DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

DEPÓSITO DE RELAVES FILTRADOS
CM FLORIDA

ANEXO Nº 5.3.
PERMISO AMBIENTAL SECTORIAL Nº 139

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 139 RSEIA 3

2.1. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS EN LOS QUE SE GENERAN LOS RESIDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIALES O MINEROS, ESTIMACIÓN DE SUS CAUDALES Y CARACTERIZACIÓN (LETRA "A") DEL ART. 139º D.S. Nº 40/12) 3

2.1.1. Descripción de los procesos en los que se generan los residuos líquidos mineros ... 3

2.1.2. Estimación de caudales y caracterización 5

2.2. PLANO DE EMPLAZAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO (LETRA "B") DEL ART. 139º D.S. Nº 40/12) 7

2.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO QUE INCLUYA DIAGRAMA DE FLUJO Y DE LAS UNIDADES Y EQUIPAMIENTO NECESARIO PARA CONDUCIR, TRATAR Y DESCARGAR EL EFLUENTE (LETRA "C)" DEL ART. 139º D.S. Nº 40/12) 9

2.3.1. Características del sitio 9

2.3.2. Características del Proyecto 11

2.3.3. Conducción de relaves a planta de filtrado 12

2.3.4. Espesamiento de relaves 12

2.3.5. Filtrado de relaves 13

2.3.6. Sistema de conducción agua recuperada a planta concentradora 13

2.3.7. Depósito de relaves filtrados 13

2.3.8. Muro de pie del depósito 14

2.3.9. Sistema de manejo de aguas 14

2.3.10. Instrumentación geotécnica 16

2.4. PROGRAMA DE MONITOREO Y CONTROL DE PARÁMETROS OPERACIONALES, INCLUYENDO PARÁMETROS CRÍTICOS (LETRA "D") DEL ART. 139º D.S. 40/12. 17

2.5. DESCRIPCIÓN Y GEORREFERENCIACIÓN DE LAS OBRAS O INFRAESTRUCTURA DE DESCARGA DE LOS RESIDUOS TRATADOS, SI CORRESPONDE (LETRA "E") DEL ART. 139º D.S. Nº 40/12) 18

2.6. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL CUERPO RECEPTOR SUPERFICIAL Y/O SUBTERRÁNEO, IDENTIFICANDO SUS USOS ACTUALES Y PREVISTOS (LETRA "F") DEL ART. 139º D.S. Nº 40/12) 18

2.7. EFECTO ESPERADO DE LA DESCARGA SOBRE EL CUERPO O CURSO RECEPTOR, CONSIDERANDO LOS USOS IDENTIFICADOS (LETRA "G") DEL ART. 139º D.S. Nº 40/12) 18

2.8. PLAN DE MANEJO DE LODOS Y DE CUALQUIER OTRO RESIDUO GENERADO (LETRA "H") DEL ART. 139º D.S. Nº 40/12 18

2.9. PLAN DE CONTINGENCIAS (LETRA "I") DEL ART. 139º D.S. Nº 40/12) 19

2.10. PLAN DE EMERGENCIA (LETRA "J") DEL ART. 139º D.S. Nº 40/12) 20

2.10.1. Emergencias por derrames 21

2.10.2. Catástrofes naturales..... 22
2.10.3. Colapso del depósito de relaves..... 22
3. APÉNDICES 23

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO Nº 2.1.1. DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LOS RELAVES 5
CUADRO Nº 2.1.2. BALANCE DE MASAS ESPESAMIENTO Y FILTRADO DE RELAVES 6
CUADRO Nº 2.2.1. COORDENADAS DEL PROYECTO, PARTES Y OBRAS DE DEPÓSITO DE RELAVES FILTRADOS 8

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", que 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:

- Ducto 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° 139 (PAS 139), indicado en el Artículo 139º del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (RSEIA), D.S. Nº 40/2012 del Ministerio del Medio Ambiente, el que señala:

> *Artículo 139.- Permiso para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier obra pública o particular destinada a la evacuación, tratamiento o disposición final de residuos industriales o mineros.*
>
> *El permiso para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier obra pública o particular destinada a la evacuación, tratamiento o disposición final de residuos industriales o mineros, será el establecido en el artículo 71 letra b) segunda parte, del Decreto con Fuerza de Ley Nº 725, de 1967, del Ministerio de Salud Pública, Código Sanitario.*
>
> *El requisito para su otorgamiento consiste en que la calidad del agua del cuerpo receptor no ponga en riesgo la salud de la población.*

Por su parte en señalado el Artículo 71º letra b), del D.S. Nº 725/67 indica que:

> *Artículo 71°, letra b) segunda parte .- Corresponde al Servicio Nacional de Salud aprobar los proyectos relativos a la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier obra pública o particular destinada a:*

b) la evacuación, tratamiento o disposición final de desagües, aguas servidas de cualquier naturaleza y residuos industriales o mineros.

Antes de poner en explotación las obras mencionadas, ellas deben ser autorizadas por el Servicio Nacional de Salud.

En el contexto de la evaluación ambiental del Proyecto, el Art. 139º señala lo siguiente:

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

a) Descripción de los procesos en los que se generan los residuos líquidos industriales o mineros, estimación de sus caudales y caracterización.
b) Plano de emplazamiento del sistema de tratamiento.
c) Diseño del sistema de tratamiento que incluya diagrama de flujo y de las unidades y equipamiento necesario para conducir, tratar y descargar el efluente.
d) Programa de monitoreo y control de parám operacionales, incluyendo parám críticos.
e) Descripción y georreferenciación de las obras o infraestructura de descarga de los residuos tratados, si corresponde.
f) Descripción y caracterización del cuerpo receptor superficial y/o subterráneo, identificando sus usos actuales y previstos.
g) Efecto esperado de la descarga sobre el cuerpo o curso receptor, considerando los usos identificados.
h) Plan de manejo de lodos y de cualquier otro residuo generado.
i) Plan de contingencias.
j) Plan de emergencia.

En este sentido, la vinculación del Proyecto con el citado artículo se refiere a que el Proyecto corresponde a una obra particular destinada a la evacuación, tratamiento o disposición final de residuos mineros (relaves), 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 139 RSEIA

Los contenidos técnicos y formales que deben presentarse para acreditar el cumplimiento del PAS 139, son los siguientes:

2.1. Descripción de los procesos en los que se generan los residuos líquidos industriales o mineros, estimación de sus caudales y caracterización (letra "a") del Art. 139º D.S. Nº 40/12)

2.1.1. Descripción de los procesos en los que se generan los residuos líquidos mineros

Actualmente la operación minera cuenta con aprobación ambiental a través de la RCA Nº032/16 para desarrollar un régimen de beneficio de mineral igual a 3.000 ton/día, equivalentes 90.000 ton/mes respectivamente, el que será implementado una vez se encuentren construidas las obras del Proyecto. Como resultado del proceso de flotación de los minerales, se generan y generarán Residuos Mineros Masivos (RMM), específicamente relaves, los que actualmente son dispuestos en un embalse ubicado en el sector poniente de la Planta de Beneficios Tambillos.

Desde Mina Florida se abastece de mineral a la Planta de Beneficio para la producción de concentrado de cobre, emplazada a aproximadamente 7 km en dirección Sureste (SE) de la localidad de Tambillos.

Las instalaciones para el desarrollo del proceso productivo proyectado de la Planta de Beneficio, Faena Tambillos, cuenta con 3 líneas de proceso, 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 debe reducir el tamaño del mineral, como esto no se puede realizar de una sola vez, es necesario dividir en etapas de chancado primario, secundario, terciario y cuaternario si es 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. Minera 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.

- **Correas Trasportadoras:** Las correas transportadoras tienen por objetivo trasportar 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**: El objetivo de esta unidad es reducir 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 compone 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 (3 filtros), 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 cuanto a la disposición de relaves, se ha estimado que la vida útil del embalse actualmente en funcionamiento corresponde a 2 años, período que obedece a la disponibilidad de acumulación de relaves en el embalse existente,. Conforme a los antecedentes indicados, 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, se requiere la implementación de un nuevo depósito de relaves para dar continuidad operacional al proyecto minero.

En síntesis, y como fue señalado anteriormente, el funcionamiento de la Planta de Beneficio genera un Residuo Minero Masivo correspondiente a relaves, los que serán

dispuestos en el depósito de relaves debidamente autorizado previo su paso por la planta de filtrados.

2.1.2. Estimación de caudales y caracterización

De acuerdo al Plan Minero asociado al desarrollo de las actividades de proceso de mineral de cobre de la Planta de Beneficios Tambillos, se consideran los siguientes parámetros de producción de relaves:

- Producción mineral: 3.000 ton/día.
- Producción de relaves: 2.880 ton/día.
- Variabilidad de caudales: +/- 10%.

La caracterización de los relaves es la siguiente:

- Capacidad Relaves Nominal Horaria: 104 tph
- Gravedad específica de relaves : 3,2
- Concentración de sólidos colas flotación: 28% (w/w)
- Granulometría de los relaves:
    - D_{50}:74 µm
    - D_{80}:141 µm
    - Distribución granulométrica:

Cuadro Nº 2.1.1. Distribución granulométrica de los relaves

MALLA TYLER	ABERTURA (MM)	% PASANDO ACUMULADO
35	420	100,0
48	300	99,1
65	210	94,5
100	150	83,5
150	106	63,5
200	75	50,5
<200	<75	0

Fuente: Compañía Minera Florida S.A, 2016.

De acuerdo a los parám de diseño establecidos para el funcionamiento del depósito de relaves filtrados, a continuación se presenta el balance de masas del Proyecto:

Cuadro Nº 2.1.2. Balance de masas espesamiento y filtrado de relaves

		COLA PLANTA CONCEN-TRADORA	AGUA RECUPE-RADA (ESPESA DOR)	DESCARGA ESPESADOR	RECIRCU-LACIÓN PULPA	ALIMEN TACIÓN FILTRO	QUEQUE	AGUA RECUPER ADA (FILTROS)
Balance	**UN**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Fi. Sólidos	tmspd	2.880		2.880	864	1.440	1.440	
	tmspd	140		140	42	140	140	
Fi. Agua	m^3/d	7.406	**5.486**	1.920	576	960	274	**1.371**
	m^3/h	361	267	94	28	94	27	134
Fi. Pulpa	tph	10.286		4.800	1.440	2.400	1.714	
	tph	501		234	70	234	167	
Fi. Caudal de pulpa	m^3/d	8.335		2.849	855	1.425	739	
	m^3/h	406		139	42	139	72	
Conc.sól. En peso	%	28		60	60	60	84	
G.E.		3,1		3,1	3,1	3,1	3,1	
Dens. Pulpa	t/m^3	1,23	1,00	1,68	1,68	1,68	2,32	**1,00**
Condición máxima								
Fi. Sólido	tmsph	154		154	42	154	154	
Fi. Agua	m^3/h	397	294	103	28	103	29	**147**
Caudal de pulpa	m^3/h	447		153	42	153	79	

Fuente: Compañía Minera Florida S.A, 2017.

En cuanto al potencial de generación de drenaje ácido (Ver Apéndice Nº 5.3.1.), debido a la naturaleza de las muestras del depósito de relaves de CM Florida, se verificó que no presentan características para denominarlas generadoras de drenaje minero ácido, en las condiciones de operación de la faena minera y proyección del depósito de relaves filtrados.

En cuanto al modelo de infiltración, se determinó que el 100% del agua que precipita se encuentra disponible para infiltrar; a su vez del éste un 18,4% infiltra a través del depósito de relaves llegando a formar aguas de contacto correspondientes a una tasa de 14,4 mm/año en la superficie del depósito de m^2; que equivalen a 2.865,24 L/año de agua de contacto. (1 mm equivale a 1 litro por metro cuadrado).

En tanto, en el Apéndice Nº 5.3.3 se adjunta la hoja de seguridad (HDS) del floculante y el ácido nítrico a utilizar para el tratamiento de los relaves (Planta de Filtrado) previa depositación en el acopio de relaves, le que demuestra que no corresponde a un insumo con características de peligrosidad.

2.2. Plano de emplazamiento del sistema de tratamiento (letra “b”) del Art. 139º D.S. Nº 40/12)

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 de CM Florida, Faena Tambillos en funcionamiento, emplazada próxima a la localidad rural de Tambillos en la comuna de Coquimbo.

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

Las coordenadas asociadas al Proyecto se presentan en los siguientes cuadros:

Cuadro Nº 2.2.1. Coordenadas del Proyecto, partes y obras de 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
4	283.720	6.656.558
MURO DE PIE		
1	283.794	6.656.707
2	283.789	6.656.505
3	284.463	6.656.280
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

VÉRTICE	COORDENADAS UTM WGS 84	
	ESTE	NORTE
BODEGA DE SUSTANCIAS PELIGROSAS		
1	284.465	6.656.805
2	284.465	6.656.815
3	284.473	6.656.815
4	284.473	6.656.805

Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.3. Diseño del sistema de tratamiento que incluya diagrama de flujo y de las unidades y equipamiento necesario para conducir, tratar y descargar el efluente (letra "c)" del Art. 139º D.S. Nº 40/12)

2.3.1. Características del sitio

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.

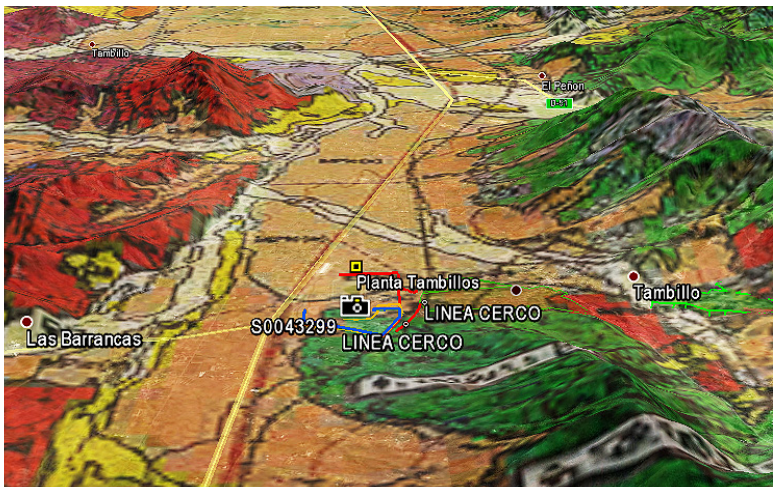
El relieve de estos cordones se orienta de oeste a este y se encuentran separados por los valles mencionados. Las planicies litorales en la región se presentan con amplio desarrollo, penetra hacia el interior hasta 40 kilómetros de ancho, su altura varía entre 0 y 200 msnm.

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).

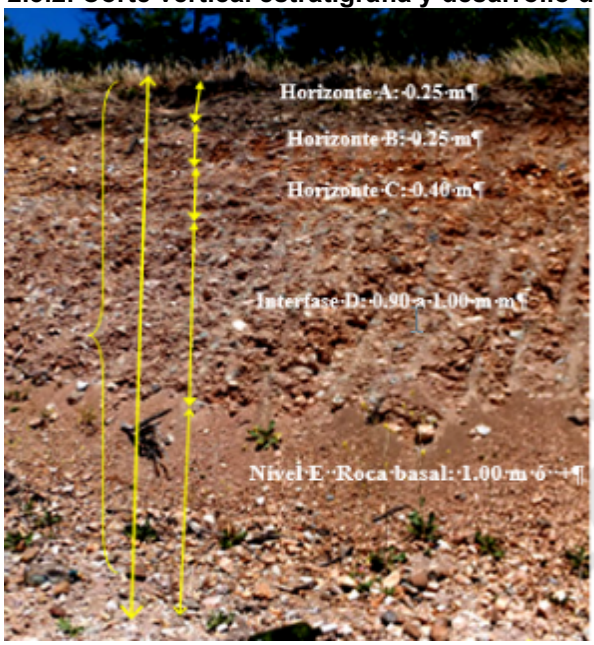
Figura Nº 2.3.1. Acercamiento de la vista en perspectiva Google Earth, de la zona del acopio proyectado



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 2.3.2. 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.

2.3.2. Características del Proyecto

El Proyecto corresponde a la implementación de un nuevo depósito de relaves filtrados para la Planta de Beneficios de CM Florida, Faena Tambillos, en funcionamiento. Dicho sistema contará con un nuevo acopio de relaves filtrados, el que estará conformado por siete (7) terrazas con una altura estimada de siete (7) m cada una. Conforme a la producción de relaves de la Planta de Beneficios, 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 de relaves.

En forma complementaria, el sistema 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:

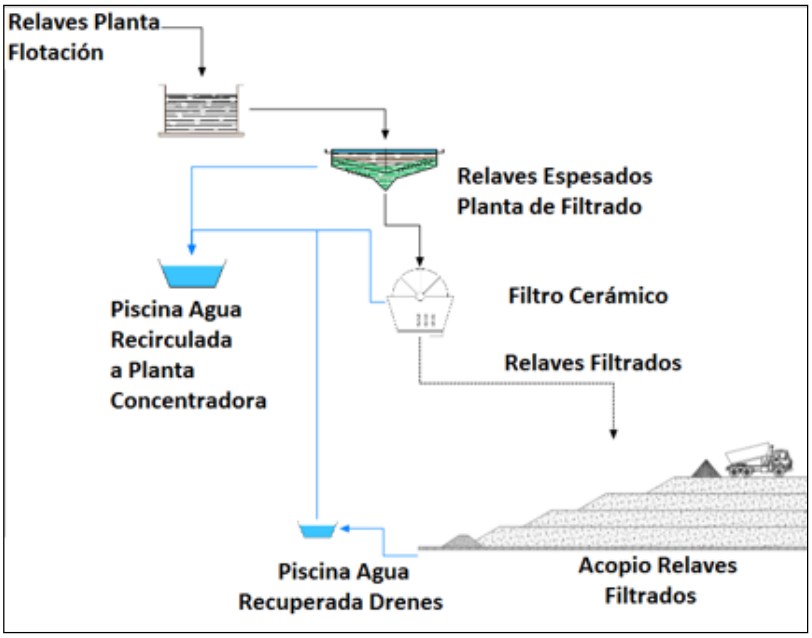
- Descarga de la cañería de colas desde la planta de flotación, esto incluye el cajón y bombas de relaves existentes, emplazado al interior de la Planta de Flotación en funcionamiento (localizada en la Planta de Beneficio).
- Cañerías de transporte de relaves sin filtrar.
- Planta de filtrado (incluye 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.

El diagrama de flujo resumido del proyecto se presenta a continuación, no obstante un diagrama de flujo en detalle se encuentra disponible en Anexo Nº 2 de la presente DIA.

[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] 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.

Figura 2.6.1. Diagrama de flujo de funcionamiento del Proyecto



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

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

2.3.3. 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.

2.3.4. 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 (C–1590 o similar).

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*).

2.3.5. Filtrado de relaves

La unidad de filtrado será dispuesta en la ubicación más óptima desde el punto de vista operativo y ambiental, de modo tal, que los camiones sólo asciendan cargados hasta la cancha de depositación y desciendan descargados, optimizando así los tiempos de viaje, gastos en combustible y el riesgo operacional asociado al desplazamiento de un gran volumen de carga en un tramo menor.

