplaca subductivos. Sin embargo, también existen eventos sísmicos originados al interior de las placas, denominados sismos interplaca, los que se explican debido a los grandes esfuerzos a las que están sometidas éstas producto de la interacción entre ellas. Los sismos interplaca originados al interior de la placa sudamericana se denominan sismos Corticales debido a que sus hipocentros no superan los 30 km de profundidad. Por otro lado, los sismos originados al interior de la Placa de Nazca son de profundidad variable por lo que se les

denomina sismos intraplaca de profundidades intermedias, pudiendo ser de tipo tensional o compresional (para más detalles ver Anexo Nº 4.3.2: Riesgo Sísmico).

Uno de los terremotos más grandes que ha tenido la zona ocurrió el 6 de abril de 1943, con una magnitud de 7,9 grados Escala Richter y originó una zona de ruptura ubicada entre las latitudes 30° y 32° Sur. El terremoto de Punitaqui y la secuencia de sismos fuera de la costa de julio de 1977, ocurrieron dentro de la zona de ruptura del éste gran terremoto, que generó un tsunami local de alturas de ola variables entre 4 a 5 m.

Los epicentros más cercanos al área se encuentran a 13 km al norte y a 35 km hacia el sur y costa afuera. A pesar de que las magnitudes involucradas son sismos, por lo general, de foco profundo, cuyos hipocentros se encuentran a profundidades superiores a los 30 km.

El último gran terremoto en la región fue el ocurrido el 16 de septiembre de 2015, cuyo epicentro se ubicó a 42 km de la localidad de Canela Baja, alcanzando una magnitud de 8,4º en la escala de Richter.

2.5.6. Antecedentes meteorológicos

El clima en el área del Proyecto corresponde al de tipo Estepárico Costero o Nuboso, con rasgos transicionales típicos de las zonas desérticas y mediterráneas templadas. Es propio a lo largo de toda la costa e influye por un rango de 40 km hacia el continente por los valles transversales. Se caracteriza por abundante nubosidad y humedad atmosférica, con temperaturas moderadas.

El área del Proyecto está en la transición entre zona hiper - árida y zona árida de Chile.

La zona híper–árida. Está comprendida entre Arica y Coquimbo, la precipitación anual varía entre 30 y 100 mm, con un período seco que dura 11 o 12 meses. Las demandas atmosféricas elevadas de agua, más la mínima cantidad de precipitaciones y la intensa radiación solar, se traduce en altos niveles de déficit hídrico especialmente durante el período primaveral y estival, superando los 1.200 mm al año. El índice de humedad invernal se mantiene por debajo de 0,2, es decir, la precipitación durante la estación húmeda no sólo cubre el 20% de las demandas creadas por la evapotranspiración potencial. No existe excedente invernal de precipitación, por lo que el escurrimiento superficial es extremadamente escaso y errático.

La zona árida. Está comprendida entre Coquimbo y Aconcagua, el promedio histórico de precipitaciones varía desde 100 mm en Coquimbo a 300 mm en Aconcagua. El período seco es de 8 a 11meses, y el déficit hídrico se mantiene entre 1000 y 1200 mm. El índice de humedad invernal pasa a valores superior a 1, es decir, dispone de una corta estación húmeda de 1 a 2 meses.

Los detalles del presente tema se encuentran disponibles en Anexo Nº 2 de la presente DIA.

2.5.7. Antecedentes topográficos

En gran parte de Chile, desde la Región de Atacama hasta la Región de Los Ríos se distinguen tres grandes rasgos morfo estructurales conocidos como Cordillera de la Costa, Depresión Intermedia y Cordillera de Los Andes; de la Región de Atacama a la Región de la Araucanía, la Depresión Intermedia y la Cordillera de la Costa presentan características algo diferentes con el desarrollo de los valles transversales.

Los rasgos prominentes en el área son tres importantes valles transversales, que de norte a sur se conocen como los valles de Elqui, Limarí y Choapa, cuya morfología permite el desarrollo de la actividad agrícola.

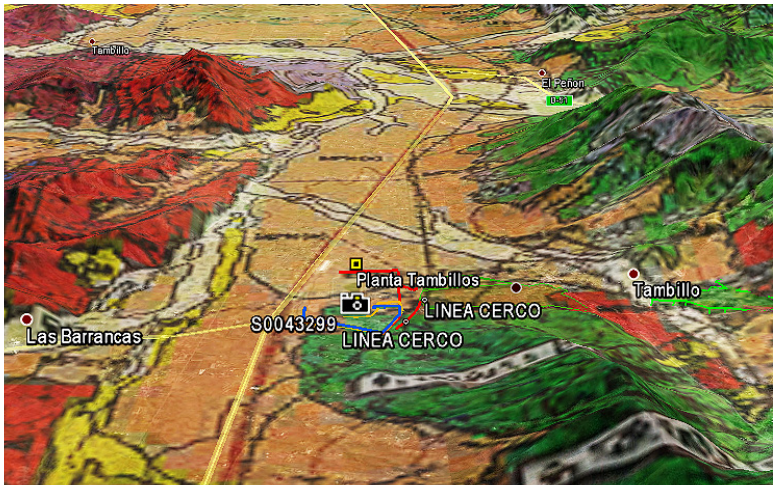
El relieve de estos cordones se orienta de oeste a este y se encuentran separados por los valles mencionados. Las planicies litorales en la región se presentan con amplio desarrollo, penetra hacia el interior hasta 40 km de ancho, su altura varía entre 0 y 200 msnm.

En la región de Coquimbo las elevaciones de las cumbres costeras son de poca altitud y alcanzan hasta los 530 msnm, y se designan como “Serranías Costaneras”, definidas por Paskoff, quien determinó la posición y extensión de algunas de las distintas terrazas de abrasión y áreas de sedimentación marina, continental y lagunar del Holoceno.

El área tiene un pobre desarrollo de cubierta vegetal, reducido a un material heterogéneo y mal clasificado, con guijarros, clastos y colpas de variado tamaño, con espesores variables de depósitos concentrados en los lechos de las quebradas.

En la imagen y en la carta topográfica del IGM, se ha determinado una diferencia de cotas de unos 200 a 250 m, desde la elevación en Quebrada Los Hornitos y Quebrada Las Cabras, en la ubicación proyectada del acopio con respecto de las cumbres de Cerro El Águila (490 msnm) y Co. Pelado (530 msnm).

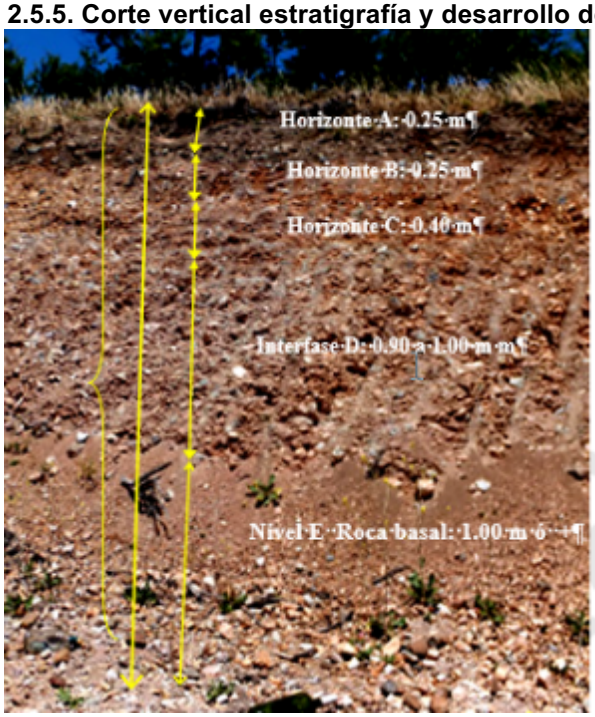
Figura Nº 2.5.4. Acercamiento de la vista en perspectiva Google Earth, de la zona del acopio proyectado



Fuente: Compañía Minera Florida S.A, 2016.

La intemperización en el sustrato rocoso en el lecho del valle Las Cardas evidencia un desarrollo de sedimentos regolíticos fragmentados in situ y con tres horizontes de suelo con una permeabilidad débil, la que disminuye en profundidad y que, más abajo del metro de profundidad, se comporta como el nivel de roca basal, correspondiente a una brecha volcánica muy competente y compactada, de acuerdo al perfil vertical mostrado en la figura 2.5.2. En esta se observa en corte vertical, la composición y desarrollo de los horizontes de cubierta (topo soil), suelos y los niveles de interface con el sustrato rocoso y la roca basal y en capítulo de geología se analiza su composición.

Figura Nº 2.5.5. Corte vertical estratigrafía y desarrollo de horizontes



Fuente: Compañía Minera Florida S.A, 2016.

El acopio de relaves filtrados se apoya sobre una cubierta regolítica [1] cuyo espesor no excede los 2 a 3 m como máximo, dependiendo del fracturamiento y de la superficie rocosa expuesta a la intemperie, la que por diferencia de temperatura entre el día y la noche, sumado al efecto de intemperización salina, ocasionada por la humedad costera, provoca la meteorización, fracturamiento y descamación de las unidades de roca, las brechas volcánicas en este caso, las que se destruyen in situ, sin mayor transporte del material fragmentado.

2.5.8. Otros antecedentes que correspondan

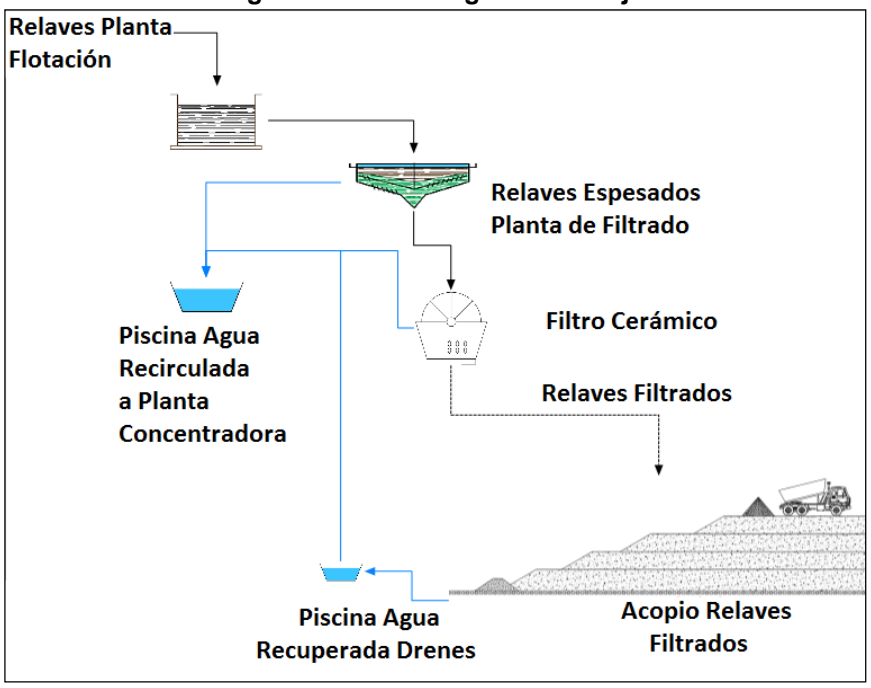
No existen otros antecedentes asociados a la evaluación del acopio de relaves filtrados sometido a evaluación.

[1] Regolito, fragmento tipo gravas, colpas o guijarros producto de la meteorización o intemperización de la misma roca sustrato, con poca a escasa remoción o transporte. Ejemplo típico es el maicillo en los bordes y superficies de plutones de intrusivos.

2.6. Diagrama de Flujo y Plano General de las Obras Asociadas al Depósito (letra "f)" del Art. 135º D.S. Nº 40/12)

En la Figura a continuación se presenta un diagrama de flujo resumido del Proyecto considerando las principales unidades operativas y acciones generales. En forma complementaria, en el Anexo Nº 2.2 (Planos de Proyecto) de la presente DIA se presentan en detalle la planimetría del Proyecto, considerando un detalle un diagrama de flujo que incluye todas aquellas unidades operacionales involucradas en el proceso de espesado, filtrado y depositación de los relaves, así como los planos generales asociados al Depósito sometido a evaluación.

