

Antofagasta, 27 de julio de 2022
FCAB-GSDT -027

MAT. : 1. Solicita se tenga presente observaciones al PdC.; 2. Acompaña documentos

ANT. : Rol D-064-2022

Sr. Benjamín Muhr Altamirano
Fiscal (S)
Superintendencia del Medio Ambiente
Presente

Jaime Henríquez, Gerente de Sustentabilidad y Desarrollo Territorial, y Tatiana Rodríguez, Jefa Unidad de Medio Ambiente, ambos en representación de **Antofagasta Railway Company PLC** (FCAB), domiciliados para estos efectos en Avda. Simón Bolívar N°255, comuna y región de Antofagasta, al Sr. Benjamín Muhr Altamirano, Fiscal (S) de la Superintendencia del Medio Ambiente, con respeto indicamos:

Que, mediante esta presentación, venimos en solicitar se tenga presente las observaciones y medidas que a continuación se desarrollan, en relación con el Programa de Cumplimiento (PdC) presentado por Mantos Copper S.A., titular del proyecto minero Mantos Blancos, en el contexto del procedimiento sancionatorio instruido en el ROL D-064-2022.

Cabe indicar que por medio de escrito de fecha 22 de abril de 2022 FCAB solicitó constituirse como interesado en el procedimiento en virtud del artículo 21 de la Ley N° 20.417, debido a una serie de afectaciones y efectos negativos que tienen su origen en los incumplimientos contenidos en la formulación de cargos del presente procedimiento, acompañando Anexos para sustentar su solicitud.

I. Antecedentes

La Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), mediante Resolución Exenta N° 1/ROL D-064-2022 formuló cargos contra Minera Mantos Copper S.A., por una serie de infracciones relacionadas con la operación de la Minera Mantos Blancos, de su titularidad, debido a la ocurrencia de hechos que se riñen con las autorizaciones ambientales vigentes que regulan dicho proyecto. Una de las infracciones (la infracción n°1) corresponde a haber continuado con la depositación de relaves en la cubeta N°1 con posterioridad al final de su operación, de acuerdo con el permiso ambiental.

Según plantea la Formulación de Cargos (FdC), tanto los hechos descritos en la infracción N°1, que dicen relación con la utilización de piscinas en periodos en que no se contaba con autorización, como los efectos atribuidos, que corresponden a la generación de infiltración con la consecuente contaminación del acuífero y peraltamiento del nivel freático en el entorno de la faena, cuentan con mérito suficiente para sostener las acusaciones presentadas.

La FdC también señala otras cuatro infracciones que, si bien también se relacionan con la generación de infiltración al acuífero, tendrían una relevancia menor en cuanto al efecto sobre el peraltamiento de niveles freático en el sector ubicado frente al depósito de relaves.

Notificado Mantos Copper de la FdC, de acuerdo a lo dispuesto en el artículo 42 de la Ley N° 20.417, presentó un Programa de Cumplimiento (PdC), en el cual propone ciertas metas y acciones para eliminar o contener y reducir los efectos negativos generados con ocasión de los hechos constitutivos de infracción señalados en la FdC.

Pues bien, el objetivo de esta presentación es realizar ciertas observaciones al contenido del PdC propuesto por Mantos Copper en cuanto a su efectividad para revertir, contener y reducir los efectos negativos generados por las infiltraciones desde el depósito de relaves de la Minera Mantos Blancos en el sistema de aguas subterráneas, en cuanto al peraltamiento del nivel freático en el acuífero en torno a la faena minera, con la finalidad de concluir que el programa presentado no cumple con lo prescrito en el artículo 7 a) y b) y 9 a) y b) del Decreto N° 30/2013 MMA, y que en consecuencia no cumple con los requisitos de integridad y eficacia necesarios para su aprobación.

II. Efectos en el sistema de aguas subterráneas relacionados al cargo N°1

Según fuese planteado en la FdC, los efectos atribuibles a la infracción N°1, son haber continuado con la depositación de relaves en la cubeta N°1 con posterioridad al final de su operación, lo que implicaría infiltraciones al sistema de aguas subterráneas, provocando así la contaminación y el alza del nivel freático del acuífero relacionado con la faena Mantos Blancos.

La conclusión a la que se arriba en la FdC se funda en diferentes informes de fiscalización de las autoridades competentes, en los antecedentes incorporados en el proceso de Medidas Urgentes y Transitorias, Rol MP-043-2021, instruido por la SMA con anterioridad a la FdC, además de los antecedentes contenidos en los reportes de seguimiento ambiental. Así, de acuerdo con la FdC, resulta acreditada la relación entre la infracción N°1 y el hecho de mantener flujos de infiltración que produjeron y continuaron con peraltamiento de nivel freático y la consecuente afectación de una amplia zona debido a que este habría alcanzado e incluso superado la cota de terreno.

A este respecto, el análisis de la documentación técnica incorporada en el proceso de Medidas Urgentes y Transitorias permite acreditar el aumento de los niveles freáticos del acuífero desde incluso los primeros años de registro en 1993, lo cual da cuenta de una infiltración significativa y permanente desde el depósito de relaves. Así, la infracción N°1 habría generado una extensión de esta infiltración en los años recientes, con las consecuencias señaladas de continuar el aumento del nivel freático en el acuífero hasta la actualidad.

Ahora bien, la infiltración desde los relaves de Mantos Blancos, y el impacto ambiental subsecuente en el sistema de aguas subterráneas, fue un asunto considerado en las evaluaciones ambientales del proyecto minero. Los escenarios evaluados no consideraron que el efecto de las infiltraciones pudiese llevar el nivel freático tan próximo a la cota del terreno, por lo que existe regulación contravenida por Mantos Blancos en cuanto al efecto de las infiltraciones desde el depósito de relaves, más allá de que las causas se encuentren en una infracción a la operación del proyecto minero.

III. Metas y acciones indicadas en el Programa de Cumplimiento

Respecto de la infracción N°1, que en la FdC se relaciona con el efecto de las infiltraciones en el acuífero, el Programa de Cumplimiento propone como meta implementar acciones para dejar de disponer relaves sobre la Cubeta N°1 de manera permanente y cumplir con lo aprobado ambientalmente. Planteado así, el PdC hace énfasis en los aspectos de la operación minera contravenidos que producen infiltración, **sin atender los impactos causados por ellas**.

En efecto, las acciones propuestas en el PdC en relación a la infracción N°1, pueden sintetizarse según se señala en la Tabla 1. A este respecto, las acciones comprometidas en el PdC señalan dejar de utilizar de forma permanente las piscinas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 y 10, acción ya ejecutada y finalizada en agosto de 2021. Sin embargo, sólo plantea una reducción gradual de paralización de las piscinas 7 y 9, las cuales dejarían de ser utilizadas en mayo de 2024.

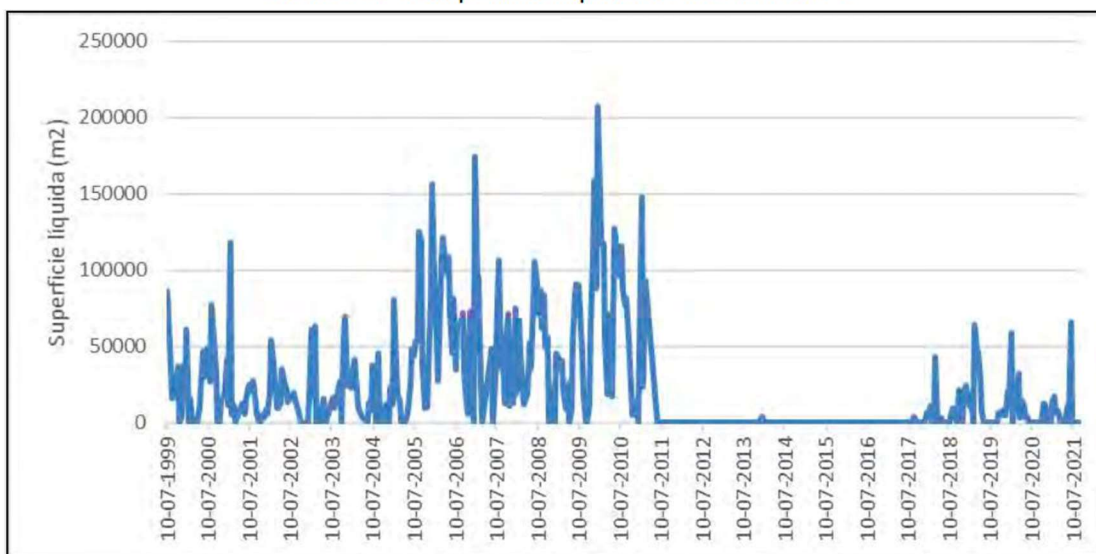
Tabla 1: Acciones asociadas a la infracción n°1 en el PdC de Mantos Cooper

Tipo acción	Acción
Ejecutadas	Dejar de utilizar en forma permanente piscinas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 y 10.
En ejecución	Ejecutar plan gradual de paralización de uso de piscinas 7 y 9.
	Realizar estudio geotécnico Cubeta N°1 Mina Mantos Blancos – Análisis de estabilidad física.
Por ejecutar	Analizar alternativas de la disposición de relaves que son depositados transitoriamente en la Cubeta N°1 en otro lugar de la faena, para dejar de disponer sobre ella en forma permanente.
	Se realizará un análisis de opciones de disposición temporal de relaves en condiciones seguras y en conformidad con la legislación ambiental vigente dentro de la faena Mantos Blancos.
	Desarrollar ingeniería de factibilidad para someter a evaluación ambiental el sistema de piscinas de emergencia definitivo.
	Evaluar ambiental y sectorialmente el Sistema definitivo de piscinas de emergencia.
	Actualizar y difundir Plan de emergencia de manejo de relaves para el uso de Tranquecito y piscinas 7 y 9.
	Actualizar e implementar plan de cierre minero asociado a las piscinas de emergencia en Cubeta N°1.

Así, es claro que ninguna de las acciones propuestas por Mantos Copper en el PdC apunta a **mitigar el efecto de las infiltraciones en cuanto al aumento del nivel de agua subterránea en el acuífero**. Acciones que apunten a mitigar el impacto propiamente tal resultan necesarias como parte del PdC por dos razones: primero, porque existe un problema real y presente ocasionado por las infiltraciones, que afecta la operación del camino y de ferrocarriles; y segundo, porque **este impacto no necesariamente se vería mitigado por el solo hecho de eliminar la fuente de infiltración** (condición que recién ocurriría en mayo de 2024 para las piscinas 7 y 9, manteniendo incluso la posibilidad de continuar posteriormente con depositación temporal después de dicha fecha).

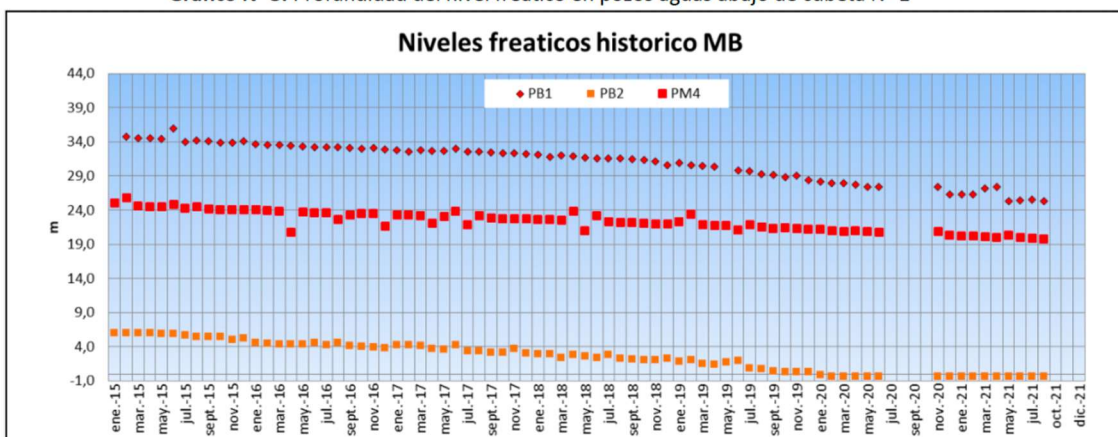
En efecto, existe un flujo latente de los relaves históricos que aún se encuentra fluyendo en vertical al interior del depósito y que no se ha incorporado al sistema de aguas subterráneas. Es más, cuando las piscinas de la cubeta N°1 **dejaron de operar el año 2010, el nivel de agua subterránea siguió en aumento**, según se aprecia en el Gráfico N°1 y N°3 de la FdC, y que se reproducen en la Figura 1.

Gráfico N° 1. Superficie líquida de la cubeta N° 1



Fuente: Informe “Análisis Satelital Multitemporal de Obras”, de 25 de octubre de 2021

Gráfico N° 3. Profundidad del nivel freático en pozos aguas abajo de cubeta N° 1



Fuente: Elaboración propia a partir de información de monitoreo de Mantos Blancos.

Figura 1. Depositación de relaves en la cubeta n°1 y niveles freáticos aguas abajo.

De esta forma, de la información levantada en la propia FdC se desprende la necesidad de incorporar en el PdC acciones a ejecutar por Mantos Copper que se hagan cargo de los impactos de las infiltraciones, acorde a una meta que busque mitigar el efecto de las infiltraciones en el sistema de aguas subterráneas. En tal sentido, se propone la ejecución de tres acciones:

- i. La implementación de **bombeo en la zona más afectada** , que permita desagüe rápido y focalizado en los sectores del acuífero con niveles freáticos cercanos al nivel de terreno, especialmente en aquellas zonas que han afectado las instalaciones de la autopista y ferrocarriles, esto, en atención a que la detención de depositación permanente de las piscinas 7 y 9 recién ocurrirá en el año 2024 y no se ha evaluado aún el efecto de vaciado residual del agua contenido al interior del depósito (draindown).
- ii. La implementación de una **barrera hidráulica permanente** orientada a reducir en el mediano y largo plazo, el nivel freático de manera de mitigar las interferencias ocasionadas en el camino y en la línea férrea y asegurar la operación regular de la infraestructura afectada.