La unidad de filtrado estará compuesta por 3 filtros de discos cerámicos instalados en serie y con 120 m^2 de área de filtrado cada uno. Ante una detención correctiva el espesador de relaves podrá contener por 1 hora este flujo, de extenderse la detención, se dejará fuera de servicio la planta.

Los relaves producidos 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. Cabe señalar que la descarga de relaves filtrados no contempla la actividad de dos camiones en forma simultánea.

La superficie estimada para la plataforma de la planta, así como los sistemas de control y carguío de relaves corresponde a 2.000 m^2 aproximadamente.

2.3.6. 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.

2.3.7. 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.

2.3.8. 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).

2.3.9. 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.

El agua captada por el canal de contorno es restituida aguas abajo del depósito de relaves, 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 recuperación, 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).

2.3.10. 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.
- Piezómetro Casagrande.

Monolitos de control topográfico

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.

2.4. Programa de monitoreo y control de parámetros operacionales, incluyendo parámetros críticos (letra "d") del Art. 139º D.S. 40/12.

En forma complementaria a la operación normal del sistema de depósito de relaves filtrados se llevará a cabo un plan de aseguramiento y control de calidad de la construcción del acopio (QA/QC), el que permitirá controlar que las especificaciones técnicas de construcción del acopio se estén llevando a cabo. Algunos de los aspectos a controlar serán los siguientes:

- Contenido de humedad de relaves filtrados obtenidos en filtros;
- Densidad de compactación de los relaves filtrados depositados;
- Control y registro del nivel piezómetrico de instrumentación geotécnica en acopio; y,
- Control topográfico de la geometría del depósito (altura de bancos, ancho de bermas, taludes, entre otros).

Con el fin de monitorear la estabilidad del depósito de relaves filtrados y el nivel freático dentro del acopio se considera la instalación de los siguientes instrumentos:

- Monolito topográfico; y
- Piezómetro casagrande.

Las actividades señaladas anteriormente se describen de manera breve a continuación:

Monolitos topográficos: 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, se encuentran en mayor detalle en el Anexo Nº 2 de la presente DIA.

2.5. Descripción y georreferenciación de las obras o infraestructura de descarga de los residuos tratados, si corresponde (letra "e") del Art. 139º D.S. Nº 40/12)

Tal como como ha sido descrito anteriormente, el Proyecto corresponde a la implementación de un depósito de relaves filtrados para la Planta de Beneficio, Faena Tambillos en funcionamiento, que a su vez considera procesos de recuperación de agua y recirculación de agua recuperada, por lo tanto no existirá descarga de residuos tratados a cuerpos receptores tales como cauces y/o suelo.

2.6. Descripción y caracterización del cuerpo receptor superficial y/o subterráneo, identificando sus usos actuales y previstos (letra "f") del Art. 139º D.S. Nº 40/12)

La profundidad de la napa de aguas subterránea en el sector del depósito es de 30 m, este valor se obtiene mediante la medición en los pozos de control de calidad de agua ubicados aguas arriba y abajo del área del Proyecto.

Sin embargo lo anterior, cabe recalcar que el presente sistema de manejo de los relaves no contempla el vertimiento del efluente hacia un cuerpo superficial y/o subterráneo receptor.

2.7. Efecto esperado de la descarga sobre el cuerpo o curso receptor, considerando los usos identificados (letra "g") del Art. 139º D.S. Nº 40/12)

No aplica, toda vez que el depósito de relaves filtrados corresponde a un sistema cerrado de recirculación de agua. Esto se justifica ya que en cuanto a la localización del depósito de relaves filtrados y la potencial eventual contaminación de suelo y/o aguas superficiales o subsuperficiales, 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. Por otra parte, estos suelos poseen escasa profundidad, por presentar un horizonte endurecido de constitución silícica con gravilla y gravas y matriz arcillosa, con manchas de manganeso muy abundantes. Este horizonte es localmente nominado como *"tertel"* o *"duripan"*, y se encuentra a aproximadamente 50 cm de profundidad, limitando la zona de crecimiento radicular y de almacenamiento de agua, y siendo una restricción al paso de agua.

2.8. Plan de manejo de lodos y de cualquier otro residuo generado (letra "h") del Art. 139º D.S. Nº 40/12

No aplica, en tanto el manejo de relaves corresponde a un sistema de disposición final de relaves filtrados para la Planta de Beneficios Tambillos en funcionamiento, el que no tiene generación de aguas claras conforme a las características de su funcionamiento.

Sin embargo lo anterior, se adjunta en Apéndice 5.3.2: Plan de Manejo de Relaves Filtrados y de Recuperación de Agua.

2.9. Plan de contingencias (letra "i") del Art. 139º D.S. Nº 40/12)

El Plan de Prevención de Contingencias, describe las medidas a implementar para eliminar o reducir los riesgos asociados al presente Proyecto.

Cabe indicar que dicho Plan será de aplicación a todo el personal involucrado en la ejecución del Proyecto, en sus fases de construcción, operación y cierre, abarcando a toda el área de influencia de las actividades del Proyecto.

Dentro de este plan, se identifican primero las medidas generales de prevención de riesgos a implementarse en las distintas fases del Proyecto.

- Plan y programa de prevención y control de riesgos;
- Elaboración de Reglamento Interno de Seguridad e Higiene, incluyendo las obligaciones, responsabilidades y prohibiciones a los trabajadores en materia de seguridad y riesgos;
- Adhesión a un organismo administrador que realice actividades permanentes de prevención de riesgos de accidentes del trabajo y enfermedades profesionales, acorde a lo indicado en la Ley N° 16.744;
- Instrucciones y/o procedimientos de trabajo seguro para las tareas a desarrollar.
- Coordinación de actividades preventivas con las empresas contratistas y subcontratistas;
- Constitución de Comité Paritario de Higiene y Seguridad en faena durante la fase de construcción del Proyecto.;
- Establecimiento de un Departamento de Prevención de Riesgos en faena durante las fases de construcción y operación del Proyecto; y
- Programa de mantenimiento e inspección de las instalaciones.

También se indican los principales riesgos asociados al desarrollo del presente Proyecto, tanto en la fase de construcción, como en las fases de operación y cierre. Dichos riesgos se listan a continuación:

- Riesgo sísmico;
- Riesgo por accidentes laborales;
    - Caída de personas al mismo nivel;
    - Caída de personas a distinto nivel;
    - Caída de objetos por desplome o de cargas suspendidas;
    - Caída de árboles;

  - Atrapamiento por vuelco de máquina o vehículos;
  - Atrapamiento por entre objetos, cortes por objetos y/o herramientas;
  - Contactos electrónicos directos/indirectos;
  - Contaminación ambiental, exposición a polvo, contaminantes químicos, ruido, vibraciones, ultravioleta solar;
- Riesgos asociados al transporte de personal y/o insumos;
- Riesgos asociados al transporte y manejo de sustancias y/o residuos peligrosos;
- Riesgo de incendios industriales y forestales;
- Riesgos de accidentes de fauna silvestre:
- Riesgos por alteración de restos y sitios arqueológicos;
- Riesgo por inundaciones; y
- Riesgo por deslizamiento de tierra y/o materiales.

Luego de esto, una vez una vez identificados los riesgos principales presentes en el Proyecto, se indican para cada uno de ellos medidas de prevención y control del riesgo, con objeto de:

- Reducir la probabilidad de fallo asociada a elementos, a equipos o procesos;
- Reducir la frecuencia de exposición al riesgo por parte de los trabajadores; y,
- Reducir la magnitud de las consecuencias, en caso de que se produjera la contingencia.

Para más información respecto de los tipos de contingencias asociadas al funcionamiento del depósito de relaves filtrados, las medidas a tomar en dichos casos, la responsabilidad de cada integrante del Proyecto y los plazos de acción establecidos, ver Anexo Nº 6 “Plan de Contingencias y Emergencias”, de la presente DIA.

2.10. Plan de emergencia (letra “j”) del Art. 139º D.S. Nº 40/12)

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.

Los tipos de emergencias identificados para la operación del Proyecto incluyen:

- Derrames
- Catástrofes Naturales
- Colapso Depósito de Relaves Filtrados

2.10.1. Emergencias por derrames

Derrame de relaves

Una de las emergencias asociadas a la conducción mediante tuberías, es la debida a la rotura del relaveducto y daños en el soporte del sistema de bombas, como consecuencia de fallas operacionales y/o mecánicas, además se podría presentar el derrame de relave ya filtrado durante el traslado en camiones desde la planta de relaves filtrados y espesados hasta, la depositación del relave en tortas).

El manejo de relaves considera medidas desde la construcción del proyecto para enfrentar un potencial derrame, el relaveducto que conduce el relave desde la flotación a la planta de filtrado de relaves cuenta con una zanja impermeabilizada con manta de HDPE de 1 mm en toda su extensión. La zanja será compartida en un tramo menor a 50 m de su longitud con el acueducto de aguas recuperadas según la vista en corte que se presenta a continuación. Se destaca que la zanja mantendrá las dimensiones especificadas en la imagen a continuación a pesar de contener solo el relaveducto.

El derrame contenido será reingresado al proceso mediante la utilización de motobombas de emergencia.

Derrames de Aguas Recuperadas

Otro tipo de emergencias, asociado a los derrames, es aquel ocasionado por la rotura de tubería de aguas recuperadas por el proceso de filtrado, la cual tiene como función transportar dichas aguas desde la Planta de Filtrado de Relaves hasta el estanque de traspaso TK 6, para finalmente ser reincorporadas a proceso.

El manejo de aguas recuperadas considera medidas desde la construcción del Proyecto para enfrentar un potencial derrame, ante la ocurrencia de un derrame de aguas recuperadas quedarán acumuladas en el canal que conduce la tubería, el cual posee recubrimiento de manta de HDPE de 1 mm, para posteriormente, ser enviadas al estanque TK 6; mediante la utilización de motobombas de emergencia. La zanja será compartida en un tramo menor a 50 m de su longitud con el relaveducto según la vista en corte que precede. Se destaca que la zanja mantendrá las dimensiones especificadas en la imagen anterior a pesar de contener solo la tubería de aguas recuperadas.

2.10.2. Catástrofes naturales

Este tipo de emergencias son las que involucran a todos aquellos eventos de origen natural que no se pueden prevenir, por lo cual se hace necesaria la implementación de un plan de acción para combatir este tipo de situaciones, entre los cuales se puede mencionar las precipitaciones extremas y sismos.

Precipitaciones Extremas

Se entenderá como temporal de lluvia, en el contexto del presente plan, aquellas precipitaciones que conllevan a un aumento anormal en el nivel freático del Depósito de Relaves Filtrados asociadas a una cantidad de agua caída equivalente a 30 mm/h.

Para mitigar este riesgo se dispondrá de una red de drenes verticales y drenes basales los cuales conducirán el agua lluvia hasta la piscina de aguas drenadas, la cual se ubica aguas abajo al depósito de relaves filtrados.

Sismos

Se considerará emergencia aquellos sismos que consideren una intensidad igual o mayor a V, según lo establece la escala de Mercalli Modificada.

Un sismo puede generar consecuencias en la infraestructura del depósito. No obstante de que su probabilidad de ocurrencia es muy escaza debido a ser un depósito en el cual la humedad es inferior al punto de la licuefacción.

En la Planta de Filtrado se podría hacer necesaria la definición de un Plan de Acción adecuado para dar oportuna respuesta y mitigar los impactos al entorno.

A continuación, se indican las causas que activan el Plan de Acción:

- Rotura y/o estrangulamiento de relaveducto.
- Daños en el soporte del sistema de bombas.
- Desplazamiento, deformación y/o Agrietamiento de Taludes.

2.10.3. Colapso del depósito de relaves

Una tercera contingencia es la relacionada con el colapso del depósito de relaves, que puede ser originado por varias situaciones, entre las cuales se destacan: saturación del depósito, aumento del nivel freático.

Para más información ver Anexo Nº 6 “Plan de Contingencias y Emergencias” de la presente DIA.

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 5.3.1:** Estudio de Infiltraciones y Evaluación Potencial de Drenaje Acido
- **Apéndice Nº 5.3.2:** Plan de Manejo de Relaves y Aguas Recuperadas
- **Apéndice Nº 5.3.3:** Hoja de Seguridad Floculante y Ácido Nítrico

APÉNDICE Nº 5.3.1.
ESTUDIO DE INFILTRACIONES Y EVALUACIÓN POTENCIAL DE DRENAJE ÁCIDO

ESTUDIO DE INFILTRACIONES Y EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE DRENAJE ÁCIDO

PROYECTO DEPÓSITO DE RELAVES FILTRADOS - CM FLORIDA

Rev. 0

Preparado para

Compañía Minera Florida S.A.

Preparado por

cph y Asociados S.A.

Julio de 2016

ÍNDICE DE MATERIAS

1 ANTECEDENTES 3
2 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN 3
2.1 Marco Teórico 3
2.2 Hidrología 6
2.2.1 Precipitaciones y Temperatura 6
2.3 Cálculo de la Evapotranspiración 7
2.4 Balance Hídrico Depósito 9
3 MODELACIÓN HIDROQUÍMICA 14
3.1 Alcances. 14
3.2 Caracterización hidroquímca de las soluciones 15
3.2.1 Datos de entrada para simulación 15
3.2.2 Caracterización Hidroquímica 16
3.3 Modelo Hidroquímico 17
3.4 Interpretación de los resultados 18
4 CONCLUSIONES 18
5 REFERENCIAS 19

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Temperaturas y precipitaciones promedios estación La Serena - La Florida (29° 54' W, 71° 12' W, 142 m s.n.m) 6

Tabla 2. Radiación solar extraterrestre expresada en evaporación equivalente (mm/mes) para el Hemisferio Sur 8

Tabla 3. Número máximo de horas de sol 8

Tabla 4. Memoria de cálculo evapotranspiración mensual (mm) 9

Tabla 5. Parámetros fijos del modelo de cálculo 10

Tabla 6. Memoria cálculo agua disponible para infiltrar (mm) 10

Tabla 7. Cálculo del agua que percola en el depósito (mm) 12

Tabla 8. Caracterización de muestras de depósito de relaves 15

Tabla 9. Resumen de pruebas Test ABA para muestra de depósito de relaves..... 15

Tabla 10. Simulación calidad de drenaje para depósito..... 16

Tabla 11. Índices de saturación de compuestos anual para depósito mixto. 17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema conceptual del balance hídrico del depósito 5

Figura 2. Plano ubicación depósito..... 6

ANEXOS

ANEXO 1 PRINCIPALES ETAPAS DE LA GENERACION DE DRENAJE ACIDO

ANEXO 2. INFORME RESULTADOS TEST ABA

1 ANTECEDENTES

Compañía Minera Florida, ha solicitado a CPH y Asociados S.A. un estudio para determinar la posibilidad de que se produzcan infiltraciones, a consecuencia de la ejecución del proyecto de Depósito de Relaves Filtrados, el cual ha sido diseñado para disponer los residuos mineros masivos que se generarán, producto del aumento de producción de la Planta de Beneficio y de Mina Florida.

Para el análisis técnico se han considerado dos aspectos. Por una parte, se desarrolló un balance hídrico para el depósito proyectado, donde el cálculo efectuado utiliza datos climatológicos de precipitaciones, horas de luz, radiación solar y temperaturas registrados por la Dirección Meteorológica de Chile, compilados en distintas fuentes internacionales que se indican en las referencias, tal es el caso de los datos de Radiación Extraterrestre para el Hemisferio Sur expresado en evaporación. De este modo se determinó el potencial de generación de aguas de contacto que pudieran eventualmente escurrir ya sea superficial o subterráneamente.

Por otra parte, se desarrolló una modelación hidroquímica a objeto de determinar la calidad del agua resultante derivada de la infiltración calculada, calidad que estará determinada por la interacción del agua que ingrese al depósito y la geoquímica del material que lo conforma. Para ello se utilizó el código PHREEQC, ampliamente empleado en este tipo de análisis.

2 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN

2.1 Marco Teórico

Para la estimación de la capacidad de infiltración, y consecuentemente de generación de aguas de contacto en el depósito de relaves filtrado proyectado, se utilizó un modelo matemático para calcular el balance de agua para el depósito. El balance calcula, por una parte, el agua que potencialmente infiltra en el depósito, y por otra, la proporción de esta agua que es capaz de percolar profundamente más allá de la zona afecta a la evaporación desde la capa superior del depósito, independiente de la profundidad de éste.

El balance se calculó utilizando valores mensuales de las variables meteorológicas, debido a que constituyen un buen indicador de la capacidad del depósito de generar un flujo de soluciones de lixiviación y caudales productos de la precipitación sobre el mismo. Los resultados obtenidos se utilizaron en el análisis y modelación hidroquímica para obtener las características de la calidad del agua que sale del depósito.

Para desarrollar el modelo de infiltración se requiere conocer datos de precipitación, temperatura, radiación solar, y radiación extraterrestre. Estos datos son requeridos para calcular variables tales como la sublimación, deshielo, escorrentía, infiltración, la percolación y la evapotranspiración.

El balance calcula el agua disponible para infiltrar, el que se determina según las siguientes ecuaciones básicas, las que se detallan en el acápite 2.4 del presente documento.

Infiltración = Lluvia + Deshielo - Escorrentía - Sublimación

Una parte de esta infiltración queda retenida en la superficie del suelo y, posteriormente, se pierde por evapotranspiración, mientras que otra parte constituye la percolación, que corresponde a la cantidad de agua que pasa a través de una capa de retención del suelo y percola hacia niveles inferiores, una vez que se alcanza cierto valor de retención máxima.

Por lo tanto, la percolación para cada mes, se calcula como:

Percolación = Infiltración - Evapotranspiración - Cambio en el almacenamiento del suelo

En términos del análisis del depósito, se estima que la percolación es equivalente al volumen y caudal de solución de lixiviación producida en la base de depósito. Por otra parte, y como se verá en el cálculo, toda la precipitación sobre el área del depósito está disponible para infiltrar, ya que no hay precipitación sólida (nieve).

En la Figura 1 se muestra el modelo conceptual de balance de aguas.

.