Figura Nº 2.6.1. Diagrama de flujo



Fuente: Compañía Minera Florida, 2016.

En tanto, en la Figura Nº 2.3.2. Instalaciones de Depósito de Relaves Filtrados de la Descripción de Proyecto, son identificadas las principales las partes y obras que conforman el Proyecto.

Tal como ha sido indicado anteriormente, se requerirá la construcción de una serie de unidades de apoyo a la actividad, considerando como *"límite de batería"*[2] y en forma general el desarrollo de los siguientes procesos:

[2] El "límite de batería" del Proyecto corresponde al dimensionamiento de las obras que permitan sustentar el funcionamiento del depósito de relaves. Como límites físicos de las obras se considera la descarga de la cañería de colas desde la planta de flotación (en nuevo cajón receptor de relaves), emplazado al interior de la planta de flotación, incluyendo las cañerías de transporte de relaves y retorno de agua desde la zona del acopio y hasta la piscina de recuperación de agua.

- Descarga de la cañería de colas desde la planta de flotación, esto incluye el cajón y bombas de relaves existentes, emplazado al interior de la Planta de Flotación en funcionamiento (localizada en la Planta de Beneficio).
- Cañerías de transporte de relaves sin filtrar.
- Planta de filtrado (incluye el espesamiento y filtros de relaves).
- Cañerías de retorno de agua desde la zona del depósito y hasta la piscina de recuperación de agua.
- Transporte y acopio de relaves filtrados.
- Sistema de recirculación de agua recuperada en planta de filtrado. .
- Canal de contorno.

Conforme al límite de batería del Proyecto descrito anteriormente, la ingeniería del Proyecto se circunscribirá a las siguientes áreas de la Planta:

- Área 600: Espesamiento y reimpulsión de relaves
- Área 700: Filtrado de relaves
- Área 800: Depósito de relaves filtrados

Para mayor precisión respecto de las áreas identificadas, éstas se encuentran individualizadas en el Anexo Nº 2.2. Planos de Proyecto, específicamente en el Plano *"Diagrama de Flujos y Balance de Masas"* (3055-FS-01).

A continuación, se enumeran y describen en forma general los principales elementos constitutivos del Proyecto en evaluación.

2.6.1. Conducción de relaves a planta de filtrado

El relave será transportado desde la planta concentradora, ubicada en la Planta Tambillos actualmente en funcionamiento. Tendrá origen en las colas de la planta de flotación, las que serán impulsadas, utilizando el cajón y bombas existentes (que actualmente impulsan hacia el embalse de relaves en operación), el que posee una cañería de HDPE 250 PN6 PE100 nominal, la cual seguirá hasta el cajón de alimentación del espesador y filtrado proyectado.

2.6.2. Espesamiento de relaves

La unidad de espesamiento de relaves estará compuesta por un espesador de alta eficiencia (HRT) de 18 m de diámetro, que dispone de un cajón elevador de alimentación y le dará servicio a una unidad compacta de preparación y acondicionamiento de floculante.

La pulpa descargada desde el espesador se impulsará hasta los cajones superiores de carga de cada uno de los filtros (3 en total), mediante cañería de HDPE 160 PN6 PE100HDPE de 160 mm de nominal con bombas centrífugas de impulsión de 50 HP (1 en operación y 1 en *stand by*).

2.6.3. Filtrado de relaves

La unidad de filtrado estará habilitada sobre una plataforma de 2.000 m^2 aproximadamente, donde será montada la planta, así como los sistemas de control y carguío de relaves.

Esta unidad comprende 3 filtros de discos cerámicos instalados en serie, con un área de filtrado de 120 m^2 cada uno. Los relaves que han pasado el proceso de filtrado, serán descargados mediante cargador frontal, los que a su vez cargarán camiones de 40 ton, para su transporte al sector del depósito, donde son distribuidos mediante bulldozers y compactados mediante rodillo neumático.

Es importante señalar, que la ubicación de la unidad de filtrado es óptima desde el punto de vista operativo y ambiental, de pues permite de optimizar los tiempos de viaje de los camiones cargados desde los filtros hacia la cancha de disposición de los relaves (distancia de 600 m), disminuir el gasto de combustible y el riesgo operacional asociado al desplazamiento de un gran volumen de carga.

Además de lo anterior, es pertinente precisar que ante una detención programada de la unidad de filtrado, o por razones correctivas, el espesador de relaves podrá contener por 1 hora el flujo de residuos mineros; de extenderse la detención, se dejará fuera de servicio la planta. Esta medida de manejo, se ejecuta ante la detención de 1 o más discos.

En cuanto a la descarga de relaves filtrados, se contempla la actividad de un solo camión a la vez , y no 2 en forma simultánea.

2.6.4. Sistema de conducción agua recuperada a planta concentradora

Una vez efectuado el proceso de espesamiento y filtrado, el agua recuperada desde el espesador y filtros de relaves, será almacenada en una piscina de agua de acumulación de agua recirculada y posteriormente será bombeada desde la unidad de filtrado hasta la Planta de Beneficio en operación.

El agua recuperada que será recirculada a la Planta de Beneficio mediante un sistema compuesto por una sentina, 2 bombas (1en operación +1en stand by) con 30 HP de potencia instalada y una tubería de HDPE 280 PN6 PE100, con diámetro interior de 260 mm.

La localización de los filtros ha sido establecida en el sector Sur para permitir maniobrabilidad a cargadores y camiones con queque filtrado hacia el acopio, así como interferencias con tuberías y otros.

2.6.5. Depósito de relaves filtrados

La obra civil a proyectar para el manejo de los residuos mineros, consiste en un depósito de relaves filtrados, el que está conformado por terrazas de 7 m de altura cada una (7 en total), dispuestos de manera tal que permita la existencia de bermas de 5 m y un talud general de H:1 = 3:1.
De acuerdo a las dimensiones del depósito de relaves filtrados, y tomando en consideración la tasa de producción autorizada para la Planta de Beneficio,(equivalente a 3.000 ton/día de mineral), se estima una generación de 2.880 ton/día de relaves y una vida útil de siete años, con una capacidad total de almacenamiento de 3.540.293 m^3 ó 7.256.600 ton.

Conforme a lo anterior, se proyecta un ritmo de depositación de relaves filtrados a razón de 476.000 m^3 por año aproximadamente.

2.6.6. Muro de pie del depósito

En la zona sur del depósito de relaves, entre éste y el canal de contorno, se localizará un muro de pie de 460 m de largo, con 2 m de altura promedio y taludes de H:V = 2:1 (aguas arriba y aguas abajo). El material de construcción del muro corresponderá a material de empréstito procedente de mismo terreno de propiedad del Titular, optimizando de esta forma el uso del material de escarpe generado por la implementación de otras obras y/o áreas del Proyecto.

El muro de pie en los sectores Sur y Poniente del depósito de relaves filtrados cumple como objetivo contener derrames que puedan desplazarse hacia zonas bajas, consecuencia de eventuales problemas operacionales. Se estima que la altura de 2 m indicada para el muro de pie es suficiente para la contención de tales volúmenes discretos.

De acuerdo a los antecedentes del diseño conceptual para el Proyecto del nuevo depósito de relaves filtrados de CM Florida, en que la depositación se realiza con una humedad de 16%, sometidos a una rigurosa compactación con rodillo por capas (para obtener 90% del ensayo Proctor Estándar), y con un sistema de drenaje vertical y basal para deprimir la napa freática por humedad residual y precipitaciones sobre el acopio, no es susceptible de que se genere evento masivo de colapso como consecuencia de un sismo (Ver mayores antecedentes al respecto en los Anexos Nº 5.1: PAS 135 y Nº 5.3: PAS 139).

En relación al apoyo en la zona de contacto del depósito de relaves filtrados sobre los muros de los tranques de relaves cerrados (Nº 1, Nº 3, Nº 4 y su ampliación), dada la presencia de drenes, tanto en el muro de área existente (de los relaves cerrados) como en el depósito de relaves filtrados, evacuarán gravitacionalmente las aguas remanentes desde el relave filtrado. En la zona de apoyo se realizará un escalonamiento en el muro de arenas con plataformas de 3,5 m, y sobre éstas se colocará geotextil con el objetivo de evitar el traspaso de finos al muro existente.

En cuanto a la distancia de emplazamiento del canal de contorno respecto del muro de pie esta será constante de 2,5 m entre borde de muro y borde de canal, evitando de esta manera planos de debilidad en las obras. Para mayor detalle al respecto, ver en Anexo Nº

2.1, las figuras *"Manejo de Aguas Superficiales y Control de Filtraciones"* (3055I-RE-PLA-003) y *"Manejo de Aguas Superficiales y Control de Filtraciones, Detalles (Sección B), Lámina 2 de 2"* (3055I-RE-PLA-004).

2.6.7. Sistema de manejo de aguas

La obra a proyectar corresponde a un depósito de relaves filtrados, el que estará conformado por terrazas de 7 m de altura cada una (7 en total), dispuestos de manera tal que permita la existencia de bermas de 5 m y un talud general de H:1 = 3:1 Los relaves filtrados serán depositados en capas de 30 cm las cuales serán compactadas a un contenido de humedad del orden de 16%, conformando terrazas las cuales se comportarán como una estructura auto soportante.

Por lo mismo, el relave filtrado deberá evitar todo contacto con el agua que genere cambios en su comportamiento mecánico, es así que se proyecta excavar un canal de contorno en la zona Sur-Oriente (SE) del acopio, que reciba y desvíe las aguas provenientes de la cuenca aportante en la sección superior.

En el mismo el mismo contexto, el agua que no es interceptada por el canal de contorno precipitará directamente sobre el depósito de relaves filtrados, razón por la cual se ha proyectado excavar drenes horizontales en su base y drenes verticales de sección circular, que transmiten el flujo directamente a los drenes horizontales.

Canal de contorno

El canal de contorno, debido a la topografía y los materiales existentes en el sector se proyecta con una pendiente de 1% para evitar velocidades que puedan erosionar la base del mismo El área aportante del canal de contorno es aquel contemplado por las cuencas que aportan caudal al acopio, además de permitir el saneamiento de la quebrada existente (quebrada Juanita).

El agua captada por el canal de contorno es restituida a la quebrada existente (quebrada Juanita), sin la necesidad de rápidos de descarga ni disipadores de energía debido a que el flujo se encuentra en régimen de río. Para mayor información respecto del canal de contorno, ver Anexo Nº 5.4. Permiso Ambiental Sectorial Nº 157.

Sistema de drenaje

Se proyecta un sistema de drenes horizontales que convergen a una sentina y piscina de emergencia, la cual queda ubicada en el sector poniente del depósito. El sistema consistirá en un dren principal en el que convergen dedos drenes secundarios tipo convergentes o *"espina de pescado"*.

Todos los drenes deberán quedar construidos previo al comienzo de la depositación de los relaves; del mismo modo que cuando se construya el Muro de pie sobre el dren principal.

Se estima que no se generará plano de debilidad en el contacto del dren-base con el muro. Para este efecto, para evitar socavación en la base del muro ante una colmatación

del dren, la superficie de contacto tendrá una geomembrana y sobre esta una capa de arena para proteger la geomembrana y facilitar la compactación del muro, el geotextil impedirá que pasen finos a la cama de arena. Para mayor detalle al respecto, ver en Anexo Nº 2.1, las figuras *"Manejo de Aguas Superficiales y Control de Filtraciones"* (3055I-RE-PLA-003) y *"Manejo de Aguas Superficiales y Control de Filtraciones, Detalles (Sección B), Lámina 2 de 2"* (3055I-RE-PLA-004).

Para evitar que las aguas drenadas en el depósito entren en contacto con las aguas naturales, se proyecta ubicar una piscina de emergencia en el talud aguas abajo del muro de empréstito proyectado. El agua de la piscina se evacuará a través de una sentina de hormigón y mediante 2 bombas centrífugas tipo turbina (1 en operación y 1 de respaldo) que impulsarán ésta a través de una cañería hasta la piscina de agua recuperada ubicada en la Planta de filtrado proyectada. La piscina se ubicará a una altitud de 197 m para acumular las aguas del sistema de drenaje, en caso de precipitaciones sobre el depósito de relaves filtrados incrementándose el caudal de agua hacia los drenes (aguas de contacto), se podrá desbordar la sentina hacia una piscina de emergencia que se construirá aguas abajo. Normalmente esta piscina permanecerá vacía. Una vez que pasa la tormenta, desde la piscina se traspasará por cañería agua hacia la sentina desde donde se impulsa hacia la concentradora.