En el marco del procedimiento de Medidas Urgentes y Transitorias, Mantos Cooper evaluó la factibilidad de una medida de este tipo. La conclusión a la que arribó es que, en mayor o menor medida, ésta puede brindar una solución que cumpla con el objetivo de reducir el nivel freático en el entorno del bombeo, y capturar las infiltraciones desde la faena minera.

- iii. Desarrollar un plan de evaluación técnica y luego seguimiento, destinado a analizar la relación entre las decisiones operativas en cuanto a la depositación de relaves, y el seguimiento de las infiltraciones que pudiesen afectar el acuífero en cuanto a nivel y contaminación.

Esto implicaría disponer de herramientas predictivas, y de un plan de seguimiento que considere una red de monitoreo, indicadores y umbrales que alerten sobre cuan efectivo resulta en la reducción de las infiltraciones, las definiciones operacionales que se tomen como parte del PdC.

En el formato del PdC, estas tres acciones podrían definirse en los términos presentados en la Tabla 2.

Tabla 2. Metas y acciones que podrían incorporar al PdC para atender el impacto de las infiltraciones en el peraltamiento de nivel freático.

Meta	Mitigar el efecto de las infiltraciones en el sistema de aguas subterráneas, dándole operatividad a las actividades afectadas		
Acciones a ejecutar			
Descripción Acción	Plazo de Ejecución	Indicadores de cumplimiento	Medios de Verificación
Implementación inicial barrera hidráulica (considera desarrollo de un plan de corto plazo de elementos y caudales para el desarrollo de un plan de desagüe focalizado)	Inicio: septiembre 2022 Finalización: junio 2023	Reporte de caudales desagüados de acuerdo con planificación y análisis técnico de efectividad de la medida	Niveles freáticos en pozos de control cercanos a las labores de desagüe. Informe hidrogeológico cada dos meses que dé cuenta de la efectividad de la medida.
Medida definitiva barrera hidráulica (considera actualización de modelo conceptual y numérico)	Inicio: junio 2023 Finalización: según indicadores de cumplimiento	Reporte de caudales bombeados de acuerdo con planificación. Tasas de descenso del nivel freático acorde a planificación. Validación semestral de la calibración del modelo numérico y actualización de pozos y plan de bombeo en caso de ser necesario.	Niveles freáticos en pozos de control cercanos a las labores de desagüe. Seguimiento a las calidades químicas de los pozos de control. Informe hidrogeológico semestral que dé cuenta de la efectividad de la medida (incluyendo validación de la calibración del modelo numérico y validación/actualización del plan).

			Informe de actualización anual del modelo conceptual y del modelo numérico.
Plan de Seguimiento Infiltraciones	Inicio: julio 2022 Finalización: junio 2023	Estudios técnicos finalizados lo cual incluye: Estudio de brechas de información. Reporte técnico de actividades de caracterización hidrogeológica para subsanar las brechas. Modelo hidrogeológico conceptual y numérico, actualizado (el cual puede ser el mismo aplicado para el diseño y evaluación de la barrera hidráulica). Incluye formalización de un plan de seguimiento (red de monitoreo, variables, frecuencias, umbrales, acciones). Modelo hidrodinámico del depósito de relaves para cuantificación de infiltraciones.	Existencia de los estudios técnicos en plazos acordados. Implementación del plan de seguimiento según plazo acordado.

Así las cosas, la incorporación de las tres acciones propuestas al PdC y su pronta implementación, permitirán que Mantos Copper se haga cargo de los efectos negativos de la infracción N° 1 que han generado, generan y seguirán generando en el mediano plazo las infiltraciones desde el tranque de relaves y, de esta forma, evitar la afectación a la autopista y a la actividad ferroviaria.

Finalmente, como corolario de lo anterior, se debe señalar que los hechos denunciados y los hechos imputados en la formulación de cargos suponen una afectación negativa, manifiesta, persistente y creciente a las operaciones de FCAB. Es manifiesta en tanto son evidentes y notorias las consecuencias que el afloramiento de aguas ha provocado en las vías, según se desprende de los antecedentes acompañados; es persistente, desde que se trata de una situación continua y permanente desde mayo de 2021 a la fecha; y creciente desde que tanto las grietas, el peraltamiento del nivel freático y las aguas afloradas son sucesos de magnitud mayor que se siguen acrecentando en la medida en que avanza el tiempo sin que se adopten medidas efectivas en orden a suprimir o mitigar dichos efectos.

Ello redundaría en que, aunque FCAB posea permisos ambientales vigentes y con proyectos en operación, se está viendo impedida de ejercerlos en forma plena por negligencia de un tercero. Cabe recordar que FCAB es un titular que opera dentro de la cadena logística y productiva del norte de Chile, llevando carga de diferentes clientes a través de los más de 700 kilómetros de líneas férreas, con acceso directo a las principales faenas mineras de la Región de Antofagasta, a través de trenes o servicios adicionales como terminales de transferencia y transporte rodoviario. El tramo afectado por los hechos constitutivos de infracciones del ROL D-064-2022 afecta de manera permanente las operaciones de la empresa, y con ello todo el sistema logístico regional, ya que dicho tramo es parte de la vía principal de FCAB que corre en forma paralela a la Ruta 5.

POR TANTO, en virtud de los antecedentes expuestos, al señor Fiscal de la Superintendencia del Medio Ambiente, solicitamos que se tenga presente las observaciones formuladas y medidas propuestas para su incorporación al PdC presentado por la empresa Mantos Copper S.A. en el procedimiento sancionatorio instruido en el ROL D-064-2022, a efectos de cumplir con los requisitos de integridad y eficacia necesarios para su aprobación.

PRIMER OTROSÍ: Solicito al señor Fiscal Instructor tener por acompañados los siguientes documentos:

1. Informe técnicos
2. Informe de análisis del PDC



Jaime Henríquez Valenzuela
Representante Legal
Antofagasta Railway Company PLC (FCAB)



Tatiana Rodríguez Herrera
Representante Legal
Antofagasta Railway Company PLC (FCAB)

INFORME DE ESTABILIDAD DE TALUDES

MURO MANTOS BLANCOS, SECTOR CUBETA 1

PROYECTO SANTA BARBARA

II REGIÓN DE ANTOFAGASTA

Preparado para: *Sr. Jaime Henríquez, FCAB.*

Rev. 0

Diciembre de 2021.

INDICE

	PÁGINA
.....	
A. ANTECEDENTES.....	2
B. INTRODUCCION	3
C. OBJETIVOS Y ALCANCES.....	5
C.1. Objetivos	5
C.2. Alcances	5
D. DESCRIPCIÓN Y CONSIDERACIONES DEL CASO DE ANÁLISIS	6
D.1. Geometría del Muro.....	7
E. ANTECEDENTES GEOTÉCNICOS	9
E.1. Estratigrafía Suelo de Fundación	10
E.3. Materiales Tranque de Relaves	11
F. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	12
F.1. Metodología.....	12
F.2. Hipótesis de Modelación Adoptadas	13
F.2.1 Parámetros Geotécnicos Adoptados	13
F.2.2 Nivel Freático	14
F.2.3 Coeficiente Sísmico.....	14
F.3. Criterios de Aceptabilidad.....	14
F.4. Geometrías Analizadas	15
F.5. Resultados Análisis de Estabilidad.....	16
G. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD NIVEL FREÁTICO.....	18
H. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	20
ANEXO 1 – RESULTADOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.....	1
ANEXO 2 – RESOLUCIÓN EXENTA 1219/2013	1
ANEXO 1 – RESULTADOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	
ANEXO 2 – RESOLUCIÓN EXENTA N°1219/2013	

A. ANTECEDENTES

Los antecedentes disponibles para el desarrollo de este estudio se indican a continuación:

- Ref. 1: Geodrilling, Noviembre 2021. Informe levantamiento topográfico 4 Perfiles transversales línea de tren - talud Mantos Blanco, Comuna de Antofagasta, II Región.
- Ref. 2: Asistecsa y Apsa, Noviembre 2020. Estudio de Mecánica de Suelos Deformaciones en Torno al Km 1407 Autopistas De Antofagasta.
- Ref. 3: SERNAGEOMIN, Octubre 2013. Resolución Exenta N°1219/2013.

B. INTRODUCCION

La empresa minera Mantos Blancos, se encuentra ubicada de forma contigua a la carretera panamericana, a 45 Km de la ciudad de Antofagasta, y a una vía férrea utilizada por la empresa de transportes FCAB (ver Figura 1).



Figura 1: Ubicación Zona de Estudio

En este contexto, la empresa de transportes FCAB ha solicitado a Geodrilling Ltda. una evaluación preliminar de la estabilidad del muro del tranque de relaves de la empresa minera Mantos Blancos, que muestra evidencias de agrietamiento importante en el talud aguas abajo del mismo (ver Figura 2), representando un riesgo y un costo para las operaciones de transporte de la empresa FCAB.

En efecto, a partir del agrietamiento observado, la empresa FCAB a debido limitar la velocidad de tránsito de los trenes que pasan por el sector a un máximo de 10 Km/hr, conllevando un retraso en los transportes de carga, impactando directamente su negocio.



Figura 2: Vista Grieta en Muro de Tranque de Relaves Mantos Blancos

C. OBJETIVOS Y ALCANCES

C.1. Objetivos

El objetivo del presente informe es evaluar de forma preliminar la estabilidad del talud aguas abajo del tranque de relaves Mantos Blancos mediante “Métodos de Equilibrio Límite Bidimensional (2D)”, considerando condiciones estáticas y pseudoestáticas.

C.2. Alcances

Los alcances del presente documento son:

- Descripción general del problema.
- Definición de geometría del muro del tranque en cubeta1 (sector de análisis)
- Definición de parámetros geotécnicos adoptados (en base a ensayos a antecedentes aportados por el mandante y antecedentes bibliográficos de literatura especializada).
- Ejecución de análisis de estabilidad estáticos y pseudoestáticos. Se incluye sensibilidad por efectos de variaciones en nivel de napa.
- Reporte de resultados de los análisis de estabilidad ejecutados.
- Comentarios y recomendaciones respecto de problemática evaluada

D. DESCRIPCIÓN Y CONSIDERACIONES DEL CASO DE ANÁLISIS

De acuerdo con lo indicado por parte de la empresa FCAB, la condición de agrietamiento del talud del tranque de relaves, ha implicado que en el tramo de línea férrea contiguo al depósito se deban limitar las velocidades a un máximo de 10 Km/hr, generando retrasos en la operación de FCAB.

Lo anterior resulta evidente del agrietamiento observado en el muro del tranque de relaves Mantos Blancos, y por la cercanía existente entre el sector que presenta el agrietamiento, y la línea férrea que opera FCAB, ubicada a solo 20 metros del pie del muro, según se muestra en la Figura 3.



Figura 3: Distancia entre Línea Férrea y Pie de Muro

A partir de la condición descrita, es parte del interés de FCAB, evaluar la estabilidad del talud agrietado, para considerar esto dentro de los riesgos asociados a su operación y visualizar soluciones a esta problemática.

Dentro de los antecedentes recabados para el diseño del muro no se logró acceder a los planos y análisis de estabilidad originales del muro (cubeta1), con los detalles de la configuración geométrica y consideraciones de los análisis de estabilidad originales. A instancias de esta situación se ha realizado un levantamiento topográfico de la cara expuesta del muro para conocer su geometría actual, sin embargo, esto no entrega información de la materialidad del muro, ni de su configuración geométrica interior, las cuales han sido supuestas para efectos de los análisis realizados en este documento.

D.1. Geometría del Muro

Para efectos de los análisis de estabilidad a realizar se considera que la geometría del muro tiene un talud exterior según lo reflejado por el levantamiento topográfico encargado a Geodrilling (Figura 4), y un talud interior de 1,5H:1,0V. Adicionalmente, se considera que la materialidad del muro corresponde a ripios.



Figura 4: Ubicación Perfiles Levantamiento Topográfico

E. ANTECEDENTES GEOTÉCNICOS

Si bien, dentro de los antecedentes generados para el diseño del muro se deben haber realizado distintas prospecciones y ensayos para caracterizar el suelo de fundación y materiales que conforman el muro, estos no se encuentran disponibles para el estudio de referencia.

No obstante lo anterior, de los antecedentes aportados por Autopistas Antofagasta, se tiene la información de 8 calicatas (Figura 5) y 4 sondajes (Figura 6) ejecutados por ASISTECSA, a partir de los cuales se obtiene la estratigrafía del terreno de fundación.