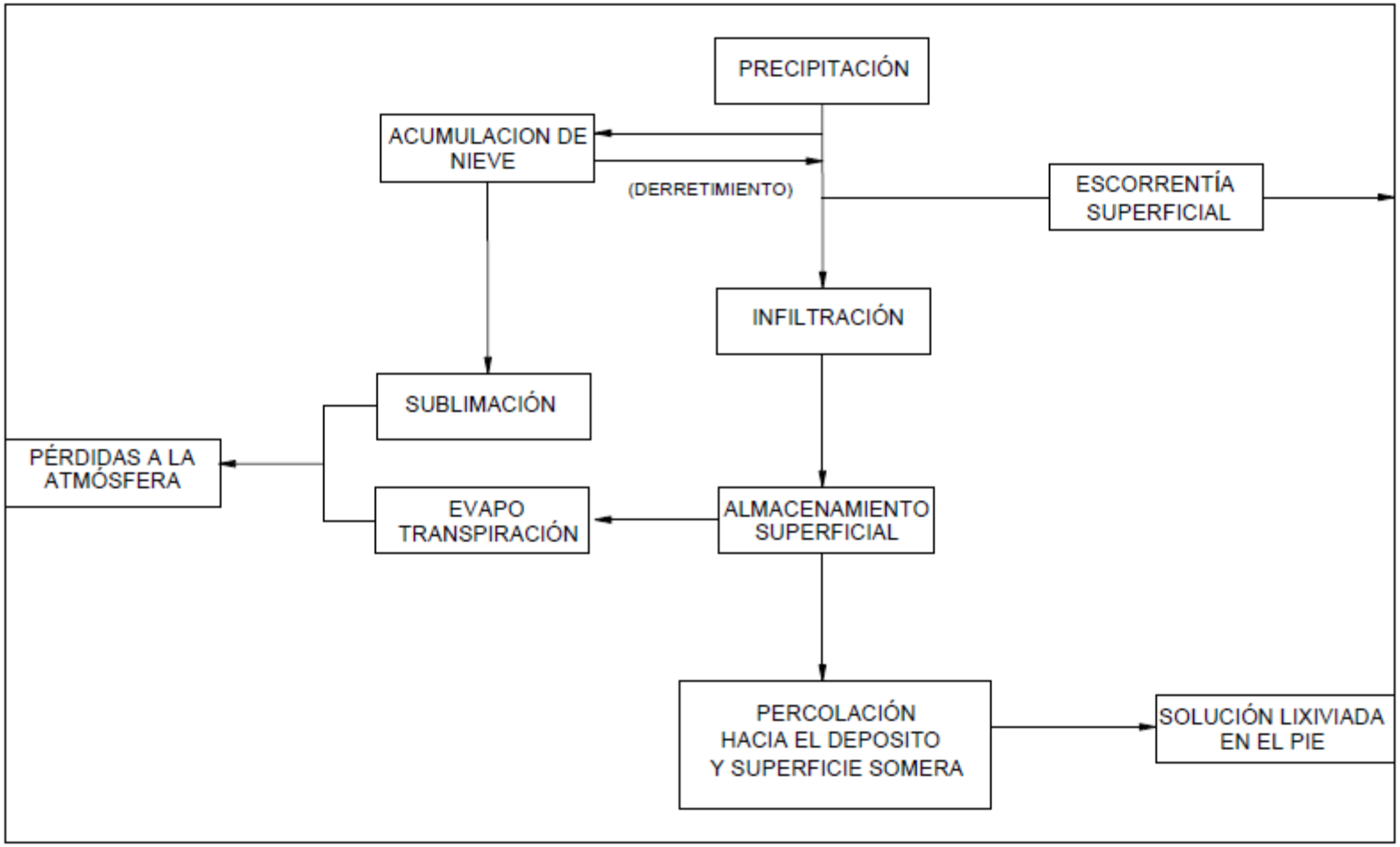


Figura 1 Esquema conceptual del balance hídrico del depósito

Fuente: Elaboración propia

La siguiente figura muestra la zona del depósito proyectado, cuya superficie alcanzará aproximadamente 198.975 m^2 o su equivalente de 19,9 ha.

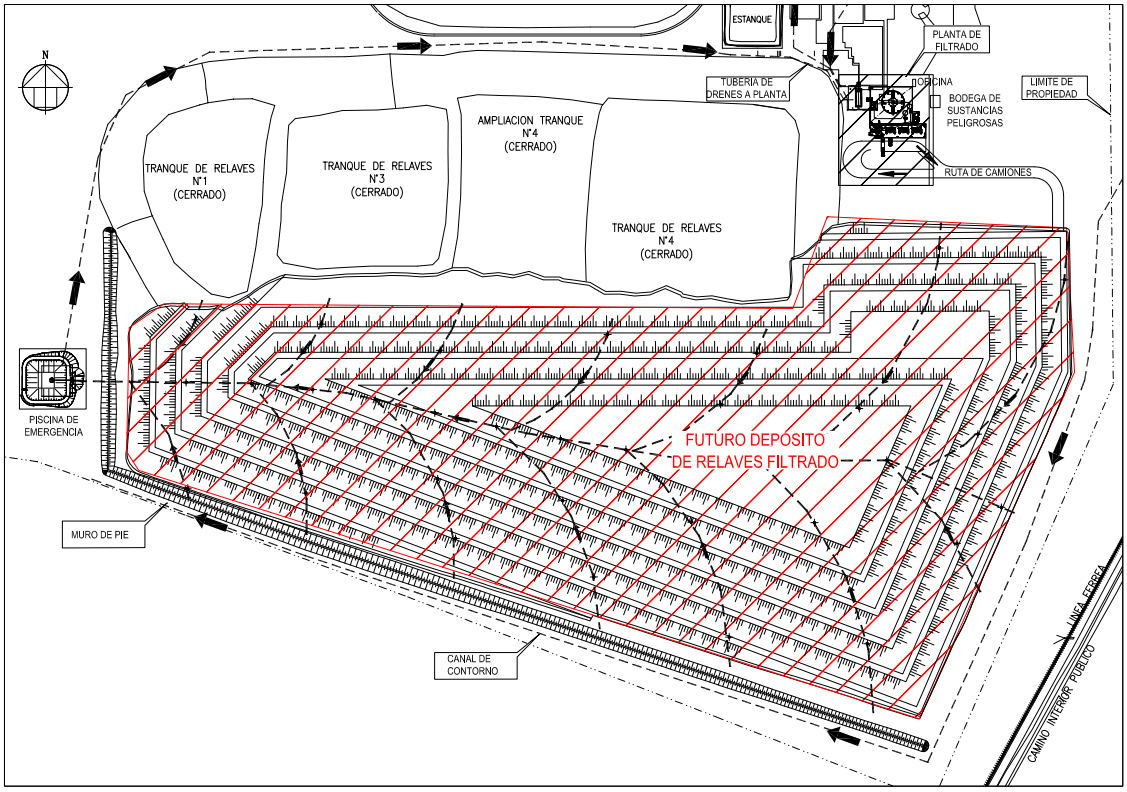


Figura 2. Plano ubicación depósito

Fuente: Cía. Minera Florida

2.2 Hidrología

2.2.1 Precipitaciones y Temperatura

Las precipitaciones y temperaturas que se utilizadas en este informe corresponden a datos recientes, actualizados al 2014 y publicados en la web en el sitio www.español.weather.com en base a datos informados por la Dirección Meteorológica de Chile.

Los datos recopilados son los siguientes.

Tabla 1. Temperaturas y precipitaciones promedios estación La Serena - La Florida (29° 54' W, 71° 12' W, 142 m s.n.m)

Variable	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Total	Promedio
T. Media (°C)	17,1	16,9	15,6	13,7	12,3	10,9	10,7	10,9	11,6	12,9	14,3	16,1	163	13,6
T. Mínima (°C)	13,6	13,4	12,4	10,7	9,2	7,6	7,5	7,8	8,7	9,5	10,7	0	111,1	9,3
T. Máxima (°C)	21,6	21,6	20,2	18,2	17	15,9	15,4	15,7	16,3	17,5	18,9	20,4	274,1	18,2
Precip. (mm)	0	0	0,2	1,1	6,1	14,9	30,7	16,8	5,8	2,7	0,2	0	78,5	6,5

Fuente Dirección Meteorológica de Chile

2.3 Cálculo de la Evapotranspiración

La evapotranspiración se calculó mediante el método de Jensen Heise. Este método presenta un ajuste de un 96% con mediciones hechas en lisímetros en zona áridas (Ref. 1) por lo que representa de buena manera esta variable en la zona de estudio. El método utiliza el siguiente sistema de ecuaciones.

- Presión de vapor:

$$e = 6{,}108.\exp\left(\frac{17{,}27.t}{t + 237{,}3}\right)$$

Donde e es la presión de vapor a saturación (mbar) correspondiente a la temperatura t (°C). Se calcula para las temperaturas mínimas y las máximas.

- Coeficientes C_T y T_x

$$C_T = \frac{1}{38 - \frac{h}{152{,}5} + \frac{380}{e_2 - e_1}} \qquad ; \qquad T_x = -2{,}5 - 0{,}14(e_2 - e_1) - \frac{h}{550}$$

Donde h es la cota del lugar en metros, en este caso es la cota del terreno donde se instalará el depósito.

- Radiación solar incidente

En este caso no se dispone de medidas directas de la radiación solar incidente, por lo cual se determinó el factor Rs, que se calcula a partir del número de horas de Sol (n).

Se utilizaron los registros de la Radiación solar indicados en el documento de la referencia, para la situación sin atmósfera o extraterrestre (Ro), y del máximo teórico de horas de sol (N). Ambos registros se encuentran publicados por la FAO (Ref. 1).

La ecuación que calcula la radiación solar incidente es:

$$R_s = R_o\left(0{,}18 + 0{,}55\frac{n}{N}\right)$$

Las tablas de Radiación solar si no existiera atmósfera (Ro) y el máximo teórico de horas de sol son las siguientes:

Tabla 2. Radiación solar extraterrestre expresada en evaporación equivalente (mm/mes) para el Hemisferio Sur

Lat (º)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
50	17,5	14,7	10,9	7,0	4,2	3,1	3,5	5,5	8,9	12,9	16,5	18,2
48	17,6	14,9	11,2	7,5	4,7	3,5	4,0	6,0	9,3	13,2	16,6	18,2
46	17,7	15,1	11,5	7,9	5,2	4,0	4,4	6,5	9,7	13,4	16,7	18,3
44	17,8	15,3	11,9	8,4	5,7	4,4	4,9	6,9	10,2	13,7	16,7	18,3
42	17,8	15,5	12,2	8,8	6,1	4,9	5,4	7,4	10,6	14,0	16,8	18,3
40	17,9	15,7	12,5	9,2	6,6	5,3	5,9	7,9	11,0	14,2	16,9	18,3
38	17,9	15,8	12,8	9,6	7,1	5,8	6,3	8,3	11,4	14,4	17,0	18,3
36	17,9	16,0	13,2	10,1	7,5	6,3	6,8	8,8	11,7	14,6	17,0	18,2
34	17,8	16,1	13,5	10,5	8,0	6,8	7,2	9,2	12,0	14,9	17,1	18,2
32	17,8	16,2	13,8	10,9	8,5	7,3	7,7	9,6	12,4	15,1	17,2	18,1
30	17,8	16,4	14,0	11,3	8,9	7,8	8,1	10,1	12,7	15,3	17,3	18,1
28	17,7	16,4	14,3	11,6	9,3	8,2	8,6	10,4	13,0	15,4	17,2	17,9
26	17,6	16,4	14,4	12,0	9,7	8,7	9,1	10,9	13,2	15,5	17,2	17,8
24	17,5	16,5	14,6	12,3	10,2	9,1	9,5	11,2	13,4	15,6	17,1	17,7
22	17,4	16,5	14,8	12,6	10,6	9,6	10,0	11,6	13,7	15,7	17,0	17,5
20	17,3	16,5	15,0	13,0	11,0	10,0	10,4	12,0	13,9	15,8	17,0	17,4
18	17,1	16,5	15,1	13,2	11,4	10,4	10,8	12,3	14,1	15,8	16,8	17,1
16	16,9	16,4	15,2	13,5	11,7	10,8	11,2	12,6	14,3	15,8	16,7	16,8
14	16,7	16,4	15,3	13,7	12,1	11,2	11,6	12,9	14,5	15,8	16,5	16,6
12	16,6	16,3	15,4	14,0	12,5	11,6	12,0	13,2	14,7	15,8	16,4	16,5
10	16,4	16,3	15,5	14,2	12,8	12,0	12,4	13,5	14,8	15,9	16,2	16,2
8	16,1	16,1	15,5	14,4	13,1	12,4	12,7	13,7	14,9	15,8	16,0	16,0
6	15,8	16,0	15,6	14,7	13,4	12,8	13,1	14,0	15,0	15,7	15,8	15,7
4	15,5	15,8	15,6	14,9	13,8	13,2	13,4	14,3	15,1	15,6	15,5	15,4
2	15,3	15,7	15,7	15,1	14,1	13,5	13,7	14,5	15,2	15,5	15,3	15,1
0	15,0	15,2	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8

Fuente Ref: 1

Tabla 3. Número máximo de horas de sol

Lat. Norte	E	F	Mr	A	My	Jn	Jl	A	S	O	N	D
Lat Sur	Jl	Jn	My	A	Mr	F	E	F	Mr	A	My	Jn
50	8,5	10, 0	11,8	13,7	15,3	16 3	15,9	14,4	12,6	10,7	9,0	8,1
48	8,8	10,2	11,8	13,6	15,2	16,0	15,6	14,3	12,6	10,9	9,3	8,3
46	9,1	10,4	11,9	13,5	14,9	15,7	15,4	14,2	12,6	10,9	9,5	8,7
44	9,3	10,5	11,9	13,4	14,7	15,4	15,2	14,0	12,6	11,0	9,7	8,9
42	9,4	10,6	11,9	13,4	14,6	15,2	14,9	13,9	12,9	11,1	9,8	9,1
40	9,6	10,7	11,9	13,3	14,4	15,0	14,7	13,7	12,5	11,2	10,0	9,3
35	10,1	11,0	11,9	13,1	14,0	14,5	14,3	13,5	12,4	11,3	10,3	9,8
30	10,4	11,1	12,0	12,9	13,6	14,0	13,9	13,2	12,4	11,5	10,6	10,2
25	10,7	11,3	12,0	12,7	13,3	13,7	13,5	13,0	12,3	11,6	10,9	10,6
20	11,0	11,5	12,0	12,6	13,1	13,3	13,2	12,8	12,3	11,7	11,2	10,9
15	11,3	11, 6	12,0	12,5	12,8	13	12,9	12,6	12,2	11,8	11,4	11,2
10	11,6	11,8	12,0	12,3	12,6	12,7	12,6	12,4	12,1	11,8	11,6	11,5
5	11,8	11, 9	12,0	12,2	12,3	12,4	12,0	12,3	12,1	12,0	11,9	11,8
0º Ecuador	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0

Fuente: Ref.1

Finalmente la Evapotranspiración (indistintamente ETP o EVPT) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$ETP = C_T\,(T\text{-}T_x)\,.\,R_s$$

Donde Rs es la radiación solar incidente (mm/mes), T es la temperatura del período elegido (°C) y C_T y T_x también se calculan mediante el modelo de evapotranspiración.

De este modo, se tiene:

Tabla 4. Memoria de cálculo evapotranspiración mensual (mm)

Datos base				**Presión de vapor a saturación**		
temp media de las máximas	**18.2**	°C		e2=	**20.901**	mbar
temp media de las mínimas	**9.3**	°C		e1=	**11.715**	mbar
altitud (h)=	**207**	metros		Ct=	**0.0128**	
				Tx=	**-4.162**	

Factores de cálculo	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Temp media mensual (°C) (1)	17.1	16.9	15.6	13.7	12.3	10.9	10.7	10.9	11.6	12.9	14.3	16.1
Nº horas sol medidas (2)	11.90	12.80	13.63	14.00	13.85	13.16	12.30	11.37	10.63	10.23	10.40	11.00
Nº horas sol maximas tabuladas (3)	12.00	12.90	13.60	14.00	13.90	13.20	12.40	11.50	10.60	10.20	10.40	11.10
Factor Horas de sol (2/3)	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99
Radiación extraterestre (mm/mes)	12.7	15.3	17.3	18.1	17.8	16.4	14	11.3	8.9	7.8	8.1	10.1
Radiacion incidente Rs	9.21	11.10	12.65	13.21	12.96	11.94	10.16	8.18	6.51	5.71	5.91	7.32
ETP (mm/d)	2.51	3.00	3.20	3.03	2.73	2.31	1.94	1.58	1.32	1.25	1.40	1.90
nº dias	30	31	30	31	31	28.25	31	30	31	30	31	31
ETP (mm/mes)	**75.3**	**92.9**	**96.1**	**93.8**	**84.8**	**65.2**	**60.0**	**47.4**	**40.8**	**37.4**	**43.4**	**59.0**

Fuente: Elaboración propia.

2.4 Balance Hídrico Depósito

Utilizando la información de las precipitaciones medias mensuales, la temperatura, la evapotranspiración mensual y el coeficiente de infiltración, es posible resolver las ecuaciones del balance de aguas en el depósito a lo largo del año.

El modelo parte de la hipótesis de que cierta cantidad de agua se va perdiendo desde el suelo (parte superior del depósito), para poder generar la evapotranspiración, hasta agotar la reserva contenida en el mismo. De este modo, en períodos de mayor humedad de la que posee el suelo se genera percolación y, por el contrario, en períodos de menor humedad no la hay.

Las constantes usadas en el cálculo del balance hídrico se muestran en la tabla 5.

La tasa de infiltración (cm/s) corresponde a una tasa estimada según el material depositado en el depósito de relaves, siendo un parámetro que tiene muy poca influencia en los resultados del balance.

La capacidad de campo corresponde a la capacidad que presenta un suelo de retener agua luego de haber sido saturado. En este caso se aplica el valor de 20 mm, el cual es concordante con lo recomendado por la FAO para el tipo de suelo observado en las calicatas efectuadas.

El factor de deshielo corresponde a la tasa de deshielo según aumento o disminución de la temperatura.

La Proporción Jansen Heise (C_T) y (T_x) corresponden a valores obtenidos en la ecuación de ETP

Tasa mensual de sublimación es un valor estándar para la nieve y corresponde a 0,0171 mm.

Temperatura mínima de deshielo. Corresponde a la temperatura sobre la cual la nieve/hielo comienza a fundirse y alcanza un valor estándar de 2,6 °C. En el balance de aguas, el deshielo cada mes se calcula ya sea a su máximo potencial o sobre la base de la cubierta de nieve disponible durante dicho mes. Si en un mes, la cubierta de nieve es mayor que el deshielo potencial, entonces queda una cubierta de nieve restante al inicio del siguiente mes. Por lo tanto, el balance tiene un término para el almacenamiento de nieve trasladado desde el fin de un mes hacia el siguiente.

Tabla 5. Parámetros fijos del modelo de cálculo

Tasa de infiltración del suelo Dic-May	4E-06	cm/s
Tasa de infiltracion del suelo Jun - Nov	4E-06	cm/s
Capacidad de campo	20	mm
Factor de deshielo	3.0	mm/°C/día
Proporción Jensen Haise (CT)	0.0131	
Intrcepción Jansen Heise (Tx)	-4.62	
Tasa mensual de sublimación	12.00	(mm)
Temperatura mínima de deshielo	2.60	(° C).

Valor de permeabilidad relave tomado de Referencia 3.

Tabla 6. Memoria cálculo agua disponible para infiltrar (mm)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Mes	N° días	Temp (°C).	Precip líquida (mm)	Factor nieve/lluvia	Precip Efectiva	Escorrentía de lluvia	Nieve (mm)	Sublim. (mm)	Disponibilidad de nieve (mm)	Fusión de nieve (mm)	Escurrimiento de nieve (mm)	Escorrentía Total (mm)	Disponible para infiltratción
ene	31	17,10	0,00	0,00	0,000	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000
feb	28	16,90	0,00	0,00	0,000	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000
Mar	31	15,60	0,20	0,00	0,200	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,200
abr	30	13,70	1,10	0,00	1,100	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	1,100
may	31	12,30	6,10	0,00	6,100	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	6,100
jun	30	10,90	14,90	0,00	14,900	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	14,900
Jul	31	10,70	30,70	0,00	30,700	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	30,700
Ago	31	10,90	16,80	0,00	16,800	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	16,800
Sep	30	11,60	5,80	0,00	5,800	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	5,800
Oct	31	12,90	2,70	0,00	2,700	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	2,700
Nov	30	14,30	0,20	0,00	0,200	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,200
Dic	31	16,10	0,00	0,00	0,000	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000
Anual	365		78,50		78,500	0,0	0,00	0,00				0,0	78,500
					Porcentaje del total precipitado			0,0%				0,0%	100,0%

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

Columna 1: Mes.