La piscina tendrá una forma de pirámide truncada de talud H:V = 1,5/1, con dimensiones de 15 x 15 m^2 en su base y de 35 x 35 m^2 en superficie, teniendo en total una altura de 6 m, la cual considera una revancha de 1 m. Para el recubrimiento se considera un sistema geotextil – geomembrana, evitando el paso de material fino e impidiendo el escape del agua retenida. Las dimensiones de la piscina se han calculado en base a un episodio de falla en el sistema de impulsión que lo imposibilite de funcionar, ésta albergará el contenido durante un tiempo máximo de 24 horas.

En cuanto a la piscina de emergencia, ésta tendrá una capacidad útil de 750 m^3, correspondiente a 4 horas de precipitación con periodo de retorno de 100 años más el drenaje basal a su máximo caudal. Para mayor detalle al respecto, ver en Anexo Nº 2.1, las figuras *"Manejo de Aguas Superficiales y Control de Filtraciones"* (3055I-RE-PLA-003) y *"Manejo de Aguas Superficiales y Control de Filtraciones, Detalles, Lámina 1 de 2"* (3055I-RE-PLA-004).

2.6.8. Instrumentación geotécnica

Con el fin de monitorear la estabilidad del depósito de relaves filtrados y el nivel freático dentro del mismo, se instalarán una serie de instrumentos geotécnicos:

- Monolitos de control topográfico.
- Piezóm Casagrande.

<u>Monolitos de control topográfico</u>

La instalación de este instrumental, tiene por finalidad monitorear el desplazamiento del mismo en el tiempo. Como el monolito se instala en el talud, permite la medición en el tiempo de los desplazamientos o deformaciones de los taludes del depósito. Este

parámetro será registrado mensualmente y luego de cada sismo sobre 6,5 en la escala Richter.

Piezómetro

Corresponde al instrumental para medir el nivel freático en el depósito de relaves. El parámetro a registrar es altura de nivel freático.

Se registrará la altura del nivel freático una vez a la semana, en el caso de una medición con nivel freático anormal se procederá con el aumento de las mediciones del parámetro diariamente.

El detalle de todas las obras civiles descritas en el apartado precedente, así como sus respectivos planos de Proyecto, se encuentran en mayor detalle en el Anexo Nº 2 (Ingeniería de Proyecto) de la presente DIA.

2.7. Descripción de las Dimensiones del Depósito (letra "g)" del Art. 135º D.S. Nº 40/12)

La obra civil proyectada para el manejo de los residuos mineros, consiste en un depósito de relaves filtrados, el que está conformado por terrazas de 7 m de altura cada una (7 en total), dispuestos de manera tal que permita la existencia de bermas de 5 m y un talud general de H:1 = 3:1.

Las dimensiones del acopio de relaves filtrados considerando la geometría del acopio y la capacidad nominal y tasa de producción de la Planta de Beneficios equivalentes a 3.000 ton/día de mineral y 2.880 ton/día de relaves, se estima una vida útil de 7 años para la obra de disposición de relaves, totalizando un volumen almacenado de 3.540.293 m^3 ó 7.256.600 ton.

En el cuadro a continuación se presentan la superficie de las principales obras del Depósito de relaves filtrados:

Cuadro Nº 2.7.1. Superficie de las obras del Depósito de relaves filtrados

INSTALACIONES	VÉRTICES	SUPERFICIE (HA)
MURO DE PIE DEL DEPÓSITO	1	1,05
PLANTA DE FILTRADO	1	0,667
PISCINA DE EMERGENCIA	1	0,27
DEPÓSITO DE RELAVES FILTRADOS	1	20

Fuente: Elaboración propia, 2017.

La siguiente figura correspondiente a la disposición de las diferentes unidades generales que conforman el futuro acopio de relaves filtrados, el que se encontrará emplazado en el sector sur del conjunto de tranques de relaves con arenas cicloneadas actualmente cerrados, se encuentra disponible en el Anexo Nº 2 (Ingeniería de Proyecto) de la presente DIA.

Figura Nº 2.7.1. Disposición general futuro depósito de relaves filtrados

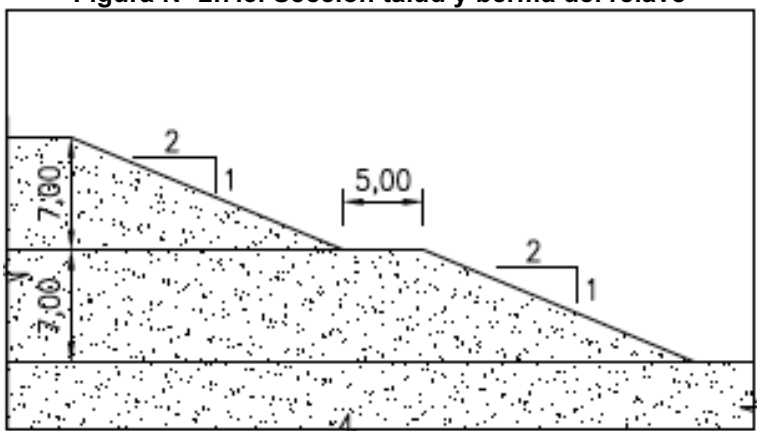
Fuente: Compañía Minera Florida S.A, 2017.

A continuación en la Figuras Nº 2.7.2 y 2.7.3 respectivamente, se esquematiza la sección típica de la geometría del depósito de relaves filtrados una vez alcanzada su máxima capacidad proyectada, y una sección típica de las terrazas con los taludes y bermas construidas con el relave filtrado.

Figura Nº 2.7.2. Geometría del depósito de relaves

Fuente: Compañía Minera Florida S.A., 2017.

Figura Nº 2.7.3. Sección talud y berma del relave



Fuente: Compañía Minera Florida S.A., 2017.

Figura Nº 2.7.4. Forma de apoyo depósito de relaves filtrados sobre muro de arenas existente

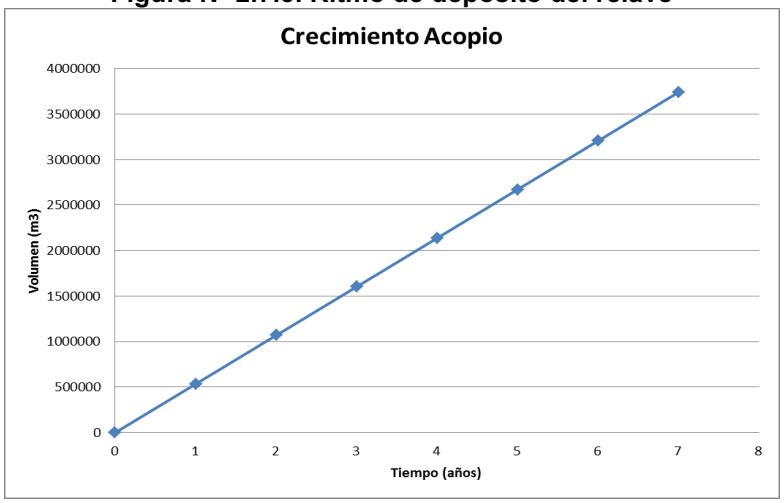


Fuente: Compañía Minera Florida S.A., 2017.

De acuerdo a las dimensiones del depósito de relaves filtrados, y tomando en consideración la tasa de producción autorizada para la Planta de Beneficio (equivalente a 3.000 ton/día de mineral), se estima una generación de 2.880 ton/día de relaves y una vida útil de siete años, con una capacidad total de almacenamiento de 3.540.293 m^3 ó 7.256.600 ton.

Conforme a lo anterior, se proyecta un ritmo de depositación de relaves filtrados a razón de 476.000 m^3 por año aproximadamente, cuyo crecimiento anual a lo largo de la vida útil se puede observar en el siguiente gráfico:

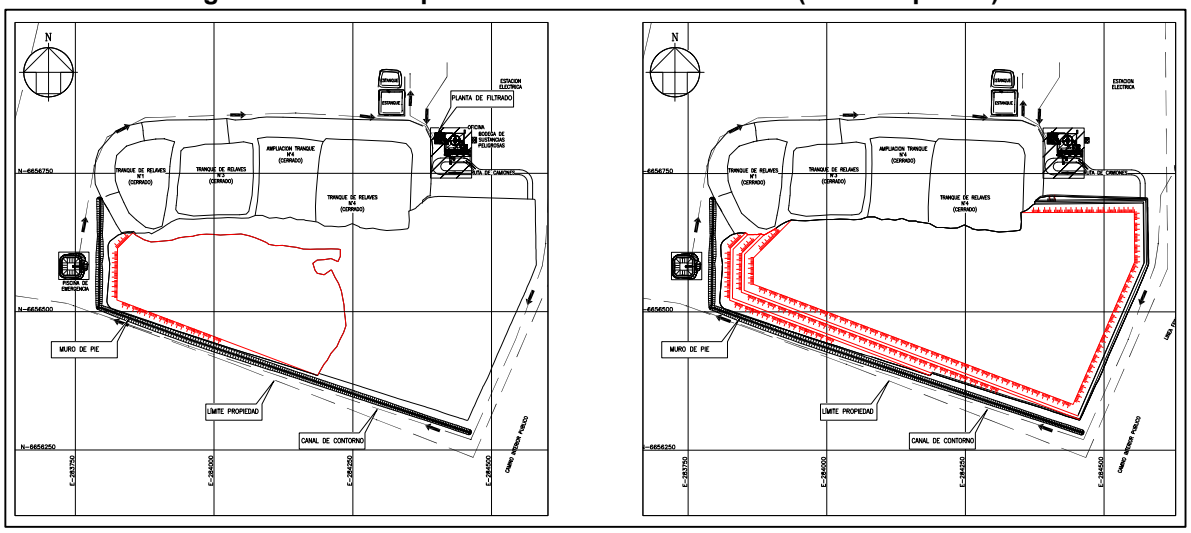
Figura Nº 2.7.5. Ritmo de depósito del relave



Fuente: Compañía Minera Florida S.A, 2016.

A continuación, en la figura Nº 2.7.5, se presenta un esquema de crecimiento del depósito de relaves filtrados, tomando como referencia la construcción de las terrazas 1 y 3, indicando sus respectivos volúmenes y años de ejecución.

Figura Nº 2.7.6. Etapas de construcción terrazas (vista en planta)



Fuente: Compañía Minera Florida S.A, 2016.

2.8. Indicar si Existen otros Depósitos Adyacentes y sus Características Principales (letra "h)" del Art. 135º D.S. Nº 40/12)

En el área próxima al Proyecto existen cuatro unidades de acopio de similares características al Depósito de relaves filtrados proyectado, éstos corresponden a cuatro (4) tranques de relaves cerrados (no operativos) y a un depósito actualmente en funcionamiento, correspondiente al embalse de relaves de la Faena Tambillos, CM Florida (RCA Nº 076/2011), estos se listan y caracterizan brevemente a continuación y son identificados en su contexto local en la Figura Nº 2.8.1:

- Tranque de relaves Nº 1 (cerrado): este Proyecto no cuenta con RCA dada la antigüedad del mismo. Dicho tranque contempló el acopio de los residuos mineros masivos (relaves) de los minerales beneficiados en la Planta de Beneficio, Faena Tambillos. Sus dimensiones aproximadas correspondían a 229 m de lancho por 97 m de largo, considerando una altura de 18,71 m aproximadamente.
- Tranque de relaves Nº 2 (cerrado y fito-estabilizado): este Proyecto no cuenta con RCA debido a la antigüedad del mismo. Al igual que el tranque anterior, éste también cumplía la función de contener los residuos mineros masivos (relaves) de los minerales provenientes de la Planta de Beneficio, sus dimensiones correspondían a 215 m de ancho por 167 m de largo, considerando una altura de 9,03 m aproximadamente.
- Tranque de relaves Nº 3 (cerrado): Ésta unidad al igual que las anteriormente señaladas, no cuenta con RCA dada su antigüedad, y cuyo objetivo era contener los residuos mineros masivos (relaves) generados producto del beneficio del mineral, sus dimensiones correspondían a 212 m de ancho por 132 m de largo, considerando una altura de 20,71 m aproximadamente.

