DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL “CONTINUIDAD OPERACIONAL DE FAENA MINERA ATACAMA KOZAN”

Anexo 19:
PAS 135



Índice General

1 INTRODUCCIÓN 6

2 CONTENIDOS TÉCNICOS Y FORMALES PAS 135 RSEIA..... 10

2.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA FAENA DE EXPLOTACIÓN MINERA Y PROCESO DE LA PLANTA DE BENEFICIO DE MINERALES QUE GENERA LOS RELAVES. 10

2.1.1 Localización de la faena minera 10

2.1.2 Descripción general de la faena minera 11

2.1.3 Descripción de la planta de beneficio 13

2.2 UBICACIÓN DEL DEPÓSITO. 19

2.3 CRONOGRAMA DE LA CONSTRUCCIÓN 21

2.4 CAPACIDAD DEL DEPÓSITO. 22

2.5 PRESENTACIÓN DE ANTECEDENTES GEOLÓGICOS, GEOTÉCNICOS, HIDROLÓGICOS, HIDROGEOLÓGICOS, SÍSMICOS, METEOROLÓGICOS, TOPOGRÁFICOS Y OTROS QUE CORRESPONDA. 23

2.5.1 Geología 23

2.5.2 Geotecnia 24

2.5.3 Hidrología 24

2.5.4 Hidrogeología 26

2.5.5 Riesgo Sísmico 30

2.5.6 Meteorología 31

2.5.7 Topografía 36

2.6 PRESENTACIÓN DE UN DIAGRAMA DE FLUJO Y PLANO GENERAL DE LAS OBRAS ASOCIADAS AL DEPÓSITO DE RELAVES. 37

2.6.1 Diagrama de flujo de proceso de depositación de relave filtrado 37

2.6.2 Plano general de las obras asociadas al depósito de relaves 38

2.7 DESCRIPCIÓN DE LAS DIMENSIONES DEL DEPÓSITO TANTO EN ALTURA Y LARGO DE MURO, COMO DE ÁREA Y VOLUMEN DEL DEPÓSITO, COMO TAMBIÉN SU PLAN DE CRECIMIENTO. 39

2.8 INDICAR SI EXISTEN OTROS DEPÓSITOS ADYACENTES Y SUS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES. 40

2.9 DESCRIPCIÓN E ILUSTRACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DE DISEÑO. 41

2.10 DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE RIESGO POTENCIALMENTE AFECTADA EN CASO DE COLAPSO O REMOCIÓN DEL MURO DEL DEPÓSITO DE RELAVES 43

2.10.1 Análisis en fase de operación 44

2.10.2 Análisis en fase de cierre 46

2.10.3 Análisis distancia peligrosa 49

2.11 MANUAL DE EMERGENCIAS DE CONTROL, MITIGACIÓN, REPARACIÓN Y COMPENSACIÓN DE LOS EFECTOS DE ACCIDENTES, SITUACIONES DE EMERGENCIA Y EVENTOS NATURALES, SEGÚN CORRESPONDA. 50

2.12 INDICADOR DE CUMPLIMIENTO 50

Índice de Figuras

Figura 1: Localización geográfica Atacama Kozan. Fuente: Servicio Web/ESC. .. 11
Figura 2: Diagrama de flujos chancado secundario y terciario. 14
Figura 3: Diagrama de flujos molienda - clasificación. 15
Figura 4: Diagrama de flujos para flotación. 16
Figura 5: Espesamiento de concentrado y relaves. 17
Figura 6: Diagrama de flujos etapa de filtrado. 18
Figura 7: Diagrama de flujo impulsión de relaves planta. 19
Figura 8: Ubicación del depósito de relaves El Gato. Fuente Google Earth 20
Figura 9: Diagrama de la depositación anual de relaves filtrados 22
Figura 10: Cauces en el área de influencia del proyecto 25
Figura 11: Descripción estratigráfica de los sondajes perforados 28
Figura 12: Precipitaciones anuales Estación Copiapó. 33
Figura 13: Precipitaciones máximas en 24 hr. 34
Figura 14: Diagrama de flujos del proceso de depositación de relaves filtrados. .. 37
Figura 15: Sección típica planta filtrado de relaves y depósito temporal. 39
Figura 16: Sección típica del depósito de relaves filtrados 41
Figura 17: Perfiles de análisis 43
Figura 18: Superficies de falla para la fase de operación para terraza N°5 45
Figura 19: Superficies de falla para el caso seudo estático en perfiles A y B 48
Figura 20: Falla local en terraza 48
Figura 21: Superficie de falla en interacción muro del tranque – relaves filtrados. 48

Índice de Tablas

Tabla 1: Coordenadas UTM de las instalaciones de la Faena 10
Tabla 2: Propiedades geotécnicas utilizadas 24
Tabla 3: Período de retorno 25
Tabla 4 Permeabilidad y coeficientes de almacenamiento 29
Tabla 5 Temperaturas registradas en estación Paipote durante 2013 al 2015 32
Tabla 6 Humedades registradas en estación Paipote durante 2013 al 2015 32
Tabla 7 Precipitación acumulada entre los años 2013 al 2015 estación Paipote .. 35
Tabla 8 Velocidad del viento registradas en estación Paipote durante 2013 al 2015 36
Tabla 9 Velocidad del viento registradas en estación Tierra Amarilla durante 2013 al 2015 36
Tabla 10 Área y volumen del depósito de relaves filtrados 39
Tabla 11 Plan de crecimiento del depósito de relaves filtrado. 40
Tabla 12 Características principales del depósito de relaves filtrados 41

Tabla 13 Factores de seguridad fase operación, según Ref 1 45
Tabla 14: Factores de seguridad, según Ref 13 46
Tabla 15 Factores de Seguridad fase de cierre, según Ref 1 46
Tabla 16: Factores de seguridad, según Ref 13 49

Referencias

Ref [1] Documento N°3070-GO-MEC-001_2 Memoria de Cálculo Estabilidad Física del Depósito y Botadero Material Excavaciones.

Ref [2] Documento N°3070-RE-INF-001 Bases y Criterios de Diseño Depósito de Relaves.

Ref [3] Caracterización geotécnica de suelos – relaves. OT Nº28-0000046-17-00-Informe de Ensayo Nº1.190.881-A. Febrero 2017.

Ref [4] Documento N° 5009-GE-INF-001_B Obras de desvío de aguas naturales

Ref [5] Documento N° 3070 GE-INF-003 Informe hidrológico del sitio

Ref [6] Informe crecida máxima probable, Tranque de relaves El Gato

Ref [7] Documento N° 3070-GE-INF-006 Informe de prospección geotécnica

Ref [8] RCA N°76, Aumento de capacidad del tranque de relaves El Gato de la SCM Atacama Kozan.

Ref [9] Documento N°3070-RE-MEC-002 Memoria de cálculo sistema de drenaje y obras de captación de filtraciones.

Ref [10] Informe DICTUC N°1368214 “Análisis de estabilidad dinámico: proyecto de ampliación tranque de relaves El Gato”.

Ref [11] Documento, Estabilidad física del depósito. JO Ingeniería

Ref [12] Documento N°5009-GE-INF-010 Informe técnico distancia peligrosa

Ref [13] Documento N°5009-GE-INF-06 Informe Estabilidad Física

Apéndices

Apéndice A: Planos N° 3070-GE-PLA-001 y N° 3070-GE-PLA-002 Mapeo geológico de sitio (planta)

Apéndice B: Documento Nº3070-GE-INF-008 Informe Geológico – Geotécnico

Apéndice C: Plano N° 3070-GO-PLA-001 Ubicación de sondajes, calicatas y perfiles geofísicos

Apéndice D: Documento Nº3070-GE-INF-005 Informe de Riesgo Sísmico.

Apéndice E: Plano topográfico superficie depósito de relaves

Apéndice F: Plano 3070-RE-PLA-012_1 Disposición general depósito de relaves

Apéndice G: Plano 3070-RE-PLA-4_B Etapas de crecimiento

Apéndice H: Plano N°5009-GE-PLA-20 Hoya afectada por distancia peligrosa

1 Introducción

SCM Atacama Kozan corresponde a una faena minera actualmente en operación, localizada en las comunas de Tierra Amarilla y Copiapó. Este proyecto minero contempla explotación de minerales, beneficio y disposición de relaves en el Tranque de Relaves El Gato.

El Proyecto para su operación actual cuenta con sus respectivas autorizaciones ambientales que inician con el EIA El Bronce de Atacama, cuya calificación ambiental favorable se obtuvo por RCA Nº 006/1997, este proyecto original ha sido objeto de una serie de cambios y modificaciones que fueron autorizadas según los siguientes actos administrativos: DIA Modificación Relaveducto (RCA Nº 117/1998); DIA Modificación Planta de Tratamiento de Minerales (RCA 45-B/2001); DIA Sistema de Subtransmisión Eléctrica (RCA 141/2002); DIA Aumento de Capacidad Tranque de Relaves El Gato (RCA 76/2012); Resolución SEA Nº 156/2013 de Rectificación de la DIA 76/2012; Carta SEA Nº 423 de fecha 08 de mayo de 2013, Resolución SEA Nº 111 de fecha 22 de abril de 2014 y Resolución SEA Nº 131 de fecha 4 de diciembre de 2017.

Respecto de las autorizaciones de las instalaciones mineras, se cuenta con las respectivas autorizaciones de SERNAGEOMIN, a saber: Res. SERNAGEOMIN Nº710 de fecha 4 de agosto de 1997 que aprueba el proyecto de construcción y operación del Tranque de Relaves El Gato; Res. SERNAGEOMIN Nº535 de fecha 11 de febrero de 2002 que aprueba el “Estudio de Diseño de Geomecánico Caverna de Chancado Primario”; Res. SERNAGEOMIN Nº 693 de fecha 26 de febrero de 2002; Res. SERNAGEOMIN Nº2436 de fecha 16 de octubre de 2002 que aprueba el proyecto de Planta de Procesos de 5.500 TPD; Res. SERNAGEOMIN Nº1310 de fecha 8 de julio de 2009 que aprueba el Plan de Cierre de Faena SCM Atacama Kozan; Res. SERNAGEOMIN Nº 218 de fecha 17 de mayo de 2013 que aprueba el aumento de capacidad de tranque de relaves El Gato; Res. SERNAGEOMIN Nº364 de fecha de 6 mayo de 2014 que aprueba la actualización del “Proyecto de Procesamiento Atacama Kozan Planta de Procesos 5.500 TPD”; Res. SERNAGEOMIN Nº 555 de fecha 21 de julio de 2014 que rectifica la Res. SERNAGEOMIN Nº 218/2013; Res. SERNAGEOMIN Nº2347 de fecha 4 de noviembre de 2016 que aprueba la “Ampliación Vida útil Proyecto de Minera Atacama Kozan, Método de Explotación Sub Level Stoping de la Faena minera Atacama Kozan”

A fin de asegurar la continuidad operativa de la faena, SCM Atacama Kozan ingresa a evaluación ambiental el proyecto “Continuidad Operacional de Faena Minera Atacama Kozan”, el cual contempla la extensión de la vida útil del proyecto minero, a partir del aumento de la capacidad para disposición de relaves, incorporando un depósito de relaves filtrados apoyado sobre el muro del tranque actual como una prolongación, aumentando además la estabilidad del depósito en su integridad. La capacidad de depositación de relaves filtrados se proyecta de las reservas mineras disponibles que SCM Atacama Kozan va definiendo según exploraciones permanentes que permiten ir actualizando las existencias minables. De esta manera, por corresponder a una continuidad operacional, no se alterará la capacidad máxima ni el nivel de tratamiento de los procesos, el cual continuará de acuerdo a la operación actual.

Adicionalmente, se destaca que otro de los mayores beneficios que contempla esta metodología de relaves filtrados, corresponde a la maximización en la recuperación de agua, la cual será reutilizada en las operaciones mineras, contribuyendo con ello, a una disminución considerable de los consumos de agua autorizados.

De esta manera, el proyecto sometido a evaluación de impacto ambiental considerará 3 áreas asociadas a distintas instalaciones, las cuales corresponden:

- Área Mina-Planta
- Área Obras Lineales
- Área Depósito de Relaves

Según lo expuesto anteriormente, la continuidad de las actuales operaciones restringirá la fase de construcción exclusivamente a la reconstitución del acueducto para recuperación de agua industrial y la construcción del depósito de relaves filtrados con sus instalaciones anexas.

El proyecto considera una vida útil de 17 años, de los cuales el primer año corresponde a la etapa de construcción del depósito de relaves filtrados y la reconstitución del acueducto, sin embargo, dado que es una continuidad operacional, las operaciones en Mina-Planta y la depositación en el actual Tranque de Relaves (según capacidad autorizada por RCA 76/2012) se mantendrán paralelas a las actividades de construcción. Luego, durante los 14 años siguientes continuará la fase de operación, pero cambiando la depositación a relaves filtrados, finalizando con el cierre de la Faena Minera, el que se proyecta en 2 años.

En el presente documento se presentan los antecedentes técnicos y formales necesarios que permiten acreditar el cumplimiento del Permiso Ambiental Sectorial N° 135 (PAS 135), indicado en el Artículo 135° del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (RSEIA), el que señala:

"Artículo 135.- Permiso para la construcción y operación de depósito de relaves

El permiso para la construcción y operación de depósito de relaves, será el establecido en el artículo 9° del Decreto Supremo N° 248, de 2006, del Ministerio de Minería, Reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relave".

Por otra parte, el Artículo N°9 del D.S N° 248/07 se menciona:

Artículo 9°.- Los depósitos de relaves, cualqueria sea su tipo, ritmo de crecimiento, dimensión y ubicación, requieren la aprobación, por parte del Servicio, del proyecto correspondiente en forma previa a su Constitución y Operación. El incumplimiento de esta disposición facultará a SERNAGEOMIN para aplicar sanciones de acuerdo al presente Reglamento.

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

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

a) *Localización y descripción general de la faena de explotación minera y proceso de la planta de beneficio de minerales que genera los relaves*
b) *Ubicación del depósito*
c) *Cronograma de la construcción*
d) *Capacidad del depósito*
e) *Presentación de antecedentes geológicos, geotécnicos, hidrológicos, hidrogeológicos, sísmicos, metereológicos, topográficos y otros que corresponda*
f) *Presentación de un diagrama de flujo y plano general de las obras asociadas al depósito de relaves*
g) *Descripción de las dimensiones del depósito tanto en altura y largo de muro, como de área y volumen del depósito, como también su plan de crecimiento*

h) Indicar si existen otros depósitos adyacentes y sus características principales
i) Descripción e ilustración de las características especiales de diseño
j) Determinación del área de riesgo potencialmente afectada en caso de colapso o remoción del muro de depósito de relaves
k) Manual de emergencias, de control, mitigación, reparación y compensación de los efectos de accidentes, situaciones de emergencia y eventos naturales, según corresponda.

En atención a lo anterior, en el presente informe se presentan los contenidos técnicos y formales requeridos para dar cumplimiento a lo estipulado en el D.S N°40/12 y el artículo mencionado.

2 Contenidos técnicos y formales PAS 135 RSEIA

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

2.1 Localización y descripción general de la faena de explotación minera y proceso de la planta de beneficio de minerales que genera los relaves.