Columna 2: Días por mes.

Columna 3: Temperatura en °C.

Columna 4: Precipitación líquida (mm).

Columna 5: Factor nieve/lluvia: coeficiente de proporción nieve lluvia, donde el factor 1 indica que toda la precipitación se produce en forma de nieve (sólida) y 0 indica que toda la precipitación se produce en forma líquida. No aplica para este caso.

Columna 6: Precipitación efectiva. Es el resultado de la resta entre columna 4 y columna 8.

Columna 7: Escorrentía de lluvia: Corresponde a la fracción de la lluvia que escurre. Se produce siempre y cuando la precipitación efectiva sea mayor a la tasa de infiltración del suelo, de lo contrario se asigna el valor cero. El cálculo incluye la equivalencia de la tasa de infiltración expresada en cm/año para la adecuada comparación. La programación del modelo se expresa de la siguiente forma: SI(G_x>E2*10*24*3600*C_x,(E2*10*24*3600*C_x),0). Donde G_x es la precipitación efectiva (columna 6), E2 es la tasa de infiltración del suelo y C_x es el número de días.

Columna 8: Corresponde al monto estimado de nieve, expresada en mm de agua equivalente. Se calculada como el producto de la precipitación liquida por el factor nieve/lluvia (columna 4 por columna 5). No aplica para este caso.

Columna 9: Sublimación. Corresponde a la fracción de la nieve que pasa directamente a la atmósfera. Ocurre si la disponibilidad de nieve (Columna 10 + Columna 8) es mayor que el factor de conversión de evapotranspiración (ET), de lo contrario, es el máximo de la suma de columnas 8 y 10. La programación del modelo se expresa de la siguiente forma:

SI(K_x+I_x>E9;E$9;MAX($K_x$+$I_x$;0)) donde K_x es la columna 10, E9 es la tasa mensual de sublimación e I_X es la columna 8. No aplica para este caso.

Columna 10: Disponibilidad de nieve. Corresponde al máximo de la disponibilidad de nieve del mes anterior menos la suma de las columnas 7, 9 y11, sino adopta el valor cero. El modelo calcula de la siguiente forma: MAX((K_x+I_x-J_x-L_x);0), donde K_{x-1} es la disponibilidad de nieve del mes anterior, I_x es la columna 8, J_x es la columna 9 y L_x es la fusión de nieve (columna 11). No aplica para este caso.

Columna 11. Fusión de nieve. En el modelo de cálculo corresponde a la relación que resulta si la temperatura (Columna 3) es mayor que la temperatura mínima de deshielo (2,6 °C) señalada en la Tabla 5 Si esto no ocurre, entonces corresponde al mínimo valor que resulta de la comparación entre el factor de deshielo por la temperatura menos la temperatura mínima de deshielo multiplicados por la temperatura y la disponibilidad de nieve, si no es cero. La programación es la siguiente:

SI(D_x>E10;MIN((E5*(D_x-E10))*C_x;K_x);0),

Donde D_x es la temperatura del mes, E10 es la temperatura mínima de deshielo, E5 es el factor de deshielo, C_x es el número de días del mes y K_x es la disponibilidad de nieve (columna 10). No aplica para este caso.

Columna 12: Escurrimiento de nieve. Esta ocurre si la fusión de nieve (Columna 11) es mayor que la tasa de infiltración del suelo menos la fusión misma, sino es cero. No aplica para este caso.

Columna 13. Escorrentía Total. Es la suma de las columnas 7 y 12.

Columna 14. Disponibilidad para infiltración. Es el resultado de la Columna 6 más Columna 11 menos Columna 13.

En el caso de esta aplicación, dado que no hay precipitación tipo nieve, toda el agua que precipita está disponible para infiltrar en el depósito.

Utilizando el resultado anterior (Columna 14), se determinó la percolación en el depósito, cuyos cálculos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 7. Cálculo del agua que percola en el depósito (mm)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Mes	N° de días	Temp (C°).	Radiación Solar (L/dia)	Indice de claridad (%)	Radiación Solar Neta (L/dia)	Evapotranspiración (EVPT) (mm)	ODE (Kc)	Maximo Potencial de EVPT(mm)	Disponible para infiltración (mm)	Retención agua en suelo mes inicio (mm)	Retenció agua suelo mes final (mm)	EVPT desde el suelo (mm)	Delta S (mm)	Percolación (mm)
ene	31	17.1	726.800	0.90	654.1	84.80	0.20	17.0	0.00	0.0	0.0	0.000	0.0	0.0
feb	28	16.9	610.400	0.90	549.4	65.20	0.20	13.0	0.00	0.0	0.0	0.000	0.0	0.0
Mar	31	15.6	467.700	0.90	420.9	60.00	0.20	12.0	0.20	0.0	0.0	0.200	0.0	0.0
abr	30	13.7	333.100	0.90	299.8	47.40	0.20	9.5	1.10	0.0	0.0	1.100	0.0	0.0
may	31	12.3	288.700	0.90	259.8	40.80	0.20	8.2	6.10	0.0	0.0	6.100	0.0	0.0
jun	30	10.9	257.900	0.90	232.1	37.40	0.20	7.5	14.90	0.0	7.4	7.480	7.4	0.0
Jul	31	10.7	262.600	0.90	236.3	43.40	0.20	8.7	30.70	7.4	20.0	8.680	12.6	9.4
Ago	31	10.9	324.100	0.90	291.7	59.00	0.20	11.8	16.80	20.0	20.0	11.800	0.0	5.0
Sep	30	11.6	413.600	0.90	372.2	75.30	0.20	15.1	5.80	20.0	10.7	15.060	-9.3	0.0
Oct	31	12.9	530.800	0.90	477.7	92.90	0.20	18.6	2.70	10.7	0.0	13.440	-10.7	0.0
Nov	30	14.3	603.600	0.90	543.2	96.10	0.20	19.2	0.20	0.0	0.0	0.200	0.0	0.0
Dic	31	16.1	730.400	0.90	657.4	93.80	0.20	18.8	0.00	0.0	0.0	0.000	0.0	0.0
Anual	365				4994.7	796.10		159.2	78.50			64.060	0.0	14.4

Fuente: Elaboración propia

Los valores calculados en cada columna corresponde a:

Donde:

Columna 1. Mes

Columna 2. N° días por mes

Columna 3. Temperatura en °C. Se usan los datos de la estación

Columna 4. Radiación Solar (L/d). Este valor se encuentra tabulado para el hemisferio sur según Latitud en la Referencia 5.

Columna 5. Índice de claridad. En los días despejados en las áreas semiáridas, aproximadamente el 75% de la radiación extraterrestre alcanza la superficie de la

tierra. Aplicando un índice de claridad, es posible estimar la radiación solar neta. En la zona de los cielos de La Serena, el índice de claridad sería mayor y se estableció en 0,9.

Columna 6. Radiación solar neta. Corresponde a la Radiación Solar (Columna 4) por el índice de claridad (Columna 5).

Columna 7. Corresponde a la evapotranspiración mensual calculada (Tabla 4)

Columna 8. ODE. Corresponde a un factor llamado 'Oportunidad de Evaporación' (ODE), que es un parámetro empírico. La evaporación ocurre en el agua contenida en los poros entre las partículas de suelo. En un ambiente como el del depósito, donde la cubierta de suelo no está completamente desarrollada, un valor para ODE de 0,2 es considerado apropiado. En el modelo de cálculo ODE se determina con la siguiente expresión: $SI((K_x-L_x)>0;0;0,2)$, donde K_x corresponde a el agua disponible para infiltración (columna 10) y L_x es la retención de agua en el suelo en el mes de inicio.

Columna 9. Máximo potencial de EVPT. Es la EVPT multiplicada por ODE (Columna 8).

Columna 10. Corresponde a los resultados de la parte 1 del cálculo, es decir Columna 14 de **Tabla 6**.

Columna 11. Retención de agua al inicio mes.

Columna 12. Retención de agua al fin del mes.

Columna 13. Evapotranspiración desde el suelo. Corresponde al balance entre el agua disponible para infiltrar (Columna 10) mas la retención de agua en el suelo respecto del potencial máximo de EVPT (Columna 9), lo disponible para infiltrar y la retención de agua al inicio el mes (Columna 12).

Columna 14. Delta S. corresponde a la diferencia entre columna 11 y 12.

Columna 15. Es el valor final de la fracción de agua disponible para infiltrar que efectivamente percola en el depósito, puesto que la otra fracción evapotranspira.

Como se observa en la Columna 15 de la Tabla 7 el valor obtenido para la percolación en el depósito con los datos de precipitación y temperatura de la estación alcanza a 14,4 mm.

Considerando que el depósito tiene una superficie de 198.975 m^2, y si el caudal infiltrado en el depósito es de 14,4 mm/año, esto equivale a 2.865,24 litros/año. (1 mm equivale a 1 litro por metro cuadrado).

3 MODELACIÓN HIDROQUÍMICA

El drenaje ácido es un proceso natural que ocurre cuando los sulfatos contenidos en las rocas son expuestos al agua reaccionando con el oxígeno del aire. Esta reacción genera ácido sulfúrico, provocando la disminución del pH de la solución drenada y puede ser transportada por corrientes fluviales hasta cuerpos de agua superficiales y/o subterráneos, degradando severamente la calidad química del agua e irreversiblemente la vida acuática del recurso hídrico. El proceso continuará hasta que los sulfatos sean extraídos completamente desde el mineral, pudiendo transcurrir muchos años hasta completar la reacción.

El sulfuro dominante responsable de este proceso es la oxidación de la pirita (Referencia 7) y este mecanismo involucra tres etapas principales definidas por el pH del agua (Ver Anexo 1).

La Guía del SERNAGEOMIN (Referencias 7 y 8) define Drenaje Minero Ácido (DMA) el caso de drenajes con rangos de pH menores a 6 con elevados contenidos de sulfato, frecuentemente con un contenido significativo de metales disueltos. El Drenaje Minero Neutro (DMN) y el Drenaje Minero Alcalino (DMAL) corresponden a drenajes con rangos de pH mayores a 6, donde el primero se caracteriza por su elevada concentración de metales en solución en pH cercanos al neutro. El Drenaje Minero Salino (DMS), por su parte, se refiere al drenaje que contiene elevados niveles de sulfato en rangos de pH cercanos al neutro sin una carga significativa de metales en solución, siendo sus principales constituyentes el sulfato, magnesio y calcio. A diferencia del DMA, las fuentes generadoras de DMN y DMAL se caracterizan por tener una alta concentración de carbonatos (CO32-), bicarbonatos (HCO3) e hidróxidos (OH-), los cuales, dependiendo de su capacidad de disolución determinarán su carga total en el efluente y el pH del mismo.

El presente informe contiene los resultados del estudio Hidroquímico conceptual, para analizar el potencial hidroquímico de generación de drenaje ácido en el depósito de estériles proyectado de Mina Florida.

Para ello se utilizaron los datos analíticos de los siguientes documentos:

- Informe “Ingeniería Conceptual Acopio de Relaves Filtrados”, Abril 2016.
- Resultados del estudio de potencial de generación de drenaje ácido de roca para 3 muestras, fecha 2016 (Anexo 2).

3.1 Alcances

El siguiente documento analiza el potencial de generación de drenaje minero ácido del depósito de relaves de Compañía Minera Florida, respecto de los resultados obtenidos de ensayos geoquímicos realizados el año 2016 en las pruebas de Test Aba, modelación hidrológica de la zona geográfica de explotación y capacidad de depósito proyectado en el depósito de relaves durante la operación minera.

Considerando que la velocidad de reacción está determinada por diversos factores como la porosidad del mineral, concentración de oxígeno disuelto en el agua, temperatura, presencia de bacterias acidófilas, como el *Thiobacillus ferrooxidans*, entre otras, se definieron tres posibles escenarios de factibilidad química de reacción de lixiviación de la pirita.

El modelo fue verificado a través de PHREEQC, programa de Modelamiento Hidrogeoquímico que considera las reacciones químicas posibles y procesos en estado natural hasta obtener formación de compuestos en estado de equilibrio termodinámico.

Los resultados obtenidos, permitieron predecir el comportamiento de la solución de drenaje generada por la interacción roca-agua infiltrada al final del periodo de operación proyectada del depósito de relaves (7 años de vida útil). Así mismo, se ha determinado los iones predominantes que reaccionan y el estado final de equilibrio del sistema.

3.2 Caracterización hidroquímca de las soluciones

3.2.1 Datos de entrada para simulación

Se utilizaron los datos de las pruebas del test ABA año 2016, realizadas a mineral. Un resumen de los datos extraídos se muestra a continuación:

Tabla 8. Caracterización de muestras de depósito de relaves

Muestra	S-total (%)	S- Sulfato (%)	S- Sulfuros (%)
B1	2,94	0,65	2,29
B2	2,89	0,56	2,33
B3	2,98	0,57	2,41

Fuente: Resumido de análisis proporcionados por Minera Florida

Tabla 9. Resumen de pruebas Test ABA para muestra de depósito de relaves.

Muestra	PA (kgCaCO3/t)	Fizz Rating	PN (kgCaCO3/t)	PNN (kgCaCo3/t)	NPR	pH pasta
B1	71.6	1	82,4	10,8	1.151	7,28
B2	72.8	1	83,6	10,8	1.148	7,3
B3	75.3	1	85,41	10,11	1.134	7,29

Fuente: Resumido de análisis proporcionados por Minera Florida (Anexo 2)

Considerando que el depósito de relaves tiene un periodo de operación de 7 años y considera una capacidad de 7.256.600 ton durante este ciclo, entonces el caudal infiltrado en el depósito será de 2.865,24 m^3/año con un volumen total de 20.056,68 m^3 en este periodo.

3.2.2 Caracterización Hidroquímica

Criterios termodinámicos de simulación

- La cantidad de sulfuro de las muestras está asociado 100% al mineral de pirita (FeS_2).
- Se descarta presencia de metales predominantes en el depósito.
- No existe presencia de bacterias lixiviantes.
- La cinética de mecanismo de generación de drenaje ácido mantiene una velocidad de reacción lineal en la etapa I y II.
- Calidad de agua lluvia infiltrada en depósito es pura (no aporta contaminantes).

Se consideraron tres escenarios posibles de porcentaje de reacción de pirita:

- Favorable: 10% reacción pirita (velocidad de reacción lenta).
- Intermedio: 50% reacción pirita.
- Desfavorable/Crítico: 100% reacción pirita (velocidad de reacción rápida).

En el supuesto que los datos de porcentaje de azufre en forma de sulfuro sea vinculado totalmente al mineral pirita (sulfuro de hierro), se puede calcular el porcentaje de pirita utilizando la reacción de descomposición de la pirita:

$$Fe^{+2} + S^{-2} \text{-->} FeS_2 \qquad (1)$$

Para formar un mol de pirita se necesita 1 mol de ión azufre (sulfuro). Por lo tanto, utilizando la relación de pesos moleculares se necesitan 3,75 unidades másicas de azufre (súlfuro) para obtener una unidad de pirita.

La reacción global de generación de drenaje ácido es la siguiente:

$$FeS_2+15/4O_2+7/2H_2O\text{-->}2H_2SO_4+Fe\ (OH) \qquad (2)$$

Utilizando esta metodología se calculó la cantidad de pirita y utilizando la ecuación (2) se calculó la cantidad de ácido sulfúrico producido, junto con la concentración del ión férrico en solución lixiviada a partir de la reacción de descomposición de pirita con el agua.

Tabla 10. Simulación calidad de drenaje para el depósito

	Tipo Escenario. Espontaneidad de reacción pirita		
Variable	**Favorable (10%)**	**Intermedio (50%)**	**Crítico (100%)**
ppm SO4-2	0,0025	0,012	0,025
ppm Fe+3	0,237	1.186	2.372
pH	7,28	6,58	6,3

Fuente: Cálculos propios.

A mayor espontaneidad de reacción disminuye el pH y aumenta la concentración de ión férrico en la solución, ya que aumenta la reacción se ve favorecida hacia los productos y aumenta la formación de ácido sulfúrico en la solución lixiviada.

El escenario de baja espontaneidad (10%), el pH de la solución se mantiene básico, que es la forma más factible naturalmente, considerando que termodinámicamente la reacción (ecuación 2), ya que depende de otros factores tales como la temperatura, tamaño de partícula, presencia de otros sulfuros, superficie expuesta que influye en la velocidad de los procesos de oxidación, sin embargo es importante destacar que en el escenario crítico en que la velocidad de reacción fuera 100% reacción, el pH final de la solución drenada tendrá un valor de 6,3 y la solución drenada no será de tipo acida, según clasificación indicada en Guía del SERNAGEOMIN (Referencia 8)

Además, considerando que existe un potencial de neutralización (PNN>0), existirá un consumo adicional de ácido por concepto de presencia de compuestos carbonatados presentes en las muestras y por lo tanto, el pH final de la muestra será mayor a lo calculado teóricamente.

3.3 Modelo Hidroquímico

El modelo hidroquímico fue establecido con el programa PHREEQC versión 2.18, utilizando los datos de concentración de iones predominantes calculados en capítulo anterior (balances másicos) para predecir desde un punto de vista conceptual la calidad de compuestos presentes en solución y considerando una temperatura estándar de 25°C. Los resultados se muestran a continuación

Tabla 11. Índices de saturación de compuestos anual para depósito mixto.

Fase	Espontaneidad de reacción		
	10%	**50%**	**100%**
Fe(OH)3 ac	0,43	1,7	2,28
Goethite- FeO(OH)	6,32	7,59	8,18
H2 (g)	-28,14	-26,74	-22,2
H2O (g)	-1,51	-1,51	-1,51
Hematite- Fe2O3	14,65	17,19	18,36
O2 (g)	-26,91	-29,71	-38,79

Fuente: Cálculos propios.

Los minerales secundarios estables que se formarán en el proceso de generación de drenaje minero ácido es hematita, ya que presenta el mayor índice de saturación de los compuestos presentes en fase acuosa. A su vez, se presentarán en forma sólida los hidróxidos de hierro, tales como la goethita e hidróxido férrico, ya que se encuentran en concentraciones que exceden la máxima permitida por el equilibrio químico. La presencia de estos compuestos a la largo de la ruta del drenaje serán un obstáculo en la cantidad de ácido que pueda ser generado, ya que disminuirán la porosidad y permeabilidad del material lixiviado.

Se observa que a mayor porcentaje de reacción de la pirita existe mayor tendencia a la sobresaturación de compuestos, ya que existirá mayor concentración de ión férrico producto del desplazamiento de la reacción hacia los productos que aumenta el valor positivo del índice de saturación.

A medida que disminuye la temperatura esta reacción se ve desfavorecida y dependerá de la presencia de un ambiente oxidante para mantener la velocidad de reacción en su tendencia más crítico (reacción completa de formación de ácido).