En relación a los 3 tranques de relaves descritos, cabe indicar que fueron construidos según método eje central. Dicho método se inicia con un muro de partida de material de empréstito compactado, sobre el que se depositan las arenas cicloneadas hacia el lado de aguas abajo y las lamas hacia el lado de aguas arriba. Una vez completado el vaciado de arenas y lamas correspondiente al muro inicial, se eleva la línea de alimentación de arenas y lamas, siguiendo el mismo plano vertical inicial de la berma de coronamiento del muro de partida. Lo que permite lograr un muro de arenas cuyo eje se mantiene en el mismo plano vertical, cuyo talud de aguas arriba es más o menos vertical, y cuyo talud de aguas abajo puede tener la inclinación que el diseño considere adecuada.

- Proyecto "*Tranque de relaves Nº 4 Planta de Beneficios Tambillos*" (RCA Nº 184/02): consistió en la construcción y operación de un tranque de relaves necesario para la acumulación de los residuos del proceso de beneficio metalúrgico producto de las operaciones de la Planta de Beneficio de CM Florida. Dicho tranque consideraba su inicio en la cota 201 m.s.n.m, teniendo 3 etapas de elevación de 4 m, cada una llegando a la cota 213 m.s.n.m, pudiendo acumular 380.000 m^3 de arenas y lamas. El proyecto fue diseñado por el método de eje central. A partir de un muro de empréstitos, del que se levantaría el muro de contención manteniendo de esta manera el coronamiento sobre la vertical. La berma en el coronamiento tendría 2 m de ancho y tendría un mínimo de 2 m sobre la laguna de la cubeta. La forma final del tranque consideraba 4 lados paralelos de dos en dos esquinas redondeadas. La obra considera una altura de 12,93 m aproximadamente.

- Ampliación "Proyecto Ampliación Depósito de Relaves Nº4" (RCA Nº 004/2010): consistió en la ampliación del Depósito de Relaves Nº 4 (RCA Nº 184/02), utilizando el espacio existente entre el citado Tranque Nº 4 y el Tranque Nº 3, con la finalidad de dar continuidad al proceso productivo de Minera Tambillos en cuanto a la disposición de los relaves generados en la Planta de Beneficio, depositando un total de 250.800 m3 de relaves con una producción de 400

toneladas por día. Para efectos del cálculo de volumen total para la disposición de relaves (arenas y finos), se consideraron los parám relacionados a una capacidad de 400 tpd de procesamiento de mineral por un período de 22 meses. La obra considera una altura de 13,05 m aproximadamente.

- Proyecto "*Embalse de Relaves SCM Tambillos*", en funcionamiento (RCA Nº 76/2011): el polígono del área propuesta para la ejecución del señalado proyecto posee una superficie de 82.272 m^2, éste contempló como obras físicas la construcción de un muro de embalse con material de empréstito, se consideró que la obra tendría una altura mínima de 10 m y se ubicaría en la cota del terreno más elevada, se consideró también la construcción de un canal de contorno con una longitud proyectada de 1.754 m lineales, y la construcción de un muro de contención de emergencias con una altura media de 3 m, 10,6 m de base media y un coronamiento de 2m de ancho. En este embalse se dispusieron los Residuos Mineros Masivos (RMM) generados por el beneficio de mineral de cobre realizado en la Planta de Beneficio de SCM Tambillos. Dicho embalse posee una vida útil de 22 años y comprende una superficie de 182.272 m^2.

Figura Nº 2.8.1. Ubicación de los depósitos adyacentes



Fuente: Elaboración propia, 2017.

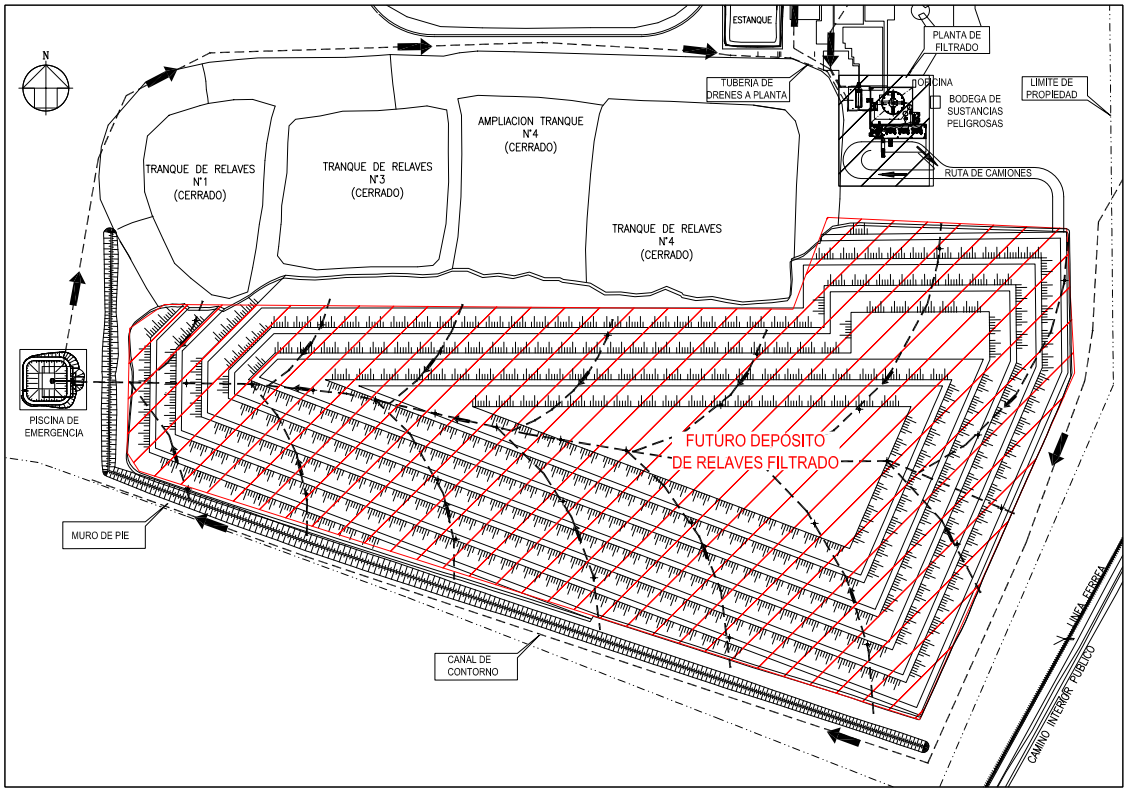
2.9. Descripción e Ilustración de las Características Especiales de Diseño (letra "i)" del Art. 135º D.S. Nº 40/12)

En cuanto a las características especiales del diseño del depósito de relaves filtrados, éste contará con las siguientes características geotécnicas:

- Humedad geotécnica media del queque relaves: 16%.
- Método de construcción: terrazas.
- Altura de plataforma: 7 m.
- Ancho de berma: 5 m.
- Talud local terraza: H:V = 2:1.
- Talud Global: H:V = 3:1.
- Densidad máxima compactada seca (90 % Proctor Estándard): 2,05 t/m^3.

La siguiente figura correspondiente a la disposición de las diferentes unidades generales que conforman el futuro acopio de relaves filtrados, el que se encontrará emplazado en el sector sur del conjunto de tranques de relaves con arenas ciclonadas actualmente cerrados, se encuentra disponible en el Anexo Nº 2 (Ingeniería de Proyecto) de la presente DIA.

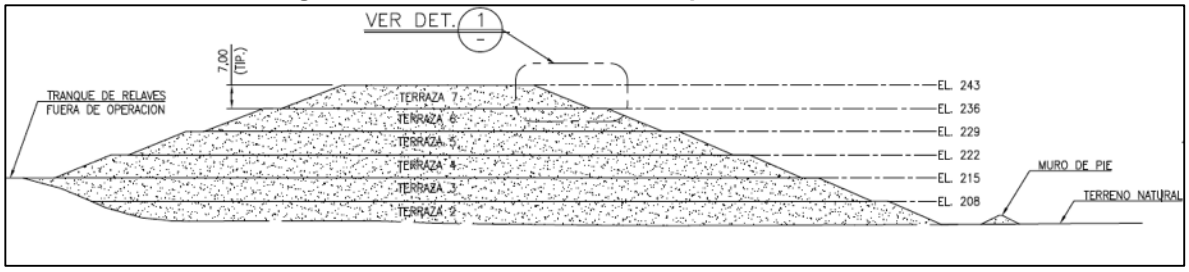
Figura Nº 2.9.1. Disposición general futuro depósito de relaves filtrados



Fuente: Compañía Minera Florida S.A, 2017.

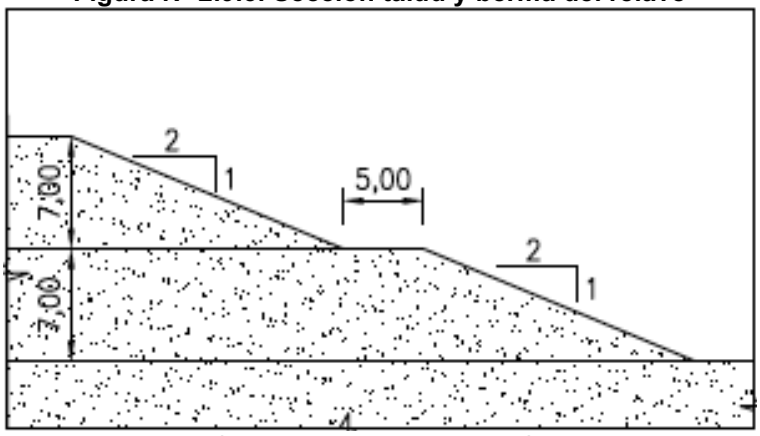
A continuación en la Figuras Nº 2.7.2 y 2.7.3 respectivamente, se esquematiza la sección típica de la geometría del depósito de relaves filtrados una vez alcanzada su máxima capacidad proyectada, y una sección típica de las terrazas con los taludes y bermas construidas con el relave filtrado.

Figura Nº 2.9.2. Geometría del depósito de relaves



Fuente: Compañía Minera Florida S.A, 2017.

Figura Nº 2.9.3. Sección talud y berma del relave

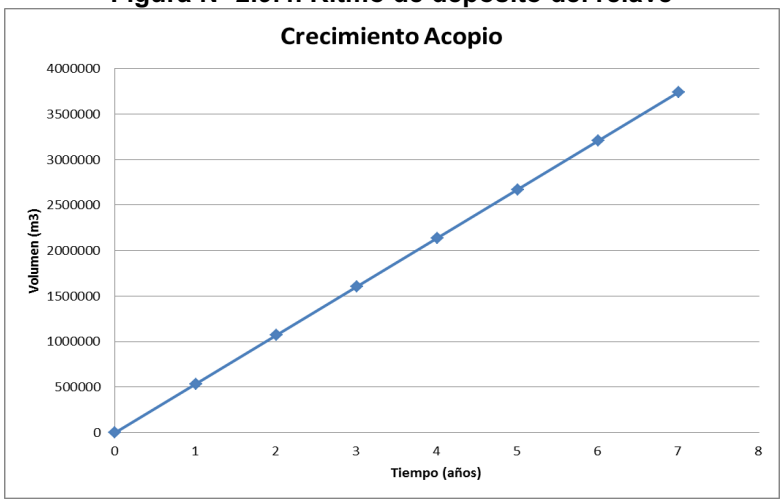


Fuente: Compañía Minera Florida S.A, 2017.

De acuerdo a las dimensiones del depósito de relaves filtrados, y tomando en consideración la tasa de producción autorizada para la Planta de Beneficio,(equivalente a 3.000 ton/día de mineral), se estima una generación de 2.880 ton/día de relaves y una vida útil de siete años, con una capacidad total de almacenamiento de 3.540.293 m^3 ó 7.256.600 ton.