2.1.1 Localización de la faena minera

La faena minera Atacama Kozan está ubicada en las comunas de Copiapó (parte obras lineales y depósito de relaves) y Tierra Amarilla (mina - planta y parte obras lineales), las que pertenecen a la provincia de Copiapó, región de Atacama. Las coordenadas para cada instalación de la Faena Minera se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Coordenadas UTM de las instalaciones de la Faena

Área	Ubicación	Coordenadas	
		Norte	Este
Mina – Planta	Esta área se encuentra ubicada en la comuna de Tierra Amarilla, provincia de Copiapó, región de Atacama, distante 16 Km de la ciudad de Copiapó, se conforma por la mina subterránea, la planta de procesos y las instalaciones auxiliares o de apoyo como dependencias y oficinas, laboratorio, testigotecas, sitios de almacenamiento de residuos, etc. Esta área se mantiene sin cambios.	6.956.957	374.610
Obras Lineales	Conformadas por el relaveducto existente y el nuevo acueducto. Ambas obras comparten un mismo trazado, el cual se extiende desde el área Mina-Planta, y recorre una distancia de aproximadamente 15,5 Km, paralelo a la ruta C-33, girando al noreste hacia la ruta 31Ch en el sector de Paipote en la cota 440msnm, continuando paralelamente hasta la quebrada El Gato donde se ubica el área Depósito de Relaves.	6.964.923	374.706
Depósito de	Esta área se ubica en la localidad de Paipote,	6.970.468	375.089

Área	Ubicación	Coordenadas	
		Norte	Este
relaves	comuna y provincia de Copiapó, región de Atacama, en el sector barrio industrial, a una distancia aproximada de 6 Km de la ciudad de Copiapó, en el área del Tranque de Relaves El Gato. Se contempla el uso de infraestructura de apoyo existente y la construcción de nuevas instalaciones como la plataforma misma del depósito, la planta de filtrado, y otras instalaciones de apoyo.		

Su localización se muestra en la Figura 1.

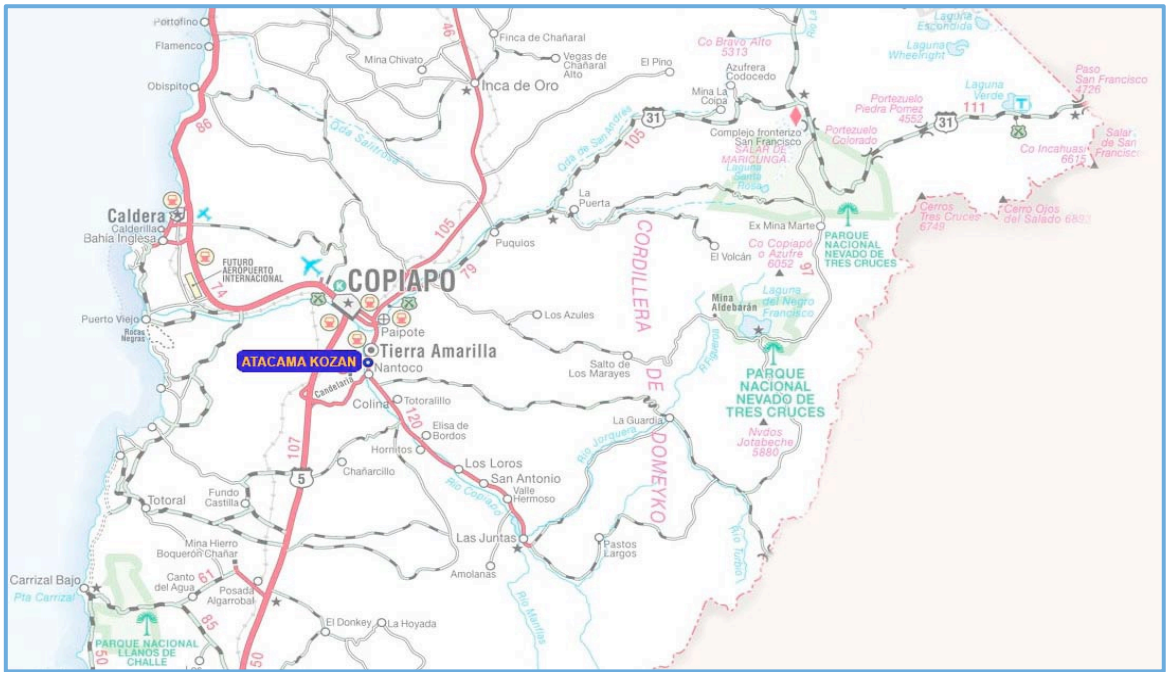


Figura 1: Localización geográfica Atacama Kozan. Fuente: Servicio Web/ESC.

2.1.2 Descripción general de la faena minera

SCM Atacama Kozan es un proyecto mina-planta-depósito de relaves, cuya misión es producir concentrado de cobre de alta pureza. SCM Atacama Kozan ejecuta su actividad minera a través del método de explotación “sub level stoping”, el cual fue aprobado por el SERNAGEOMIN el año 2002. El método de explotación propiamente tal, clasificado en la categoría de método de explotación subterránea

cuya sub clasificación lo ubica en “métodos autosoportantes o de caserones abiertos”, consiste en extraer el mineral y dejar la cavidad vacía. Para ello, el caserón debe mantenerse estable naturalmente (ser autosoportante) o requerir elementos escasos de refuerzo y fortificación. Es decir, el macizo rocoso debe presentar la competencia necesaria en cuanto a calidad geomecánica para evitar problemas de estabilidad a niveles considerables o “subsidencia en la superficie”.

La planta de proceso o de beneficio considera el tratamiento de minerales de cobre provenientes del yacimiento subterráneo, los que son transportados, previo chancado primario en interior mina, a la planta de procesamiento vía tres correas transportadoras en línea. Estos minerales son tratados en el proceso productivo que comprende chancado secundario y terciario, molienda y clasificación, flotación, espesamiento de concentrado, espesamiento de relaves y filtrado de concentrado. La planta está diseñada para procesar 1.800.000 T anuales de mineral con ley promedio de cobre de 0,96 %, ley de concentrado sobre 28,0% CuT y recuperación metalúrgica global sobre 93%. El concentrado final seco se almacena en la cancha correspondiente para su posterior retiro, mientas que el relave espesado es impulsado a través de un relaveducto hacia el depósito El Gato, donde finalmente es depositado.

El depósito de relaves El Gato corresponde a uno del tipo tranque, donde el muro se construye a partir de las arenas o fracción gruesa de los relaves obtenidas mediante un proceso de clasificación centrífuga, mientras que la fracción fina se dispone finalmente en la cubeta de mismo. El tranque actual completará su capacidad de almacenamiento el año 2020, por lo cual la ampliación de la vida útil de la faena incorporando el depósito de relaves filtrados permitirá continuar operando por catorce años más. Esta ampliación de vida útil de faena Atacama Kozan comprende la disposición final de relaves secos filtrados en terrazas o plataformas, las cuales se van cerrando a medida que completan su capacidad. Estas terrazas se formarán a partir de la base del talud en el muro actual del tranque y desde ahí empezarán a crecer en superficie y altura, lo cual permitirá disminuir considerablemente la probabilidad de deslizamiento y colapso de este muro, ya que la interacción con el depósito de relaves filtrados formará una gran cuña aguas abajo. Las ventajas de tener este tipo de depósito son:

1) Disminución considerable del consumo de agua fresca en planta, a causa del incremento en la cantidad de agua recuperada desde el proceso de filtrado de relaves.

2) La menor humedad de los relaves depositados implica nula probabilidad de infiltración de aguas hacia napas subterráneas y nula probabilidad de ocurrencia de inestabilidades por licuefacción o colmatación de finos en el depósito (Ref [1])

3) Disminución considerable de la superficie dispuesta e impactada por el depósito de relaves filtrado.

4) Disminución considerable en la probabilidad de deslizamiento y colapso del muro en el tranque propiamente tal, ya que la interacción con el depósito de relaves filtrados formará una gran cuña aguas abajo, ver Apéndice B.

5) No requiere extraer/transportar cantidades importantes de material de empréstito del área.

6) El cierre de cada terraza se avanza durante el período de operación, completándose gradualmente el cierre total.

2.1.3 Descripción de la planta de beneficio

Las operaciones realizadas en la planta de proceso se detallan a continuación.

2.1.3.1 Chancado Secundario y Terciario

El stock pile, con capacidad de 12.000 toneladas vivas, alimenta a 3 “feeders” vibratorios 42”x72” con capacidad de 350 T/h cada uno, los cuales descargan en la correa N°4 de 350 T/h, que alimenta al chancador secundario. Este es un chancador de cono standard HP 400 de cámara gruesa y c.s.s de 1,25” cuyo producto alimenta a la correa transportadora N°5, la cual también recibe la descarga de los chancadores terciarios. La correa transportadora Nº5 alimenta a la correa transportadora N°6 que entrega el mineral al chute de manga de alimentación a los dos harneros vibratorios de doble deck 8´x 20´. El sobre tamaño de los harneros retorna hacia los chancadores terciarios a través de la correa transportadora N°7. La etapa de chancado terciario cuenta con dos chancadores tipo cono cabeza corta HP 400 de cámara media y c.s.s de 3/8”. El bajo tamaño de los harneros constituye el producto final de chancado, el cual presenta una granulometría de 100% -3/8". Mediante la correa N°10 el mineral es almacenado en el silo de finos con una capacidad de acopio de 1.400 T. La Figura 2 muestra el diagrama de flujos para el chancado secundario y terciario.

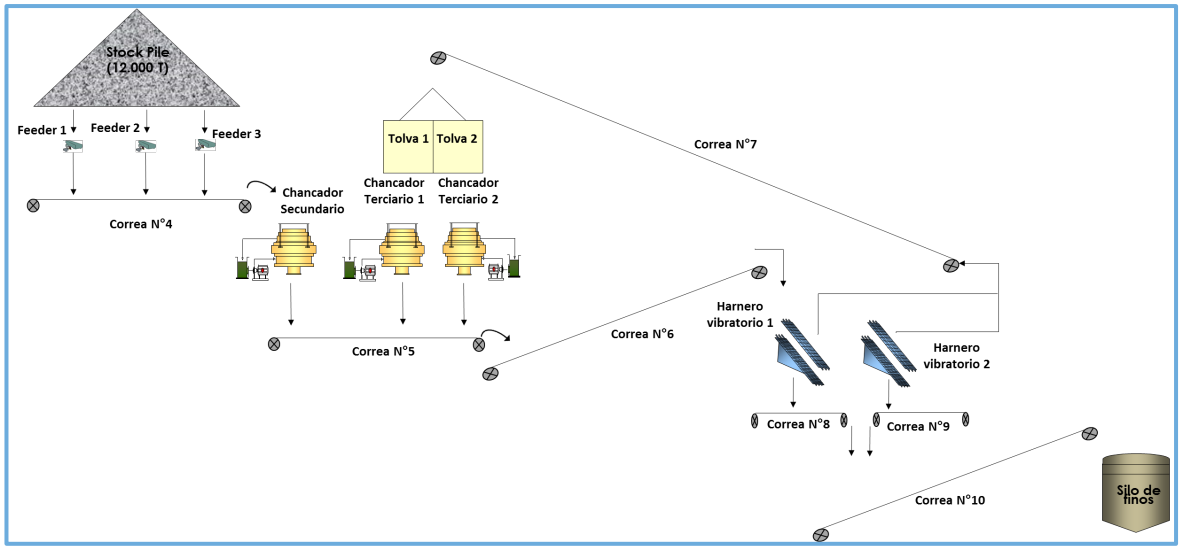


Figura 2: Diagrama de flujos chancado secundario y terciario.

2.1.3.2 Molienda y Clasificación

El mineral es descargado desde el silo de almacenamiento mediante 4 alimentadores vibratorios y dos correas cortas (N°11 y 12) hacia la correa transportadora N°13 con capacidad de 250 T/h, constituyendo la alimentación fresca al circuito de molienda. El circuito de molienda de la planta corresponde a un circuito cerrado directo con hidrociclones. El equipo principal es el molino de bolas con dimensiones 16,5´x 28,5´ del tipo descarga por rebalse. La clasificación consta de una batería de 7 hidrociclones con diámetro 20”. La tarea de molienda para el circuito está representada por dos variables principales, el F80 correspondiente al tamaño de alimentación y el P80 al tamaño del producto del circuito, con valores 7.000 y 90 µm, respectivamente. El rebalse de clasificación constituye la alimentación al estanque acondicionador de reactivos, que a su vez alimenta a la concentración por flotación mediante una cañería de 16” diámetro hacia el cajón de alimentación de las celdas rougher. La Figura 3 muestra el diagrama de flujo para molienda - clasificación.

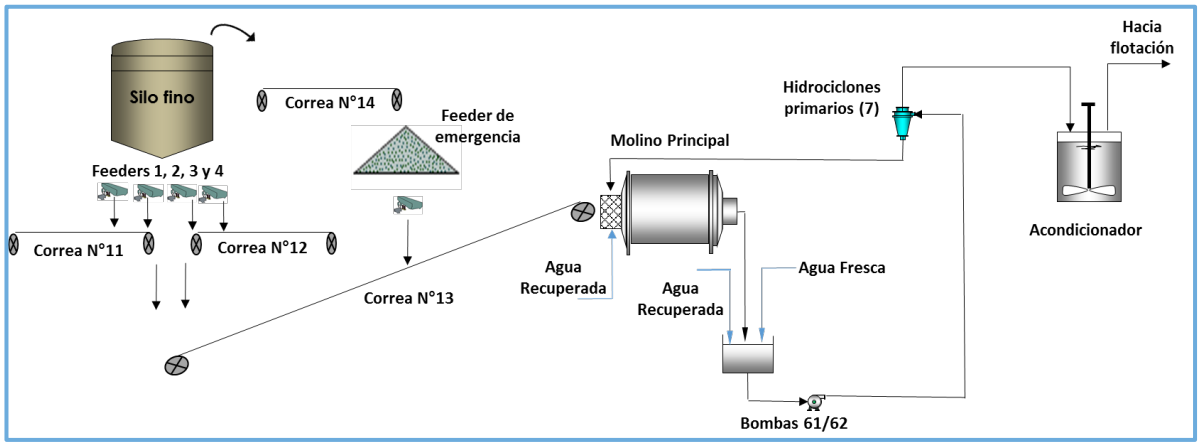


Figura 3: Diagrama de flujos molienda - clasificación.

2.1.3.3 Flotación

La etapa primaria (rougher) se lleva a cabo en 8 celdas convencionales de 1.500 pie^3, cuya alimentación proviene del acondicionador de pulpa. El concentrado rougher cae a las canaletas y se junta con el concentrado scavenger, el cual es enviado al cajón de descarga del molino de remolienda (alimentación hidrociclones), el overflow de los hidrociclones de remolienda es enviado por gravedad a las celdas columnas, mientras que el underflow retorna a la alimentación del molino de remolienda, manteniendo un circuito cerrado. La limpieza se realiza en 2 celdas columnas de 1,86 m de diámetro y 12,6 m de altura. El relave de las columnas es procesado en el circuito scavenger compuesto de 9 celdas convencionales de 500 pie^3, mientras que el concentrado de las columnas es enviado al espesador de concentrado. La Figura 4 muestra el diagrama de flujos para flotación.