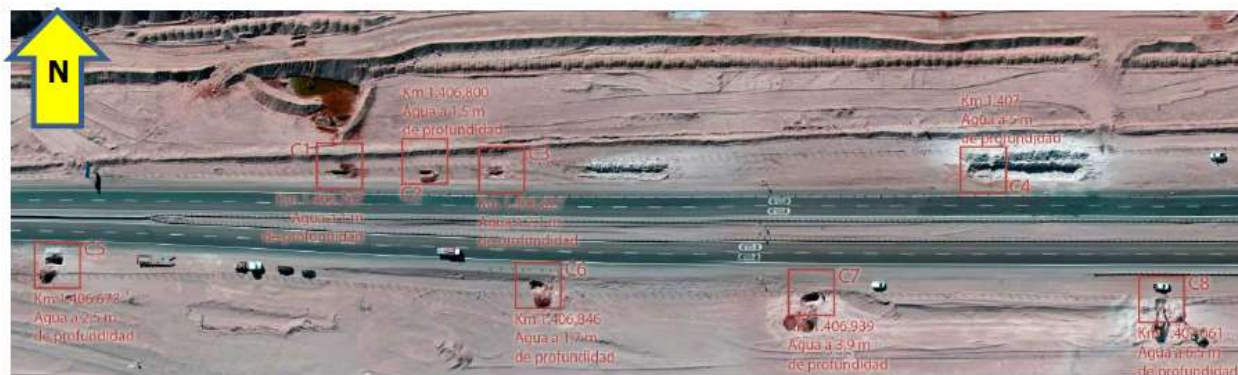


Figura 5: Ubicación Calicatas Disponibles



Figura 6: Ubicación Sondajes Disponibles

E.1. Estratigrafía Suelo de Fundación

De las prospecciones y demás antecedentes disponibles, se identifica tres unidades geotécnicas principales.

Unidad I

Arenas limosas sueltas, de baja humedad y espesor de aproximadamente 0,3 m (Chusca).

Unidad II – Suelo Salino

Arenas con presencia de sales, color pardo claro a blanquecino, humedad baja y plasticidad nula. Cuyo espesor aproximado es de 1,0 m.

Unidad III – Gravas Arenosas

Gravas arenosas y arenas con presencia de gravas de cantos angulares, color pardo, compacidad alta, humedad baja y plasticidad nula. El espesor de esta unidad sería mayor a 10 m.

Desde el punto de vista geotécnico, y para el objetivo del presente documento, se considera que el suelo de fundación consiste en una sola unidad. Según esto, se considera los parámetros geotécnicos indicados en la Tabla 1 para los análisis de estabilidad:

Tabla 1: Parámetros Geotécnicos Suelo de Fundación

Parámetros	Unidad	Suelo de Fundación
Ángulo de Fricción	[°]	30
Cohesión	[kPa]	100
Densidad	[kN/m ³]	20

E.3. Materiales Tranque de Relaves

Respecto de los materiales que conforman el muro del tranque de relaves no se cuenta con mayor información geotécnica, más allá de la indicada en Resolución Exenta N°1219/2013, que indica los parámetros considerados para los análisis de estabilidad del muro en el sector de la cubeta 2 del depósito, cuyos parámetros se indican en la Tabla 2.

Tabla 2: Parámetros Geotécnicos Materiales Tranque de Relaves (A partir de Resolución Exenta N°1219/2013)

Materiales	Densidad [kN/m ³]	Ángulo de Fricción [°]	Cohesión [kPa]	Resistencia no Drenada [S_u/σ'_v]
Relaves Gruesos Compactados	19,5	34	10	
Relaves Gruesos Saturados	18	33	10	0,59
Relaves Secos Finos	16	25	-	
Relaves Finos Saturados	18	25	-	0,25
Ripios Antiguos	19,5	38	20	
Ripios Nuevos	19	36	15	

Respecto de los parámetros geotécnicos adoptados para los análisis, estos se indican en el capítulo “F.2. Hipótesis de Modelación Adoptadas”.

F. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

F.1. Metodología

Los análisis de estabilidad se efectuaron por medio de métodos de equilibrio límite bidimensionales. Estos métodos permiten asociar un factor de seguridad a una potencial superficie de deslizamiento para una geometría definida, utilizando ecuaciones de equilibrio estático.

El factor de seguridad depende de la geometría de la superficie de deslizamiento analizada, de las propiedades de resistencia al corte de los materiales involucrados y de las condiciones especiales que presenta del caso analizado (presiones de poros, sobrecargas, fuerzas sísmicas, etc.).

Los análisis se llevaron a cabo mediante el software Slope/W v. 2012, que permite establecer los factores de seguridad asociados a un gran número de potenciales superficies de deslizamiento. El software Slope/W presenta, entre otras, las siguientes capacidades:

- Evaluar geometrías con varios tipos de suelos con distintas propiedades geotécnicas.
- Adoptar distintos modelos para definir la resistencia al corte de los materiales.
- Analizar distintos tipos de potenciales superficies de deslizamiento (planas, circulares y definidas por el usuario).
- Evaluar el caso sísmico mediante un análisis seudoestático.
- Verificar los resultados con distintos métodos de equilibrio límite (Bishop, Janbu, Spencer, Morgenstern-Price, etc.).

Para este estudio, los factores de seguridad reportados se calcularon mediante el método Morgenstern-Price, el cual utiliza una base matemática más rigurosa que los tradicionales métodos de Janbu o Bishop, de modo de satisfacer las ecuaciones de equilibrio de fuerzas y momentos.

Por otro lado, para evaluar la estabilidad durante la ocurrencia de un evento sísmico, se realizó un

análisis seudoestático. Este análisis consiste en imponer fuerzas horizontales al potencial volumen de deslizamiento, que representan las fuerzas sísmicas inerciales. Estas fuerzas, que son proporcionales a la masa deslizante, se definen a través de coeficientes sísmicos.

F.2. Hipótesis de Modelación Adoptadas

En el presente acápite se presentan las hipótesis consideradas para la modelación del problema, las cuales se centran en:

- Parámetros Geotécnicos Adoptados
- Nivel freático
- Coeficiente sísmico

F.2.1 Parámetros Geotécnicos Adoptados

Se ha considerado para el terreno de fundación sólo una unidad geotécnica, teniendo en cuenta la falta de información detallada de las unidades geotécnicas y teniendo en cuenta que los análisis realizados son de carácter preliminar pero cumplen con el objeto de visibilizar la problemática de estabilidad en el sector. Los parámetros respectivos se indican en la Tabla 3. Por otra parte, respecto de los materiales que conforman el muro (ripios) y relaves, a partir de las propiedades informadas en la resolución exenta N°1219/2013, se considera los parámetros indicados en la Tabla 3.

Tabla 3: Parámetros Geotécnicos Adoptados para Análisis de Estabilidad

Parámetros	Unidad	Ripios Muro	Relaves Secos	Suelo de Fundación
Ángulo de Fricción	[°]	37	25	30
Cohesión	[kPa]	15	0	100
Densidad	[kN/m ³]	19,5	16	20

F.2.2 Nivel Freático

A partir de los antecedentes recibidos, se observa que el muro se encuentra impermeabilizado en su cara aguas arriba, por lo que no se debiese observar nivel freático al interior del muro. Según esto, se considera el nivel freático en la base del muro para el caso base de análisis.

No obstante lo anterior, y dado que se observa la presencia de un nivel freático superficial al pie del muro. En el capítulo “G. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD NIVEL FREÁTICO” se presenta un análisis de sensibilidad respecto del efecto en la estabilidad de la ubicación del nivel freático.

F.2.3 Coeficiente Sísmico

Para evaluar la estabilidad del muro durante la ocurrencia de un evento sísmico, se emplea el análisis pseudoestático. Este análisis consiste en imponer fuerzas horizontales y verticales al potencial volumen de deslizamiento, que representan las fuerzas sísmicas inerciales. Estas fuerzas, que son proporcionales a la masa del potencial volumen de deslizamiento, se definen a través de coeficientes sísmicos.

Para efectos de evaluar sísmicamente el depósito, se considera conservadoramente un coeficiente sísmico horizontal (k_h) igual a 0,2 y un coeficiente sísmico vertical nulo. Adicionalmente, a modo de sensibilidad, se evalúa la estabilidad para un coeficiente sísmico horizontal (k_h) igual a 0,15.

F.3. Criterios de Aceptabilidad

Para el diseño de este tipo obras, se suele considerar los siguientes factores de seguridad (FS) mínimos, como criterios de aceptabilidad:

- Condición Drenada. Caso estático. $FS \geq 1.5$
- Condición Drenada. Caso sísmico. $FS \geq 1.2$

Los factores de seguridad mínimos recomendados se asocian a superficies de deslizamiento globales, que afectan la seguridad y/o la continuidad de las operaciones.

Para efectos de este estudio, se comprobará el factor de seguridad observado para las instalaciones actualmente construidas.

F.4. Geometrías Analizadas

Para los análisis se ha considerado la geometría de los perfiles 1, 2 y 3 obtenidos mediante levantamiento topográfico (ver Figura 7 a Figura 9), cuya ubicación se muestra en la Figura 4. Estos perfiles se ubican en los sectores contiguos a la grieta (perfiles 1 y 3) y en el sector de la grieta (perfil 2).

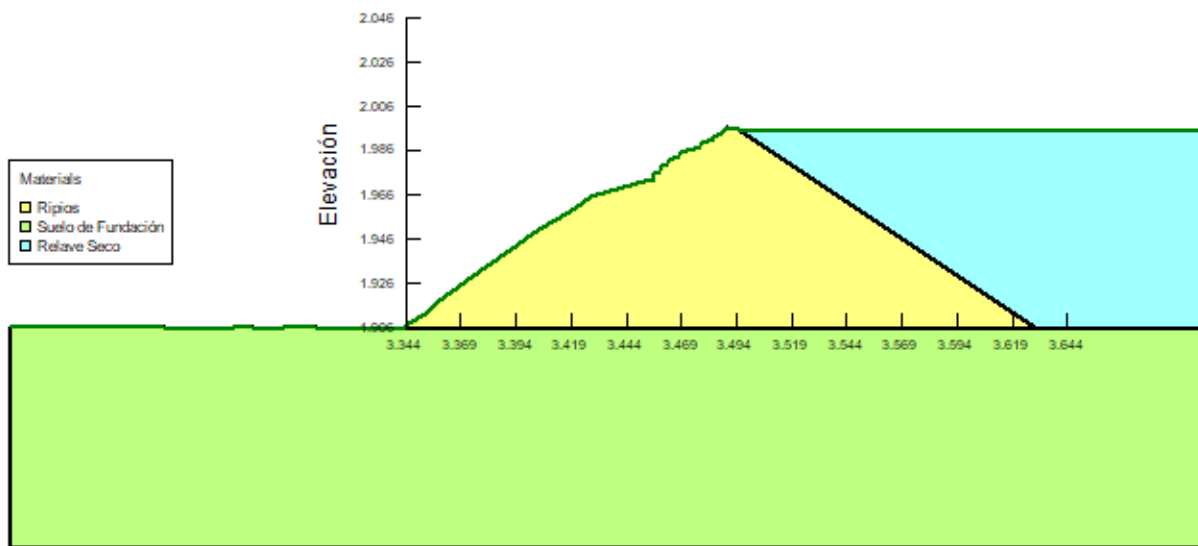
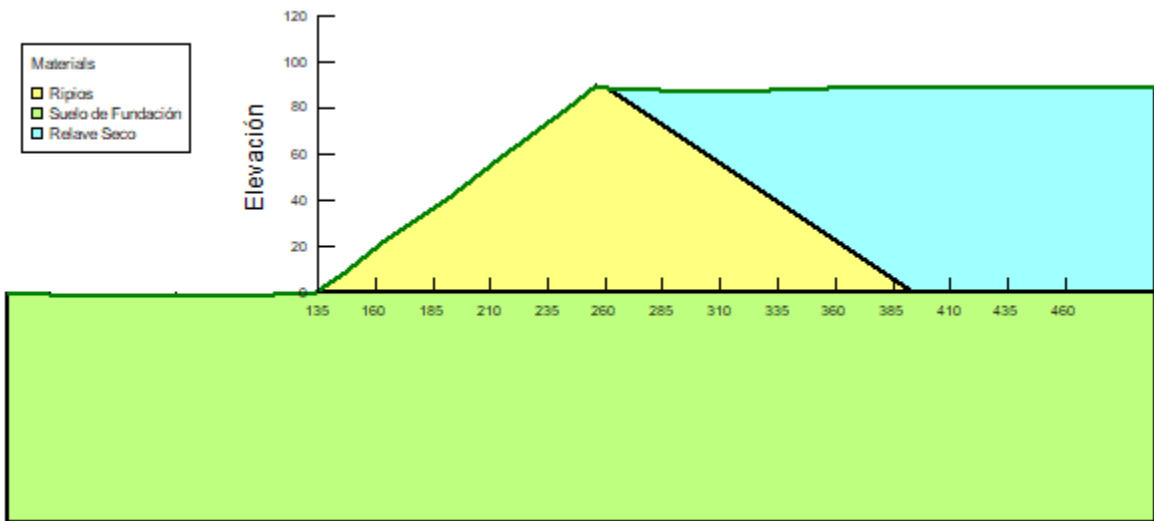
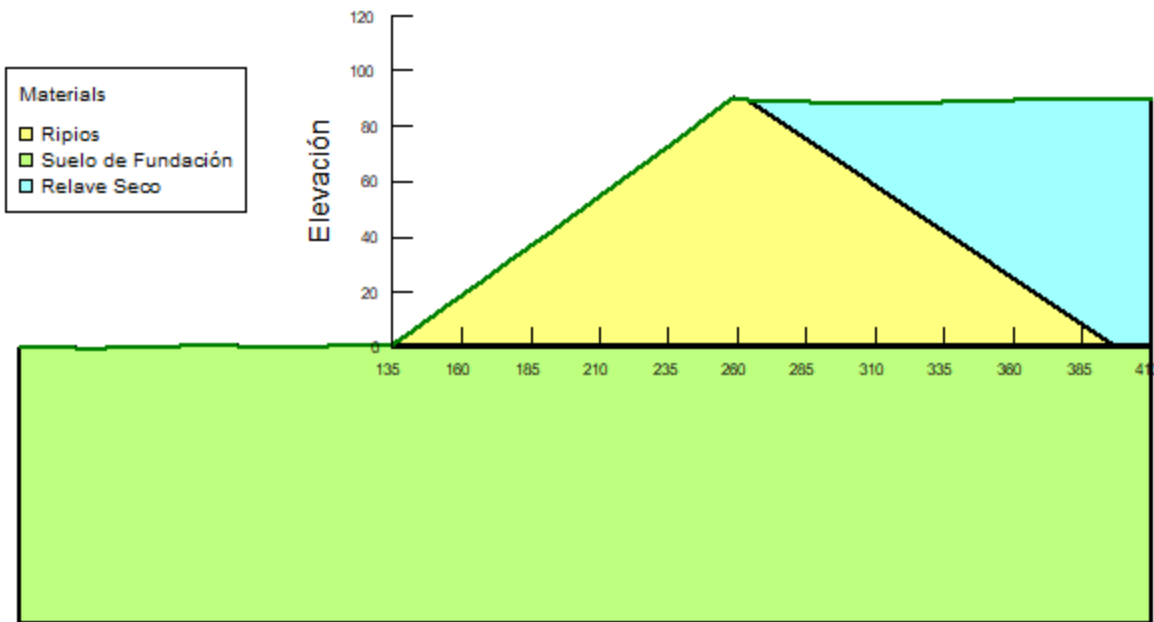


Figura 7: Geometría Perfil 1

**Figura 8: Geometría Perfil 2****Figura 9: Geometría Perfil 3**

F.5. Resultados Análisis de Estabilidad

Los resultados de los análisis de estabilidad ejecutados mediante métodos de equilibrio límite se

presentan en la Tabla 4.