Conforme a lo anterior, se proyecta un ritmo de depositación de relaves filtrados a razón de 476.000 m^3 por año aproximadamente, cuyo crecimiento anual a lo largo de la vida útil se puede observar en el siguiente gráfico:

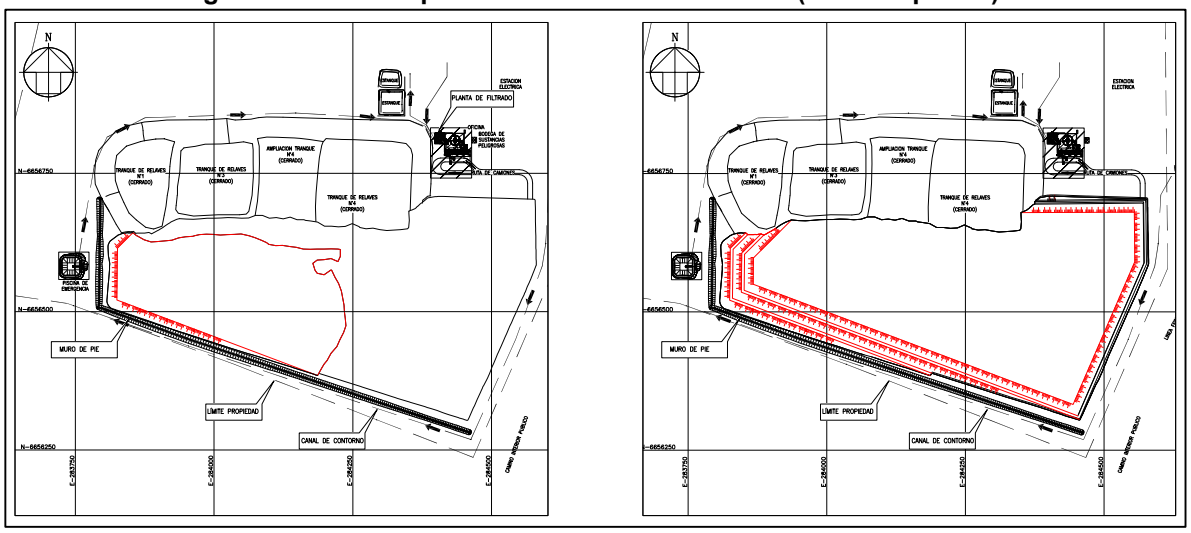
Figura Nº 2.9.4. Ritmo de depósito del relave



Fuente: Compañía Minera Florida S.A, 2017.

A continuación, en la figura Nº 2.7.5, se presenta un esquema de crecimiento del depósito de relaves filtrados, tomando como referencia la construcción de las terrazas 1 y 3, indicando sus respectivos volúmenes y años de ejecución.

Figura Nº 2.9.5. Etapas de construcción terrazas (vista en planta)



Fuente: Compañía Minera Florida S.A, 2017.

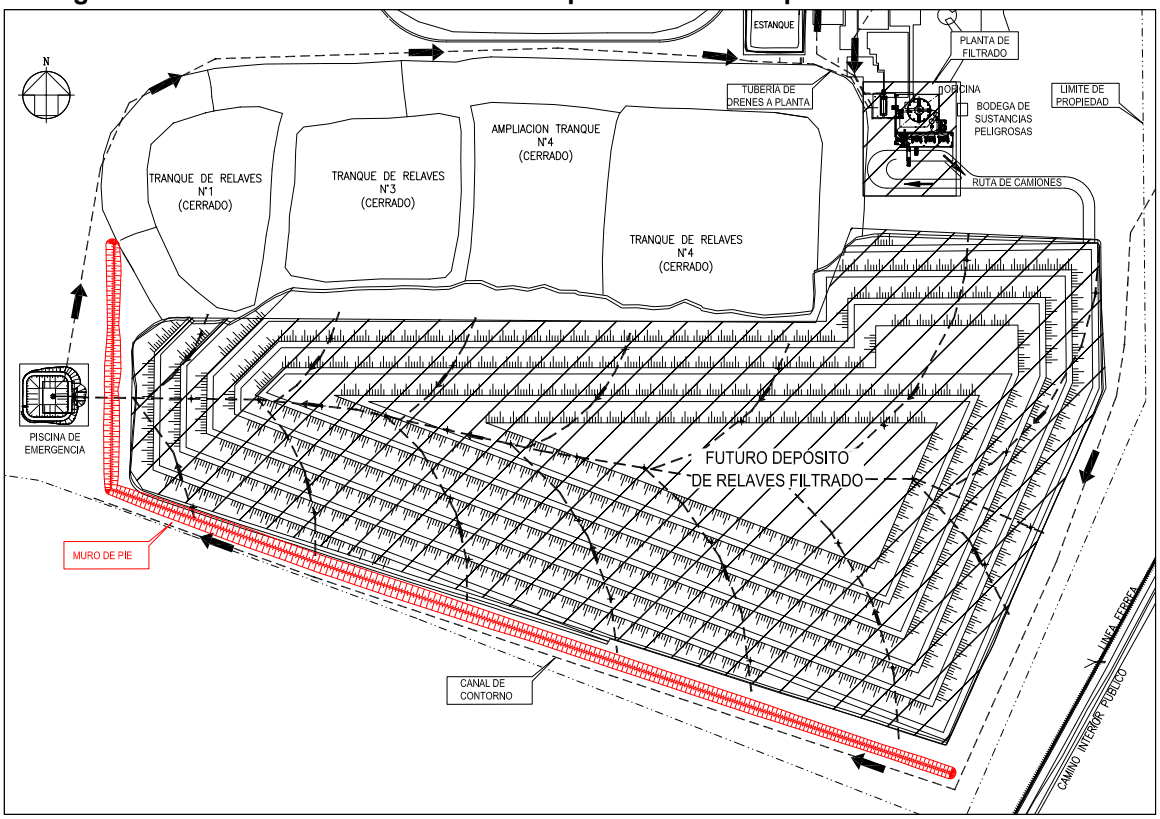
2.10. Determinación del área de riesgo potencialmente afectada en caso de colapso o remoción del muro del depósito de relaves (letra "j)" del Art. 135º D.S. Nº 40/12)

En la zona sur del acopio de relaves filtrados, entre éste y el canal de contorno, se localizará un muro de pie de 460 m de largo, con 2 m de altura promedio y taludes de H:V = 2:1. El material de construcción del muro de pie corresponderá a material de empréstito procedente del mismo terreno de propiedad del Titular, optimizando de esta forma el uso del material de escarpe generado por la implementación de otras obras del Proyecto (Depósito, sistema de drenaje, piscinas de acumulación, etc.).

Este muro se dispondrá como medida de seguridad en caso de que produzca un eventual escurrimiento de relaves y éstos desciendan por la quebrada.

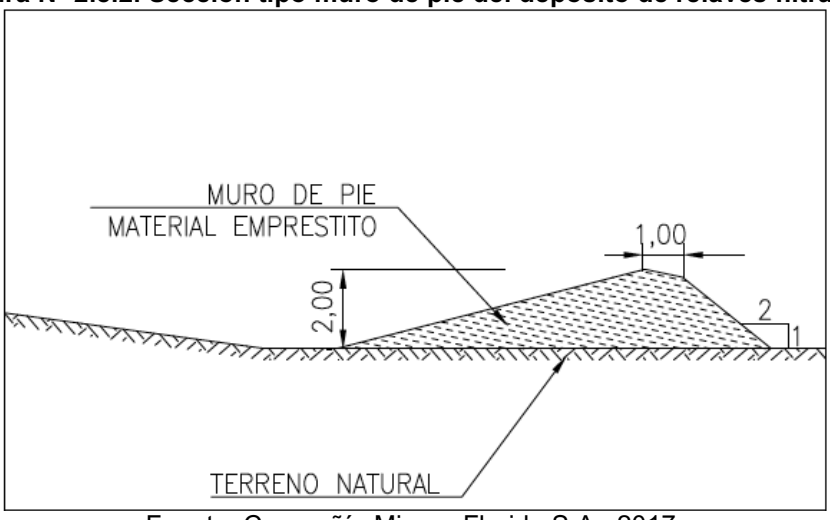
En las Figuras Nº 2.8.1 y 2.8.2 se indica respectivamente la localización del muro de pie en el contexto del acopio de relaves filtrados y la sección tipo del muro de pie del acopio de relaves filtrados:

Figura Nº 2.8.1. Localización de muro de pie en área de depósito de relaves filtrados



Fuente: Compañía Minera Florida S.A, 2017.

Figura Nº 2.8.2. Sección tipo muro de pie del depósito de relaves filtrados



Fuente: Compañía Minera Florida S.A., 2017.

Según lo indicado en el documento *"Análisis de la distancia peligrosa en nuevo DR Relaves Filtrados en Tambillos"*, (Apéndice Nº 5.1.1. del presente PAS), se ha concluido lo siguiente:

Los eventuales escurrimientos que pueden ocurrir en los depósitos de relaves, en general están asociados a eventos de licuefacción del material de los relaves, que pueden ser:

- Licuefacción estática, debido al ascenso del nivel freático al interior del depósito o a un evento de overstoping (la fracción más fluida se nivela con el muro de contención dejándola fluir).
- Licuefacción dinámica debido a cargas sísmicas, en que la carga genera un incremento en la presión de poros que gatilla la licuefacción.

La licuefacción corresponde a que inicialmente el material está bajo a una determinada magnitud de esfuerzo de corte, que debido a una carga estática o dinámica se presenta una resistencia a la licuefacción menor que la pre-existente, con lo cual se pierde resistencia y rigidez; resultante de esto puede presentarse una falla del material, con una significativa porción del material movilizándose y fluyendo, hasta una condición de flujo en avalancha.

En el caso de estudio, el ascenso del nivel freático podría ocurrir producto de la precipitación pluvial sobre el área del acopio de los relaves filtrados, sin embargo, los diseños han considerado un sistema de drenaje vertical y basal para evitar la formación de napa.

Tanto para eventos estáticos como dinámicos, para reducir el riesgo de licuefacción, es clave reducir el índice de poros (inverso a la densidad en el TFS) de tal manera que no aumente la respectiva presión, para este efecto:

a) El material depositado corresponde a los relaves integrales de la planta, sometidos a proceso de filtrado para alcanzar humedad del orden de 16%; la banda completa granulométrica permite un muy bajo índice de poros debido a que los huecos entre partículas gruesas son rellenados por partículas de tamaño medio y finas y sometidas a compactación;

b) En el método de disposición de relaves filtrados que se está condicionando para Compañía Minera Florida, que la densidad de los relaves dispuesto corresponda al generado mediante compactación con rodillo para alcanzar 90% del ensayo Proctor Estándar (PE);

Sólo los materiales no-plásticos, de baja o moderada plasticidad son susceptibles de perder resistencia debido a la licuefacción; en otras palabras, el relave debe presentar saturación, lo cual no ocurre con los relaves filtrados compactados, lo que queda reflejado en las mínimas deformaciones obtenidas.

Por lo indicado anteriormente, el depósito de relaves filtrados compactados y drenados no puede colapsar, es decir, que una masa significativa del material depositado pueda alcanzar una deformación importante haciéndolo movilizarse y fluir, hasta una condición de flujo en avalancha con una trayectoria que pueda afectar instalaciones y obras aledañas al depósito. Esto debido a que, debido a la granulometría del relave completo y el porcentaje de humedad con el cual se deposita, se imposibilita la saturación del material y por lo mismo, la licuefacción.

Para determinar una probable distancia peligrosa, se considera el volumen asociado al derrame producido por una posible falla por inestabilidad del acopio, en el cual un volumen importante de relave se vea involucrado y deslice en base a una superficie de falla. Cabe mencionar que el acopio es estable, con un factor de seguridad de por lo menos 1,7; por lo que, de ocurrir la falla señalada, el sismo debería ser de una magnitud mucho mayor a la recomendada por el estudio de riesgo sísmico.