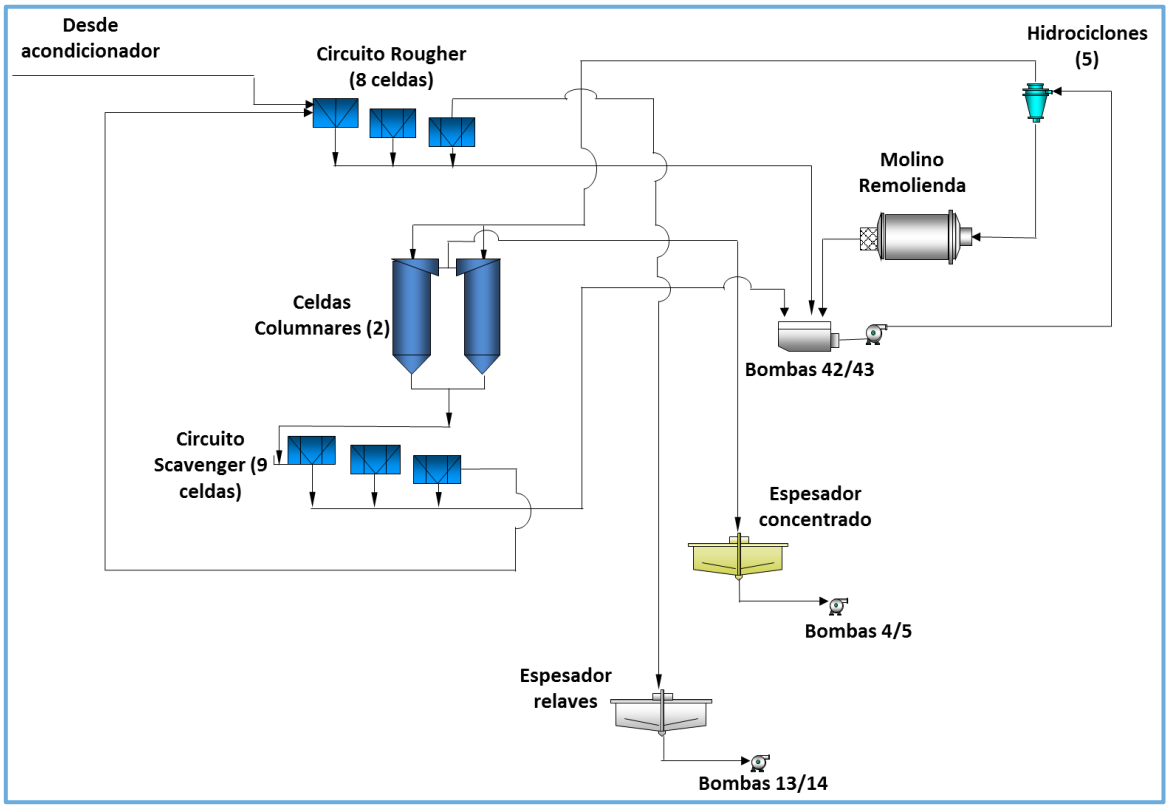


Figura 4: Diagrama de flujos para flotación.

2.1.3.4 Espesamiento

- **Espesamiento de Concentrado**

El concentrado final de cobre producido en las celdas de flotación columnares es alimentado gravitacionalmente al espesador de concentrado. El espesador de alta capacidad de 20 m de diámetro está provisto de un sistema de rastras con un sistema hidráulico de levante y un motor del sistema hidráulico de 0,75 KW. La descarga de la pulpa densa del espesador de concentrado (underflow) alimenta dos bombas centrífugas (una stand by), las cuales envían la pulpa densa de concentrado a la etapa de filtrado. El agua clara que rebosa del espesador de concentrado (overflow) es enviada gravitacionalmente al estanque de agua recuperada de 2,5 m diámetro x 2,5 m de altura y 10 m^3 de volumen, el cual también recibe el agua recuperada de filtrado y agua del estanque de agua fresca, siendo retornada finalmente a la etapa de molienda – clasificación.

- **Espesamiento de Relaves**

Las colas provenientes de celdas rougher alimentan el espesador de colas de 18 m de diámetro, el que está provisto de un sistema de rastras y sistema hidráulico de levante. El espesador de colas también recibe agua del estanque de agua fresca y floculante desde el estanque de distribución. La descarga del espesador de colas alimenta a dos bombas centrífugas (1 stand by), las cuales envían la pulpa de alta densidad a dos estanques agitadores de almacenamiento con 300 m^3 de capacidad cada uno. El agua clara que rebosa del espesador de colas se conduce de manera gravitacional hasta el estanque de acumulación de agua recuperada de 20 m^3 de volumen, para finalmente ser bombeada hacia la molienda – clasificación. La Figura 5 muestra el diagrama de flujos para espesamiento.

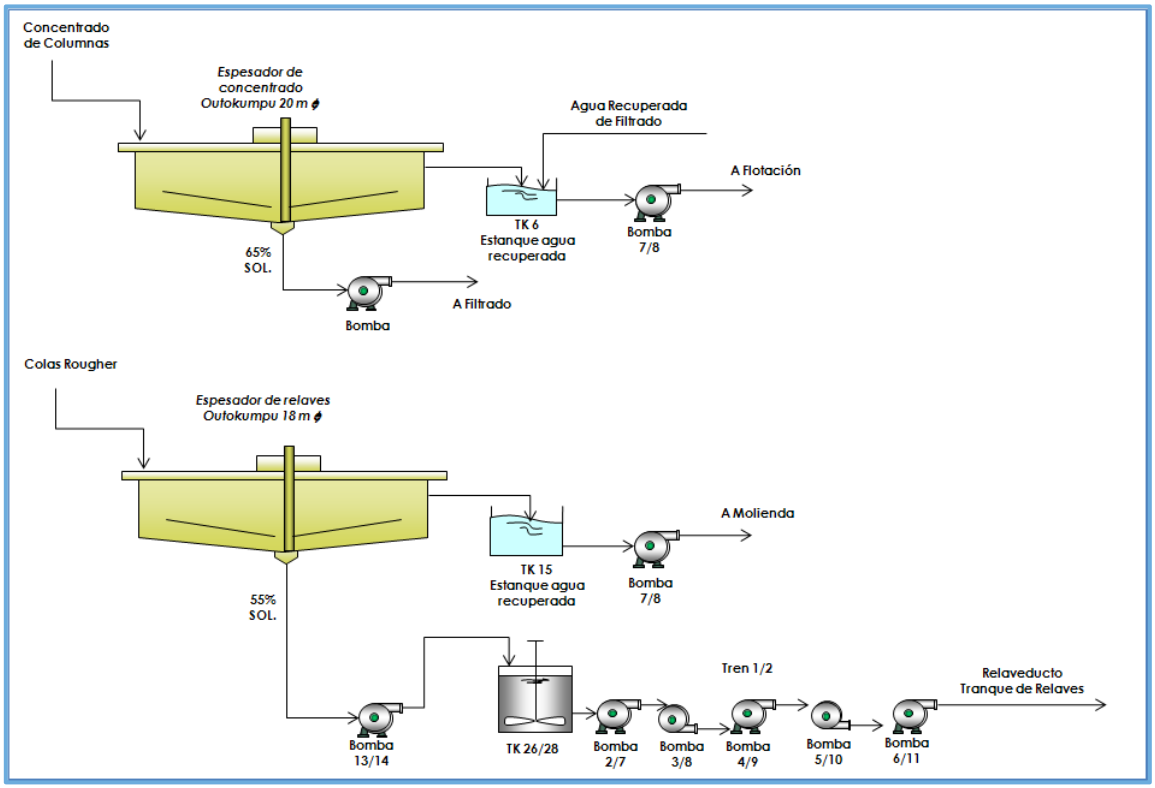


Figura 5: Espesamiento de concentrado y relaves.

2.1.3.5 Filtrado de Concentrado

Esta operación se realiza mediante un filtro cerámico y consiste en retirar el agua que contiene el concentrado obtenido en la etapa anterior, por medio de la aplicación de diferencia de presión en medio filtrante. La pulpa de concentrado

generada en el espesador de concentrado es bombeada mediante bombas centrifugas al filtro de discos cerámicos de 10 discos de 12 placas cada uno, modelo Ceramec CC-30 con 30 m^2 de área disponible para filtrado. La Figura 6 muestra el diagrama de flujo del área filtrado.

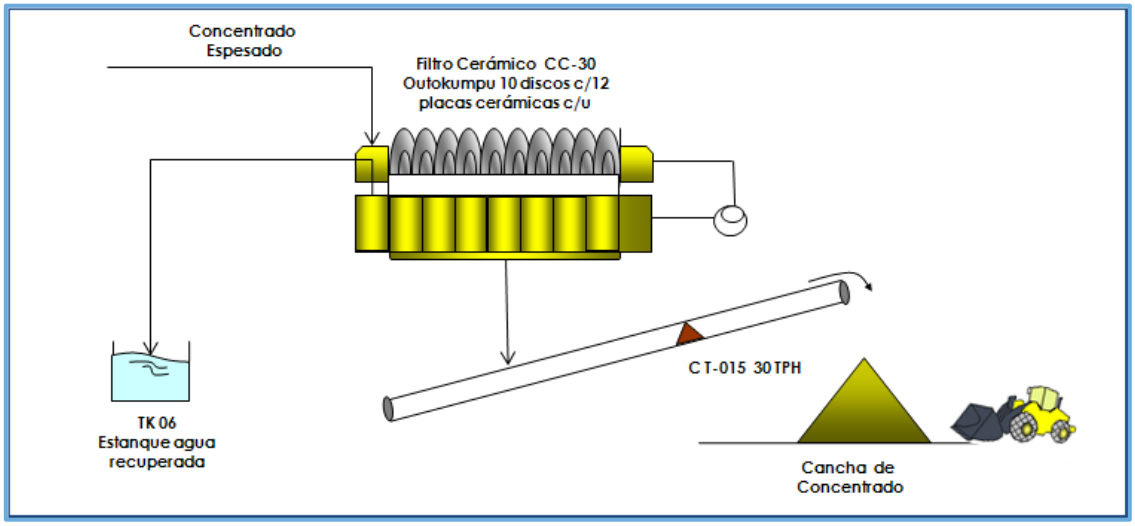


Figura 6: Diagrama de flujos etapa de filtrado.

El queque de concentrado filtrado descarga a la correa transportadora de concentrado N°15 de 24" y 30 T/h, la cual descarga a la pila de acopio de concentrado en cancha. El concentrado obtenido como producto final posee una ley sobre 28% CuT y humedad cercana a 10%. El despacho de concentrado se realiza mediante camiones, los cuales son pesados en la romana de cancha con 60 T máxima de capacidad, previo lavado de las ruedas en la losa de lavado ubicado inmediatamente después del lugar de carguío.

2.1.3.6 Estación de impulsión de relaves hacia depósito

Los relaves provenientes del espesador de colas son alimentados mediante dos bombas centrífugas (1 stand by) a dos estanques agitadores de almacenamiento con 300 m^3 de capacidad cada uno. Cada estanque agitador alimenta a un tren de cinco bombas centrífugas arregladas en serie, con una capacidad de bombeo de 350 m^3/h y una potencia de 170 KW para las primeras cuatro bombas y la quinta bomba con una potencia de 200 KW, la cual posee velocidad variable. Estas bombas impulsan el relave a través de un relaveducto de cañería de acero al carbono de alta resistencia, hacia el depósito en quebrada El Gato, distante 15,6

Km en la comuna de Copiapó. Los estanques de almacenamieno de relaves se alimentan tanto de agua industrial como de agua fresca para la operación de lavado de la línea del relaveducto. Los posibles derrames generados en planta serán conducidos mediante una red de drenaje hacia la piscina de emergencia de 1.400 m^3 de capacidad, ubicada a un costado del sector de bombas. Esta piscina cuenta con un sistema pescante y tecle que permiten maniobrar la operación de una bomba sumergible, la cual recircula el material de derrame nuevamente hacia la planta concentradora. El sistema de relaves incluye también las instalaciones ubicadas en Paipote, donde se genera el punto más bajo del trazado del relaveducto. En éste sector, se cuenta con dos piscinas de emergencia de 800 m^3 de capacidad, las que se conectan con el relaveducto mediante una línea de drenaje de HDPE (315 mm de diámetro), la cual permite el vaciado por gravedad de la línea ante situaciones de emergencia. La estación de bombeo planta envía 240 t/h de relaves al depósito con una pulpa de densidad en torno al 55% del contenido de sólidos. La Figura 7 muestra el diagrama de flujos de la estación de impulsión de relaves.

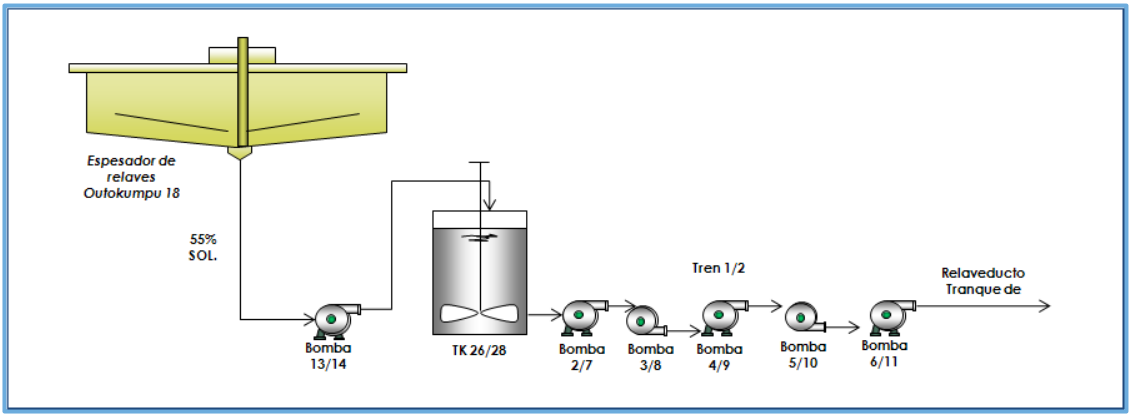


Figura 7: Diagrama de flujo impulsión de relaves planta.

2.2 Ubicación del depósito.

El depósito de relaves se localiza en la quebrada El Gato, comuna y provincia de Copiapó, región de Atacama, al norte de la intersección de quebrada Paipote y el cauce natural del río Copiapó, con una distancia aproximada de 15 Km de la planta de procesos, tal como observa en la Figura 8. La altitud del depósito se encuentra entre los 485 y 560 msnm. Las coordenadas aproximadas del área del depósito de relaves en el sistema internacional UTM WGS 84 zona 19 S son las siguientes:

Latitud: 6.970.000 – 6.971.000 Norte.
Longitud: 374.500 – 376.000 Este.