3.4 Interpretación de los resultados

Debido a la naturaleza de las muestras del depósito de relaves de CM Florida, se verificó que existe una baja capacidad de generación de drenaje minero ácido, ya que la solución lixiviada tendrá un pH superior a 6 si reacciona completamente la pirita (escenario más desfavorable), identificando la ocurrencia de la primera etapa de generación de drenaje ácido. Por lo tanto la existencia de condiciones altamente aeróbicas, es decir la existencia de cantidades suficientes de agua, oxígeno y simultáneamente la acción catalizadora de bacterias no impactará en la generación de acidez de la solución del depósito a lo largo del tiempo.

Así mismo se refuerza esta indicación considerando que PNN>0, por lo tanto existirá paralelamente un consumo de ácido o neutralización de pH provocado por el carbonato de calcio, que disminuirá la concentración de protones en el medio acuoso, alcalinizando la solución. Estos resultados son concordantes con los datos de las pruebas de test Aba que indican pH neutro de las muestras caracterizadas.

El estudio termodinámico indica que la solución infiltrada del depósito tendrá tendencia a la sobresaturación de goethita y hematita, junto con la formación de hidróxido de hierro en su forma sólida estable. Estos compuestos saturados reducirán la tasa de difusión del oxígeno a través de la superficie mineral, ya que formará una base de poros saturados con humedad en los espacios de los poros del mineral sulfurado.

4 CONCLUSIONES

En cuanto al modelo de infiltración, se determinó que el 100% del agua que precipita se encuentra disponible para infiltrar; a su vez del éste un 18,4% infiltra a través del depósito de relaves llegando a formar aguas de contacto correspondientes a una tasa de 14,4 mm/año en la superficie del depósito de m^2; que equivalen a 2.865,24 L/año de agua de contacto. (1 mm equivale a 1 litro por metro cuadrado).

Las muestras del depósito de relaves de CM Florida tienen una baja capacidad para generar ácido sulfúrico y no presentan características para denominarlas generadoras de drenaje minero ácido, en las condiciones de operación de la faena minera y proyección del depósito anteriormente detalladas en este estudio.

5 REFERENCIAS

1. Allen, R.G.; L. S. Pereira y D. Raes (1998).- Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Disponible en Internet en: http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm#Contents
2. AGO. 2014. Resultados del estudio de potencial de generación de drenaje ácido de roca para 3 muestras.
3. Carmi, Carlos. 2013. Variación de la permeabilidad y parámetros de consolidación en relaves tratados con agua de mar. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile.
4. Dirección Meteorológica de Chile. Anuarios de datos meteorológicos. En www.dgmch.cl actualizados al 2014 y publicados en la web en el sitio www.español.weather.
5. SIGA. 2014. Informe “Análisis de estabilidad y diseño geotécnico del depósito de estéril de Mina Florida”
6. Universidad Técnica Federico Santa María, PNUD, GB Chile y GEF. 2008. Irradiancia Solar en Territorios de la República de Chile.
7. Kinetics for the Aquatics Envirnoment. Morgan 1981.
8. Guía Metodológica para la estabilización química de faenas e instalaciones mineras, 2015.

REGISTRO DE DISTRIBUCION

REVISION	B
EMITIDO PARA	Revisión cliente
FECHA	18 de julio de 2016

PERSONAL CPH PARTICIPANTE EN ESTE INFORME

Nombre	Cargo
Renzo Orlando V.	Ingeniero Especialista.
Carolina Aguayo C.	Ingeniero Civil Químico Sénior
María Rosa R.	Secretaria – Edición Informe

ANEXO 1

PRINCIPALES ETAPAS DE LA GENERACION DE DRENAJE ACIDO

Etapas principales de generación de drenaje minero ácido:

- Etapa I

$$FeS2 + 7/2O2 + H2O \rightarrow Fe+2 + 2SO4-2 + 2H+ \quad (1)$$

$$Fe+2 + 1/4O2 + H+ \rightarrow Fe+3 + 1/2H2O \quad (2)$$

- Etapa II

$$Fe+3 + 3H2O \rightarrow Fe(OH)3 + 3H+ \quad (3)$$

- Etapa III

$$FeS2 + 14Fe+3 + 8H2O \rightarrow 15Fe+2 + 16H+ + 2SO4-2 \quad (4)$$

La Etapa 1 corresponde a la oxidación química de la pirita (FeS2), con el oxígeno (O2) como oxidante principal, con la consecuente liberación de protones (H+) y sulfatos al medio (Reacción 1). El Oxígeno disuelto en el agua también puede actuar como agente oxidante, sin embargo, dado que la solubilidad del oxígeno en el agua es limitada, el oxígeno atmosférico se considera el principal responsable de la oxidación en esta etapa. Finalmente, el drenaje se caracteriza por alcanzar niveles elevados de sulfatos y rangos de pH > 4,5. La velocidad de oxidación de la reacción está controlada por el suministro de oxígeno y por el intervalo de retardo.

Durante este intervalo, la acidez generada es, en primera instancia, neutralizada por distintos minerales con capacidad de neutralización, p. ej. Carbonatos. A medida que continúa la generación de ácido y se agotan o se vuelven inaccesibles estos minerales, el pH disminuye. Como consecuencia, la velocidad de acidificación es variable en el tiempo. Así, al principio de esta etapa se mantiene un pH casi neutro, el que disminuye progresiva y gradualmente.

La Etapa 2 corresponde a la oxidación de hierro ferroso (Fe+2) a férrico (Fe+3) (Reacción 2), y posterior precipitación en forma de hidróxidos (Reacción 3) y en forma de oxihidróxidos (Reacción 4), generando un precipitado relativamente insoluble de color anaranjado-rojo, que se observa a menudo en la mayoría de las faenas donde hay generación de DMA. Durante esta etapa continúa la liberación de protones (H+) y los rangos de pH varían entre 3,5 y 4,5.

La Etapa 3 corresponde a la oxidación catalizada biológicamente, donde el hierro ferroso (Fe+2) se oxida a férrico (Fe+3), bajo la presencia de bacterias aeróbicas (Reacción 2). A medida que se consume la alcalinidad disponible, el Fe+3 se convierte en oxidante (Reacción 4) en rangos de pH < 3,5 y con una velocidad de oxidación considerablemente más alta que en la Etapa 1, ya que se estima que la acción catalizadora de las bacterias aumenta entre 10 y 1 millón de veces esta velocidad. Si bien el oxígeno, en esta etapa, deja de ser el principal agente oxidante, seguirá siendo imprescindible en la formación de hierro férrico (Fe+3) y en la proliferación de las bacterias aeróbicas catalizadoras.

Resultado de la ocurrencia de ésta reacción (Reacción 4) la acidez del medio aumenta, ya que la cantidad de protones (H+) liberados es mayor (16H+) en comparación con las etapas anteriores. Igualmente, el medio se va a caracterizar por niveles elevados de sulfatos y metales disueltos. Por otro lado, ésta es una oxidación fuertemente exotérmica, que junto con los niveles de pH, proporcionan las condiciones ideales ($25 < T\ (°C) < 45$; $1{,}5 < pH < 5$) para el desarrollo de las bacterias que van a participar en este proceso. En este contexto, la presencia de microorganismos asociados a efluentes mineros, desempeña un papel muy importante en la oxidación de los sulfuros

ANEXO 2

INFORME RESULTADOS TEST ABA

INFORME PROVISIONAL

Detalle de muestra

Código Muestra	MN-16/03406
Descripción	RELAVE 1
Tipo Muestra	MINERAL
Analisis Tipo	GEO-3003-CH
Estado	Finalizada
Fecha Recepción	28/04/2016
Fecha Fin	09/06/2016
Instalación	
Punto	
Fecha Muestreo	27/04/2016
Muestreador	
Lote	
Cliente 3º	

Nota: Los resultados que aparecen en esta consulta son provisionales y susceptibles de variar una vez concluido el proceso de validación

Parámetros

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	LC
Fizz Rating	1.00		0.00
pH Pasta	7.28		1.00
Potencial de Acidez Maximo (MPA)	71.6	Kg CaCO3/Ton	0.32
Potencial Neutralización Lawrence	10.800	Kg CaCO3/Ton	0.250

INFORME PROVISIONAL

Detalle de muestra

Código Muestra	MN-16/03407
Descripción	RELAVE 2
Tipo Muestra	MINERAL
Analisis Tipo	GEO-3003-CH
Estado	Finalizada
Fecha Recepción	28/04/2016
Fecha Fin	09/06/2016
Instalación	
Punto	
Fecha Muestreo	27/04/2016
Muestreador	
Lote	
Cliente 3º	

Nota: Los resultados que aparecen en esta consulta son provisionales y susceptibles de variar una vez concluido el proceso de validación

Parámetros

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	LC
Fizz Rating	1.00		0.00
pH Pasta	7.30		1.00
Potencial de Acidez Maximo (MPA)	72.8	Kg CaCO3/Ton	0.32
Potencial Neutralización Lawrence	10.800	Kg CaCO3/Ton	0.250

INFORME PROVISIONAL

Detalle de muestra

Código Muestra	MN-16/03408
Descripción	RELAVE 3
Tipo Muestra	MINERAL
Analisis Tipo	GEO-3003-CH
Estado	Finalizada
Fecha Recepción	28/04/2016
Fecha Fin	09/06/2016
Instalación	
Punto	
Fecha Muestreo	27/04/2016
Muestreador	
Lote	
Cliente 3º	

Nota: Los resultados que aparecen en esta consulta son provisionales y susceptibles de variar una vez concluido el proceso de validación

Parámetros

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	LC
Fizz Rating	1.00		0.00
pH Pasta	7.29		1.00
Potencial de Acidez Maximo (MPA)	75.3	Kg CaCO3/Ton	0.32
Potencial Neutralización Lawrence	10.100	Kg CaCO3/Ton	0.250

INFORME DE ENSAYO

Nº de Referencia:	**MN-16/03409**	Registrada en:	AGQ Chile	Cliente:	Tambillos Servicios Mineros S.A.
Análisis:	MI-0187-PE	Centro Análisis:	AGQ Perú	Domicilio:	Amunategui 178, Piso 4º
Tipo Muestra:	MINERAL	Fecha Recepción:	28/04/2016	Contrato:	CL16-1191-GEO
Fecha Inicio:	02/06/2016	Fecha Fin:	08/06/2016	Cliente 3º:	----
Descripción:	RELAVE 1				

Fecha/Hora Muestreo:	27/04/2016 12:00	Muestreado por:	Cliente

A continuación se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Los Resultados emitidos en este informe, no han sido corregidos con factores de recuperación. Siguiendo el protocolo recogido en nuestro manual de calidad, AGQ guardará bajo condiciones controladas la muestra durante un periodo determinado después de la finalización del análisis. Una vez transcurrido este periodo, la muestra será eliminada. Si desea información adicional o cualquier aclaración, no dude en ponerse en contacto con nosotros.

Yoel Iñigo CQP 826
Resp. Lab. Inorgánico

FECHA EMISIÓN: 08/06/2016

OBSERVACIONES:

INFORME DE ENSAYO

Nº de Referencia:	MN-16/03409	Tipo Muestra:	MINERAL
Descripción:	RELAVE 1	Fecha Fin:	08/06/2016

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Incert	Unidades	CMA
Geoquímica Ambiental				
Azufre Total	2,94	-	% S	
Sulfato Total	0,65	-	% S	
Sulfuro Total	2,29	-	% S	

Nota: L.D.T.: Límite de Determinación. Los Resultados de este informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Las incertidumbres (expresadas como +/-2s) están recogidas en el anexo técnico adjunto. Los parámetros marcados con asterisco (*) no estan incluidos en el Alcance de Acreditación. El cliente proporciona todos los datos asociados a la Toma de Muestras, cuando esta ha sido realizada por él . N/L: No Legislado.

Nº de Referencia:	MN-16/03409	Tipo Muestra:	MINERAL
Descripción:	RELAVE 1	Fecha Fin:	08/06/2016

ANEXO TECNICO

Parámetro	PNT	Técnica	Ref Norma	Rango (1)
Geoquímica Ambiental				
Azufre Total	PE-4408	Anal. Elemental		0,01 - 30,0 % S
Sulfato Total	PE-4005	Anal. Elemental		0,01 - 30,0 % S
Sulfuro Total	PE-4016	Calculado		0,01 - 20,0 % S

(1) El rango mínimo se corresponde con el límite de Determinación, a partir del cual cuantificamos.

INFORME DE ENSAYO

Nº de Referencia:	**MN-16/03410**	Registrada en:	AGQ Chile	Cliente:	Tambillos Servicios Mineros S.A.
Análisis:	MI-0187-PE	Centro Análisis:	AGQ Perú	Domicilio:	Amunategui 178, Piso 4º
Tipo Muestra:	MINERAL	Fecha Recepción:	28/04/2016	Contrato:	CL16-1191-GEO
Fecha Inicio:	02/06/2016	Fecha Fin:	08/06/2016	Cliente 3º:	----
Descripción:	RELAVE 2				

Fecha/Hora Muestreo:	27/04/2016 12:00	Muestreado por:	Cliente

A continuación se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Los Resultados emitidos en este informe, no han sido corregidos con factores de recuperación. Siguiendo el protocolo recogido en nuestro manual de calidad, AGQ guardará bajo condiciones controladas la muestra durante un periodo determinado después de la finalización del análisis. Una vez transcurrido este periodo, la muestra será eliminada. Si desea información adicional o cualquier aclaración, no dude en ponerse en contacto con nosotros.

Yoel Iñigo CQP 826
Resp. Lab. Inorgánico

FECHA EMISIÓN: 08/06/2016

OBSERVACIONES:

INFORME DE ENSAYO

Nº de Referencia:	MN-16/03410	Tipo Muestra:	MINERAL
Descripción:	RELAVE 2	Fecha Fin:	08/06/2016

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Incert	Unidades	CMA
Geoquímica Ambiental				
Azufre Total	2,89	-	% S	
Sulfato Total	0,56	-	% S	
Sulfuro Total	2,33	-	% S	

Nota: L.D.T.: Límite de Determinación. Los Resultados de este informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Las incertidumbres (expresadas como +/-2s) están recogidas en el anexo técnico adjunto. Los parámetros marcados con asterisco (*) no estan incluidos en el Alcance de Acreditación. El cliente proporciona todos los datos asociados a la Toma de Muestras, cuando esta ha sido realizada por él . N/L: No Legislado.

Nº de Referencia:	MN-16/03410	Tipo Muestra:	MINERAL
Descripción:	RELAVE 2	Fecha Fin:	08/06/2016

ANEXO TECNICO

Parámetro	PNT	Técnica	Ref Norma	Rango (1)
Geoquímica Ambiental				
Azufre Total	PE-4408	Anal. Elemental		0,01 - 30,0 % S
Sulfato Total	PE-4005	Anal. Elemental		0,01 - 30,0 % S
Sulfuro Total	PE-4016	Calculado		0,01 - 20,0 % S

(1) El rango mínimo se corresponde con el límite de Determinación, a partir del cual cuantificamos.

INFORME DE ENSAYO

Nº de Referencia:	**MN-16/03411**	Registrada en:	AGQ Chile	Cliente:	Tambillos Servicios Mineros S.A.
Análisis:	MI-0187-PE	Centro Análisis:	AGQ Perú	Domicilio:	Amunategui 178, Piso 4º
Tipo Muestra:	MINERAL	Fecha Recepción:	28/04/2016	Contrato:	CL16-1191-GEO
Fecha Inicio:	02/06/2016	Fecha Fin:	08/06/2016	Cliente 3º:	----
Descripción:	RELAVE 3				

Fecha/Hora Muestreo:	27/04/2016 12:00	Muestreado por:	Cliente

A continuación se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Los Resultados emitidos en este informe, no han sido corregidos con factores de recuperación. Siguiendo el protocolo recogido en nuestro manual de calidad, AGQ guardará bajo condiciones controladas la muestra durante un periodo determinado después de la finalización del análisis. Una vez transcurrido este periodo, la muestra será eliminada. Si desea información adicional o cualquier aclaración, no dude en ponerse en contacto con nosotros.

Yoel Iñigo CQP 826
Resp. Lab. Inorgánico

FECHA EMISIÓN: 08/06/2016

OBSERVACIONES:

INFORME DE ENSAYO

Nº de Referencia:	MN-16/03411	Tipo Muestra:	MINERAL
Descripción:	RELAVE 3	Fecha Fin:	08/06/2016

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Incert	Unidades	CMA
Geoquímica Ambiental				
Azufre Total	2,98	-	% S	
Sulfato Total	0,57	-	% S	
Sulfuro Total	2,41	-	% S	

Nota: L.D.T.: Límite de Determinación. Los Resultados de este informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Las incertidumbres (expresadas como +/-2s) están recogidas en el anexo técnico adjunto. Los parámetros marcados con asterisco (*) no estan incluidos en el Alcance de Acreditación. El cliente proporciona todos los datos asociados a la Toma de Muestras, cuando esta ha sido realizada por él . N/L: No Legislado.

Nº de Referencia:	MN-16/03411	Tipo Muestra:	MINERAL
Descripción:	RELAVE 3	Fecha Fin:	08/06/2016

ANEXO TECNICO

Parámetro	PNT	Técnica	Ref Norma	Rango (1)
Geoquímica Ambiental				
Azufre Total	PE-4408	Anal. Elemental		0,01 - 30,0 % S
Sulfato Total	PE-4005	Anal. Elemental		0,01 - 30,0 % S
Sulfuro Total	PE-4016	Calculado		0,01 - 20,0 % S

(1) El rango mínimo se corresponde con el límite de Determinación, a partir del cual cuantificamos.