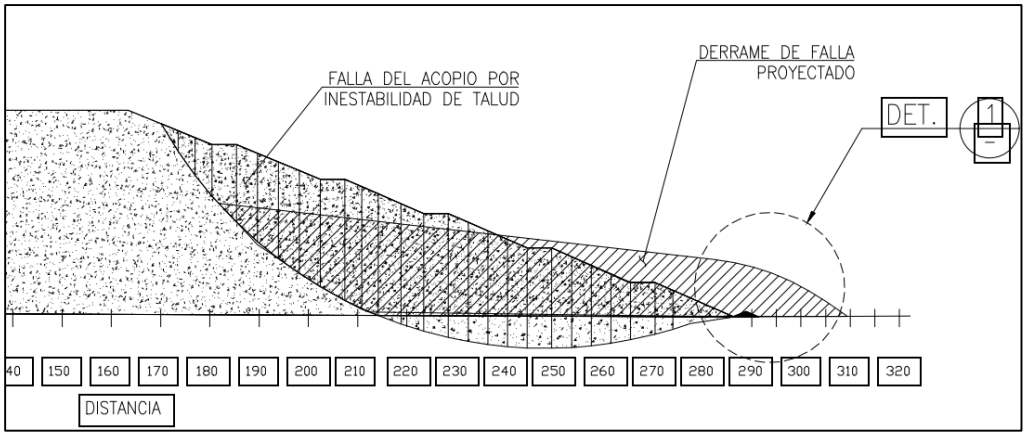
Además, lo que puede ocurrir es remoción de volúmenes discretos del material de relaves, como consecuencia de descuidos operacionales, en cuanto a transporte o atrasos en la compactación; sin embargo, en este caso estos volúmenes serán contenidos por el muro de pie construido con material de empréstito de 2 m de altura.

Debido a la baja probabilidad de saturación del relave filtrado, y por lo mismo de la licuefacción, se determina la distancia peligrosa suponiendo que el volumen de derrame es el correspondiente al volumen de la posible falla por inestabilidad que se produciría en caso que el sismo sea de una magnitud mucho mayor al supuesto por el estudio de riesgo sísmico (Mw = 8,8)

Se ha determinado la distancia peligrosa bajo las condiciones de altura máxima en cierre del depósito de 49 m, con humedad residual de relaves de 16%.

Para mayores antecedentes al respecto, ver Apéndice Nº 5.1.1 *“Análisis de la distancia peligrosa en nuevo DR Relaves Filtrados en Tambillos”.*

Figura Nº 2.8.3. Cálculo de la distancia peligrosa, depósito de relaves filtrados CM Florida



Fuente: Compañía Minera Florida S.A., 2017.

2.11. Manual de emergencias de control, mitigación, reparación y compensación de los efectos de accidentes, situaciones de emergencia y eventos naturales, según corresponda (letra "k)" del Art. 135º D.S. Nº 40/12)

CM Florida ha elaborado una serie de procedimientos que detallan y especifican la operatividad de las respuestas ante situaciones de emergencia específicas; en particular, para el Depósito de Relaves Filtrados se ha elaborado un manual de emergencia, el que se adjunta en el Anexo Nº 6.2. El manual especifica entre otros: eventos y/o situaciones de emergencias, respuesta ante emergencias, planes y manejo de contingencia.

En el Plan de Emergencias, se describen las acciones a llevar a cabo en caso de que se produzca una emergencia, con el objetivo de controlarla y minimizar sus efectos sobre el medio ambiente y/o la población.

Dicho Plan consta de los siguientes ítems:

- Identificación de los escenarios de accidentes que pueden afectar al medio ambiente y/o a la población (Análisis de Riesgos);
- Descripción de los medios de protección para combatir las emergencias;
- Estructura organizativa de respuesta en caso de emergencia;
- Procedimientos de actuación para cada uno de los escenarios de accidentes identificados;
- Mantención de Plan de Emergencias;
- Plan de capacitación y entrenamiento; y
- Primeros auxilios.

Por último cabe mencionar, que además de los planes indicados anteriormente también se agrega un plan de capacitación para garantizar la prevención y atención de emergencias y contingencias dirigido al personal contratista, a los técnicos residentes o que laboren en el Proyecto y a las comunidades de la área de influencia, con la

participación de organismos externos como carabineros, bomberos, municipio y eventualmente Comité local de Emergencia de las localidades cercanas al Proyecto.

3. APÉNDICES

- **Apéndice Nº 5.1.1.** Análisis de la distancia peligrosa en nuevo DR Relaves Filtrados en Tambillos

APÉNDICE Nº 5.1.1.
ANÁLISIS DE LA DISTANCIA PELIGROSA
EN NUEVO DR RELAVES FILTRADOS EN TAMBILLOS

REPORTE TÉCNICO
ANALISIS DE LA DISTANCIA PELIGROSA EN NUEVO DR RELAVES FILTRADOS EN TAMBILLOS

Para: Alejandro Puelles	**Fecha:** 21 de diciembre de 2016
De: Agustín Holgado/Sergio Currilen	**Código:** P3055-MM-001
Asunto: Distancia peligrosa DR Filtrado - Tambillos	**Revisión:** 1
	Obs.: Para revisión interna

1 ALCANCE

Se da cuenta de la aplicación, para el nuevo depósito de relaves filtrado en CM Florida S.A, del Art. 14-q del DS 240 SERNAGEOMIN referente a …" Determinación de la distancia peligrosa, en kilómetros y análisis de la situación en terreno. Debe incluir, además de lo anterior, un plano de la hoya hidrográfica afectada por la trayectoria más probable del relave en el evento de colapsar el depósito".

2 REFERENCIAS

[1] Reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves ministerio de minería. SERNAGEOMIN. Publicado en el Diario Oficial el 11 de abril de 2007

[2] Paste and Thickened Tailing – A Guide. Editors R. J. Jewell and A.B. Fourie. Austtralian Centre for Geomechanics. 2015

[3] Tailings Flow Slide Calculator. WISE Uranium Project. EE.UU. Dic. 2014.

[4] Dcto. N° 3055-RE-INF-002_0 Estudio de estabilidad. Ing. Conceptual Acopio de Relaves Filtrados. JO Ingeniería. Mayo 2016.

[5] Plano N°3055I-RE-PLA-001 Hoya Hidrográfica Afectada por Eventual Colapso. JO Ingeniería. Diciembre 2016.

3 REVISIÓN DE ANTECEDENTES

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL ACOPIO

La obra civil a proyectar para el manejo de los relaves consiste en un acopio de relaves filtrados, el cual está conformado por terrazas de 7 [m] de altura cada una (7 en total), dispuestos de manera tal que permita la existencia de bermas de 5 [m] y un talud general de H:V = 3:1. Además, se proyecta un muro de pie perimetral, de altura de 2 [m] con el fin de evitar el flujo por arrastre del material de relaves filtrados fuera del sector del acopio.

3.2 DESCRIPCIÓN CAPACIDAD FINAL ACOPIO DE RELAVES FILTRADOS

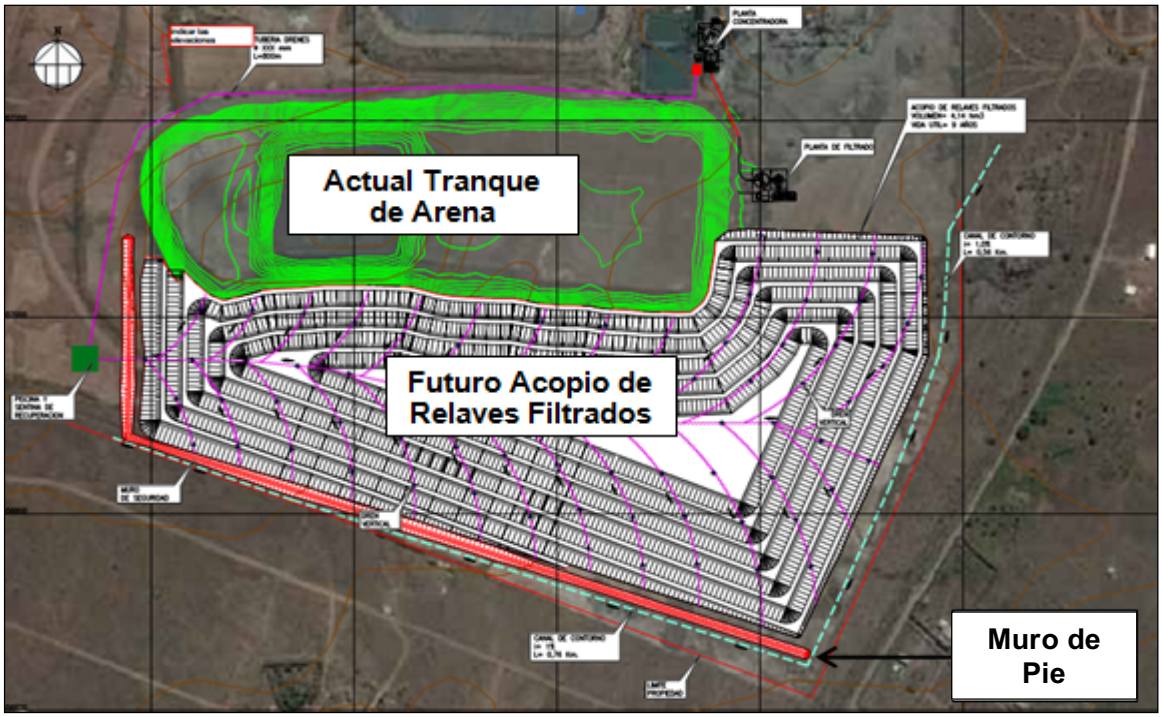
Para la depositación de los relaves se considera:

- Humedad geotécnica media del queque relaves 16% (*)
- Método de construcción terrazas
- Altura de plataforma 7 m
- Ancho de berma 5 m
- Talud local terraza H:V 2,3 : 1
- Talud Global H:V 3:1
- Densidad máxima compactada seca (90 % Proctor Estándar) 2,05 t/m^3

(*) Corresponde al contenido de humedad en base seca ($W_{agua}/Ws_{ólido}$), para Ensaye Proctor Standard.

La siguiente figura muestra la disposición general del futuro acopio de relaves filtrados, emplazado al sur del actual tranque de relaves con arenas cicloneadas:

Figura 1: Disposición general del futuro acopio de relaves filtrados.



La Figura 2 muestra una sección típica de la geometría del acopio de relaves filtrados para su capacidad máxima.

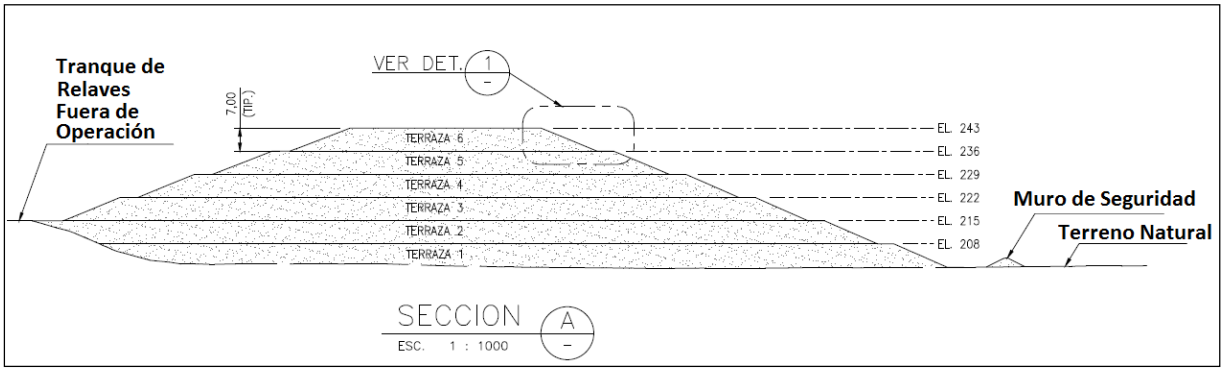


Figura 2: Sección tipo geometría acopio de relaves filtrados.

3.3 ESTABILIDAD DE DEFORMACIONES

Para el análisis de deformaciones del acopio se adoptó el método simplificado propuesto por Makdisi y Seed (1977), ampliamente aceptado para estimar deformaciones de taludes de hasta ~60 m (200 pies).