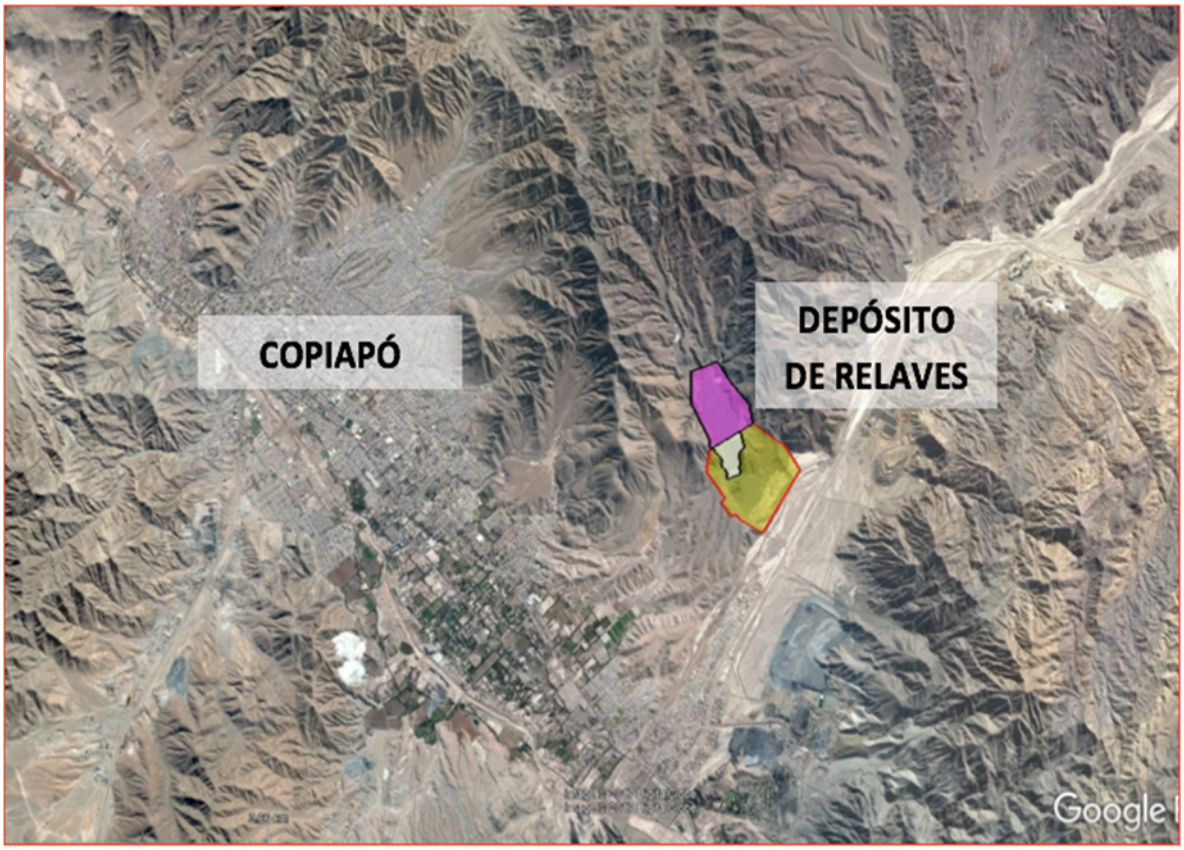


Figura 8: Ubicación del depósito de relaves El Gato. Fuente Google Earth

2.3 Cronograma de la construcción.

CARTA GANTT CONSTRUCCIÓN PROYECTO "CONTINUIDAD OPERACIONAL DE FAENA MINERA ATACAMA KOZAN"

TÓPICO	OBRA	ACCIÓN	AÑO	1												2															
			MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Construcción de las obras nuevas	Planta de filtrado	Escarpe																													
		Excavación y disposición final																													
		Nivelación																													
		Obras civiles (radier, hormigones)																													
		Estructuras																													
		Montaje Mecánico																													
		Montaje Eléctrico													Transición																
	Estación de bombeo y reimpulsión	Escarpe																													
		Excavación y disposición final																													
		Nivelación																													
		Construcción de piscinas																													
		Colocación de geomembrana																													
		Obras civiles para estación de bombas (radier, hormigones)																													
		Estructuras																													
		Montaje Mecánico																													
		Montaje Eléctrico													Transición																
	Depósito de relaves filtrado	Escarpe, traslado y disposición de material																													
		Disposición de material																													
		Primera etapa dren de alfombra (drenes 1 y 2, instalación del 67%)																													
		Excavación y disposición final																													
		Colocación de cama de arena																													
		Colocación de geotextil																													
		Instalación de tuberías																													
		Colocación de material drenante																													
		Colocación material de transición																													
		Colocación material filtrante																													
		Obra término de dren basal (paso por muro y cámara receptora de hormigón armado)																													
		Intalación tubería de término del drenaje basal																													
		Segunda etapa dren de alfombra (dren 3, instalación del 33% restante) - Operación													Transición																
		Excavación y disposición final																													
		Colocación de cama de arena																													
		Colocación de geotextil																													
		Instalación de tuberías																													
		Colocación de material drenante																													
		Colocación material de transición																													
		Colocación material filtrante																													
	Muro de pie y pozos de monitoreo	Replanteo y escarpe																													
		Traslado a acopio																													
		Construcción y compactación muro																													
		Construcción de pozos de monitoreo													Transición																
	Obras desvío aguas lluvias	Excavación																													
		Canal de contorno																													
		Disipador de energía																													
		Canales secundarios																													
		Rápido de descarga													Transición																
	Caminos	Escarpe y excavación																													
		Pretil de camino periférico													Transición																
	Acueducto (grupo de avance)	Escarpe																													
		Excavación zanja																													
		Asentamiento o cama acueducto																													
		Uniones (soldadura o termofusión)																													
		Relleno zanja acueducto													Transición																

El cronograma de la fase de construcción se acompaña en el Anexo 8 de la DIA

2.4 Capacidad del depósito.

El área de depositación de los relaves provenientes de la planta concentradora por flotación de minerales de cobre será el sector bajo del sitio quebrada El Gato. Los relaves se transportarán y depositarán a una producción nominal anual de 1.742.606 TMS, equivalentes a 1.800.000 TMS de mineral en promedio. Considerando una disponibilidad de 90% y una utilización de 95% para las plantas de beneficio y de relaves filtrados, se estima un ritmo de producción de relaves de 236 [TMS/h]. El depósito de relaves filtrados posee una capacidad total para almacenar 12.228.368 m^3 de relaves, equivalentes a 24.456.736 Tms con una humedad contenida de 16% en promedio. En consecuencia de lo anterior, la vida útil de operación del depósito de relaves filtrados El Gato será de 14 años. La depositación de relave por año de operación se observa en la Figura 9.

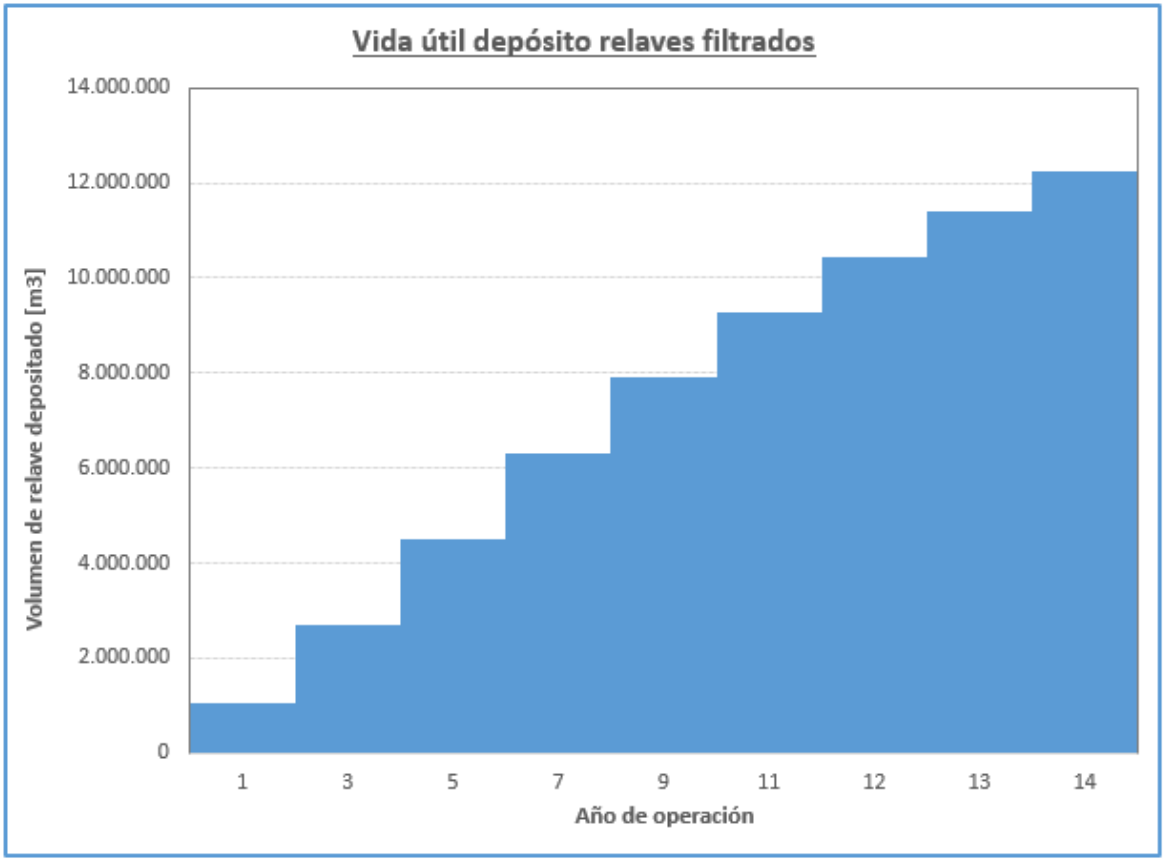


Figura 9: Diagrama de la depositación anual de relaves filtrados

2.5 Presentación de antecedentes geológicos, geotécnicos, hidrológicos, hidrogeológicos, sísmicos, meteorológicos, topográficos y otros que corresponda.

2.5.1 Geología

La geología del área de estudio se caracteriza por presentar unidades sedimentarias marinas estratificadas y rocas volcano-sedimentarias del Cretácico inferior, además de depósitos aluviales no consolidados a semiconsolidados del Mioceno-Pleistoceno al Holoceno. Los depósitos no consolidados a semiconsolidados constituyen el relleno sedimentario de la quebrada El Gato, mientras que las rocas estratificadas conforman los rasgos litológicos de los cerros y del basamento de la misma quebrada (Apéndice A).

En el área de estudio se reconocen dos unidades geológicas estratificadas consolidadas y tres unidades estratificadas no consolidadas. Las rocas consolidadas son las unidades más antiguas del sector y se ubican en las laderas laterales de la quebrada El Gato, mientras que las unidades no consolidadas a semiconsolidadas se encuentran aguas abajo del muro del tranque existente y en la parte norte de la cubeta del mismo (Apéndice A).

En la ladera sureste del sitio donde se proyecta el depósito de relaves filtrados se ubica la unidad geológica estratificada consolidada denominada ***formación abundancia***, aunque posee una baja permeabilidad, esta formación está cortada por un set de diaclasas, fallas y zonas de fallas de alto grado de fracturamiento que deberán de ser tomadas en cuenta para una depositación de relaves.

El mapeo geológico realizado en la zona del futuro emplazamiento del depósito de relaves filtrados señala que el suelo de fundación corresponde principalmente a depósitos aluviales inactivos, conformados por matriz de arena, limo y arcillas.

Debido a la extensión de los depósitos mencionados, se modela el suelo de fundación como una única unidad representada por una resistencia al corte característico, lo cual puede observarse en el Apéndice A y es explicado en profundidad en el Apéndice B.

2.5.2 Geotecnia

Para el análisis geotécnico se utilizaron propiedades mecánicas de los materiales en cuestión en base a la experiencia de JO Ingeniería en proyectos similares, los estudios y documentos citados en la Ref [2] y finalmente los ensayos de laboratorio realizados a muestras del relave filtrado y suelo, los cuales se pueden observar detalladamente en la Ref [3].

Posteriormente, se realizan ensayos al suelo de fundación, material de empréstito, arenas de relave, lamas de relave (ver Ref[13]), cuyos resultados se muestran en la Tabla 2

Tabla 2: Propiedades geotécnicas utilizadas

Unidad		Suelo de Fundación	Muro Empréstito	Arenas de relave	Lamas de relave	Relaves filtrados
Densidad (ɣ) [T/m3]	**Ton/m^3**	1,9	2,0	1,85	1,65	2,0
Cohesión [kg/cm^2]	**KPa**	0,2	5	0	1	2
Angulo de Fricción Interna (Ø)	**(º)**	37	37	34	30	37
Resistencia residual no drenada	**(S_r /σ´$_v$)**				0,13	

2.5.3 Hidrología

El depósito de relaves se ve circundado por 3 cuencas aportantes, las que se aprecian en la Figura 10: Cuenca El Gato, Cuenca A y Cuenca B. De ellas, sólo la cuenca El Gato y la cuenca A son intervenidas por los depósitos de relaves. En cambio la Cuenca B descarga libremente en la Quebrada Paipote. (Ref [4])

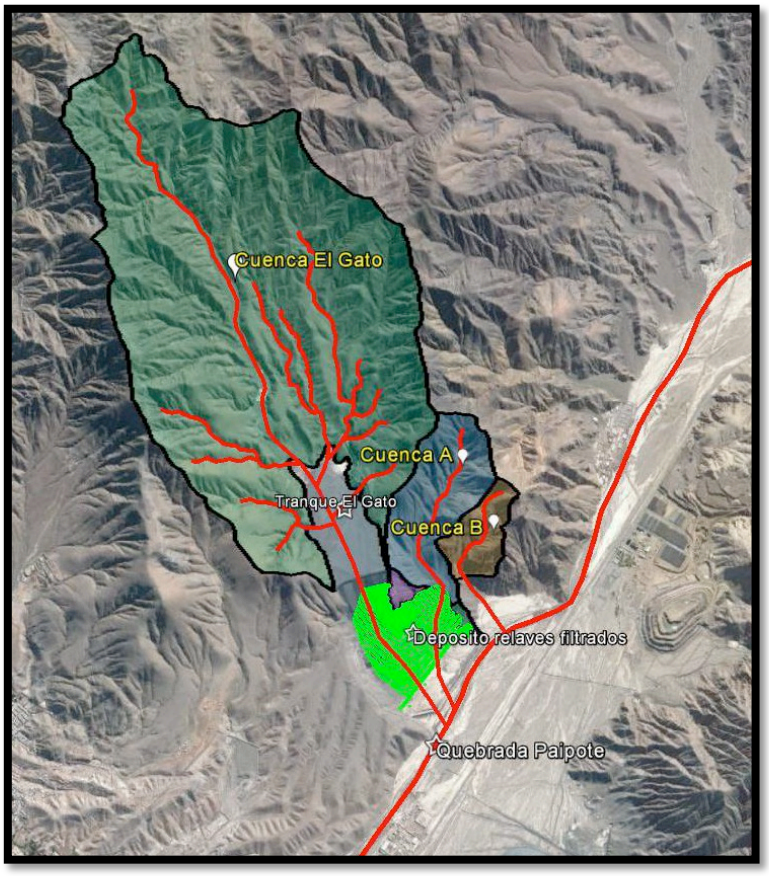


Figura 10: Cauces en el área de influencia del proyecto

Considerando las Ref [4], Ref [5] y Ref [6], se obtienen los valores para las precipitaciones con un período de retorno de 50,100, 1000 y 10.000 años, tal como se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla 3: Período de retorno

Período de retorno [años]	Precipitación [mm]
50	50,6
100	61,7
1.000	99,5
10.000	138,5
Tr = 12.000 (Estación Copiapó)	146,5
Tr = 12.000 (Cuenca Quebrada El Gato)	200