Tabla 4: Resumen de Resultados Análisis de Estabilidad

Sector	Caso	Tipo de Falla	Factor de Seguridad
Perfil 1	Estático	Global	1,45
	Seudoestático ($k_h=0,15$ g)		1,08
	Seudoestático ($k_h=0,20$ g)		0,98
Perfil 2	Estático	Global	1,25
	Seudoestático ($k_h=0,15$ g)		0,95
	Seudoestático ($k_h=0,20$ g)		0,87
Perfil 3	Estático	Global	1,28
	Seudoestático ($k_h=0,15$ g)		0,97
	Seudoestático ($k_h=0,20$ g)		0,89

G. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD NIVEL FREÁTICO

En vista de las observaciones realizadas en calicatas ubicadas al pie del muro, donde se observa un nivel freático somero (Figura 10), se realiza un análisis de sensibilidad respecto del nivel freático al interior del muro, que para el caso base (presentado en capítulo F. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD) considera se ubica en la base del muro, sin considerarse potenciales filtraciones hacia el muro y un funcionamiento perfecto de la impermeabilización aguas arriba de este.

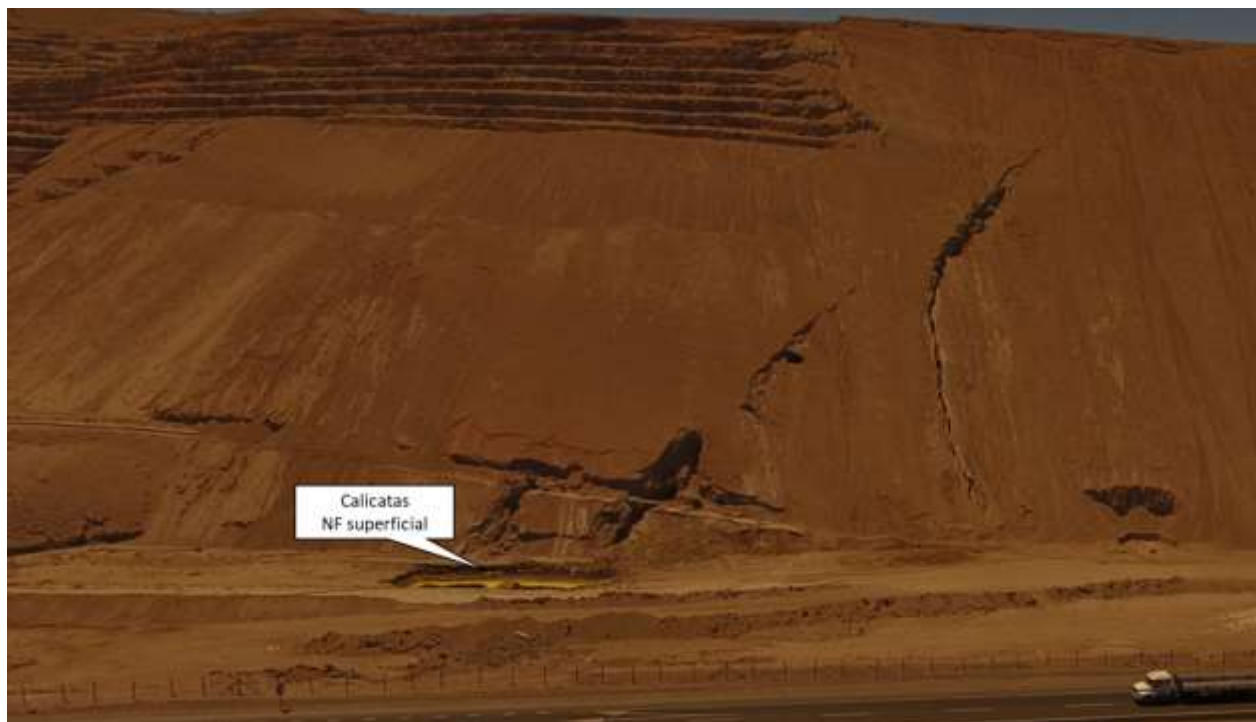


Figura 10: Vista Calicatas con Nivel Freático Superficial. Muro Mantos Blancos en Sector Grieta

Específicamente, se realizan análisis de estabilidad en el perfil 2 (sector grieta), considerando que el nivel freático se ubica a 1, 5 y 10 metros por sobre el nivel de terreno natural, con el fin de evaluar el impacto que tendría en la estabilidad un eventual nivel freático al interior del muro.

Los resultados del análisis de sensibilidad respecto de la ubicación del nivel freático se muestran en

la Tabla 5. No obstante lo anterior, cabe mencionar que este análisis no considera la evaluación de un eventual comportamiento no drenado de los ripios saturados.

Tabla 5: Resumen de Resultados Análisis de Sensibilidad Nivel Freático

Sector	Nivel Freático [m]	Caso	Tipo de Falla	Factor de Seguridad
Perfil 2	1,0	Estático	Global	1,25
		Seudoestático ($k_h=0,15 g$)		0,95
		Seudoestático ($k_h=0,20 g$)		0,87
Perfil 2	5,0	Estático	Global	1,24
		Seudoestático ($k_h=0,15 g$)		0,94
		Seudoestático ($k_h=0,20 g$)		0,86
Perfil 3	10,0	Estático	Global	1,21
		Seudoestático ($k_h=0,15 g$)		0,91
		Seudoestático ($k_h=0,20 g$)		0,83

H. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en los análisis de estabilidad, de las visitas a terreno, así como de los análisis de sensibilidad realizados, se puede comentar los siguientes puntos:

Considerando los taludes actuales del muro, para los supuestos adoptados y descritos en el capítulo “F.2. Hipótesis de Modelación Adoptadas”, el muro se encontraría en una condición estable para el caso estático ($FS = 1,25$ para el caso del perfil 2 ubicado en el sector de la grieta), sin embargo, no cumpliría con los factores de seguridad usualmente adoptados para este tipo de obras (FS estático = 1,5). En efecto el factor de seguridad estático es un 17% menor respecto del factor de seguridad usualmente adoptado para este tipo de obras.

Lo mismo ocurre al evaluar la condición pseudoestática, donde para una sollicitación sísmica (coeficiente sísmico, k_h) igual a 0,15 se obtiene factores de seguridad menores a la unidad para los perfiles 1 y 2, evidenciando una condición de riesgo de inestabilidad del muro ante un evento sísmico, la cual se acentúa para el caso en que el sismo sea representativo de uno con coeficientes sísmico horizontal igual a 0,2, caso en que los perfiles 1, 2 y 3 analizados, presentarían factores de seguridad inferior a la unidad ($FS = 0,87$ para el caso más desfavorable).

Respecto del nivel freático, se observa evidencia en terreno de la presencia de napa a un nivel superficial en el pie del muro del sector que presenta agrietamiento, lo cual puede implicar que el sistema de impermeabilización aguas arriba del muro no habría funcionado adecuadamente, y se estaría filtrando solución al interior del mismo, las cuales se pueden traducir en un nivel freático al interior del muro, o tubificaciones (piping), factores que tienen el potencial de afectar la estabilidad del muro.

Específicamente, al evaluar la estabilidad para distintas alturas de nivel freático al interior del muro, se observa un descenso en los factores de seguridad de las potenciales superficies de falla. Lo anterior, sin considerar eventual degradación de las propiedades resistentes de los materiales, o el

comportamiento no drenado de los ripios antes una condición sísmica, factores que se superponen a una condición de estabilidad que presenta factores de seguridad por debajo de los usualmente adoptados para este tipo de obras.

Cabe destacar que los análisis realizados se basan en los antecedentes aportados por el mandante, los cuales se refieren a prospecciones realizadas por Autopistas Antofagasta en el suelo de fundación, y a la declaración de los parámetros adoptados para los análisis de estabilidad del muro en el sector de la cubeta 2 (para la condición de diseño), así como a levantamientos topográficos realizados por Geodrilling Ltda. para obtener la geometría externa del muro.

Dado que no se cuenta con antecedentes geotécnicos de los materiales en el sector de la grieta, ni tampoco con la configuración geométrica al interior del muro, los análisis realizados son de carácter preliminar, sin embargo, permiten evidenciar la condición riesgosa del muro. Según esto, es recomendable que se tomen las siguientes acciones por quien corresponda:

- Monitoreo topográfico del muro (énfasis en el sector de la grieta), con el fin de detectar desplazamientos o asentamientos del muro.
- Monitoreo del nivel freático al interior del muro, tanto en el sector de la grieta como en los sectores aledaños.
- Monitoreo químico de las aguas observadas al pie del muro. Presencia de relaves mostraría conexión con el depósito, el cual podría significar la presencia de nivel freático al interior del muro, o la ocurrencia del fenómeno de piping. Destacar que, si existiese una migración de finos desde el depósito de relaves al muro, podría generarse un comportamiento no drenado del muro si además se tiene un nivel freático al interior del mismo.
- Caracterización geotécnica de los materiales que conforman el muro, tanto en condiciones drenadas como no drenadas.
- Adoptar medidas mitigatorias en el sector del agrietamiento, como es la construcción de un relleno granular grueso al pie del muro, cuyas dimensiones deberán ser tales que permitan que los factores de seguridad del depósito sean adecuados para este tipo de obras.

Cabe destacar que los resultados y conclusiones presentadas en este informe son válidas solo para los supuestos y consideraciones aquí descritas. En el caso de variaciones de estas, los análisis, resultados y conclusiones deberán ser revisados y actualizados según corresponda.

Cualquier situación no prevista en el presente informe o cualquier modificación que se desee realizar a su contenido, deberá ser consultada y aprobada por quien suscribe.

Quedo atento a vuestros comentarios,

Atte.



Sandro Aguilera A.

Ing. Civil, MBA. U. de Chile

M. Ing. U. Católica de Chile

Perforaciones y servicios Geodrilling Ltda

Representante legal

saquilerast@gmail.com;

sandro.aguilera@geodrilling.cl

+569992362729

www.geodrillingchile.cl

SANTIAGO, diciembre de 2021.