APÉNDICE Nº 5.3.2.
PLAN DE MANEJO DE RELAVES Y AGUAS RECUPERADAS

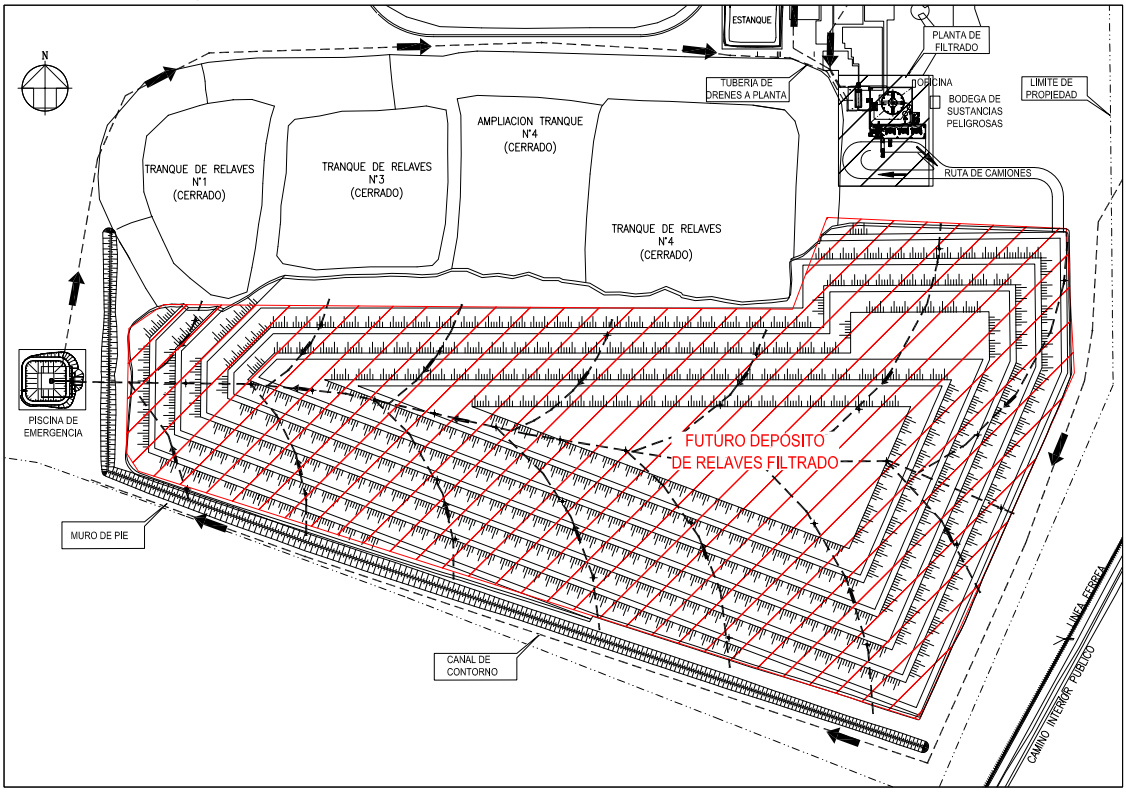
MANEJO DE LOS RELAVES FILTRADOS Y RECUPERACIÓN DE AGUA

Para la depositación de relaves filtrados, se deben considerar las siguientes obras e instalaciones principales:

- Conducción de relaves desde planta concentradora a planta de espesamiento/filtrado.
- Planta de espesamiento/filtrado de relaves e instalaciones anexas.
- Conducción agua recuperada desde planta espesamiento/filtrado a planta concentradora.
- Sistema de manejo de aguas
    - ✓ Sistema de drenaje
    - ✓ Canal de contorno

La Figura 1muestra un esquema de la disposición general de las obras del proyecto:

Figura 1: Disposición en planta del depósito del relave filtrado



A continuación, se realiza una descripción de las obras mencionadas anteriormente:

- **Conducción de relaves a planta espesamiento/filtrado**

El relave es transportado desde la planta concentradora, ubicada en la Planta Tambillos. Las colas de la planta de flotación serán impulsadas, utilizando el cajón y bombas existentes (que

actualmente impulsan hacia el embalse), con una cañería de HDPE 250 PN6 PE100 nominal, hasta el cajón de alimentación a la planta de espesamiento y filtrado proyectada. El relaveducto antes descrito se conducirá por dentro de una zanja impermeabilizada con manta de HDPE 1 [mm] la cual tendrá como finalidad contener un potencial derrame.

- **Planta de espesamiento de relaves y Planta de filtrado de relaves**

La planta de espesamiento de relaves está compuesta por un espesador de alta eficiencia (HRT) con diámetro de 18 [m], que dispone de un cajón elevado de alimentación y le da servicio una planta compacta de floculante.

La pulpa descargada desde el espesador se impulsa hasta los cajones superiores de carga de cada uno de los filtros, mediante cañería de HDPE 160 PN6 PE100HDPE de 160 mm de nominal con bombas centrífugas de impulsión de 50 HP (1 operando+1 stand by).

La planta de filtrado de relaves está compuesta por 3 filtros de discos cerámicos de 120 [m^2] cada uno. Los relaves filtrados producidos son descargados temporalmente en una cancha de depositación, donde son manejados mediante cargador frontal para así cargar camiones de 40 ton. Una vez cargados los camiones, estos transportan el relave filtrado al sector del acopio de relaves filtrados. La superficie estimada para la plataforma de la planta, así como los sistemas de control, acopio y carguío de relaves corresponde a 2.000 [m^2] aproximadamente.

La Planta de Filtrado se localiza en una ubicación óptima, de modo tal, que los camiones solo asciendan cargados y desciendan descargados hasta la cancha de depositación, optimizando así los tiempos de viaje y consumo de combustible.

- **Conducción agua recuperada desde planta espesamiento/filtrado a planta concentradora**

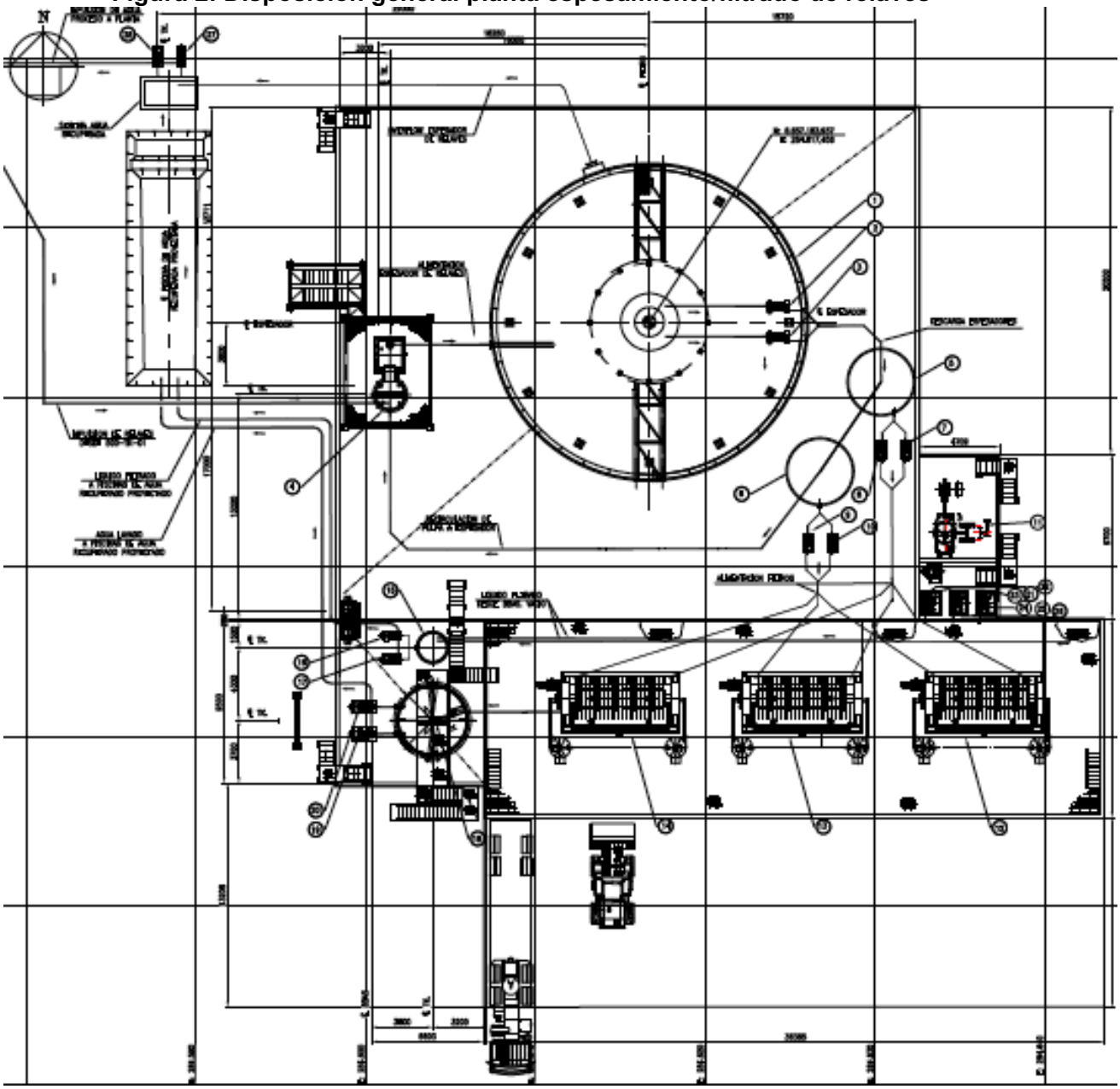
Una vez efectuado el proceso de espesamiento y filtrado, el agua recuperada desde el espesador y filtros de relaves, es almacenada en un estanque de agua recuperada de proceso y posteriormente es recirculada desde la planta de filtrado Tambillos hasta la planta concentradora.

El agua recuperada en la planta de filtrado es recirculada a la planta concentradora mediante un sistema compuesto por 2 bombas (1 operando +1stand by) con 30 HP de potencia instalada y una tubería de HDPE PN6 PE100, con diámetro 260 mm.

La Figura 2 muestra una disposición general de equipos principales e instalaciones anexas de la planta de espesamiento/filtrado de relaves.

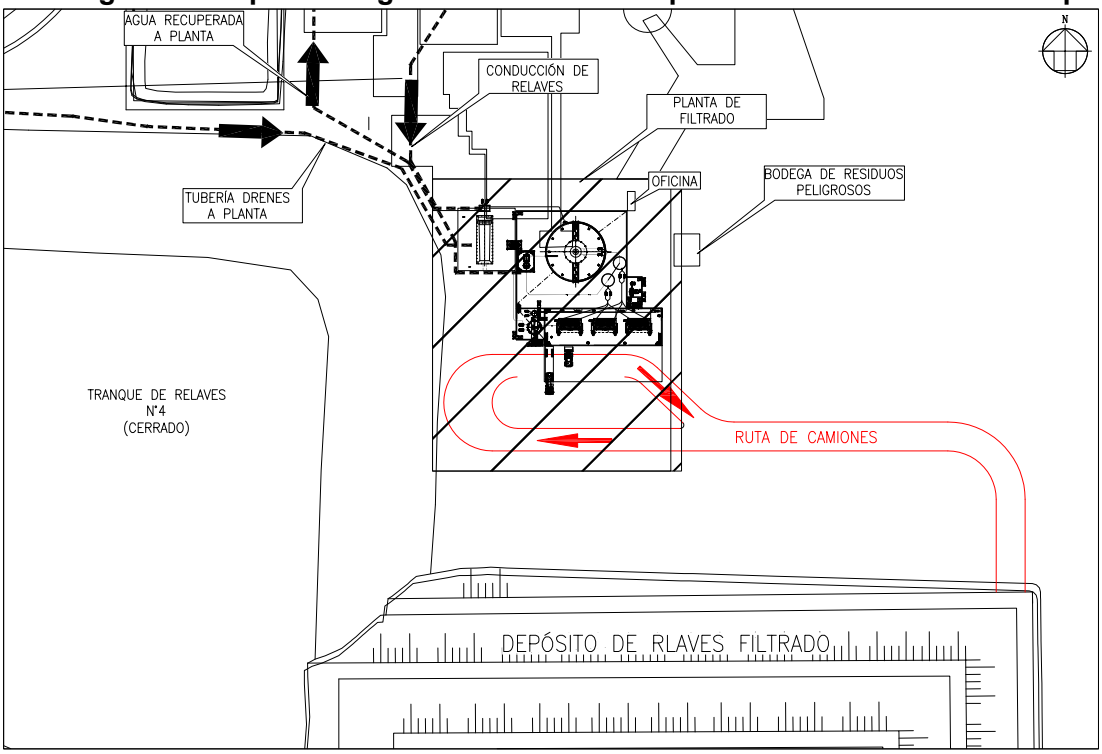
Se ha optado por disponer los filtros al Sur para permitir maniobrabilidad a cargadores y camiones con queque filtrado hacia el acopio, así como interferencias con tuberías y otros.

Figura 2: Disposición general planta espesamiento/filtrado de relaves



En la Figura 3 se aprecia la planta de espesamiento y filtrado de relaves, junto al camino de transporte de los relaves filtrados a ser traslados por camión al sitio de depositación en el acopio.

Figura 3: Disposición general camino transporte relaves filtrados al acopio



Mayor detalle de las obras civiles asociadas puede observarse en los respectivos planos del proyecto que se encuentra en el Anexo Nº 2.2 de la DIA.

- **Sistema de manejo de aguas**

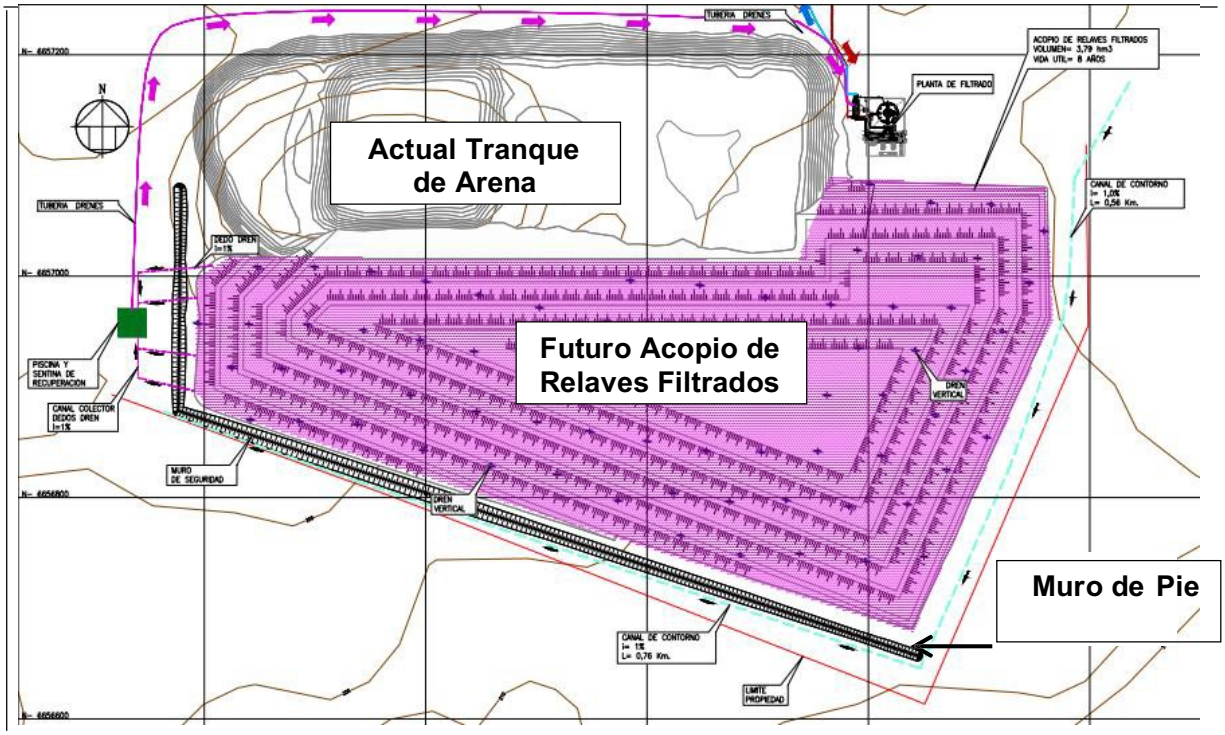
La obra a proyectar corresponde a un acopio de relaves filtrados, el cual está conformado por terrazas de 7 [m] de altura cada una (7 en total), dispuestos de manera tal que permita la existencia de bermas de 5 [m] y un talud general de H:V = 3:1. Los relaves filtrados son depositados en capas de 30 cm las cuales son compactadas a un contenido de humedad del orden de 16% (contenido de humedad en base seca), conformando terrazas las cuales se comportan como una estructura auto soportante que posee un menor riesgo de licuación frente a sismos.

Por lo mismo, el relave filtrado debe evitar todo contacto con el agua que genere cambios en su comportamiento mecánico, es así que se proyecta un canal de contorno en la zona sur- oriente del acopio que reciba las aguas provenientes de las cuencas aledañas (Figura 4).

Bajo el mismo contexto, el agua que no es interceptada por el canal de contorno precipita directamente sobre el acopio de relaves filtrados, debiéndose proyectar drenes horizontales en su base. Para asegurar el mínimo contacto con el agua, y

para encauzar correctamente las aguas al dren base, se proveen además drenes verticales de sección circular que transmiten el flujo directamente a los drenes horizontales.

Figura 4: Disposición general sistema manejo de aguas acopio de relaves filtrados


Actual Tranque de Arena
Futuro Acopio de Relaves Filtrados
Muro de Pie
TUBERIA DRENES
PLANTA DE FILTRADO
ACOPIO DE RELAVES FILTRADOS
VOLUMEN= 3,79 hm3
VIDA UTIL= 8 AÑOS
CANAL DE CONTORNO
I= 1,0%
L= 0,56 Km.
DEDO DREN
I=1%
PISCINA Y SENTINA DE RECUPERACION
CANAL COLECTOR DEDOS DREN
I=1%
MURO DE SEGURIDAD
DREN VERTICAL
CANAL DE CONTORNO
I= 1%
L= 0,76 Km.
LIMITE PROPIEDAD
N
N= 6657200
N= 6657000
N= 6656800
N= 6656600

- ✓ **Sistema de drenaje**

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

Descripción del Sistema de Drenaje

Los drenes horizontales que confluyen al dren principal (este incluido), tienen sección transversal trapezoidal de H:V = 1,5:1 y están compuestos desde la base a la parte superior por una capa geotextil – geomembrana – geotextil (que recubre las paredes y el fondo), evitando el traspaso del agua a capas inferiores de suelo; luego, una capa de transición que rodea y protege al núcleo drenante de material granular que posee la mayor permeabilidad del conjunto y que conduce y capta las filtraciones del acopio. Este dren debe estar limpio y compuesto por partículas sub-redondeadas a redondeadas y resistentes al desgaste. Finalmente, el paquete es recubierto por un geotextil que sirve de filtro para evitar la erosión y migración de partículas al dren.

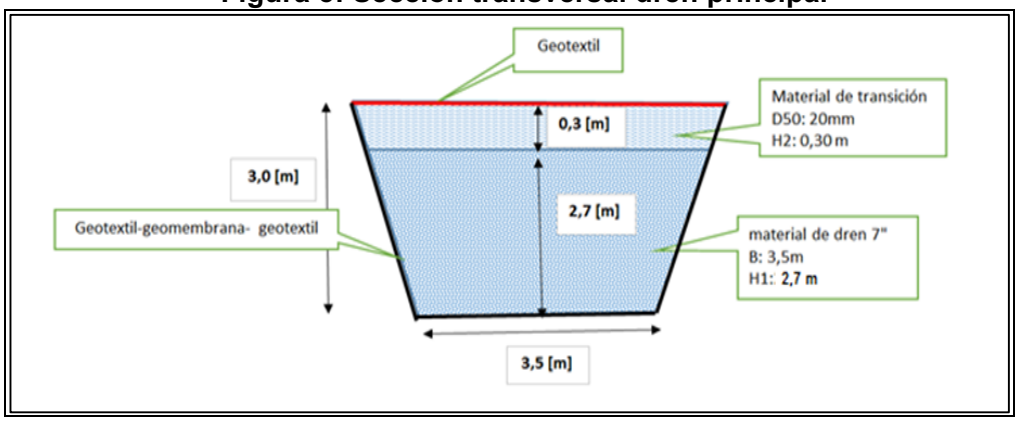
En base a la experiencia de JOI para la caracterización del material de dren se ha adoptado la siguiente banda granulométrica:

Tabla 1: Banda granulométrica material de drenaje - dren

Malla Nº	Tamaño partículas	Material Dren	
	mm	% que pasa	
14"	355,6	100	
12"	304,8	76	100
8"	203,2	51	59
5"	127	29	41
2"	50,8	0	10

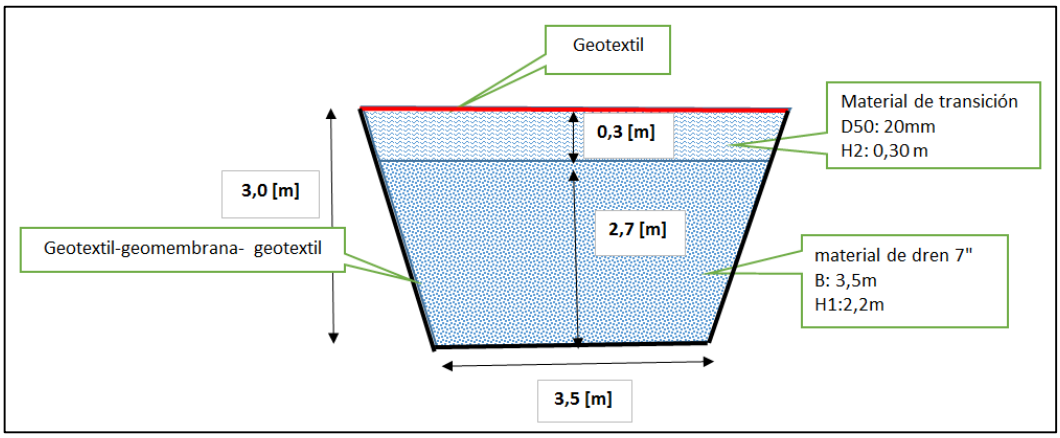
La sección esquemática del dren principal se presenta en la figura a continuación:

Figura 5: Sección transversal dren principal



Los drenes horizontales secundarios tienen por finalidad, encauzar la mayor cantidad de agua proveniente desde los relaves o específicamente desde los drenes verticales. Cada dren toma el flujo correspondiente a su área de influencia (Figura 6).