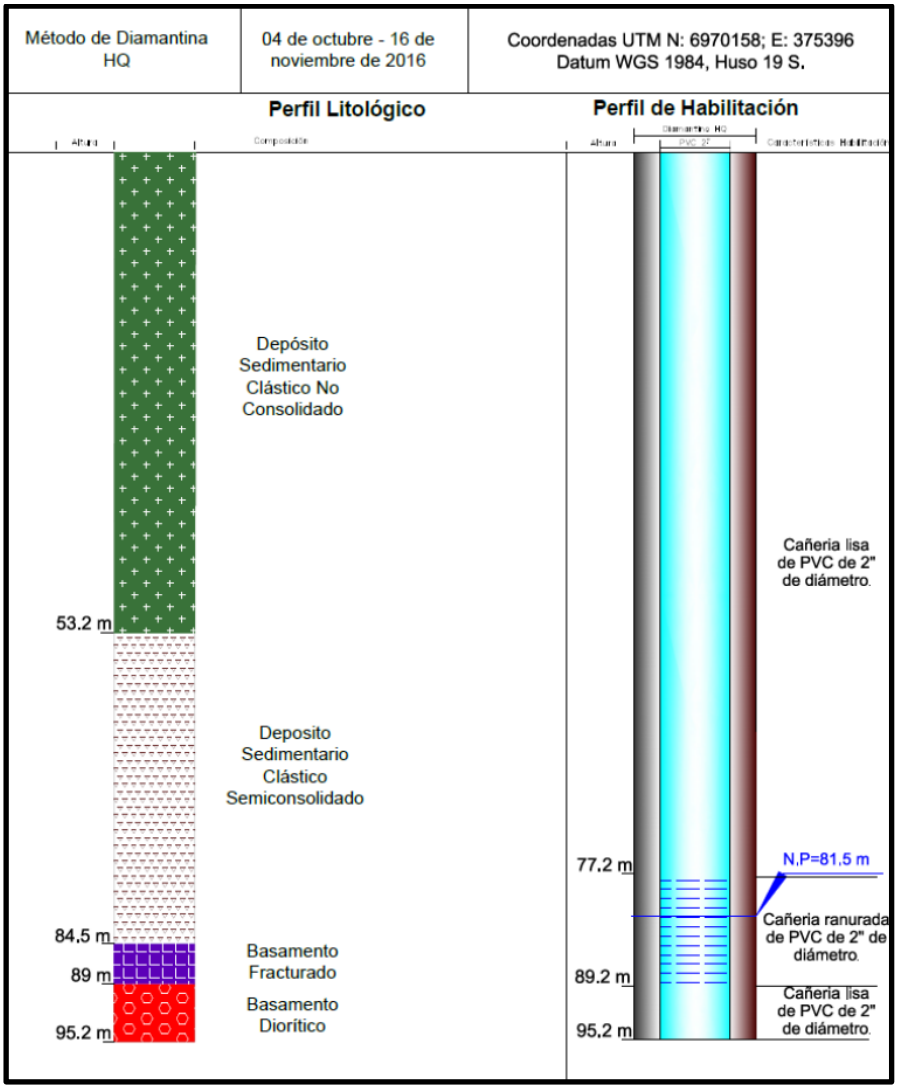
Por otra parte, la Ref [4], muestra los caudales para la precipitación máxima probable, siendo para la Cuenca El Gato, la cuenca A y la cuenca B de 22; 2,5 y 0,9 m^3/s, respectivamente.

2.5.4 Hidrogeología

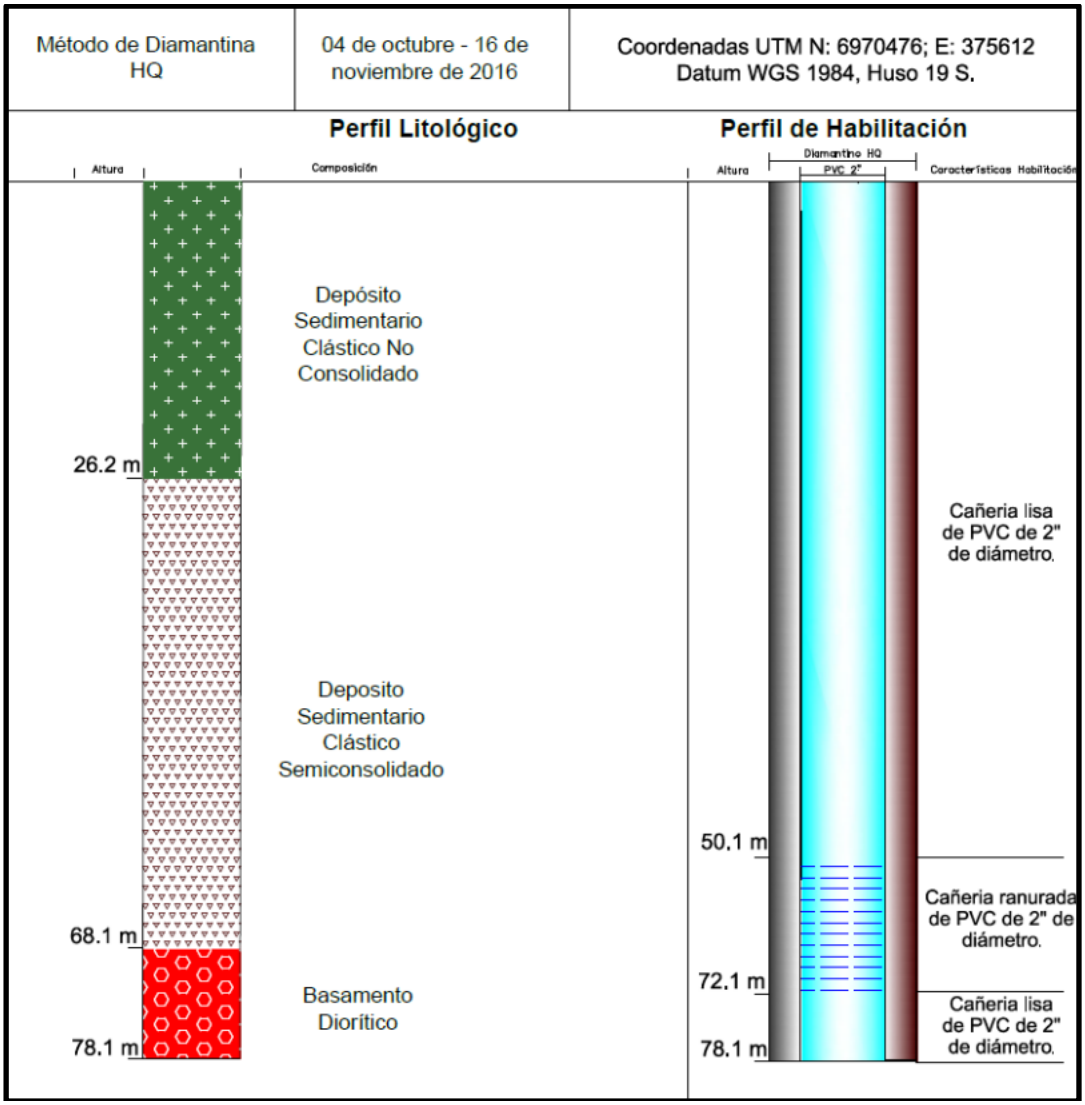
Para contribuir al conocimiento de la hidrogeología del sector del depósito de relaves proyectados, se desarrolló un conjunto de prospecciones geotécnicas que incluyeron sondajes, calicatas y perfiles geofísicos con la finalidad de caracterizar las formaciones acuíferas en el sector de la quebrada El Gato. (ver Apéndice C)

En los sondajes se implementaron ensayos Lefranc para determinar permeabilidades de estratos. En general los depósitos aluviales en la zona de estudio tienen permeabilidades similares en toda su extensión presentando una isotropía tanto en el sentido N-S (El Gato) como en el sentido NE-SW (Paipote). El aspecto hidrogeológico más relevante resulta de los espesores de las distintas formaciones acuíferas y la identificación de la zona de contacto entre el basamento rocoso y dichos depósitos aluviales, caracterizando la estratigrafía de toda la columna litológica detallando depósitos aluviales (gravas y arenas), roca fracturada y/o alterada y roca sana.

La Figura 11 describe la estratigrafía correspondiente a los sondajes de diamante S-B y S-D, tal como se indica en la Ref [7].


Método de Diamantina HQ
04 de octubre - 16 de noviembre de 2016
Coordenadas UTM N: 6970158; E: 375396
Datum WGS 1984, Huso 19 S.
Perfil Litológico
Perfil de Habilitación
Depósito Sedimentario Clástico No Consolidado
Deposito Sedimentario Clástico Semiconsolidado
Basamento Fracturado
Basamento Diorítico
53.2 m
84,5 m
89 m
95.2 m
77.2 m
89.2 m
95.2 m
Cañeria lisa de PVC de 2" de diámetro.
N.P=81,5 m
Cañeria ranurada de PVC de 2" de diámetro.
Cañeria lisa de PVC de 2" de diámetro.

Sondaje S-B



Sondaje S-D

Figura 11: Descripción estratigráfica de los sondajes perforados

La geofísica complementaria desarrollada contempló la ejecución de perfiles del método de transciente electromagnético (TEM), que permitió modelar la estratificación geoeléctrica del subsuelo (hidrogeología, geotecnia); considera un perfil transversal paralelo al eje del muro de arenas existente y un perfil longitudinal perpendicular al eje del muro, tal como se muestra en el Apéndice C.

Cabe señalar que la combinación entre los perfiles TEM y sísmicos, pudo generar un modelo geológico detallado de la zona de estudio, logrando una caracterización espacial de permeabilidades, potencias y estratigrafía, entre otros parámetros.

Estos perfiles TEM se planificaron para profundizar hasta roca fracturada y competente.

A partir de los sondajes realizados se pudo concluir que el área de estudio está constituída por un acuífero de gran espesor, con potencias que van desde los 78 hasta los 81 m de zona no saturada y poco más de 3 metros de zona saturada. Esta última no se identifica en toda el área, sino que solamente en la zona cercana al sondeo S-B. La Tabla 4 muestra las permeabilidades, coeficientes de almacenamiento y potencias obtenidos mediante los trabajos de terreno, los que son descritos en el Apéndice A de este Informe.

Tabla 4 Permeabilidad y coeficientes de almacenamiento

UNIDAD	PERMEABILIDAD (m/día)	COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (%)	POTENCIA (m)	
			S-B	S-D
Deposito aluvial consolidado	1,1 – 10,0	2 - 7	10	8
Deposito aluvial	0,30 – 0,35	2 - 7	43	18
Depósito semiconsolidado	0,9 – 1,6	0,5 – 2,0	31	42
Basamento rocoso indiferenciado	0,040 – 0,006	0,1 – 0,0005	11	10

Las principales conclusiones sobre la hidrogeología del lugar se indican a continuación:

- Las unidades hidrogeológicas definidas de alto interés son aluviales no consolidados y aluviales semi consolidados, cuyas permeabilidades se mantienen en torno a 1 m/día. Ese nivel de permeabilidad es relativamente baja considerando las escaza recarga natural y la mínima humedad contenida en los relaves proyectados, previamente filtrados.

- Fenómenos de infiltración estarán gobernados por flujos preferentes hacia los materiales no consolidados, evaluándose una muy baja capacidad de succión del suelo, predominando el fenómeno de evaporación en las superficies expuestas de los relaves recién depositados.

- Los relaves proyectados no generan infiltraciones relevantes a la quebrada de Paipote, debido a una humedad de los relaves depositados inferior al

17% en peso. Agregar a esto la baja porosidad eficaz del relave, alcanzando valores de retención específica del orden de 10%.

- Con respecto a las características litológicas de las principales unidades hidrogeológicas, estas corresponden a estratos predominantes de arenas y gravas con contenido variable de arcillas.

Los ensayos de inyección (Lefranc) indican permeabilidades muy bajas en los materiales consolidados y rocas de los materiales que subyacen sobre los materiales aluviales. Las potencias medias de los materiales acuíferos se estiman en torno a 25 m.

2.5.5 Riesgo Sísmico

El estudio de riesgo sísmico (Apéndice D) para el depósito de relaves El Gato arrojó las siguientes conclusiones:

- El valor medio de las aceleraciones máximas correspondientes al sismo con probabilidad de excedencia de 50% en 50 años (período de retorno de 72 años), es de 0,309g para la aceleración horizontal en el sitio en estudio. Por otra parte, el valor medio de las aceleraciones máximas correspondientes al sismo con probabilidad de excedencia de 10% en 50 años (período de retorno de 475 años) es de 0,478g para la aceleración horizontal. Finalmente, el valor medio de las aceleraciones máximas correspondientes al sismo con probabilidad de excedencia de 10% en 100 años (período de retorno de aproximadamente 949 años) es de 0,544g para la aceleración horizontal.

  La amenaza correspondiente al sismo con periodo de retorno de 475 años se aplica a obras en general, acogibles a las normas NCh.433-1996 y/o NCh. 2369- 2003. El sismo de período de retorno de 72 años es una herramienta de verificación de tales obras, las que no deben experimentar daños estructurales y no-estructurales frente a él, ni interrumpir su condición operacional. Obras especiales como una presa de relaves pueden diseñarse utilizando la amenaza correspondiente al sismo con período de retorno de 949 años.

  No obstante, como se ha explicado en el presente informe, la obra proyectada corresponde a un depósito de relaves filtrados (muy secos), autosostenida, sin posibilidad de fluidez y por lo tanto, sin muro de confinamiento para los relaves.

- El análisis determinístico se basó en 3 escenarios posibles que condujeron a aceleraciones horizontales máximas de 0,374g para el Escenario I, 0,522g para el Escenario II, y 0,646g para el Escenario III. La aceleración máxima obtenida para el Escenario II, presenta excelente consistencia con el valor probabilístico para el evento con período de retorno de 949 años (sismo máximo probable). La aceleración obtenida para el Escenario III, siendo un 17% menor a la estimación probabilística del nivel máximo creíble, se estima razonable por las diferencias. Se concluye en todo caso que los valores del análisis determinístico sirven de respaldo o comprobación de la adecuación de los valores probabilísticos.

- En caso de requerirse espectros para movimiento vertical se recomienda aplicar un factor de ¾ a los horizontales correspondientes.

2.5.6 Meteorología

La meteorología caracterizada corresponde a la información captada por tres estaciones representativas de la faena. La primera de ellas corresponde a la fundición de cobre Hernán Videla Lira, en la localidad de Paipote, la cual está prácticamente al frente del depósito de relaves El Gato, distante unos 3,7 Km aproximadamente. La segunda estación meteorológica corresponde a la de Tierra Amarilla, localizada en calle Miguel Lemeur con Antonio Provoste, distante unos 2,9 Km aproximadamente con respecto a faena Atacama Kozan y finalmente la tercera, localizada en Copiapó, distante unos 16 Km de Atacama Kozan y 6,8 Km del depósito de relaves El Gato, respectivamente.

2.5.6.1 Temperaturas

La Tabla 5 muestra el resumen de las temperaturas medias registradas en la estación Paipote durante los años 2013, 2014 y 2015. Se observa que las temperaturas medias estacionales no varían demasiado entre el 2013 y 2014, sin embargo, el 2015 fue más cálido en todas las estaciones del año. Las temperaturas máximas en el verano superan los 33 °C, mientras que durante el invierno bajan hasta los 2 °C, teniendo una media anual de 17 °C.