ANEXO 1 – RESULTADOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

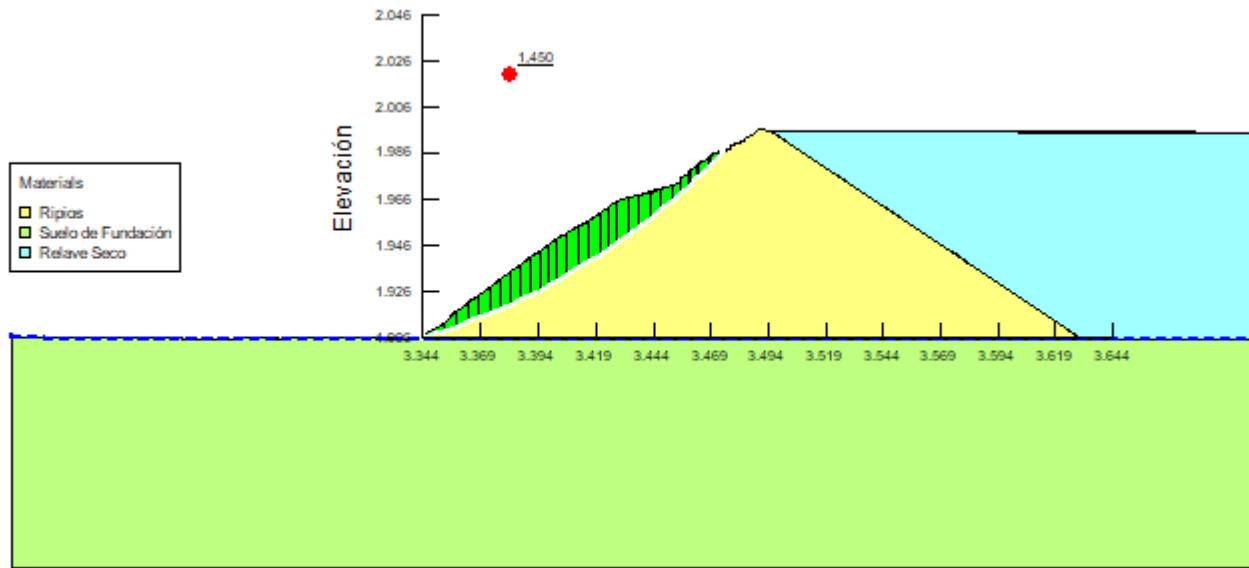


Figura A - 1: Perfil 1. Análisis de Estabilidad Caso Estático. FS = 1,45

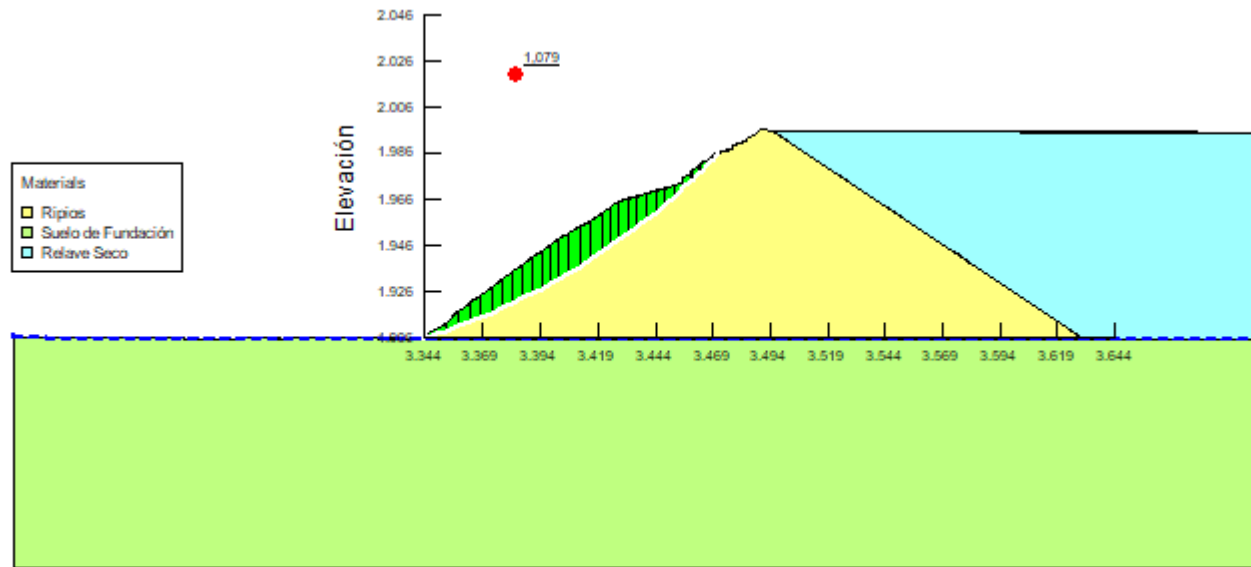


Figura A - 2: Perfil 1. Análisis de Estabilidad Caso Seudoestático, $k_h=0,15g$. FS = 1,08

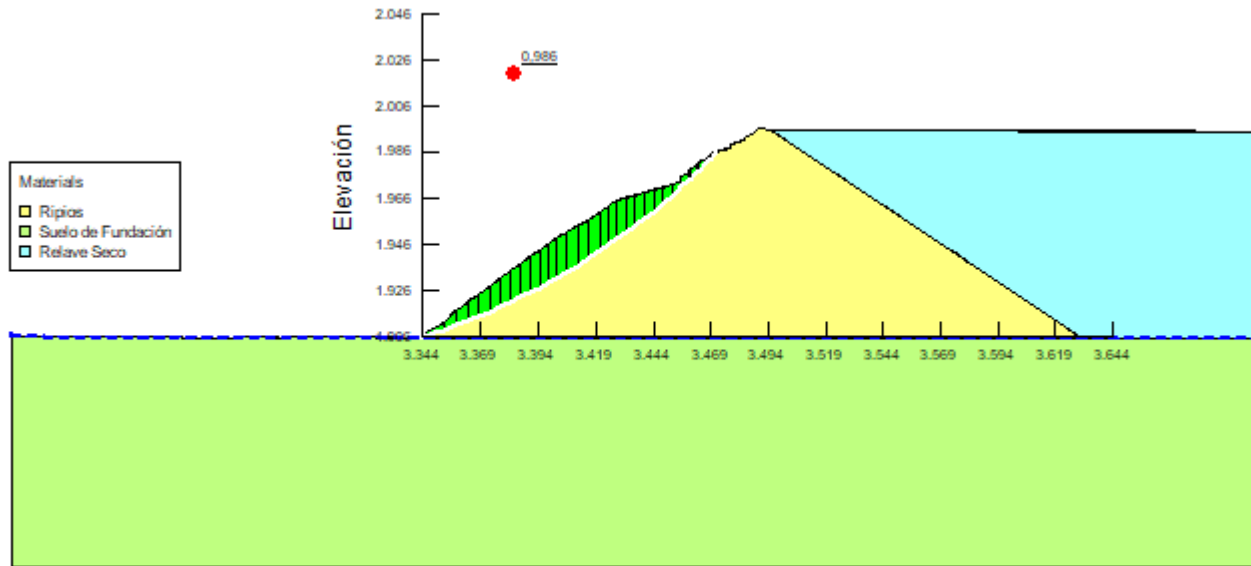


Figura A - 3: Perfil 1. Análisis de Estabilidad Caso Seudoestático, $k_h=0,2g$. FS = 0,98

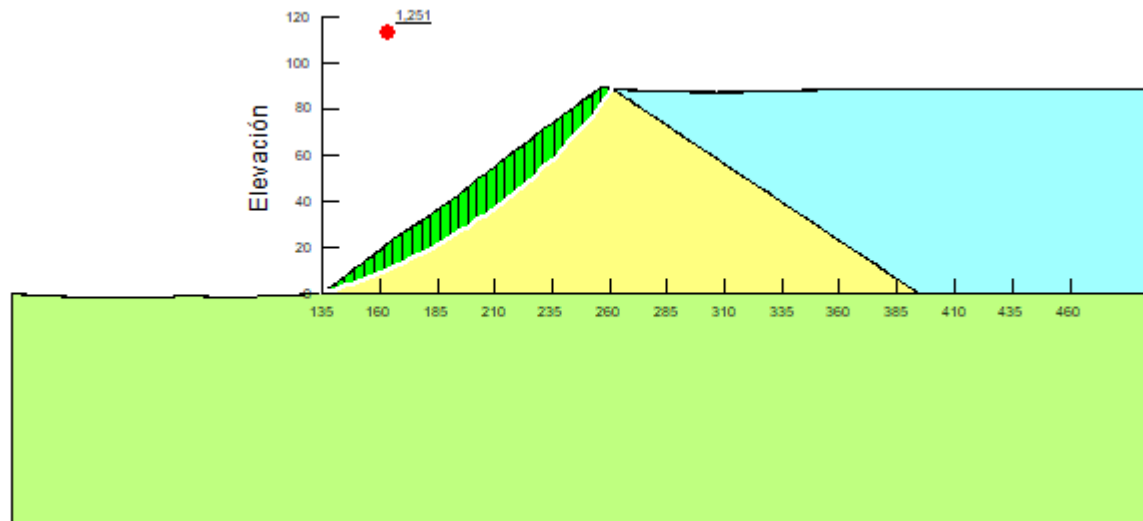


Figura A - 4: Perfil 2. Análisis de Estabilidad Caso Estático. FS = 1,25

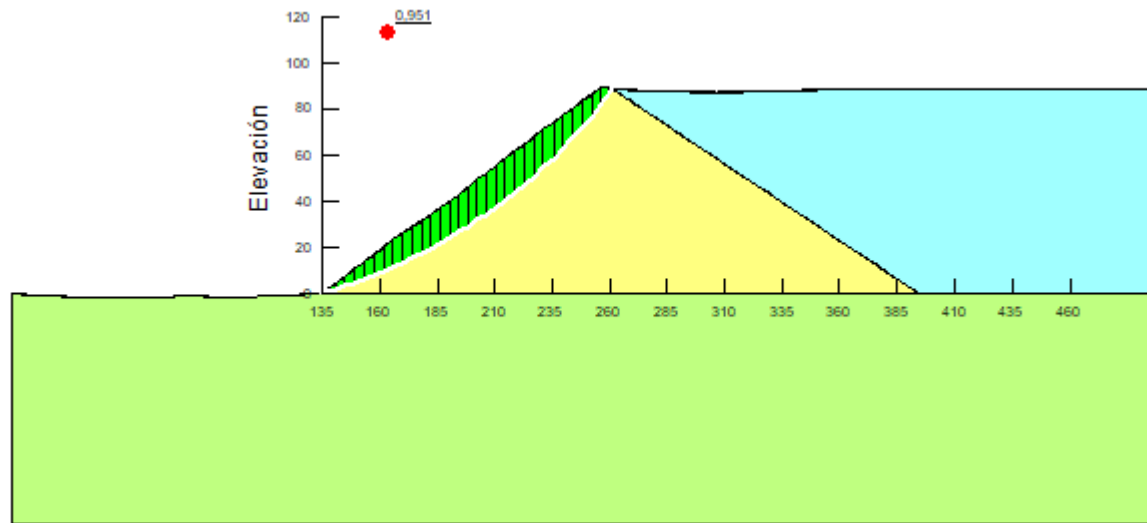


Figura A - 5: Perfil 2. Análisis de Estabilidad Caso Seudoestático, $k_h=0,15g$. FS = 0,95

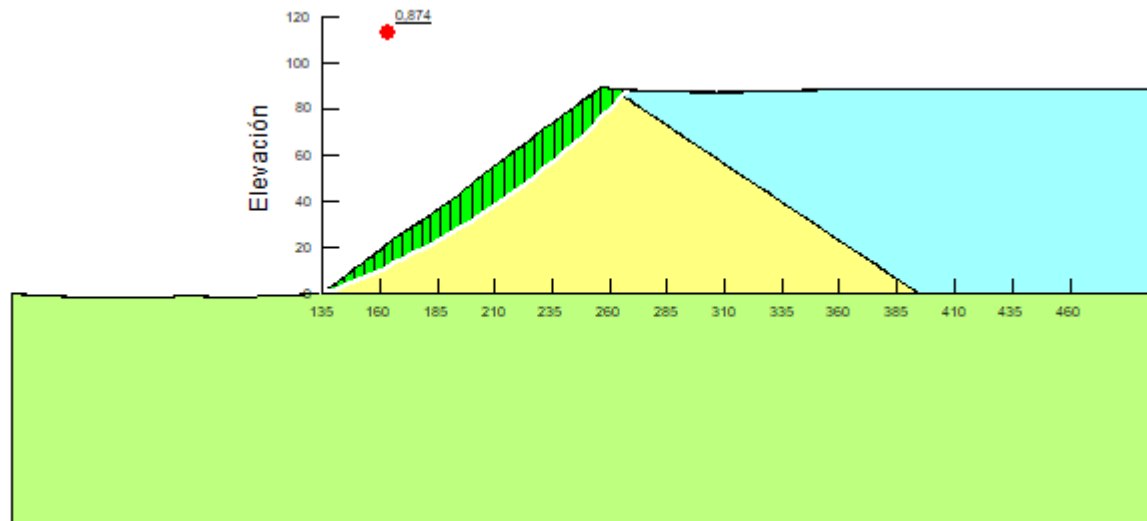


Figura A - 6: Perfil 2. Análisis de Estabilidad Caso Seudoestático, $k_h=0,2g$. FS = 0,87