En el Informe de Estabilidad del Acopio [Ref. 4] se efectuó un análisis de deformaciones, consistente en predecir las deformaciones inducidas por un sismo en un talud, en función de la aceleración de fluencia, la aceleración máxima inducida en el coronamiento, para el periodo natural de vibración. La aceleración de fluencia (Ky) es la aceleración media con la cual se induce una condición de desplazamiento incipiente y una potencial superficie de deslizamiento, este valor depende de la geometría y de los parámetros de resistencia al corte del material de relleno del acopio, se calcula mediante series de análisis de estabilidad seudo - estáticos que permiten determinar el coeficiente sísmico asociado a un factor de seguridad FS= 1,0. Este valor del factor de seguridad no hace referencia a la estabilidad del acopio, la cual no se ve comprometida, para la cual el factor alcanza 1,7 (ver ref. [4]), sino a que se determina la aceleración de fluencia máxima necesaria para que existiera una falla hipotética. Los análisis de estabilidad para la determinación de fluencia se efectuaron mediante iteraciones de equilibrio limite, usando el Software GeoStudio Slope/W Versión 7.1, empleando Morgenstern Price. Obteniéndose un valor Ky= 1,20 g.

Posteriormente se procedió a realizar la iteración propia del método, que permite determinar la deformación máxima para el acopio considerando los siguientes criterios adicionales:

- Se consideró un sismo de magnitud Mw=8,25, el cual corresponde al máximo sismo utilizable en la metodología descrita. La magnitud del sismo recomendado por el estudio de riesgo sísmico del proyecto es de Mw = 8,8. Entonces, como factor de corrección se utilizó la aceleración máxima asociada a este último sismo.
- Se utilizaron espectros de respuestas para registros sísmicos disponibles en la base de Datos de JOI, con aceleraciones máximas de a=0,45g.
- Se estimaron las deformaciones sobre la base de la curva máxima de aceleraciones.

La deformación máxima esperada para el deposito es inferior a 1 cm. Mayor detalle se observa en el documento estudio de estabilidad.

Dado al valor de la aceleración de corte de fluencia (asociado a una falla hipotética con FS=1,0), se obtienen valores de la deformación lateral inferior a 1,0 cm.

4 ANALISIS DE LA DISTANCIA PELIGROSA

4.1 CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

Los eventuales escurrimientos que pueden ocurrir en los depósitos de relaves, en general están asociados a eventos de licuefacción del material de los relaves, que puede ser:

- Licuefacción estática, debido al ascenso del nivel freático al interior del depósito o a un evento de overstoping (la fracción más fluida se nivela con el muro de contención dejándola fluir).

- Licuefacción dinámica debido a cargas sísmicas, en que la carga genera un incremento en la presión de poros que gatilla la licuefacción.

La licuefacción corresponde a que inicialmente el material está bajo a una determinada magnitud de esfuerzo de corte, que debido a una carga estática o dinámica se presenta una resistencia a la licuefacción menor que la pre-existente, con lo cual se pierde resistencia y rigidez; resultante de esto puede presentarse una falla del material, con una significativa porción del material movilizándose y fluyendo, hasta una condición de flujo en avalancha.

En el caso de estudio, el ascenso del nivel freático podría ocurrir producto de la precipitación pluvial sobre el área del acopio de los relaves filtrados; sin embargo, los diseños han considerado un sistema de drenaje vertical y basal para evitar la formación de napa.

Tanto para eventos estáticos como dinámicos, para reducir el riesgo de licuefacción, es clave reducir el índice de poros (inverso a la densidad en el TFS) de tal manera que no aumente la respectiva presión, para este efecto:

a) El material depositado corresponde a los relaves integrales de la planta, sometidos a proceso de filtrado para alcanzar humedad del orden de 16%; la banda completa granulométrica permite un muy bajo índice de poros debido a que los huecos entre

partículas gruesas son rellenados por partículas de tamaño medio y finas y sometidas a compactación;

b) En el método de disposición de relaves filtrados que se está condicionando para Minera Tambillos, que la densidad de los relaves dispuesto corresponda al generado mediante compactación con rodillo para alcanzar 90% del ensayo Proctor Estándar (PE);

Sólo los materiales no-plásticos, de baja o moderada plasticidad son susceptibles de perder resistencia debido a la licuefacción; en otras palabras, el relave debe presentar saturación, lo cual no ocurre con los relaves filtrados compactados, lo que queda reflejado en las mínimas deformaciones obtenidas.

4.2 DISTANCIA PELIGROSA

Por lo indicado anteriormente, el depósito de relaves filtrados compactados y drenados no puede colapsar, es decir, que una masa significativa del material depositado pueda alcanzar una deformación importante haciéndolo movilizarse y fluir, hasta una condición de flujo en avalancha con una trayectoria que pueda afectar instalaciones y obras aledañas al depósito. Esto debido a que, debido a la granulometría del relave completo y el porcentaje de humedad con el cual se deposita, se imposibilita la saturación del material y por lo mismo, la licuefacción.

Para determinar una probable distancia peligrosa, se considera el volumen asociado al derrame producido por una posible falla por inestabilidad del acopio, en el cual un volumen importante de relave se vea involucrado y deslice en base a una superficie de falla. Cabe mencionar que el acopio es estable, con un factor de seguridad de por lo menos 1,7; por lo que, de ocurrir la falla señalada, el sismo debería ser de una magnitud mucho mayor a la recomendada por el estudio de riesgo sísmico (ver ref. [4]).

Además, lo que puede ocurrir es remoción de volúmenes discretos del material de relaves, como consecuencia de descuidos operacionales, en cuanto a transporte o atrasos en la compactación; sin embargo, en este caso estos volúmenes serán contenidos por el muro perimetral de pie construido con material de empréstito de 2 metros de altura.

4.2.1 PRIMERA ITERACIÓN

Para representar la distancia peligrosa en el acopio de relaves filtrados y drenados, se utilizó un modelo de cálculo que se aplica en EE.UU. para las trayectorias a las cuales pueden fluir los relaves depositados [Ref. 3], considerando al acopio como un fluido con alta tensión de fluencia (yield strengh). Es así que se asume que el acopio fluye (aun sabiendo que esto no se produce) para obtener una primera iteración del valor de la distancia peligrosa.

Los valores para determinar la distancia peligrosa generalmente se basan en la comparación histórica de eventos sísmicos, los cuales han generado licuación y fluencia en los relaves. Estos datos se han medido para depósitos convencionales con muro de arena, donde es este material el cual se ve afectado por la saturación de la napa freática, los resultados se utilizan en los modelos reológicos. Para el caso de depósitos de relaves filtrados, no se cuenta con datos históricos comparativos; por ende, en base a la experiencia de JOI Ingenieros en proyectos similares, se asumen ciertas propiedades de los relaves al 16% de humedad, para posteriormente confirmarse mediante un método gráfico (ver punto 4.2.2). Los datos considerados fueron:

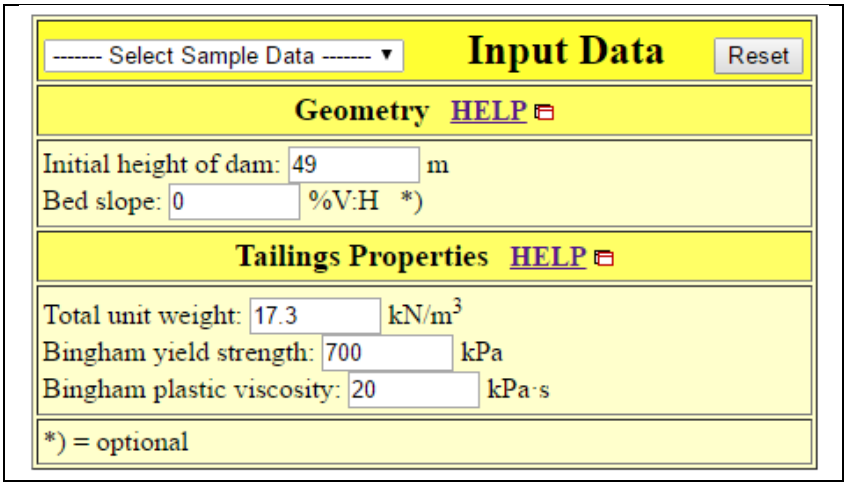


Figura 3: Datos utilizados para cálculo – Representación Gráfica.

La representación se muestra a continuación:

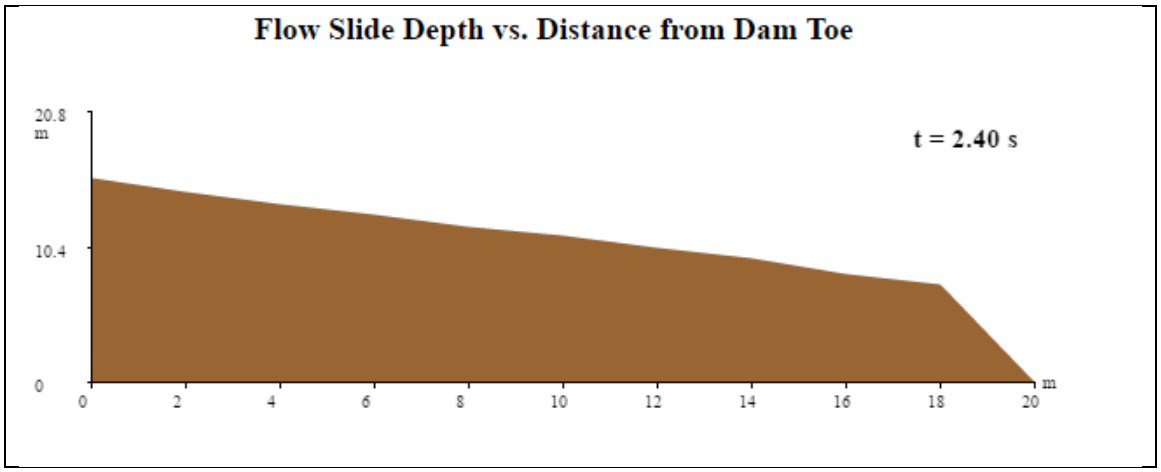


Figura 4: Sección tipo geometría acopio de relaves filtrados.

Es decir, se requeriría un esfuerzo enorme para generar esa tensión de fluencia, para que el colapso se movilice a una decena de metros del pie del talud sobre el piso, conclusión coherente con característica de un deposito autosustentado que no puede escurrir

4.2.2 DETERMINACIÓN MEDIANTE FALLA POR ESTABILIDAD – MÉTODO GRÁFICO

Debido a la baja probabilidad de saturación del relave filtrado, y por lo mismo de la licuefacción, se determina la distancia peligrosa suponiendo que el volumen de derrame es el correspondiente al volumen de la posible falla por inestabilidad que se produciría en caso que el sismo sea de una magnitud mucho mayor al supuesto por el estudio de riesgo sísmico (Mw = 8,8) (ver ref. [4]).

La siguiente figura muestra la falla por inestabilidad más probable, en base al estudio de estabilidad de taludes ref. [4].

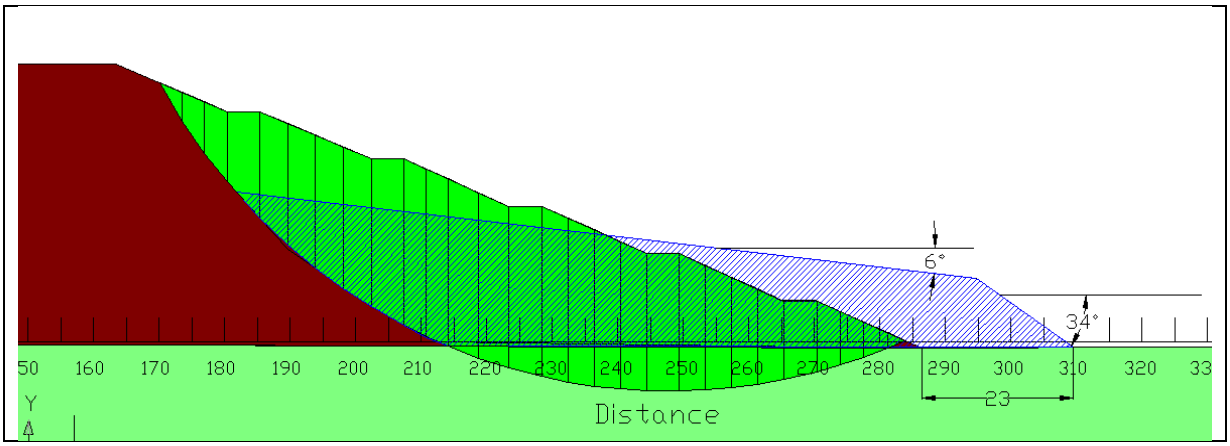


Figura 5: Esquema de volumen derramado – método gráfico.