Tabla 5 Temperaturas registradas en estación Paipote durante 2013 al 2015

Temperatura media estacional [°C] - Paipote				
Estación	**Período**	**2013**	**2014**	**2015**
Verano	Ene - Mar	20,2	20,0	20,5
Otoño	Abr - Jun	14,8	14,4	15,6
Invierno	Jul - Sept	14,1	14,4	14,7
Primavera	Oct - Dic	17,8	17,7	20,0
Anual Ene - Dic	Media	16,7	16,6	17,5
	Mínima	3,6	2,7	4,4
	Máxima	33,8	35,5	36,4

2.5.6.2 Humedad

La Tabla 6 muestra el resumen de las humedades medias registradas en la estación Paipote durante los años 2013, 2014 y 2015. Se observa que las humedades medias estacionales no varían demasiado entre el 2013 y 2014, sin embargo, el 2015 fue más seco o menos húmedo que los dos años anteriores. Las humedades mínimas se concentran en el invierno con valores de 0 %, mientras que durante el verano alcanzan máximas del 100%, teniendo una media anual de 62%.

Tabla 6 Humedades registradas en estación Paipote durante 2013 al 2015

Humedad media estacional [%] - Paipote				
Estación	**Período**	**2013**	**2014**	**2015**
Verano	Ene - Mar	64,7	64,3	62,3
Otoño	Abr - Jun	65,7	65,0	63,0
Invierno	Jul - Sept	59,7	58,7	60,8
Primavera	Oct - Dic	62,0	62,0	58,6
Anual Ene - Dic	Media	63,0	62,5	61,4
	Mínima	1,0	0,0	0,0
	Máxima	98,0	100,0	100,0

2.5.6.3 Precipitaciones

El promedio de precipitaciones en la ciudad de Copiapó es de 12 mm según la Dirección Meteorológica de Chile, aunque en 1997 la cantidad de agua caída llegó a los 120 mm y en el año 2005, en que fuertes nevazones cubrieron parte de los cerros de la comuna. Las precipitaciones, de producirse, se concentran en los meses de invierno entre Mayo y Agosto, aunque en ocasiones se producen en otros meses, como en 1999 (01 de abril 25,6 mm y 30 de octubre 1,4 mm), en 1954 (16,3 mm el 13 febrero). En los meses restantes las precipitaciones son escasas; incluso, en los meses de diciembre, enero y febrero son nulas. La aridez es la condición predominante.

En un año promedio, se distingue una estación “seca” con casi ausencia total de precipitaciones, que dura desde octubre a marzo y una estación “húmeda” con precipitaciones que ocurren desde abril a septiembre, pero con una importante irregularidad. Según estadísticas, las precipitaciones son muy superiores a la media cuando se presenta un evento del “niño”, como ocurrió en 1982, 1987, 1992, 1997, 2005, 2011 y recientemente en 2015.

El carácter de lluvia es de tipo “aguaceros”. Estos frentes se infiltran junto a los sistemas cordilleranos costeros y en ocasiones alcanzan hasta la cordillera de Los Andes. La estación pluviométrica de Copiapó indica que a pesar de presentar un clima desértico en los últimos 40 años, se han registrado eventos de grandes precipitaciones para este tipo de clima. En la Figura 12 se presentan las precipitaciones anuales registradas por esta estación, donde se aprecian años lluviosos para esta zona (lluvias acumuladas anuales mayores a 40 mm en los años 1983, 1987, 1991, 1997, 2011 y 2015).

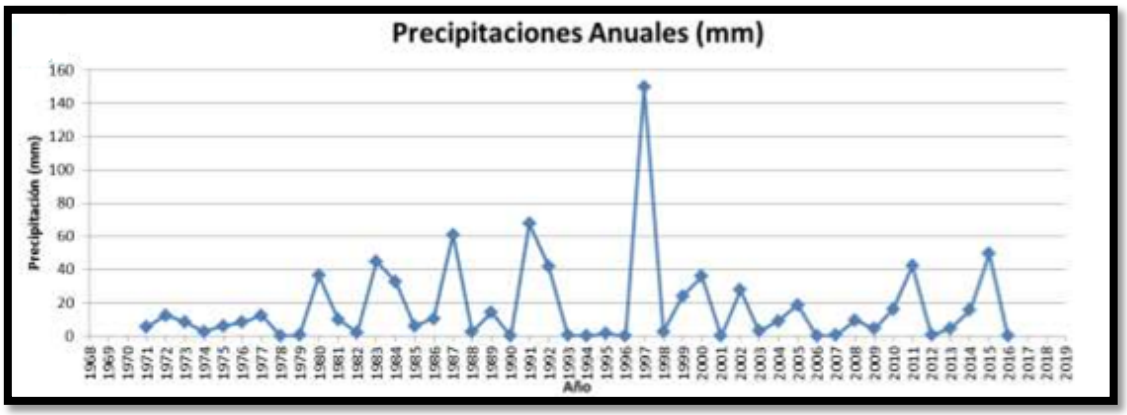


Figura 12: Precipitaciones anuales Estación Copiapó.

Dentro de los eventos más importantes y recordados se encuentran los registrados los años 1997 y 2015. El primero de ellos registró las precipitaciones más altas en los últimos años, desencadenándose en 2 etapas, junio y agosto, con lluvias máximas diarias en torno a los 70 mm para ambos meses. El segundo evento causó mayores daños a las ciudades y poblados de la región, a pesar de alcanzar una precipitación máxima diaria menor a la registrada en 1997 (20 mm aproximadamente). Esto debido a que se generaron lluvias importantes en la zona cordillerana y donde frecuentemente precipita nieve, lo que se tradujo en flujos aluviales que bajaron por las quebradas inundando localidades ubicadas al borde de los cauces. En la Figura 13 se muestras las precipitaciones máximas diarias informadas por la estación Copiapó.



Figura 13: Precipitaciones máximas en 24 hr.

En la Tabla 7 se muestra la precipitación acumulada en la estación meteorológica de Paipote entre los años 2013 al 2015, donde se observa muy poca precipitación los años 2013 y 2014, mientras que el 2015 fue superior a 31,2 mm, no teniendo el dato exacto por pérdida de información en Marzo a causa del aluvión. Las estaciones que concentraron las lluvias fueron otoño e invierno, a excepción del 2015 que incluyó el verano.

Tabla 7 Precipitación acumulada entre los años 2013 al 2015 estación Paipote

Precipitación acumulada [mm H2O] - Paipote				
Estación	**Período**	**2013**	**2014**	**2015**
Verano	Ene - Mar	0,0	0,0	s/d
Otoño	Abr - Jun	2,4	2,2	0,0
Invierno	Jul - Sept	3,3	0,0	31,2
Primavera	Oct - Dic	0,0	0,0	0,0
Anual Ene - Dic		5,7	2,2	> 31,2

La tasa de evaporación es alta y ha sido estimada entre 20 y 30% del volumen de aguas estáticas superficiales, como los que se encuentran en las lagunas de aguas claras de los tranques de relaves.

2.5.6.4 Velocidad del viento.

En la Tabla 8 se muestra la velocidad media del viento en la estación meteorológica de Paipote entre los años 2013 al 2015, donde se observa que los valores son muy similares en cada estación de los tres años analizados. Los valores máximos alcanzados se produjeron entre primavera y verano hasta 11,1 m/s; mientras que las velocidades mínimas se alcanzan principalmente en invierno hasta el nivel de calma. El valor medio anual corresponde a 2,9 m/s.

Por otro lado, en la Tabla 9 se muestra la velocidad media del viento en la estación meteorológica de Tierra Amarilla entre los años 2013 al 2015, donde se observa que los valores son levemente menores en cada estación para el 2015 en comparación con los dos anteriores. Los valores máximos alcanzados se produjeron entre primavera y verano hasta 5,5 m/s; mientras que las velocidades mínimas se alcanzan principalmente en invierno hasta el nivel de calma. El valor medio anual corresponde a 2,1 m/s.

Tabla 8 Velocidad del viento registradas en estación Paipote durante 2013 al 2015

Velocidad viento media estacional [m/s] - Paipote				
Estación	**Período**	**2013**	**2014**	**2015**
Verano	Ene - Mar	3,3	3,5	3,4
Otoño	Abr - Jun	2,7	2,3	2,2
Invierno	Jul - Sept	2,6	2,6	2,4
Primavera	Oct - Dic	3,5	3,5	3,3
Anual Ene - Dic	Media	3,0	3,0	2,8
	Mínima	calma	calma	0,4
	Máxima	10,5	11,1	11,0

Tabla 9 Velocidad del viento registradas en estación Tierra Amarilla durante 2013 al 2015

Velocidad viento media estacional [m/s] - Tierra Amarilla				
Estación	**Período**	**2013**	**2014**	**2015**
Verano	Ene - Mar	2,5	2,4	2,4
Otoño	Abr - Jun	1,9	1,8	1,7
Invierno	Jul - Sept	2,0	2,0	1,8
Primavera	Oct - Dic	2,5	2,5	2,3
Anual Ene - Dic	Media	2,2	2,2	2,0
	Mínima	calma	calma	0,2
	Máxima	5,5	5,2	5,0

2.5.7 Topografía

El Apéndice E de este informe, muestra el plano topográfico de la superficie donde estará instalado el depósito de relaves filtrado.

Durante el desarrollo de las obras, deberá llevarse un libro de topografía en donde se solicitará las recepciones de topografía, se anotarán las discrepancias y consultas que responderá, aprobará o rechazará la inspección técnica de obra (ITO). La ITO realizará todos los controles topográficos que estime necesarios para verificar que las secciones y sus elevaciones corresponden a las indicadas en el proyecto, o bien, a las autorizadas en terreno originadas en el replanteo (donde se muestran las líneas de excavación teóricas) con el trazado de ejes para las excavaciones reales. Estos perfiles servirán de base a la ITO para los avances

de cubicaciones de obra. De igual manera se anotarán en ellos las cotas de los sellos finales de excavaciones aceptada por la ITO.

Para controlar la geometría del muro de pie y el crecimiento del depósito (en terrazas) de acuerdo a la geometría proyectada en el diseño, junto con detectar posibles deformaciones en el muro de pie y depósito, debidas a movimientos telúricos o deslizamientos de tierra (por aluviones), se construirán tres (3) monolitos (monumentos) de control topográfico que servirán de puntos de referencia (P.R.) para la instalación del instrumento topográfico que se utilice en el control respectivo. Tales monolitos se distribuirán en el coronamiento del muro de pie, permitiendo tener a la vista la obra y cubeta del depósito, junto con tener un acceso expedito a través de los caminos de servicio.

2.6 Presentación de un diagrama de flujo y plano general de las obras asociadas al depósito de relaves.

2.6.1 Diagrama de flujo de proceso de depositación de relave filtrado

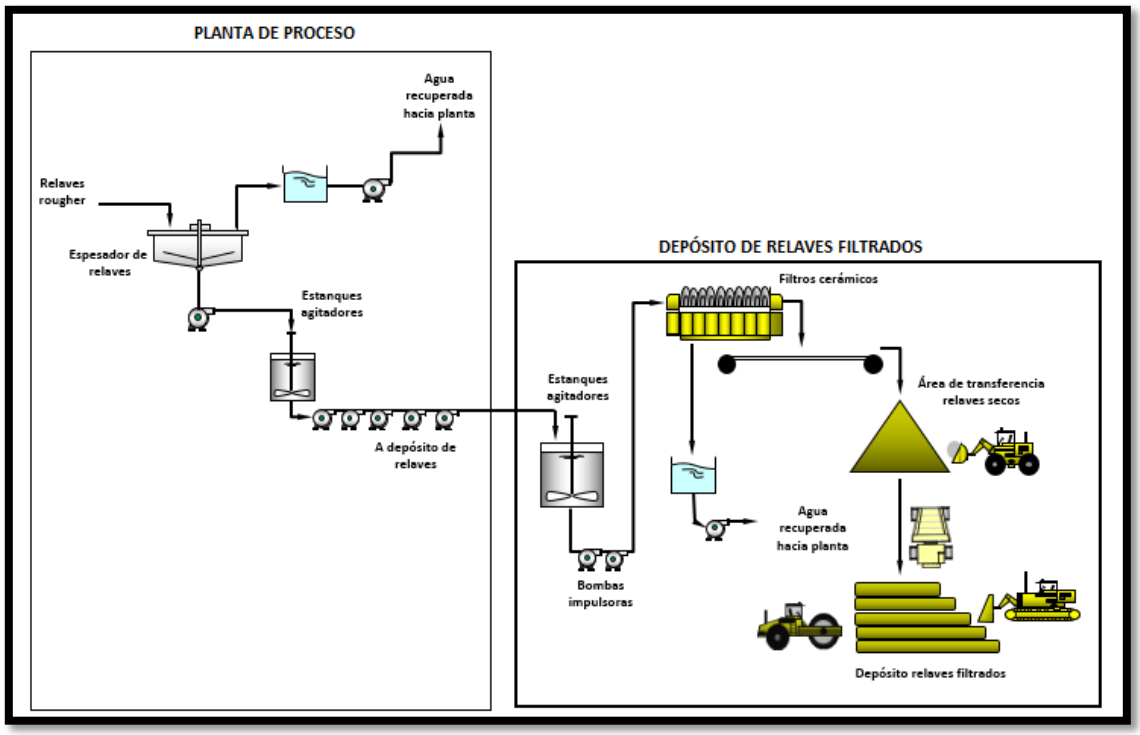


Figura 14: Diagrama de flujos del proceso de depositación de relaves filtrados.

En la Figura 14 se muestra el diagrama de flujos del sistema relaves, donde el relave espesado proveniente desde la planta de proceso vía relaveducto, se almacenará transitoriamente en dos estanques agitadores, desde donde será impulsado mediante tren de bombas hacia la planta de filtrado, los cuales se encontrarán dispuestos de tal manera que optimizarán el espacio y la continuidad operacional. El queque de relaves filtrado será trasladado desde el área de transferencia hacia el área del depósito mediante maquinaria para su disposición final. El agua recuperada desde la planta de filtrado será retornada hacia la planta de proceso mediante acueducto, permitiendo así reducir considerablemente el consumo de agua fresca en la planta.

2.6.2 Plano general de las obras asociadas al depósito de relaves

La planta de filtrado de relaves se ubicará en la zona alta de la instalación, próximo a las actuales oficinas del depósito existente. En la parte inferior de la instalación estarán ubicados los estanques agitadores que recibirán los relaves espesados, los trenes de bombas, la piscina de filtraciones, el muro de pie, los pozos de monitoreo, las obras de desvío de agua lluvias y el sistema de drenaje basal, tal como se muestra el Apéndice F. Desde aquí se impulsará el relave espesado hacia la planta de filtrado superior, donde el relave filtrado será transportado hasta la terraza correspondiente vía maquinaria para su depositación final.

Como equipos auxiliares de la planta de filtrado se han proyectado:

- Bombas de vacío
- Bombas y estanques para lavado con ácido de las placas cerámicas
- Estanque y bombas para lavado y enjuague de filtros
- Bombas de piso para derrames de pulpa y/o ácido nítrico
- Subestación de transformación eléctrica
- Salas eléctricas y de control
- Tecle monorriel
- Salas eléctricas

La Figura 15 muestra una sección típica de la planta de filtrado de relaves junto con el área de transferencia de relaves filtrados contiguo.