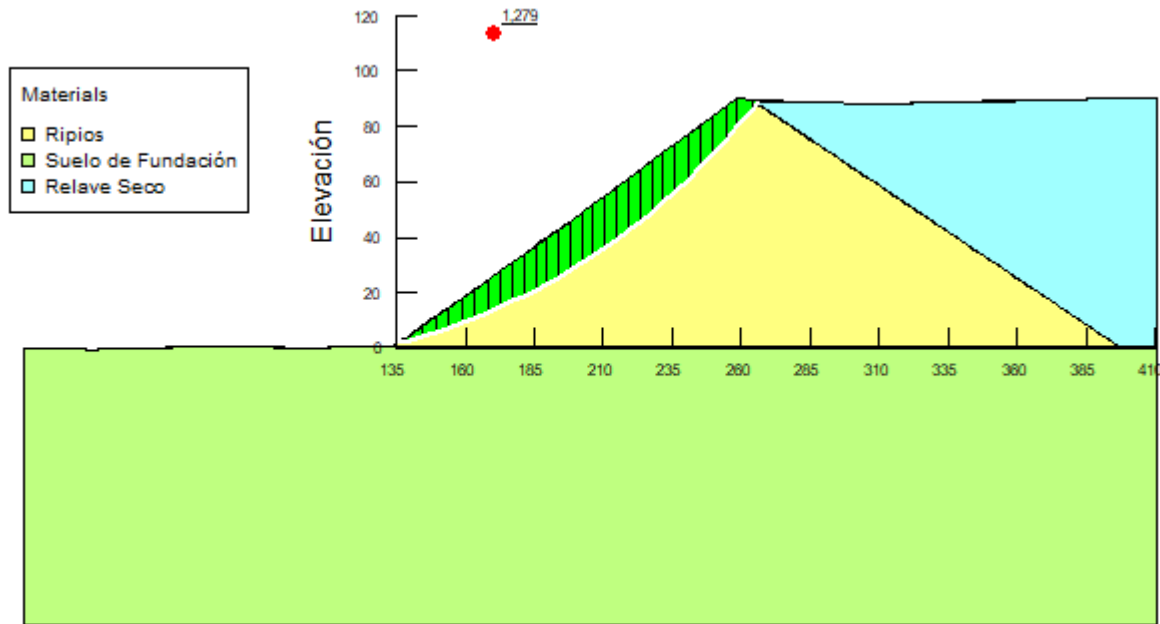


Figura A - 7: Perfil 3. Análisis de Estabilidad Caso Estático. FS = 1,28

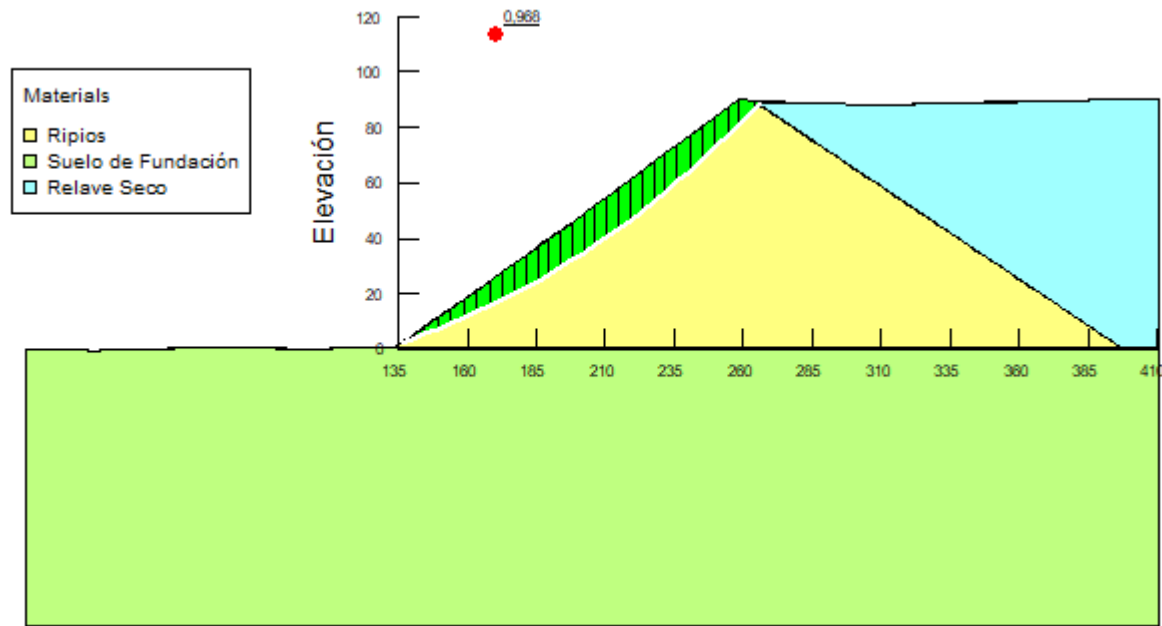


Figura A - 8: Perfil 3. Análisis de Estabilidad Caso Seudoestático, $k_h=0,15g$. FS = 0,97

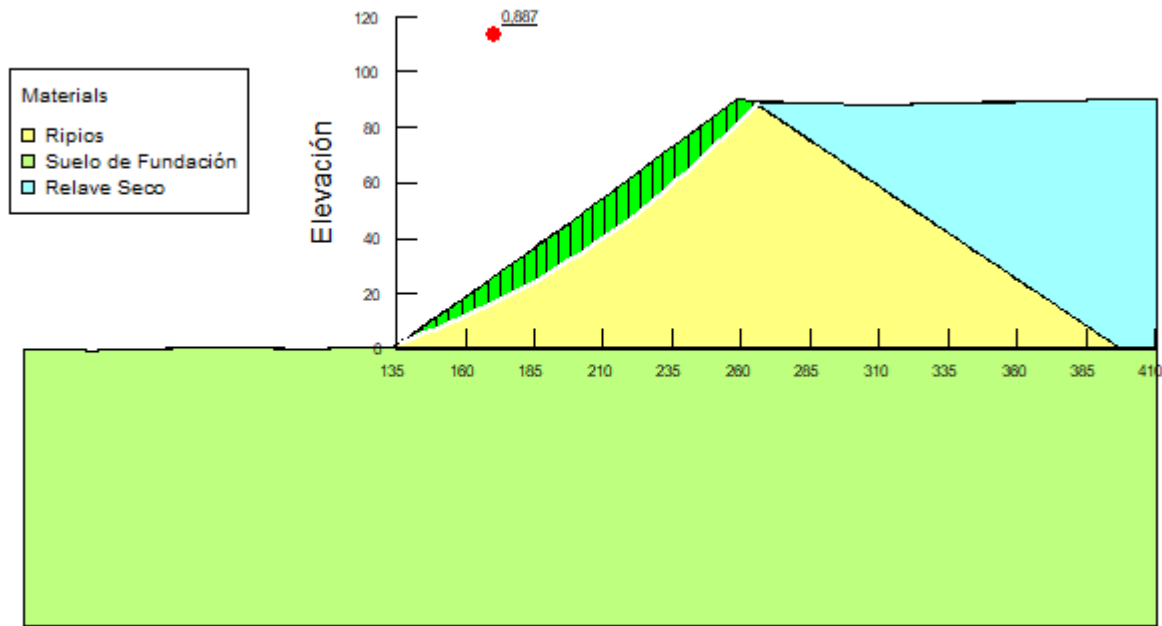


Figura A - 9: Perfil 3. Análisis de Estabilidad Caso Seudoestático, $k_h=0,2g$. FS = 0,98

ANEXO 2 – RESOLUCIÓN EXENTA 1219/2013



E-AAN202-1013-0021

191

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

APRUEBA "PROYECTO MODIFICACIONES DEPÓSITO DE RELAVES MANTOS BLANCOS", PERTENECIENTE A LA EMPRESA ANGLO AMERICAN NORTE S.A.-DIVISIÓN MANTOS BLANCOS, UBICADO EN LA COMUNA Y PROVINCIA DE ANTOFAGASTA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA.

ANTOFAGASTA 04 DE OCTUBRE 2013

RESOLUCIÓN EXENTA N°1219/2013

VISTO:

1. Las facultades que me otorga el Decreto Ley N° 3.525 de 1980, el Decreto Supremo N° 31 del 26 de junio de 2012; lo dispuesto en el Decreto Supremo N° 132 de 2002 "Reglamento de Seguridad Minera" y en el Decreto Supremo N° 248 "Reglamento para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de los Depósitos de Relaves", del Ministerio de Minería, la Resolución Exenta N° 3304 del 20 de Septiembre de 2012, del Sernageomin; la Ley N° 10.336, el dictamen N° 04881 de 1982 y la Resolución N° 1600 de 2008 de la Contraloría General de la República.
2. Las facultades que conceden a este Servicio Nacional los Artículos 7° y 14° del D.S. N°248 y el Artículo 23 del D.S. 132, ambos del Ministerio de Minería.

CONSIDERANDO:

1. La carta S-AAN207-0113-005, de fecha 12/02/2013 y la carta S-AA202-0913-0025, presentadas por el Sr. Marcelo Maccioni Quezada, Representante Legal Anglo American Norte S.A.-División Mantos Blancos, adjuntas al "Proyecto Modificaciones Depósito de Relaves Mantos Blancos" y el "Informe Técnico" que contiene las respuestas a las observaciones hechas por el Servicio a través del Oficio Ordinario N°4120 de la Dirección Regional Sernageomin, e "Informe Descriptivo Zanja y Pretel de Contención" como medidas de mitigación asociadas a las modificaciones introducidas al Depósito de Relaves Mantos Blancos, respectivamente.
2. Que el actual Depósito de Relaves, que comprende dos cubetas de finos (lamas) y un tercer sector para disposición del material grueso (arenas), comenzó a operar en el año 1981, con la puesta en marcha de la Planta de Sulfuros. El diseño y operación del depósito fue incluido en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto Santa Bárbara, aprobado ambientalmente por CONAMA - Región de Antofagasta, mediante la Resolución Exenta N°165 de fecha 26 de Abril de 1995 y Autorizado y Regularizado por SERNAGEOMIN, mediante la Resolución N°2991 del Proyecto: "Planta de Sulfuro y Disposición Actual de los Depósitos de Relaves de Minera Mantos Blancos S.A" de fecha 30 de Diciembre de 2002.
3. La Resolución N° 2991 no precisa la cantidad de relaves autorizado a disponer en el depósito. No obstante, en la misma se indican las características del material a tratar y los parámetros operacionales de la planta de tratamiento de sulfuros, en consecuencia y en base a estos parámetros se ha calculado que la cantidad de relaves autorizado a disponer en el actual depósito de relaves hasta el año 2017, corresponde a 138,2 Mton. Actualmente, la cubeta 1 de relaves finos se encuentra fuera de uso desde Octubre de 2010, por haber alcanzado su capacidad máxima, año en el cual comenzó operar la cubeta 2 de relaves finos, manteniéndose la disposición de material grueso en la sección 3 del depósito
4. Que el "Proyecto Modificaciones Depósito de Relaves Mantos Blancos", presentado por el recurrente, fue revisado técnicamente según lo estipulado en el "Reglamento de Seguridad Minera" y cumple con las precauciones necesarias para otorgar estabilidad y seguridad de las instalaciones en su etapa de operación, velando por la protección de los trabajadores.



mencionado anteriormente, informándolo favorablemente.

RESUELVO:

1º.- **APRUEBASE** el proyecto denominado "Proyecto Modificaciones Depósito de Relaves Mantos Blancos", perteneciente a la Empresa Anglo American Norte S.A. - División Mantos Blancos, el cual consta de los siguientes antecedentes:

a) Ubicación

: Ubicación Geográfica.-

- El Depósito de Relaves Mantos Blancos se ubica en la Comuna y Provincia de Antofagasta, Región de Antofagasta.
- En la siguiente tabla se muestran las Coordenadas UTM de los Vértices del Polígono Límite que encierra el área irregular en donde se depositarán todos los relaves del Depósito de Relaves Mantos Blancos, hasta alcanzar el área Ambientalmente aprobada en el EIA "Santa Barbara".

Vértices	Coordenadas UTM	
	Norte (m)	Este (m)
Vértice Va	7.407.723	392.169
Vértice Vb	7.407.920	392.807
Vértice Vc	7.407.989	392.930
Vértice Vd	7.408.339	394.151
Vértice Ve	7.408.440	394.324
Vértice Vf	7.408.040	394.589
Vértice Vg	7.407.444	394.458
Vértice Vh	7.407.359	394.464
Vértice Vi	7.407.330	394.272
Vértice Vj	7.407.229	394.281
Vértice Vk	7.407.207	394.137
Vértice Vl	7.407.087	394.151
Vértice Vm	7.406.993	393.917
Vértice Vn	7.406.943	393.606
Vértice Vo	7.406.817	392.771
Vértice Vp	7.406.820	392.746
Vértice Vq	7.406.774	392.455
Vértice Vr	7.406.740	392.313
Vértice Vs	7.406.709	392.111
Vértice Vt	7.406.677	391.823
Vértice Vv	7.406.792	391.640
Vértice Vw	7.407.142	391.519

b) Características Principales del Proyecto

: El proyecto presenta las siguientes características técnicas de acuerdo con sus propios Proyectos de Diseño.-

- Actualmente, como se indicó en el considerando 3, la cubeta 1 de relaves finos se encuentra fuera de uso desde Octubre de 2010, por haber alcanzado su capacidad máxima, año en el cual comenzó operar la cubeta 2 de relaves finos, manteniéndose la disposición de material grueso en la sección 3 del depósito.
- La cubeta 2 del depósito de finos, está alcanzando el final de su vida útil, por lo cual, Anglo American Norte ha decidido embalsar los relaves finos utilizando la totalidad del área autorizada de acuerdo al plano ingresado en el EIA del proyecto Santa Bárbara y definir el crecimiento del depósito de gruesos para lograr una capacidad que permita almacenar los relaves producidos hasta el año 2017.
- El presente proyecto se refiere a las modificaciones que se deben realizar en la cubeta de finos (lamas) N°2 y en el depósito de gruesos (arenas).
- Las modificaciones consisten en:
 - a) Construir un muro peraltado en todo el perímetro de la cubeta N°2, en dos etapas:
 - La primera, peraltar el muro desde la cota 881 m.s.n.m. actualmente autorizada hasta la cota 887 m.s.n.m.
 - La segunda, continuar peraltando el muro desde la cota 887 m.s.n.m. hasta la cota 893 m.s.n.m. siendo ésta la cota final del muro de la cubeta de finos.
 - b) Ampliación del sector de disposición de material grueso, hasta usar la totalidad del área ambientalmente aprobada en el EIA Santa Bárbara y alcanzando la cota 893 m.s.n.m. en el muro peraltamiento y 915 m.s.n.m. para el apilamiento.
- Adicionalmente las modificaciones propuestas consideran la continuación de la impermeabilización del talud interno con geomembrana en toda la extensión del muro hasta alcanzar el coronamiento de éste, lo que junto a otras medidas evitará, la ocurrencia de infiltraciones que hagan subir el nivel freático en el mismo. En consecuencia, el material de ripio lixiviado se encontrará en un estado seco ante las sollicitaciones tanto estáticas como sísmicas.

c)

Estabilidad de los
Muros de Contención

: Estabilidad de los Muros.-

- El estudio se ha centrado en el análisis de la estabilidad de taludes bajo condiciones estáticas y sísmicas (pseudo-estáticas), aplicando métodos de cálculo habituales y ampliamente aceptados para este tipo de obras (método de equilibrio límite).

- La aplicación de estos métodos se realiza a través de programas de cálculo (Software) especializados que analizan una gran cantidad de superficies potenciales de deslizamiento y determinan los Factores de Seguridad (FS) asociados.
- Para los cálculos desarrollados en el presente proyecto se ha utilizado el programa de cálculo SLOPEW, versión 2007.
- Se han adoptados como perfiles de estudio 7 perfiles ubicados en las zonas más desfavorables desde el punto de vista geométrico del depósito proyectado, considerando como principal aspecto para su elección, la altura, materialidad del pretil de peraltamiento y su zona de apoyo.