Figura 6: Sección transversal dren secundario.

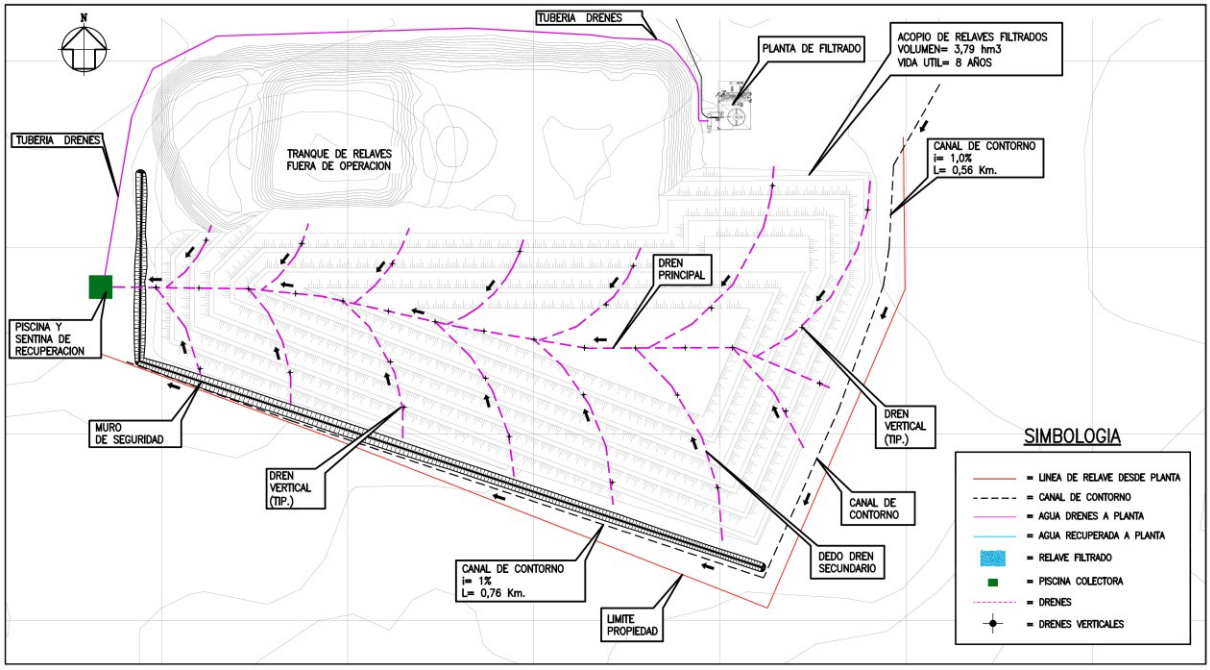


Los drenes verticales son instalados en suelos blandos para captar el agua lluvia que cae sobre el acopio, pero además cumplen la función de acortar la trayectoria de descenso de las aguas infiltradas, acelerando el proceso de consolidación y facilitando la liberación de presiones intersticiales dentro de la masa de material.

Como criterio de diseño, se considera que los drenes secundarios captan el caudal desde los drenes verticales en su totalidad, y que el relave filtrado se encuentra totalmente saturado de agua.

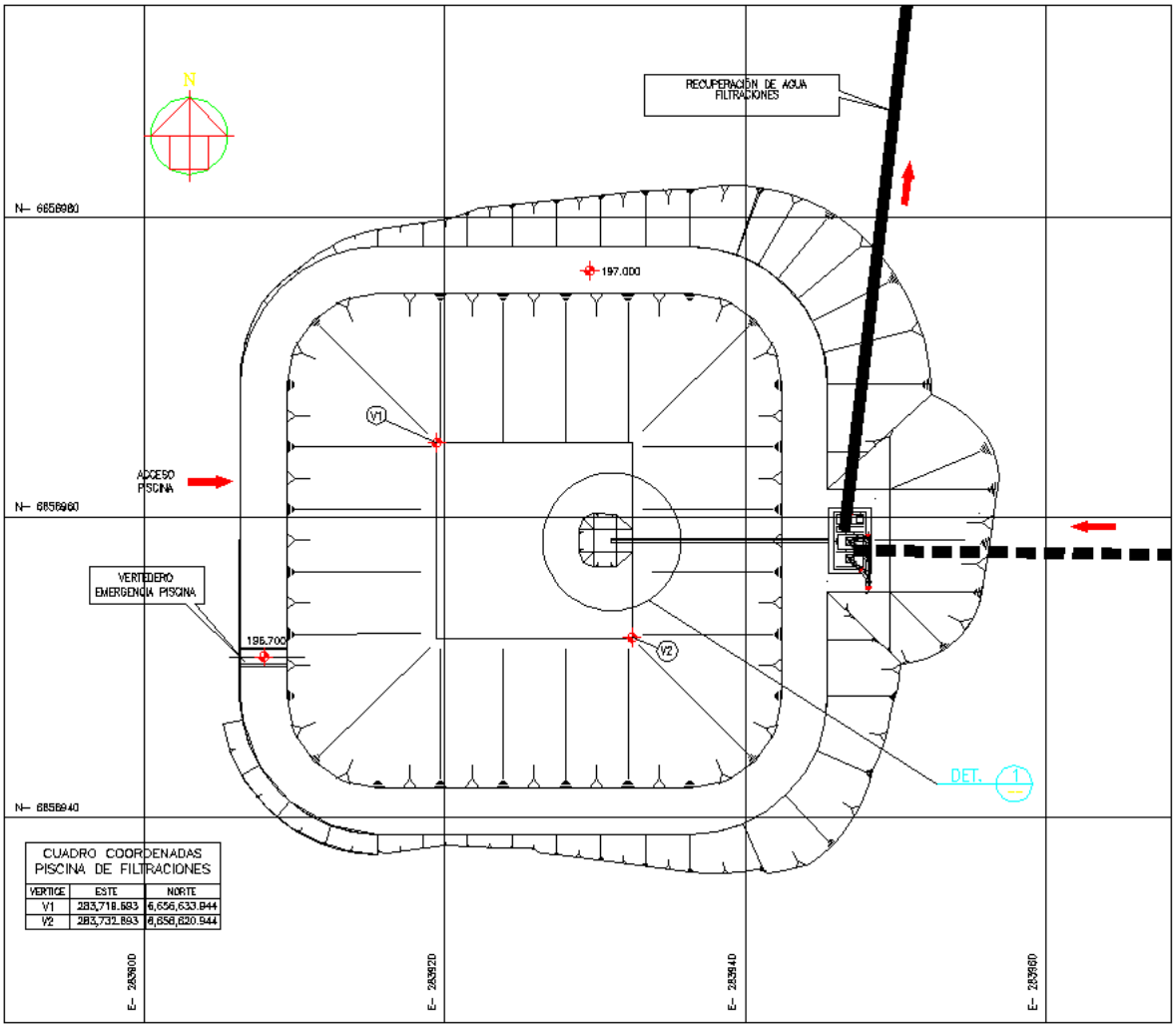
Cada dren vertical es de sección circular de 1,0 [m] de diámetro, los cuales llevan directamente el caudal al dren secundario que descarga en el dren principal. Están revestidos por una capa de geotextil que actúa como material filtro y el material de dren. Un esquema en planta puede apreciarse en la Figura 7 donde se aprecia la piscina de emergencia en el extremo oeste del dren principal.

Figura 7: Planta general de las obras proyectadas



El detalle de esta piscina se aprecia en la imagen a continuación.

Figura 8: Piscina de emergencia



Desde la piscina de emergencia (aguas drenadas) se bombeará el caudal a la piscina de aguas filtradas en la planta de filtrado de relaves, posteriormente el caudal será bombeado al estanque TK6 desde donde se reingresa al proceso.

- ✓ **Canal de contorno**

El canal de contorno tiene por objeto interceptar las aguas que eventualmente escurran por las quebradas de dos cuencas ubicadas en el sector sur-este del depósito de relaves. El canal 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 aquella contemplada por las cuencas que aportan caudal al acopio de relaves filtrados, además de permitir el saneamiento de la quebrada existente.

Cuencas aportantes

En base al análisis de las quebradas aledañas, se puede establecer la existencia de 2 cuencas aportantes al acopio de relaves filtrados, las cuales se observan en la Figura 9:

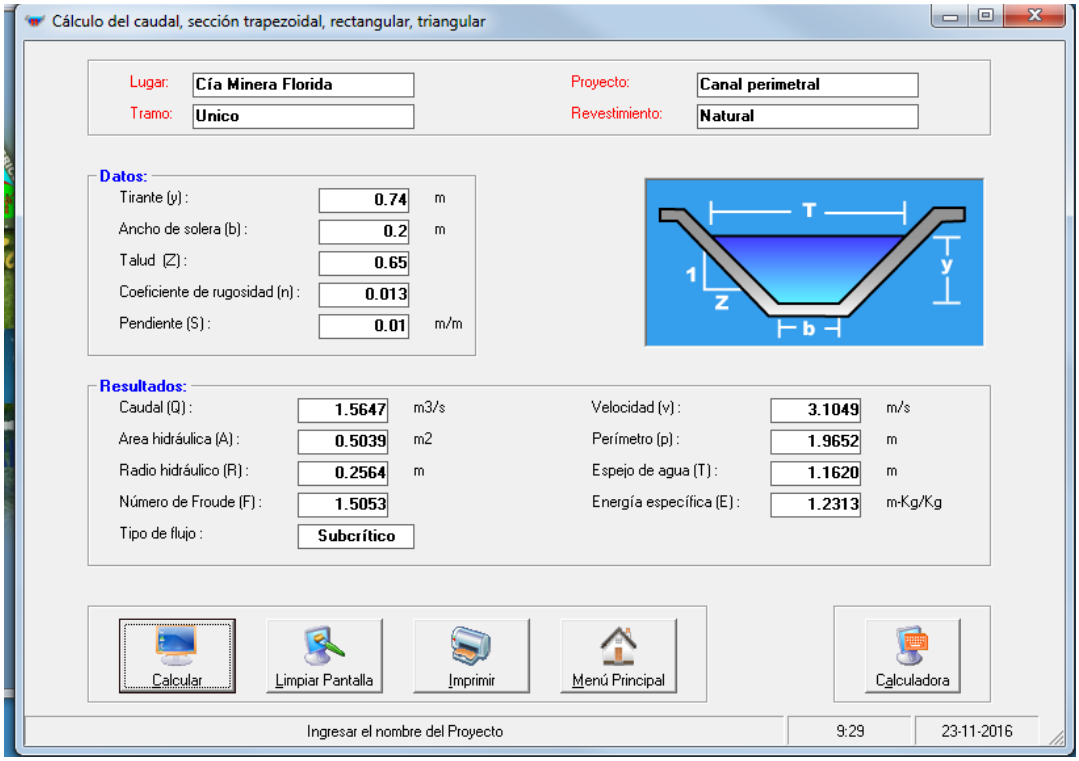
Figura 9: Cuencas aportantes a sitio de acopio de relaves filtrados



Dimensiones canal de contorno

La obra de construcción del canal tiene por objeto interceptar las aguas que eventualmente escurran por las quebradas de dos cuencas ubicadas en el sector sur-este del depósito de relaves.
En la Figura 10 se muestra el detalle de los cálculos que definen las dimensiones del canal.

Figura 10: Verificación hidráulica del canal



Fuente: cálculos propios en software H-canales.

Con los datos anteriores se proyecta una profundidad de excavación de 1,10 m para dejar una revancha de 0,36 m, esto genera una mesa de 1,64 m y una sección transversal total de 1,1 m^2. La longitud del canal es de 1.320 m = 1,32 km. Dado el tipo de flujo sub crítico, la pendiente de 1% y las características del terreno a excavarse manifestada en el coeficiente de rugosidad de 0,013, correspondiente a fondo y a paredes fuertemente cementados y con ripios se propone un canal sin recubrimiento artificial. En la siguiente imagen se indica el trazado del canal de contorno.

Figura 10: Trazado del canal y puntos de inicio y entrega



Fuente: Elaboración propia sobre imagen satelital.

APÉNDICE Nº 5.3.3.
HOJA DE SEGURIDAD FLOCULANTE Y ÁCIDO NÍTRICO

Fecha de versión: 10/11/16
Versión: 01

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Sección 1: Identificación del producto químico y de la empresa

Identificación del producto químico	: Ácido Nítrico 68%
Usos recomendados	: Uso Industrial
Restricciones de uso	: Restricción de uso diferente a industrial
Nombre del proveedor	: Prolabi S.A.
Dirección del proveedor	: Camino a Melipilla 2745, Padre Hurtado
Número de teléfono del proveedor	: 56-2-28341568
Número de teléfono de emergencia en chile	: 990422299
Número de teléfono de información	: 56-2-28341568
Toxicológica en chile	: 2-22473600 (CITUC)
Dirección electrónica del proveedor	: Informaciones@prolabi.cl

Sección 2: Identificación de los peligros

Clasificación según NCh382 : Clase 8: sustancia corrosiva.

Riesgo secundario: Comburente

Distintivo según NCh2190 :



Señal de seguridad según NCh1411/4 :



Otros peligros : Comburente

Sección 3: composición / información de los componentes

Tipo de sustancia : Mezcla

Descripción	Componente
Denominación química sistemática	Ácido Nítrico
Rango de concentración	67-69%
Numero CAS	7697-37-2
Número CE	231-714-2

Sección 4: Primeros auxilios

Inhalación **:**El afectado se debe trasladar de inmediato a un lugar libre de contaminantes, mantenerlo en una posición confortable y abrigado. Aplicar respiración artificial, si ha dejado de respirar o muestra signos de fallos. Respiración boca a boca puede ser peligroso. Administrar oxígeno si la persona competente está disponible.

Contacto con la piel :Lavar abundantemente con agua, quitar la ropa contaminada y lavar o bañarse en la piel afectada con abundante agua durante al menos 15 minutos.

Contacto con los ojos :Lavar con abundante agua por 15 minutos para evitar un daño permanente grave, no utilizar productos neutralizantes. Solicitar atención médica.

Ingestión :Lavar la boca con agua, dar a beber mucha agua de inmediato, no provocar vómito, no administrar carbón activo. Ingestión de gran cantidad se debe hospitalizar de inmediato, no administrar un antídoto químico.

Efectos agudos previstos : La inhalación de vapores puede causar un estado de sofocación, severa irritación interna y daño a la mucosa, náuseas, vómitos y dolor de cabeza. El

	contacto con los ojos puede causar daños severos e inmediatos al tejido ocular produciendo ceguera irreversible. Tras el contacto con la piel, puede causar severas quemaduras, puede ser absorbido por la piel. El vapor y la niebla pueden corroer los dientes. La ingestión de ácido nítrico puede destruir los tejidos gastrointestinales. Los principales síntomas de una intoxicación por ingestión de este ácido son: salivación, sed intensa, dificultad para tragar, dolor y shock. Se producen quemaduras en la boca, esófago y estómago, hay dolor estomacal y debilitamiento. En caso de vómito, este generalmente es café. Si la cantidad ingerida es grande puede presentarse un colapso circulatorio.
Efectos retardados previstos	:La exposición crónica puede causar daño a los pulmones, neumonitis crónica, bronquitis y erosión dental. Si la exposición es por tiempo prolongado se puede dar quemaduras y ulceraciones profundas que son muy dolorosas.
Síntomas /efectos más importantes	:La inhalación puede causar severa irritación de las vías respiratorias incluyendo posibles quemaduras. El contacto con la piel y los ojos puede provocar quemaduras, y la ingestión del ácido puede causar severas quemaduras.

Protección de quienes brindan los primeros auxilios	:Se recomienda a las personas que brindan primeros auxilios el uso de equipos de protección personal. Cuando las concentraciones sean elevadas y no cumplan con los límites permisibles, utilizar respirador para gases ácidos, guantes de neopreno, antiparras y ropa de protección personal.
Notas especiales para un medico tratante	:Informar al médico de las características del producto y tipo de contacto. Presentar esta hoja de seguridad al momento de la atención médica.

Sección 5: Medidas para luchas contra incendio

Agentes de extinción	:Al presentarse incendio pequeño, usar CO_2, polvo químico seco, arena seca y espuma resistente al alcohol. Al presentarse un incendio grande se debe usar rocío de agua, niebla o espuma resistente al alcohol. Hacer un dique de contención para el agua que controla el fuego para su desecho posterior, no desparramar el material.
Agentes de extinción inapropiados	:No se debe utilizar chorros de agua directos a alta presión si el producto está en llamas, debido al riesgo de esparcimiento del material en combustión.
Productos que forman en la combustión y degradación térmica	:Se descompone por aumento de temperatura, liberación de gases/vapores tóxicos y corrosivos como óxidos de nitrógeno (NOx).

Peligros específicos asociados	:No poner en contacto con sustancias inflamables o con productos químicos combustibles u orgánicos.
Métodos específicos de extinción	:Enfriar depósitos con agua pulverizada y llevar a lugar seguro, no desplazar la carga expuesta al calor, diluir el gas tóxico con agua pulverizada.
Precauciones para el personal de emergencia y/o los Bomberos	:Usar ropa protectora adecuada para prevenir contacto con la piel. En áreas cerradas o con escasa ventilación, utilizar equipo respiratorio independiente de presión positiva debidamente certificado.
Sección 6: Medidas que se deben tomar en caso de derrame accidental	
Precauciones personales	:Restringir el acceso al área hasta que se complete la limpieza del lugar.
Equipo de protección	:Uso de elementos de protección personal indicados en la sección 8 de la presente HDS.
Procedimiento de emergencia	:En casos especiales en los cuales se desprendan vapores en elevadas concentraciones, usar equipos de respiración autónomos de presión positiva (SCBA) para evitar inhalación del material.
Precauciones medioambientales	:Evitar el ingreso a cursos de agua natural, pozos de agua y red de alcantarillado. Si ocurre contaminación de suelos, es recomendable excavar y retirar todo el material con producto.