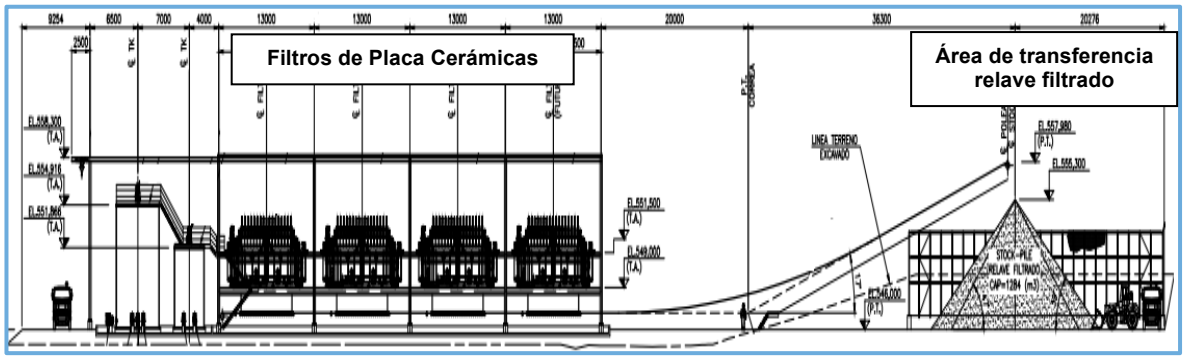


Figura 15: Sección típica planta filtrado de relaves y depósito temporal.

2.7 Descripción de las dimensiones del depósito tanto en altura y largo de muro, como de área y volumen del depósito, como también su plan de crecimiento.

Como se trata de un depósito de relaves filtrado mediante terrazas, el único muro que se construirá será el de pie, el cual posee una altura de 5 m y un largo de 766 m.

El depósito de relaves filtrados tendrá el área y volumen descrito en la Tabla 9, mientras que su plan de crecimiento se describe en la Tabla 10. Finalmente, los planos que muestran visualmente las tres etapas de crecimiento junto con el área que se irá ocupando como depósito hasta el año 14 después de su puesta en marcha, se adjunta en el Apéndice G.

Tabla 10 Área y volumen del depósito de relaves filtrados.

Parámetros	Valor	Unidades
Volumen máximo relaves	12,2	Mm^3
Superficie depósito de relaves filtrados e instalaciones anexas	117	Ha
Superficie del proyecto (depósito y tranque relaves)	163,1	Ha

Tabla 11 Plan de crecimiento del depósito de relaves filtrado.

Identificación	Elevación terraza msnm	Volumen m^3		Masa de relaves filtrados [Tms]	
		Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulado
Terraza 1	498	1.031.542	1.031.542	2.063.084	2.063.084
Terraza 2	508	1.678.663	2.710.205	3.357.326	5.420.410
Terraza 3	518	1.803.295	4.513.500	3.606.590	9.027.000
Terraza 4	528	1.797.332	6.310.832	3.594.664	12.621.664
Terraza 5	538	1.594.144	7.904.976	3.188.288	15.809.952
Terraza 6	548	1.379.338	9.284.314	2.758.676	18.568.628
Terraza 7	558	1.158.380	10.442.694	2.316.760	20.885.388
Terraza 8	568	953.224	11.395.918	1.906.448	22.791.836
Terraza 9	578	832.450	12.228.368	1.664.900	24.456.736

2.8 Indicar si existen otros depósitos adyacentes y sus características principales.

El único depósito de relaves adyacente es el tranque El Gato, el cual pertenece igualmente a SCM Atacama Kozan y cuya capacidad máxima se alcanzará el año 2020. La descripción y características de este último se detallan en la resolución de calificación ambiental N°76 del 04 de Abril del 2012 (ver detalles en Ref [8]).

Esta ampliación de vida útil de faena Atacama Kozan comprende la disposición final de relaves secos filtrados en terrazas o plataformas, las cuales se van cerrando a medida que completan su capacidad. Estas terrazas se formarán a partir de la base del talud en el muro actual del tranque y desde ahí empezarán a crecer en superficie y altura, lo cual permitirá disminuir considerablemente la probabilidad de deslizamiento y colapso de este muro, ya que la interacción con el depósito de relaves filtrados formará una gran cuña aguas abajo (ver
Ref [1]]).

2.9 Descripción e ilustración de las características especiales de diseño.

La principal característica que posee este tipo de depósito de relaves radica en la formación de terrazas con material seco y compactado, las cuales se van cerrando inmediatamente una vez que cumplen su capacidad de diseño. En el numeral 2.1.2 se describieron las otras ventajas que posee este tipo de depósito. En la Figura 16 se muestra el perfil o sección de las terrazas de relave filtrado que se obtendrá durante el funcionamiento del mismo, mientras que la Tabla 12 muestra las características principales del diseño, destacándose una altura de terraza de 10 m con un talud H:V de 3,0:1,0.

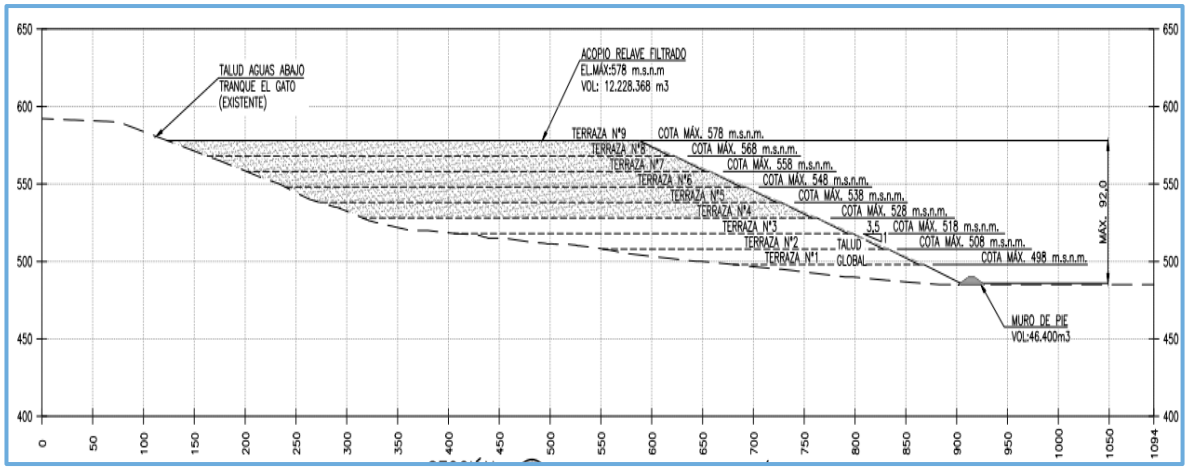


Figura 16: Sección típica del depósito de relaves filtrados

Tabla 12 Características principales del depósito de relaves filtrados

Parámetros	Valor	Unidades
Elevación máxima	578	msnm
Altura máxima depósito	92	m
Altura de terrazas	10	m
Ancho de bermas	5	m
Talud local H:V	3,0:1,0	-
N° de Terrazas	9	-
Densidad relave compactado	2,0	t/m^3

Se debe mencionar que la altura máxima del deposito de relaves filtrados, medido sobre el terreno natural en el muro de pie es de 92 m, llegando hasta la cota 578 msnm. De acuerdo al diseño aprobado del tranque de relaves actual, la altura máxima de coronamiento a alcanzar en el muro será de 600 msnm, por lo cual existirá una pequeña diferencia de cotas al final de la vida útil del proyecto entre ambos coronamientos.

Los relaves filtrados provenientes de la planta de procesos serán transportados y descargados al depósito mediante un conjunto de maquinaria pesada, conformada por camiones tolva, cargador frontal y bulldozers. La tasa de descarga de relaves se estima en 236 T/h, suponiendo una disponibilidad del 90% y una utilización de 95% de la planta de filtrado. Asumiendo una densidad suelta de 1,6 T/m^3, se estima que la planta de relaves filtrados generará aproximadamente 147 m^3 de relave por hora. El sistema de descarga de relaves con camiones tolva es móvil, permitiendo realizar la descarga de los relaves en diferentes puntos del depósito. Por lo tanto, para facilitar la etapa de desplazamiento y esparcido de material, la secuencia de llenado realizará la descarga de relaves filtrados en el punto más cercano a la plataforma en construcción. El punto de acumulación variará dependiendo de la plataforma o terraza que se esté construyendo. Las distancias de transporte variarán de acuerdo a la geometría del depósito y a la selección de los puntos de disposición final, llegando a alcanzar en algunos casos los 250 m.

Para garantizar la estabilidad física de las plataformas o terrazas y evitar así fallas por deslizamiento, los relaves filtrados esparcidos mediante bulldozer serán compactados mecánicamente por un rodillo o aplanadora para aumentar su densidad “in-situ”, hasta alcanzar un rango entre 1,7 T/m^3 a 2,0 T/m^3. Las capas horizontales de material compactado serán de 20 a 30 cm de espesor, teniendo el objetivo de alcanzar una densidad máxima compactada seca equivalente a 95% del Proctor Standard.

Finalmente, al tratarse de disposición de materiales húmedos se diseñó todo un sistema de captación de infiltraciones y drenes, a fin de evitar impactos sobre las aguas superficiales y subterráneas. Las obras involucradas son:

- Sistema de drenaje basal en todo el footprint del depósito.
- Obra término de dren.
- Tubería de conducción obra término de dren basal a piscina de drenajes.
- Piscina de drenajes (sumidero de recolección de filtraciones).

El detalle de cada uno de estos puntos se detalla en la Ref [9]

2.10 Determinación del área de riesgo potencialmente afectada en caso de colapso o remoción del muro del depósito de relaves.

Considerando el análisis realizado en Ref [1], en donde la interacción entre el tranque de relaves existente y el depósito de relaves filtrados una vez finalizada su vida útil, el cual se apoyará en el muro de contención construído con arenas de los relaves actuales, tal como se observa en la Figura 16 superior, se establecen 2 perfiles de análisis, tal como se muestra en la Figura 17.

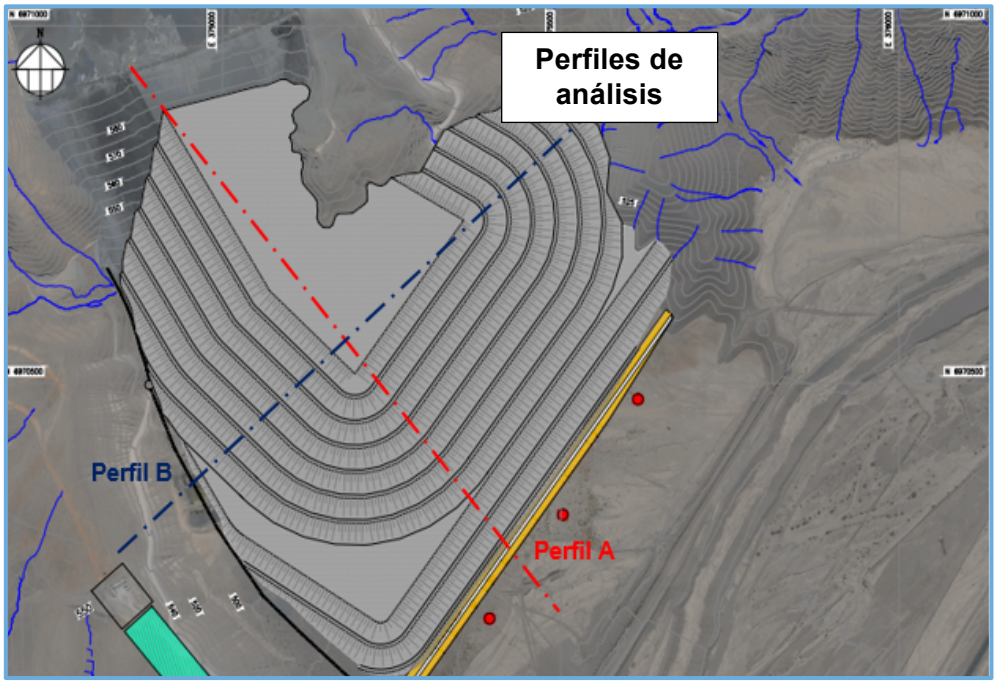


Figura 17: Perfiles de análisis

Para el análisis de estabilidad física del depósito, se utilizaron los siguientes criterios:

- El sismo máximo para un período de retorno de 1000 años alcanzaría una aceleración de 0,522g (de origen probabilístico), correspondiente al sismo máximo probable que superaría una magnitud de Ms=8,5 (que nunca habría ocurrido en la zona).
- Las propiedades mecánicas de los materiales para la modelación se describen en la Ref [3].
- Se realizan análisis tanto estáticos como seudo-estáticos según DS248.

- El análisis y modelación se realiza buscando que los factores de seguridad (FS) no superen los límites establecidos en los criterios de diseño del proyecto (DS 248).

Posteriormente se desarrolla un nuevo análisis de estabilidad física (Análisis de estabilidad estático y pseudoestático), Ref [13] se establecen 2 escenarios de cálculo:

- Escenario I – Etapa Operacional: Análisis de la condición de estabilidad estática y seudoestático del depósito asumiendo licuefacción total de las lamas almacenadas en la cubeta y la existencia de presión de poros al interior del muro resistente producto de la presencia de un nivel piezométrico. Para simular la licuefacción de las lamas se considera que éstas presentan una resistencia al corte no drenado caracterizado por la resistencia residual (S_r) post licuación. Este escenario evalúa las Fases I y II estipuladas en el D.S Nº248. Se ha adoptado para el presente escenario un coeficiente horizontal K_H=0,17

- Escenario II – Etapa Cierre: Evaluación de la condición de estabilidad estática y seudoestático en la etapa de Cierre del depósito, empleando para ello eventos máximos solicitantes y efectos del tiempo (envejecimiento) en las propiedades mecánicas de los materiales. Se han adoptado conservadoramente los mismos parámetros de resistencia empleados en el Escenario I y las lamas con resistencia residual post licuefacción. Este escenario corresponde a la Fase IV estipulada en el D.S Nº248. Se ha adoptado para el presente escenario un coeficiente horizontal K_H=0,21

2.10.1 Análisis en fase de operación

Tomando en consideración la Ref[1], la estabilidad del depósito de relaves filtrado, para etapas intermedias, arroja los siguientes factores de seguridad, que se encuentran en la Tabla 13.

Tabla 13 Factores de seguridad fase operación, según Ref 1

Terraza	FS estático	FS seudo-estático
Terraza N°2	2,949	1,854
Terraza N°5	2,671	1,664
FS exigido	1,4	1,2

La Figura 18 entrega las superficies de falla crítica para el depósito de relaves y el factor de seguridad asociado a los casos estático y seudo-estático para la terraza N°5, donde se aprecia en verde el suelo de fundación, en naranjo el muro de arena del tranque El Gato y finalmente en café, el relave filtrado proyectado.