Criterios de Aceptabilidad.-

- Se adoptan los siguientes factores de seguridad como criterios de estabilidad, los que se indican en la siguiente tabla:

Criterios de Aceptabilidad	
Análisis	FS
Caso Estático	$FS \geq 1,50$
Caso Sísmico (pseudo-estático)	$FS \geq 1,20$

Parámetros Resistentes.-

- Los parámetros de caracterización geotécnica de los materiales, utilizados en el análisis de estabilidad para las distintas condiciones que se presentan en el depósito de relaves finos, se indican en la siguiente tabla:

Material	Parámetros			Su/σ'_v
	γ (t/m ³)	ϕ°	C (kPa)	
Relaves Gruesos Compactados	19,5	34	10	-
Relaves Gruesos Saturados (Antiguos)	18	33	10	0,59
Relaves Finos Secos (Antiguos)	16	25	-	-
Relaves Finos Saturados	18	25	-	0,25
Ripios Antiguos	19,5	38	20,0	-
Ripios Nuevos	19,0	36	15,0	-
Estéril Mina	17,0	38	0,0	-
Suelo de Fundación	20,0	30	100,0	-

Densidad: γ . Ángulo de fricción interna ϕ°

Cohesión: c Resistencia no drenada S_u/σ'_v

Análisis de Estabilidad del Muro Resistente de la Cubeta 2 de Relaves Finos

- Los resultados obtenidos en el "Análisis de Estabilidad Determinístico", se indican en la siguiente tabla:

Perfil	Tipo de Falla	Factor de Seguridad	
		Estático	Sísmico
1	Global	1,93	1,21
2	Global	2,19	1,49
3	Global	2,03	1,30
4	Global	1,87	1,23
5	Global	2,08	1,30
6	Global	2,01	1,31
7	Global	2,05	1,32

- Los resultados obtenidos en el "Análisis de Estabilidad Probabilístico", se indican en la siguiente tabla:

Perfil	Tipo de Falla	Factor de Seguridad Estático			Factor de Seguridad Sísmico		
		Valor Medio	Desviación Estándar σ	Probabilidad FS < 1 PF(%)	Valor Medio	Desviación Estándar σ	Probabilidad FS < 1 PF(%)
1	Global	1,93	0,062	0,00	1,21	0,038	0,00
2	Global	2,20	0,144	0,00	1,50	0,103	0,00
3	Global	2,03	0,167	0,00	1,30	0,107	0,16
4	Global	1,88	0,127	0,00	1,23	0,083	0,08
5	Global	2,08	0,082	0,00	1,30	0,053	0,00
6	Global	2,02	0,145	0,00	1,31	0,097	0,00
7	Global	2,05	0,155	0,00	1,32	0,100	0,00

Estabilidad de los Muros de Contención (continuación)

Análisis Dinámico.-

- Adicionalmente al estudio y con la finalidad de determinar el nivel de deformación que podría sufrir el muro perimetral en presencia de un sismo de gran envergadura, se realizó el estudio denominado "Análisis de Estabilidad Dinámico Bidimensional para el peralte de la cubeta 2 de Mantos Blancos".
- En dicho informe, se presenta la siguiente tabla que resume los desplazamientos que potencialmente podrían producirse en caso de un sismo, que genere una aceleración máxima igual a 0,5 g con una probabilidad de excedencia de un 10% en 100 años asociado a un período de 949 años.

Sector Peralte	Desplazamientos Horizontales (m)	Desplazamientos Verticales (m)
Talud Aguas Abajo Coronamiento	< 0,75	< -0,01
Talud Aguas Abajo Centro	< 0,70	< -0,20
Talud Aguas Abajo Pie	< 0,20	< -0,05
Cuerpo del Peralte	< 0,60	< -0,02

- De acuerdo a la tabla anterior los desplazamientos horizontales máximos son inferiores a 75 cm. y los desplazamientos verticales máximos son inferiores a 20 cm. En las conclusiones del informe emitidos por los consultores que realizaron el estudio, establecen que: "Estos valores no comprometen la capacidad de contención del peralte considerando 1 m. de revancha", es decir, el análisis establece que el muro es estable aún bajo esta fuerte sollicitación sísmica.

Cálculo de la Distancia de Riesgo Geotécnico.-

Estabilidad Muro de Contención :
(continuación).

- En primer lugar se procedió a determinar la superficie de falla en el peralte que podría generar el potencial escurrimiento del relave. Para este fin se ha operado de la siguiente forma:
- 1º) Determinar una superficie de falla en la parte superior del peraltamiento considerando los parámetros geotécnicos usados en el estudio de estabilidad. Esta determinación se hizo considerando un coeficiente pseudo-estático igual a 0,2 g (Coeficiente pseudo-estático usado para la etapa de cierre y abandono).
 - 2º) Usando la superficie de falla anterior se incremento sucesivamente el coeficiente pseudo-estático hasta lograr un factor de seguridad del tipo 0,80, lo que refleja un fallamiento inminente de esa parte del muro.
 - 3º) Con esta superficie de falla se determinó el volumen de relave que escurrirá en función de la superficie de falla.
- Los resultados del análisis para todas las condiciones estudiadas, se encuentran incluidos en la siguiente tabla:

Condición	Factor de Seguridad
Estática $k_h = 0,0g$	1,91
$k_h = 0,12g$	1,40
$k_h = 0,16g$	1,28
$k_h = 0,20g$	1,18
$k_h = 0,25g$	1,16
$k_h = 0,30g$	0,97
$k_h = 0,35g$	0,89

- En reemplazo del material de construcción considerado originalmente, "arenas de relave", se ha incorporado un cambio en los materiales constituyentes de los muros del peraltamiento de la cubeta 2 de finos en los sectores "Este, Norte y parte del muro Oeste", que pasarán a construirse con ripios antiguos, considerando un método constructivo en capas, controlando su compactación y granulometría a medida que se realice su peraltamiento.
- En la determinación de la distancia de riesgo geotécnico, se aplicó un método empírico iterativo aplicado al perfil A-A' usado para efectuar el análisis en detalle. El método utilizado fue el de los autores: P. C. Lucía, J. M. Duncan, H. B. Seed (1981)
- La distancia estimada de riesgo geotécnico resulta ser de 42 metros. Esta distancia es función estricta de la superficie de falla generada.
- Como medida de mitigación para la contención de los relaves, bajo el caso hipotético que se produjera una falla en el sector del peralte del muro perimetral Sur que confina el depósito de relaves finos cubeta N° 2, se construirá una zanja y un pretil de protección, que permita contener derrames de relave
- En la siguiente tabla se indican las capacidades de contención de la zanja y pretil de protección considerados:

Sector	Volumen (m ³)
Excavación zanja	8.955
Pretil de protección	48.193
Total	57.148

Modificación Depósito de Relaves Gruesos.-

- El depósito de relaves gruesos (arenas) se encuentra al Oriente de las cubetas de finos (lamas) y los relaves son transportados mediante una correa overland a una humedad, en peso húmedo, del 20% (del queque filtrado) para posteriormente depositarse mediante un stacker y dos correas móviles (colocadas una a continuación de la otra para alcanzar mayor "brazo" de depositación) en el depósito de gruesos.

- Con las instalaciones actuales de la correa se depositó todo el relave posible de acopiar para su condición, por lo tanto, actualmente se deposita el relave grueso con camiones hasta aproximadamente Octubre de 2013, fecha en que se estima que estará disponible una nueva correa de 265 m de longitud aproximada, la que permitirá seguir depositando con correas desde Noviembre de 2013 hasta Junio de 2015.
- Luego es necesario peraltar la correa hasta la cota 893 m.s.n.m. para proseguir llenando a esta elevación hasta completar en el año 2017 toda el área ambientalmente autorizada.
- Para mantener el depósito dentro del área autorizada en el EIA Santa Bárbara, el muro perimetral del depósito de gruesos se construirá hasta la elevación 885 m.s.n.m., lo cual implica un volumen aproximado de 2,91 Mm³. Este muro se construirá con ripio lixiviado en el perímetro del depósito de gruesos que da hacia la carretera 5 Norte, complementando el muro existente con material ROM (estéril) de la mina. como muro hacia el sector Este.
- La capacidad del depósito de acuerdo a esta traza a la cota 893 m.s.n.m. es de 8 Mm³. Si se considera una densidad seca media de estos relaves depositados de 1,65 t/m³, de acuerdo a lo definido en los criterios, se consigue una capacidad de 13,2 Mton, es decir, existe una capacidad que satisface lo requerido hasta el año 2017.

Análisis de Estabilidad Determinístico.-

- Para efectos de la realización de este análisis, se consideró la cota máxima de apilamiento que puede alcanzar el depósito de gruesos (arenas), siendo ésta de 915 m.s.n.m.
- Los perfiles considerados de estudio para el análisis, corresponden a los sectores más desfavorables, desde el punto de vista geométrico del depósito y se denominan: Perfiles 1, 2, 3a, 3b, 4 y 5.

Parámetros de Caracterización Geotécnica.-

Material	$\gamma(t/m^3)$	ϕ°	c(kPa)
Terreno natural	20	30	100
Relaves gruesos	18,5	33	10
Ripios Antiguos	19,5	38	20
Ripios Nuevos	19	36	15
ROM	20	40	0

Perfil	Caso	Superficie deslizamiento Global	Superficie deslizamiento Local Relaves gruesos	Superficie deslizamiento Local Estéril Terraza y Muro de carga	Superficie deslizamiento Local Muro Ripios	Superficie deslizamiento Local Muro de Arenas y Talud Relave Antiguol
1	FS Estático	4,86	4,95	-	-	2,09
	FS Sísmico	2,03	2,06	-	-	1,38
2	FS Estático	3,40	4,86	-	1,92	-
	FS Sísmico	1,77	2,00	-	1,34	-
3a	FS Estático	2,14	5,07	2,14	1,84	1,85
	FS Sísmico	1,34	2,05	1,43	1,29	1,30
3b	FS Estático	1,91	4,81	2,17	1,92	1,72
	FS Sísmico	1,25	1,99	1,44	1,36	1,25
4	FS Estático	3,85	4,80	2,24	2,26	-
	FS Sísmico	1,85	1,99	1,38	1,51	-
5	FS Estático	3,76	4,79	2,17	-	-
	FS Sísmico	1,86	1,98	1,34	-	-

Análisis de Estabilidad Probabilístico.-

- A continuación en la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos del análisis de estabilidad probabilístico para la totalidad de los perfiles estudiados, tanto en condiciones estáticas como sísmicas (Pseudo-estáticas).

Perfil	Tipo de Falla	Valor Medio	Desviación Estándar	Probabilidad FS<1 PF (%)	Valor Medio	Desviación Estándar	Probabilidad FS<1 PF (%)
1	Global	4,87	0,272	0,00	2,03	0,111	0,00
	Local Relave grueso	4,96	0,264	0,00	2,07	0,109	0,00
	Local Muro de Arena	2,09	0,222	0,00	1,38	1,153	0,36
2	Global	3,40	0,161	0,00	1,77	0,085	0,00
	Local Relave Grueso	4,87	0,194	0,00	2,01	0,081	0,00
	Local Muro Ripios	1,92	0,205	0,00	1,35	0,163	1,38
3a	Global	2,14	0,121	0,00	1,35	0,075	0,00
	Local Relave Grueso	5,08	0,185	0,00	2,05	0,075	0,00
	Local Terraza de Carga	2,15	0,213	0,00	1,43	0,149	0,02
	Local Muro Ripios	1,85	0,195	0,00	1,30	0,147	1,52

3b	Global	1,92	0,109	0,00	1,25	0,075	0,00
	Local Relave Grueso	4,80	0,242	0,00	1,99	0,101	0,00
	Local Terraza de Carga	2,17	0,224	0,00	1,44	0,149	0,00
	Local Muro Ripios	1,93	0,220	0,00	1,37	0,165	0,76
4	Global	2,86	0,232	0,00	1,89	0,119	0,00
	Local Relave Grueso	4,81	0,250	0,00	1,99	0,102	0,00
	Local Estéril	2,26	0,390	0,00	1,39	0,240	3,56
	Local Muro Ripios	2,26	0,224	0,00	1,51	0,165	0,00
5	Global	3,80	0,451	0,00	1,88	0,224	0,00
	Local Relave Grueso	4,79	0,246	0,00	1,99	0,101	0,00
	Local Estéril	2,21	0,377	0,00	1,36	0,233	4,44

2º.- La Empresa deberá proceder a ejecutar y a dar total y cabal cumplimiento, en cuanto a los diseños y acciones de todas las obras detalladas en el Proyecto, por considerarse estos documentos complementarios a la presente Resolución.

3º.- La empresa, deberá enviar al Servicio un informe trimestral sobre la operación y mantención del Depósito de Relaves. Además, deberá cumplir con todo lo establecido en el D.S. N° 248, Reglamento para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de los Depósitos de Relaves.

4º.- La empresa deberá aplicar todos los procedimientos y medidas de seguridad, de acuerdo con sus propios Planes de Prevención de Riesgos e Instructivos de Seguridad, Programas de Monitoreo e Inspección, Reglamentos de Operaciones, Acuerdos de Producción Limpia, Compromisos Ambientales, y otras medidas que estime pertinente, para que todas las operaciones se efectúen previniendo los riesgos de accidentes.

- 5º.- Se otorga la aprobación del "Proyecto Modificaciones Depósito de Relaves Mantos Blancos" descrito en la presente Resolución, considerando los aspectos de control de riesgos de accidentes en la ejecución de las obras, sin perjuicio de las obligaciones o compromisos que el titular del Proyecto deba cumplir, en razón de la materia regulada, ante este u otros Organismos o Instituciones del Estado.
- 6º.- **REMÍTASE** copia informativa de la presente Resolución y de sus fundamentos al interesado.