En azul se puede apreciar el derrame supuesto para el tipo de falla y en verde la superficie de falla más probable de ocurrencia en caso de excedencia del sismo de diseño. El proceso de cálculo de la distancia peligrosa, mediante el método gráfico, comienza con la medición del volumen asociado a la falla. Luego se asume que el relave llegará al reposo cuando su disposición alcance su ángulo de fricción interna (34°) (ver ref. [4]). Finalmente, mediante iteraciones sucesivas se busca igualar el volumen de la falla (en verde), con el volumen del derrame asociado a dicha falla (en azul).

Así se concluye que la distancia peligrosa alcanza valores cercanos a 23 m para las condiciones de humedad y altura del acopio de relaves filtrados confirmándose mediante ambos métodos propuestos.

5 CONCLUSIÓN

De acuerdo a los antecedentes de los diseños conceptuales para el proyecto del nuevo acopio de relaves filtrados de Tambillos, en que la depositación se realiza con una humedad de 16%, sometidos a una rigurosa compactación con rodillo por capas (para obtener 90% del ensayo Proctor Estándar), con un sistema de drenaje vertical y basal para deprimir la napa freática por humedad residual y precipitaciones sobre el acopio, no es susceptible a licuefacción. El posible derrame a producirse se debe a la falla por inestabilidad de menor Factor de Seguridad, con lo cual la distancia peligrosa

determinada alcanza 23 m, lo que no afecta a viviendas o poblados cercanos, tal como se aprecia en la siguiente vista en planta.

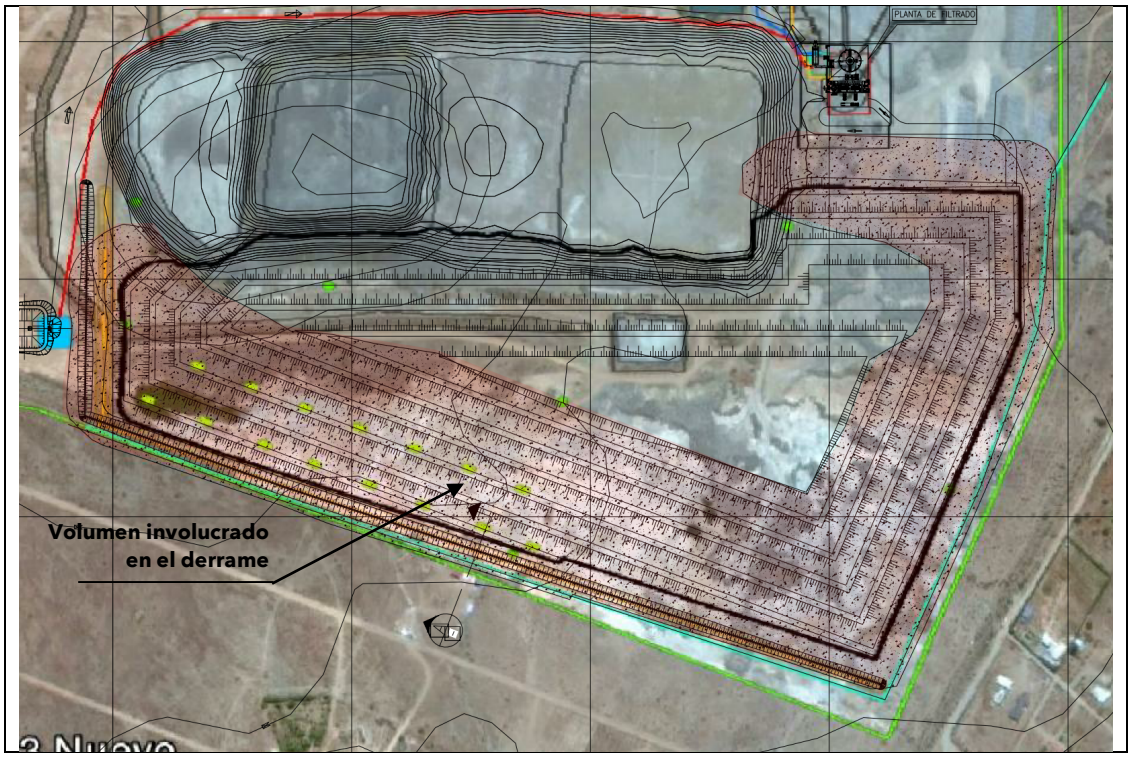
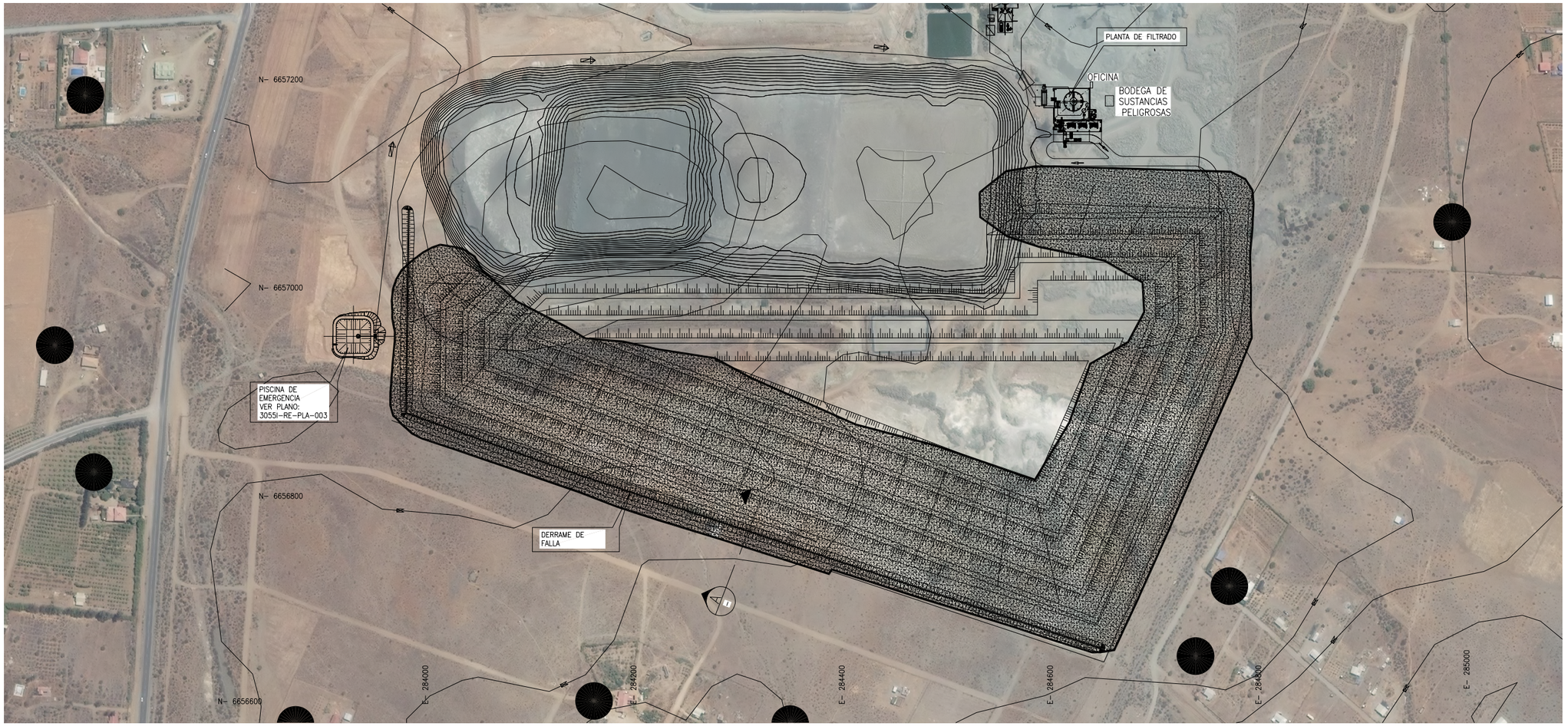
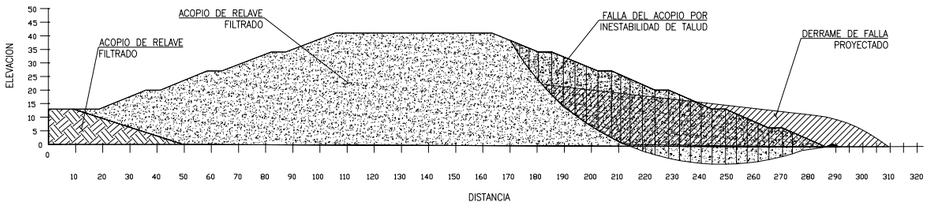


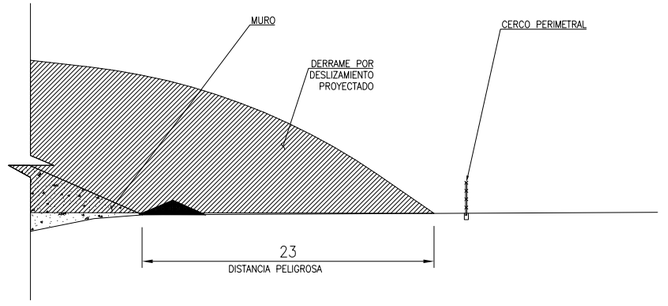
Figura 6: Vista en planta de volumen asociado al deslizamiento. Ref. [5]



PLANTA MANEJO DE AGUAS SUPERFICIALES Y CONTROL DE FILTRACIONES

ESCALA 1:2000





SIMBOLOGIA

CASA HABITACIÓN

NOTAS:

1. DIMENSIONES EN metros Y ELEVACIONES EN m.s.n.m. (SIC.).
2. SISTEMA DE COORDENADAS UTM H19S, DATUM WGS84.
3. EXISTENCIA DE ZONA CRITICA DE 23 MT DESDE EL PIE DEL ACOPIO QUE COMPRENDE EL CERCO ZONA VIVIENDA ALEDAÑA.
4. EL DERRAME PROYECTADO CORRESPONDE AL VOLUMEN ASOCIADO AL DESLIZAMINETO MAS PROBABLE DADA POR EL ESTUDIO DE ESTABILIDAD (N° DOCUMENTO 3055-RE-INF-002) Y EL ESTUDIO DE DISTANCIA PELIGROSA (N° DOCUMENTO 3055-MM-001).

REFERENCIAS

PLANO N°	DESCRIPCIÓN
–	–
–	–
.	.

REVISIONES

N°	FECHA	DISEÑÓ	REVISÓ	JEFE PROY.	DESCRIPCIÓN

REVISIONES

N°	FECHA	DISEÑÓ	REVISÓ	JEFE PROY.	DESCRIPCIÓN		NOMBRE	FECHA	FIRMA
A	08.12.16	A.Z.Z.	A.H.J.	H.G.I.	COORDINACION INTERNA	PROYECTÓ	P. LEIVA	08.12.16	
B	21.12.16	P.L.P.	A.H.J	H.G.I.	EMITIDO PARA APROBACION DEL CLIENTE	DISEÑÓ	S. CURRILEN	08.12.16	
0	27.12.16	P.L.P.	A.H.J.	H.G.I.	APROBADO CLIENTE	REVISÓ	H.GONZALEZ	08.12.16	
1					–	JEFE ESPECIALIDAD	.	.	
2					–	JEFE PROYECTO	A. HOLGADO	08.12.16	
.	.	.	.	.	.	GERENTE INGENIERÍA	.	.	

COMPAÑIA MINERA FLORIDA S.A.
FAENA TAMBILLOS

JO INGENIERIA

DEPÓSITO DE RELAVES FILTRADO

PLANO HOYA HIDROGRAFICA AFECTADA POR EVENTUAL COLAPSO

FECHA	N° PROYECTO	ESCALA	REVISIÓN
ENERO 2017	3055	INDICADAS	– 0

NÚMERO: 3055I-RE-PLA-001