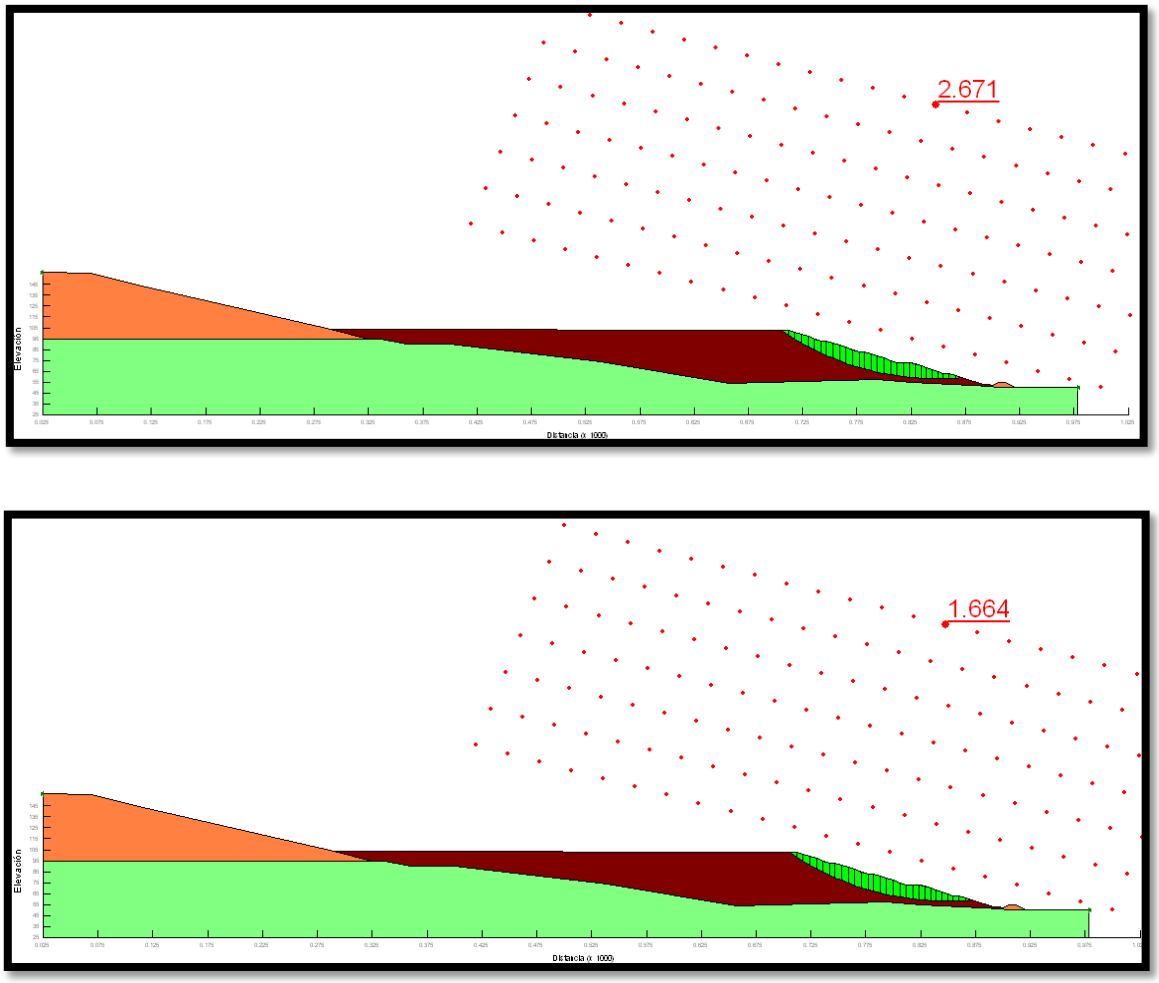


Figura 18: Superficies de falla para la fase de operación para terraza N°5

Por otra parte, teniendo en cuenta la Ref [13], los factores de seguridad para las 3 etapas de crecimiento, se muestran en la Tabla 14

Tabla 14: Factores de seguridad, según Ref 13

Perfil de Estudio	Lugar de Análisis	Escenario	Superficie Deslizamiento	Factor de Seguridad			
				Estático	Exigido	Sísmico	Exigido
Etapa N°1	DRF[1]	I (Operación)	Global	3,246	1,5	2,028	1,2
Etapa N°2	DRF	I (Operación)	Global	2,875		1,766	
Etapa N°3	DRF	I (Operación)	Global	2,683		1,622	
Etapa N°1	Muro de Arena	I (Operación)	Global	3,123		1,767	
Etapa N°2	Muro de Arena	I (Operación)	Global	3,544		1,901	
Etapa N°3	Muro de Arena	I (Operación)	Global	6,693		2,732	

2.10.2 Análisis en fase de cierre

Los factores de seguridad obtenidos para asegurar la estabilidad del depósito de relaves filtrados están dados en la Tabla 15, considerando la capacidad máxima de llenado en el depósito de relaves filtrado, según Ref [1].

Tabla 15 Factores de Seguridad fase de cierre, según Ref 1

Eje de análisis	FS estático	FS seudo-estático
Perfil A	2,455	1,569
Perfil B	2,483	1,592
FS exigido	1,4	1,2

La Figura 19 entrega las superficies de falla crítica para el depósito de relaves y el factor de seguridad asociado a cada uno de los perfiles, donde se aprecia en verde el suelo de fundación, en naranjo el muro de arena del tranque El Gato y finalmente en café, el relave filtrado proyectado. La similitud de los factores de seguridad para ambos perfiles analizados se debe a que la falla más probable se

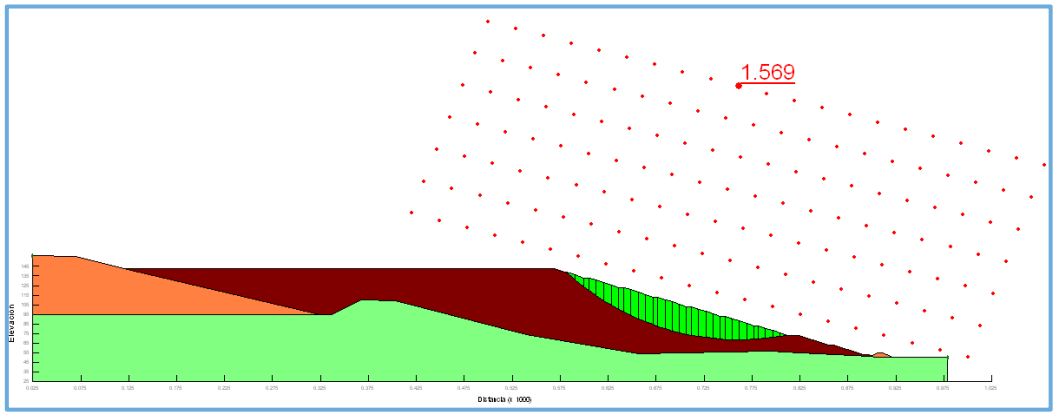
[1] DRF: Deposito de relaves filtrado

produce a nivel global del talud del acopio de relaves filtrados, tal como se aprecia en la Figura 19, donde las terrazas tienen igual talud y configuración geométrica.

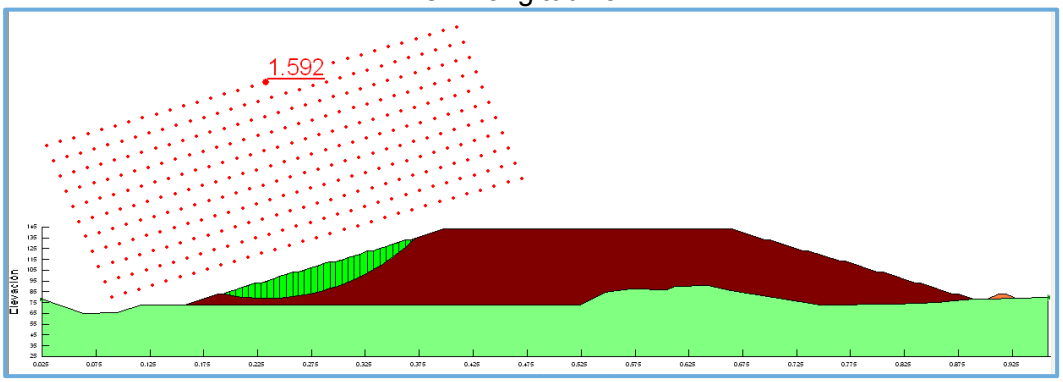
De lo anterior, se aprecia que el estado crítico es el estado de cierre del depósito, donde se observan mayores factores de seguridad debido a la altura mayor del depósito.

Cabe mencionar que las fallas locales a nivel de cada terraza poseen factores de seguridad mayores, por lo que no se consideran críticos. Ejemplo de una falla local y del factor de seguridad asociado se muestran en la Figura 20. De esta manera se concluye que los taludes autosoportados y el mismo acopio son estables, basados en la geometría, materialidad y disposición del mismo, cumpliendo con los factores de seguridad respectivos.

Adicionalmente, se realizó un estudio de estabilidad dinámico del tranque de relaves actual en su etapa terminal por parte del DICTUC, concluyéndose que el talud del muro y el tranque en sí es estable hasta sismos superiores a magnitudes de Ms = 8,5. Para mayores detalles del estudio ver Ref [10]



Perfil longitudinal A



Perfil transversal B

Figura 19: Superficies de falla para el caso seudo estático en perfiles A y B

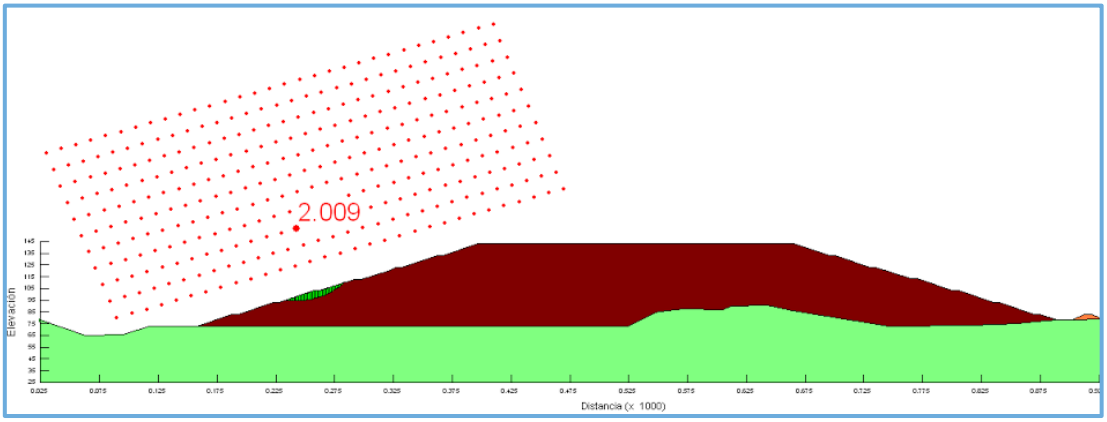


Figura 20: Falla local en terraza

Para el caso específico del depósito de relaves integral, es decir, tranque + depósito filtrado, se realizó el análisis de estabilidad pseudo-estático para la falla más probable que pueda ocurrir (Ref [11]). Ésta corresponde en la interacción del muro de contención del tranque El Gato con el depósito filtrado, la cual se observa en la Figura 21. El resultado del análisis indicó un factor de seguridad de 3,86, correspondiente a un valor mayor en comparación con el análisis físico al tranque y depósito filtrado por separado.

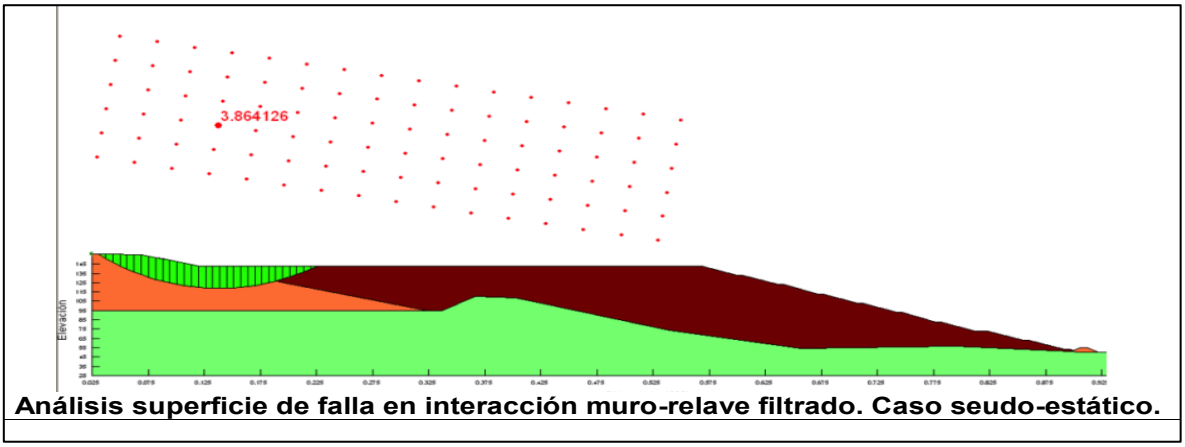


Figura 21: Superficie de falla en interacción muro del tranque – relaves filtrados.

Por lo tanto, los taludes autosoportados y el mismo depósito filtrado son muy estables, alcanzando deformaciones menores a 1 cm para el sismo de diseño máximo probable y de 1,3 cm para el sismo máximo creíble, respectivamente.

Para el caso establecido en Ref [13], los factores de seguridad para la etapa de cierre, se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16: Factores de seguridad, según Ref 13

Perfil de Estudio	Lugar de Análisis	Escenario	Superficie Deslizamiento	Factor de Seguridad			
				Estático	Exigido	Sísmico	Exigido
Etapa N°1	DRF[2]	II (Cierre)	Global	4,126	1,5	2,279	1,1
Etapa N°2	DRF	II (Cierre)	Global	3,454		1,885	
Etapa N°3	DRF	II (Cierre)	Global	3,044		1,694	
Etapa N°1	Muro de Arena	II (Cierre)	Global	4,467		2,252	
Etapa N°2	Muro de Arena	II (Cierre)	Global	4,845		2,360	
Etapa N°3	Muro de Arena	II (Cierre)	Global	6,693		2,556	

2.10.3 Análisis distancia peligrosa

Considerando un escenario improbable según el análisis de estabilidad física anteriormente descrito, el volumen de relaves que se desplazaría ante un eventual colapso sería de 503.833 m^3 por parte del muro, 683.333 m^3 por parte del depósito filtrado y adicionalmente un 10% de arrastre, se obtendría finalmente un volumen total de 1.255.500 m^3, los cuales alcanzarían una distancia peligrosa de 85 m.

De esta manera, con el peraltamiento del muro de emergencia hasta la cota 492 msnm, se asegurará que todo el volumen posible colapsado quedará retenido en la cuenca El Gato, ocupando solamente un 34% del volumen total disponible.

Junto con lo anterior, es que se evalúa un nuevo escenario en base al colapso de un 23%, en la cual se asume una falla hipotética del muro y su consiguiente

[2] DRF: Deposito de relaves filtrado

vaciamiento parcial de los relaves, en el contexto de la evaluación de la distancia peligrosa, según el Art. 14 del DS 248.

Es por lo anterior, es que se evalúa dicha distancia, en kilómetros, a través de 2 metodologías de cálculo, determinando el volumen de relave que escurriría, tal como lo establece la Ref [12], correspondiendo a 5.886.633 m^3.

Basándose en los resultados obtenidos, se establece que un hipotético vaciamiento parcial de los relaves alcanzaría una distancia entre 1,0 a 1,6 Km. Dicha distancia corresponde a la distancia peligrosa asociada al conjunto de depósitos de relaves, considerando las condiciones de cierre del tranque El Gato y el depósito de relaves filtrados proyectado en su etapa final.

El detalle de estos estudios se encuentran en el Anexo 10 de la DIA/Distancias peligrosas.

El apéndice H, se adjunta el plano que muestra la hoya afectada por la distancia peligrosa, según este último escenario.

2.11 Manual de emergencias de control, mitigación, reparación y compensación de los efectos de accidentes, situaciones de emergencia y eventos naturales, según corresponda.

El manual de emergencias de control, mitigación, reparación y compensación de los efectos de accidentes, situaciones de emergencia y eventos naturales, se encuentra en Anexo 7 de DIA.

2.12 Indicador de cumplimiento

El indicador de cumplimiento de este PAS es la aprobación sectorial por parte de SERNAGEOMIN.