Métodos y materiales de contención, confinamiento y/o abatimiento	:Esta operación la debe realizar sólo personal autorizado y capacitado. No tocar ni caminar sobre material derramado. Proporcionar una ventilación adecuada. Contener el material derramado con materiales absorbentes no combustibles. Recoger con medios mecánicos, recoger residuos en envases adecuados, identificar para disposición final.
Métodos y materiales de limpieza	
Recuperación	:Pequeños derrames: Cubrir con material absorbente no combustible o tierra seca, arena seca, seguida de una película de plástico para disminuir la expansión o el contacto con la lluvia. Usar herramientas limpias a pruebas de chispas para recoger el material y depositarlos en contenedores forrados de plástico para su desecho final. Grandes derrames: formar diques para contener el derrame, luego cubrir con material absorbente no combustible o tierra seca, arena seca, seguida de una película de plástico, disponer de acuerdo a normativas nacionales y dar aviso a las autoridades.
Neutralización	: No disponible
Disposición final	:Los envases debidamente etiquetados con los residuos deben ser llevados a un relleno de seguridad, disponer de acuerdo al DS148of 2004.
Medidas adicionales de prevención de desastres	: El derrame provocado puede ocasionar la liberación de partículas que pueden ser corrosivos y/o tóxicos.

Sección 7: Manipulación y almacenamiento

Manipulación

Precaución para la manipulación segura	:Evitar contacto con ojos, piel y ropa. No inhalar vapores. Manipular con implementos de protección personal adecuados (ver sección 8). Y sólo en recintos con adecuada ventilación. Mantener cerrado los envases cuando no se manipule el producto.
Medidas operacionales y técnicas	:Debe ser manipulado con los mismos cuidados que que se toman para cualquier producto químico industrial. Sólo debe ser utilizado por personal competente para el manejo de sustancias químicas el cual deberá ser consciente de todos los peligros relacionados con el mismo. No comer, beber, fumar al momento de manipular el producto, lavar bien las manos después de pausas y una vez terminado el trabajo. Mantener aseadas las áreas de almacenamiento, con señaléticas de seguridad correspondientes.
Otras precauciones	:Procurar una buena ventilación de la zona de procesamiento. Al diluir, agregar el producto al agua y agitar para evitar salpicaduras y generación excesiva de calor.
Prevención del contacto	: Evitar contacto con productos incompatibles

Almacenamiento

Condiciones para el almacenamiento seguro	: Almacenar en recipientes bien cerrados, en área fresca bien ventilada y lejos de agua, calor, materiales combustibles (tales como madera, papel y aceite) y de

	la luz.
Medidas	: Eliminar materiales de fácil combustión y fuentes De ignición. El lugar debe contar con suelo de hormigón, resistente a la corrosión. Es recomendable disponer de materiales de primeros auxilios (ejemplo lavaojos fijo o portátil).
Sustancias y mezclas incompatibles	: Incompatible con polvos metálicos, sulfuros de hidrógeno, carburos, alcoholes, agentes reductores metales álcalis, latón , cobre, aleación de cobre, hierro galvanizado, aluminio , minas, materiales orgánicos, agentes oxidantes y bases fuertes.
Material de envase y/o embalaje	:Materiales recomendados: Los envases deben ser de acero inoxidable y preferentemente de bajo contenido de carbono, el contenido como 304L o de plástico (por ejemplo, Cloruro de Polivinilo)

Sección 8: Controles de exposición / protección personal

Concentración máxima permisible :

Valores límites (normativa nacional DS 594)			
Componentes	**Valor LPP**	**Valor LPT**	**Valor LPA**
Ácido nítrico	1,8 ppm; 4,6 mg/m^3	4 ppm; 10 mg/m^3	No establecido.

Componentes	**Valores límites (normativa internacional)**
Ácido nítrico	ACGIH (TWA) : No establecido NIOSH (TWA) : No establecido OSHA (TWA) : No establecido

Elementos de protección personal	
Protección respiratoria	:Usar máscara de protección respiratoria con filtros para vapores ácidos por la NIOSH o similar. En caso de altas concentraciones y de emergencias utilizar respirador autónomo.
Protección de manos	:Usar guantes de neopreno de puño largo cuando se manipule el material.
Protección de ojos	: Lentes de protección ajustados al rostro o protector facial.
Protección de piel y cuerpo	: Usar ropa resistente a los productos químicos corrosivos y botas de caucho cuando exista posibilidad de entrar en contacto con el material.
Medidas de ingeniería	: Estudiar alternativas de controles de ingeniería para mantener las concentraciones de contaminantes bajas (ejemplo : ventilación natural / forzada). Es recomendable disponer de elementos para primeros auxilios (ejemplo : lavaojos fijo o portátil).

Sección 9: Propiedades físicas y químicas	
Estado físico	: Líquido
Forma en que se presenta	: Líquido incoloro-amarillo
Color	: Incoloro amarillo, expuesto a la luz : rojo-marrón
Olor	: Irritante-picante
pH	: 1.0
Punto de ebullición, punto inicial de ebullición y rango de ebullición	: 104-122°C
Punto de inflamación	: No disponible
Limites de explosividad	: No disponible
Presión de vapor a 20ºC	: 5,5 mmHg a 20°C

Densidad relativa del vapor (aire=1)	: 2.2
Densidad a 20ºC	: 1,513 g/cm3 a 20°C
Solubilidad(es)	: Exotérmicamente soluble en agua
Coeficiente de repartición n-octanol/agua	: -0,21 LogPow
Temperatura de auto ignición	: No disponible
Temperatura de descomposición	: No disponible
Temperatura de fusión	: -35°C
Umbral de olor	: Olor bajo: 0,75mg/m3; Olor alto: 2,50mg/m3; concentración irritante: 155,0mg/m3
Tasa de evaporación	: No disponible
Inflamabilidad	: No disponible
Viscosidad	: 4,9

Sección 10: Estabilidad y reactividad

Estabilidad química	: El producto es estable en condiciones normales de almacenamiento, presión y temperatura.
Reacciones peligrosas	: El ácido nítrico se descompone al calentarlo suavemente produciendo óxidos de nitrógeno. Además es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores, ejemplo : turpentina, alcohol, carbón. Reacciona violentamente con bases, es corrosivo para los metales y reacciona violentamente con compuestos orgánicos.
Condiciones que se deben evitar	: Fuentes de calor, materias combustibles, agentes de reducción, bases (fuertes), materias celulósicas, materias orgánicas.

Materiales incompatibles	: Incompatibles con polvos metálicos, sulfuro de hidrógeno, carburos, alcoholes, agentes reductores metales álcalis, latón, cobre, aleaciones de cobre, hierro galvanizado, aluminio, minas, materiales orgánicos, agentes oxidantes y bases fuertes.
Productos de descomposición peligrosos	: Se descompone por aumento de temperaturas, liberación de gases / vapor tóxicos y corrosivos como óxidos de nitrógeno (NOx).

Sección 11: Información toxicológica

Toxicidad aguda (LD50 y LC50) :

Componentes	DL_{50} Oral	DL_{50} Dermal	CL_{50} Inhalación
Ácido nítrico	No disponible	No disponible	0,4 a 0,8 mg HNO_3/ l (gato)

Irritación/corrosión cutánea	: Puede causar quemaduras graves con formación de Llagas y fuertes dolores.
Lesiones oculares graves / irritación ocular	: Puede causar lesiones oculares graves.
Sensibilización respiratoria o cutánea	: No disponible
Mutagenicidad de células reproductoras / *in vitro*	: No disponible
Carcinogenicidad	: El ácido nítrico en solución no es considerado como cancerígeno según GHS y no se encuentra en listado de sustancias cancerígenas, IARC 2015.
Toxicidad reproductiva	: No disponible
Toxicidad especifica en órganos particulares – Exposición única	: No disponible
Toxicidad especifica en órganos particulares – Exposiciones repetidas	: No disponible

Peligro de inhalación	: Su inhalación puede causar de manera inmediata Irritación nasal, inflamación del tracto respiratorio, Sensación de ahogo, laringitis y dolor de pecho; juntos con estos efectos se puede presentar sangrado de las encías y de la nariz, ulceración de la mucosa nasal y oral, edema pulmonar, bronquitis crónica y neumonía.
Toxico cinética	: No disponible
Metabolismo	: No disponible
Distribución	: No disponible
Patogenicidad e infección aguda (oral, dérmica, e Inhalatoria)	: No aplica
Disrupción endocrina	: No disponible
Neurotoxicidad	: No disponible
Inmunotixicidad	: No disponible
“Síntomas relacionados”	: No disponible
Sección 12: Información ecológica	
Eco toxicidad (EC, IC y LC)	: Acido Nítrico Peces, Chinook y trucha arcoíris (Salmon gairdneri): CL50:5.800 mg NO3/L (96hr) Invertebrados, Daphnia magna: EC 50:490 mg/L (48hrs)
Persistencia y degradabilidad	: No disponible
Potencial bioacumulativo	: No disponible
Movilidad en suelo	: Gracias a sus características de alta reactividad no es una sustancia que se mantenga en su forma ácida por mucho tiempo. Reaccionan con sustancias básicas En el suelo formando nitratos que son luego transformados y asimilados por bacterias del suelo o por plantas y se incorpora a las cadenas

	alimenticias en forma de nutrientes.
Otros efectos adversos	: El ácido nítrico se disocia completamente en sus Iones constitutivos NO3 y H , promoviendo la disminución del Ph y generando un peligro muy alto. Para especies acuáticos aun en bajas concentraciones.

Sección 13: Información sobre la disposición final

Residuos/Envase y embalaje contaminados/ Material contaminado	: El residuo puede considerarse peligroso, según DS 148 Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos, artículo 18, lista II (Cod II 16/17 Categorías Acidas / Básicas o bases en forma sólida), y artículo 90, lista A (Código A4090 Residuos de soluciones Ácidas o Básicas). En caso que la sustancia esté contaminada debe ser reevaluada su disposición. A demás puede ser considerado como peligroso por el artículo 16 debido a sus características de reactividad (f) cuando es capaz de detonar o explosionar por acción de una fuente de energía de activación o cuando es calentado en forma confinada). En caso que la sustancia esté contaminada, se debe reevaluar su peligrosidad. Es responsabilidad del generador del residuo identificar su nivel de peligrosidad, manipularlo y eliminarlo adecuadamente cumpliendo con la legislación nacional vigente.

Sección 14: Información sobre el transporte

Transporte al granel de acuerdo al MARPOL 73/78

	Modalidad de transporte		
	Terrestre	**Marítima**	**Aérea**
Regulaciones	NCH2245:2015 NCH 1411/4:2001 NCH 382:2013 NCH 2190 of 2003	NCH2245:2015 NCH 1411/4:2001 NCH 382:2013 NCH 2190 of 2003	NCH2245:2015 NCH 1411/4:2001 NCH 382:2013 NCH 2190 of 2003
Número UN	2031	2031	2031
Designación oficial de transporte	Sustancia Corrosiva y sustancia Comburente	Sustancia Corrosiva y sustancia Comburente	Sustancia Corrosiva y sustancia Comburente
Clasificación de peligro primario UN	8	8	8
Clasificación de peligro secundario UN	5.1	5.1	5.1
Grupo de embalaje/envase	II	II	II
Peligros ambientales	El Ácido Nítrico no está clasificado como peligroso para el medio ambiente, según criterio GHS.	El Ácido Nítrico no está clasificado como peligroso para el medio ambiente, según criterio GHS.	El Ácido Nítrico no está clasificado como peligroso para el medio ambiente, según criterio GHS.
Precauciones especiales	Guía GRE N° 157	Guía GRE N° 157	Guía GRE N° 157

Anexo II, y con IBC Code

Fecha de versión: 10/11/16
Versión: 01

Sección 15: Información Reglamentaria

Regulaciones Nacionales	: NCh2245 : 2015. Hoja de datos de seguridad de productos químicos – contenido y orden de secciones : NCh1411 / 4 : 2001 Prevención de Riesgos. Parte 4: Identificación de riesgo de materiales. : NCh382 : 2013 Sustancias peligrosas-Clasificación :NCh2190 Of2003 Transporte de sustancias peligrosas. Distintivo para identificación de riesgo :DS N° 40, 1969 (Última versión 16/09/95) Reglamento sobre prevención de riesgos. :DS N° 148, 2004 Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos. :DS N° 594, 1999 (Última versión 23/07/2015) Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo Código IMSBC, Resolución. 268 (85) Anexo 3.
Regulaciones Internacionales	: NFPA 704, 2012 Sistema normativo para la Identificación de los riesgos de materiales para respuesta a emergencias. USA: Sustancias no listadas como sustancias peligrosas (DOT). OSHA: Occupational Safety and Health Administration. NIOSH The national Institute for Occupational Safety and Health. ACGIH Americam Conference of Govemmental Industrial Hygienist. GHS. Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos REACH. Reglamento (CE) N° 1907 / 2006 del Parlamento Europeo y del consejo relativo al registro, La evaluación, la autorización y la restricción de las Sustancias y preparados químicos CLP. Reglamento (CE) 1272/2008 del Parlamento Europeo y del consejo sobre clasificación, etiquetado y Envasado de sustancias y mezclas. ANEXO V DEL CONVENIO MARPOL 73/78. Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los Buques. Página 16 de 16 CÓDIGO IMSBC. Código Marítimo Internacional para

	Cargas sólidas a granel. CÓDIGO IMDG. Internacional Maritime Dangerous Goods CÓDIGO IATA. International Air Transport Association

El receptor debería la posible existencia de regulaciones locales aplicables al producto químico.

16.- Otras Informaciones

La presente Hoja de Datos de Seguridad (HDS) es homologo, de acuerdo a los requisitos y formatos exigidos por la NCh 2245:2015. Esta se realiza a partir de la HDS original del producto (Ácido Nítrico 68%). El documento entrega información básica necesaria para evitar riesgos o atender situaciones que puedan presentarse.

La información contenida en al presente HDS es de uso público.

SANDSIL PRODUCTOS QUIMICOS	**HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL PRODUCTO**
	POLIMERO FLOCULANTE C-1590

Sección 1: Identificación del producto y del proveedor

Nombre del producto : POLIMERO FLOCULANTE C 1590
Código del producto : 151149
Proveedor : Sandsil Química Ltda.
Dirección : Cerro San Cristóbal 9530
Portezuelo de Quilicura-Quilicura Santiago-Chile
Teléfono : 56-02-27386275
Fax : 56-02-27386037
Teléfonos de emergencias: 56-02-27386275

Sección 2: Composición/Ingredientes

Naturaleza química : Poliacrilamida
Numero CAS :
Componentes que
Contribuyen al riesgo :

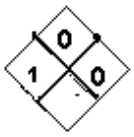
Sección 3: Identificación de los riesgos

Clasificación de los riesgos

Nch 382

SALUD	INFLAMABILIDAD	REACTIVIDAD
1	**0**	**0**

Nch 1411/iv :



a) Peligro para la salud de las personas

Contacto con la piel : Puede causar irritación en piel sensible.
Contacto con los ojos : Produce irritación.
Ingestión : Podría producir irritación al tracto intestinal

b) Peligros para el medio ambiente: No hay información disponible.

Sección 4: Medidas de primeros auxilios

En caso de contacto accidental con el producto, proceder de acuerdo con:

Contacto con la piel : Lavar con agua y jabón.

Contacto con los ojos : Lavar abundantemente bajo el chorro de agua a baja presión durante al menos 15 minutos. Si persiste la Irritación consultar al médico.

Ingestión : Administrar 2 a 3 vasos de agua. No inducir vomito. Consultar al medico.

Sección 5: Medidas para lucha contra el fuego

Agentes de extinción : Espuma, dióxido de carbono y polvo químico.

Equipos de protección personal para el fuego :Traje protector y equipo de respiración autónoma.

Sección 6: Medidas para controlar derrames o fugas

Medidas de emergencias a tomar si hay derrame del material : Recoger y disponer con una pala en contenedores adecuados

Equipo de protección personal para atacar la emergencia : Guantes de nitrilo, neopreno o pvc y protección ocular.

Precauciones a tomar para evitar daños al ambiente : Evitar escurrimientos o contaminación de cursos de agua y napas subterráneas.

Métodos de limpieza : Recoger y disponer con una pala en contenedores adecuados

Método de eliminación de desechos : Depositar en envases como residuo no peligroso y eliminar según pto. 13

Sección 7: Manipulación y almacenamiento

Recomendaciones técnicas : Mantener en envases originales cerrados y etiquetados.

Precauciones a tomar : Manipular en áreas ventiladas. Evitar el contacto prolongado con el producto.

Condiciones de almacenamiento: No requiere de medidas especiales.

Embalajes recomendados y no adecuados : Pueden emplearse envases plásticos, metálico o de otro material .

Sección 8: Control de exposición / protección personal

Protección de las manos : Guantes de nitrilo, neopreno o PVC.

Protección de los ojos : Lentes de seguridad o careta facial.

Medida de higiene : No comer, beber, o fumar durante la manipulación.

Sección 9: Propiedades físicas y químicas

Estado físico : Polvo granular, blanco

Viscosidad (0,5% p/v) : 1200 cp

Pto. de Inflamación : 93º C (copa cerrada)

Densidad : 0,80 gr/cc

Solubilidad en agua : máximo 0,5 %, forma gel.

Sección 10: Estabilidad y reactividad

Estabilidad : Estable. Producto no reactivo

Productos peligrosos de la descomposición : No es aplicable

Productos peligrosos de la combustión : No es aplicable

Polimerización peligrosa : No es aplicable

Sección 11: Información toxicológica

Toxicidad aguda : No posee.

Toxicidad crónica : No es aplicable.

Efectos locales : No es aplicable.

Sección 12: Información ecológica

Inestabilidad : Estable.

Persistencia/degradabilidad : No hay información disponible

Bio- acumulación : No hay información disponible

Efectos sobre el ambiente : No hay información disponible

Sección 13: Consideraciones sobre disposición final

Método de eliminación
del producto en los residuos: Disponer de acuerdo a permisos y legislación vigente.

Eliminación de envases/
embalaje contaminados : Disponer de acuerdo a permisos y legislación vigente.

Sección 14: Información sobre transporte

Ch 2190 marcas aplicables: Ninguna
Producto no peligroso

Sección 15: Normas vigentes

Normas internacionales
Aplicables : Ninguna

Normas nacionales aplicables: Ninguna

Marca en etiqueta : Ninguna

Sección 16: Otras informaciones

Los datos consignados en esta hoja informativa fueron obtenidos de fuentes confiables. Sin embargo, se entregan sin garantía expresa o implícita respecto de su exactitud o corrección. Las opiniones expresadas en este formulario son las de profesionales capacitados. La información que se entrega en él es la conocida actualmente sobre la materia. Considerando que el uso de esta información y de los productos esta fuera del control de Sandsil Química Ltda., este no asume responsabilidad alguna por este concepto. Determinar las condiciones de uso seguro del producto es obligación del usuario.