ANÓTESE Y NOTIFIQUESE



CAM/NRM
DISTRIBUCIÓN.-

- Sr. Marcelo Maccioni Quezada.
Gerente General. Anglo American Norte- División Mantos Blancos.
Nicolas Tirado 377 – Antofagasta - Chile.
- Dirección Zonal de Minería Zona Centro.
- Dirección Regional Región de Antofagasta.
- Dirección Zonal de Minería Zona Norte.
- Of. de Partes.

**CNAC COURIER NACIONAL**

Declaro que el contenido de los envíos no contiene ningún tipo de mercancía peligrosa ni prohibida, que conozco la normativa que regula el transporte de éstas, así como las sanciones asociadas a la infracción de la ley y sus reglamentos. Además, declaro conocer las condiciones del servicio referidas a las limitaciones e indemnizaciones por destrucción, avería o despojo que se encuentran publicadas en el sitio web www.correos.cl

Nombre SERVICIO NACI

Origen:**Razón Social:** SERVICIO NACIONAL DE**Código Cliente:** 91983**Guía Electrónica****R.U.T. Cliente:** 61702000-9

07/10/2013 13:43

REMITENTE**Nombre:** SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA SERNAGEOMI**Dirección:** C ANTONIO TORO 956 956**Comuna:** ANTOFAGASTA**País:** CHILE**Cód. Postal:** 1270129**Teléfono:** 222030

Desc. de contenido.

Nº Factura / Boleta

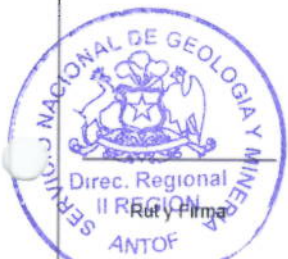
Reembolso. \$0.0 P. Dest. \$0.0 Tarifa. \$0

DESTINATARIO**Nombre:** MARCELO MACRIONI**Dirección:** NICOLAS TIRADO 377**Comuna:** ANTOFAGASTA**País:** CHILE**Cód. Postal:** 1263198**Teléfono:**

10112631987999017144367001

Referencia: RES 1219**Factura Ref.****Observaciones:**

Peso(g) 00	Volumen 00	
Encaminamiento 1-01-1263198-7	Nº Envío 9990 - 17.144.367	Bulto(s) 001-001



Servicio a Clientes
800 26 77 36
www.correos.cl

SDP

7

PLANTA DESTINO
ANTOFAGASTA

SUCURSAL DESTINO**CDP / CUARTEL**

12 - 2

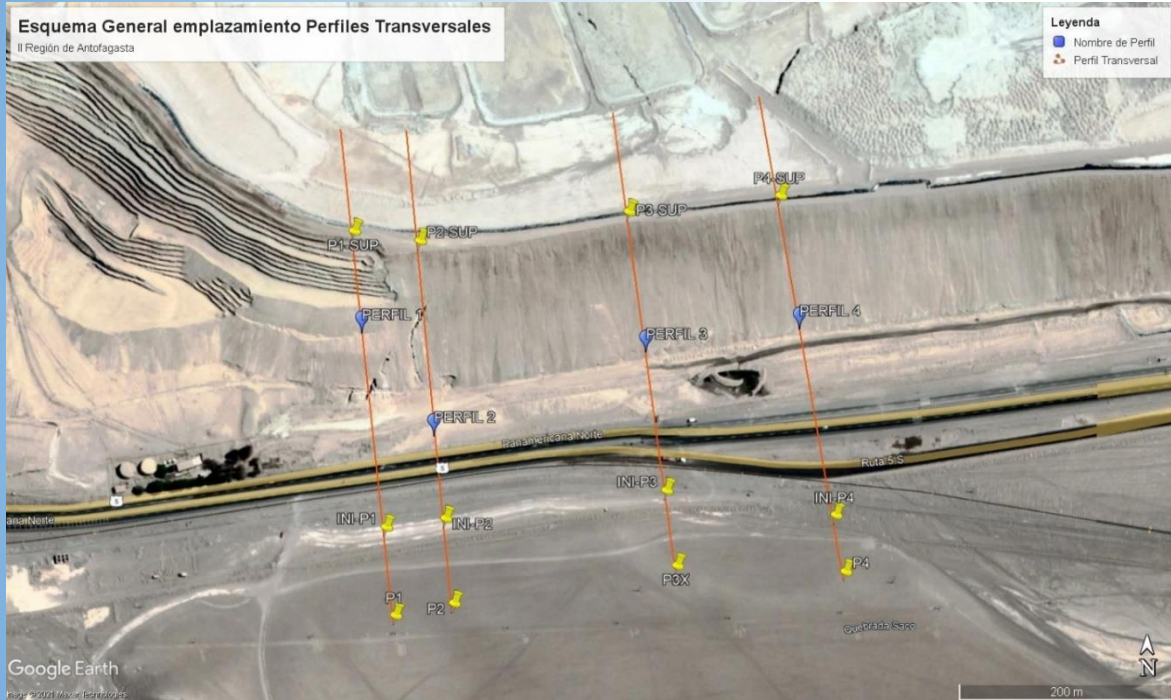
ANALISIS DE ESTABILIDAD 2D MURO CUBETA 1 MANTOS BLANCOS

25 de Enero de 2022

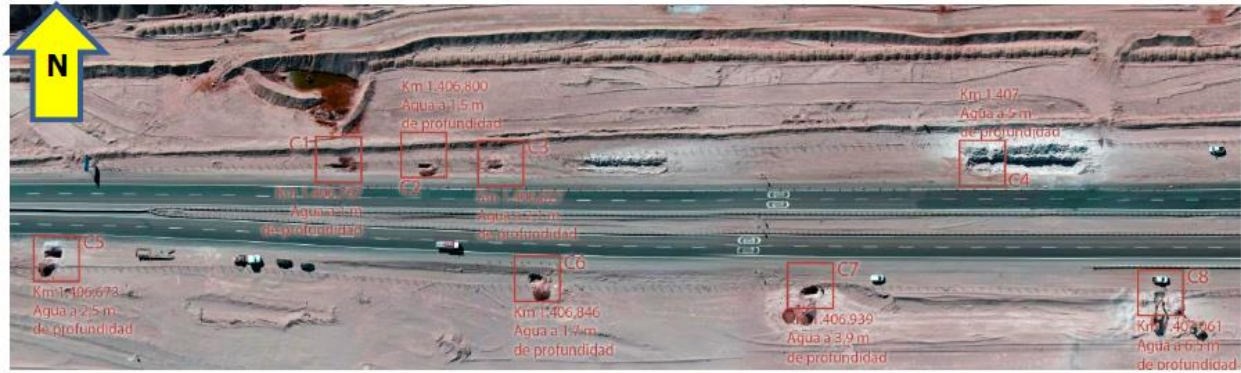
AGENDA

- AREA DE ESTUDIOS Y PROSPECCIONES
- MODELACIÓN ESTRATIGRÁFICA Y PARAMETRIZACIÓN GEOTÉCNICA
- SECCIONES DE ANÁLISIS
- GRÁFICAS DE PRINCIPALES RESULTADOS
- RESUMEN RESULTADOS DE ESTABILIDAD
- CONCLUSIONES
- RECOMENDACIONES (PROPUESTA)
- COMENTARIOS FINALES

AREA DE ESTUDIO - PROSPECCIONES



Emplazamiento de perfiles (topografía)



Calicatas existentes



Sondajes existentes

MODELACIÓN ESTRATIGRÁFICA Y PARÁMETRIZACIÓN GEOTÉCNICA

Unidad I

Arenas limosas sueltas, de baja humedad y espesor de aproximadamente 0,3 m (Chusca).

Unidad II – Suelo Salino

Arenas con presencia de sales, color pardo claro a blanquecino, humedad baja y plasticidad nula. Cuyo espesor aproximado es de 1,0 m.

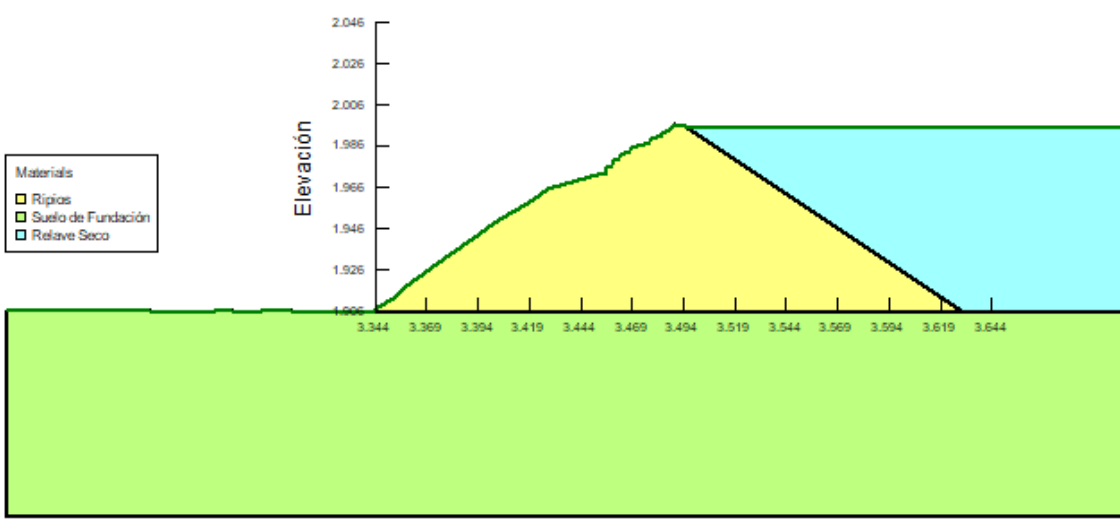
Unidad III – Gravas Arenosas

Gravas arenosas y arenas con presencia de gravas de cantos angulares, color pardo, compacidad alta, humedad baja y plasticidad nula. El espesor de esta unidad sería mayor a 10 m.

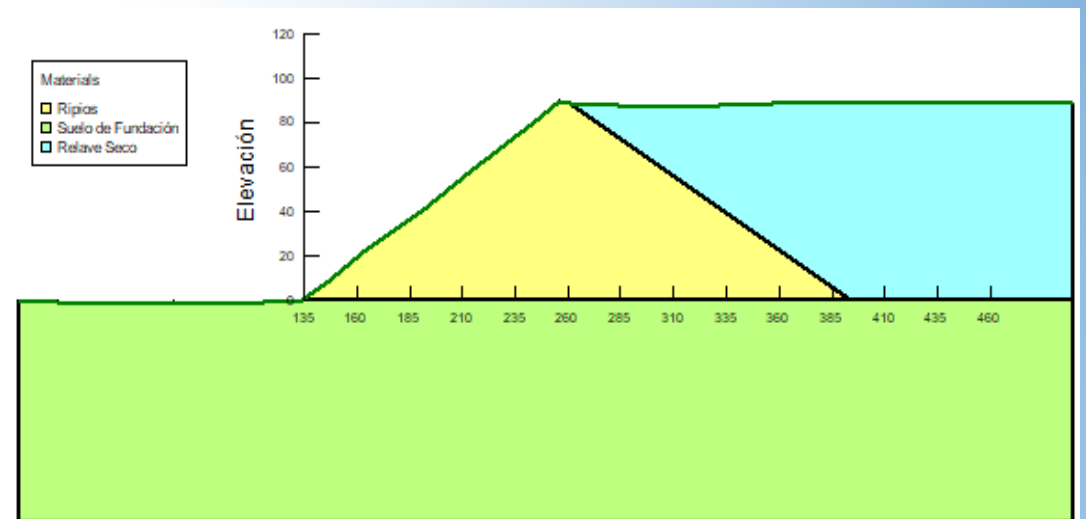
Parámetros Geotécnicos Análisis de Estabilidad

Parámetros	Unidad	Ripios Muro	Relaves Secos	Suelo de Fundación
Ángulo de Fricción	[°]	37	25	30
Cohesión	[kPa]	15	0	100
Densidad	[kN/m ³]	19,5	16	20

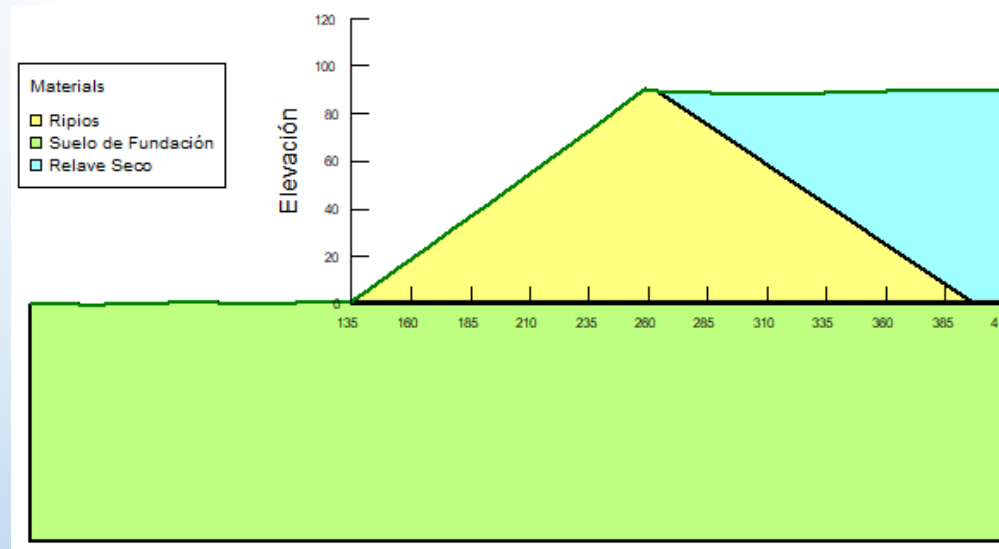
SECCIONES DE ANÁLISIS



Geometría Perfil 1

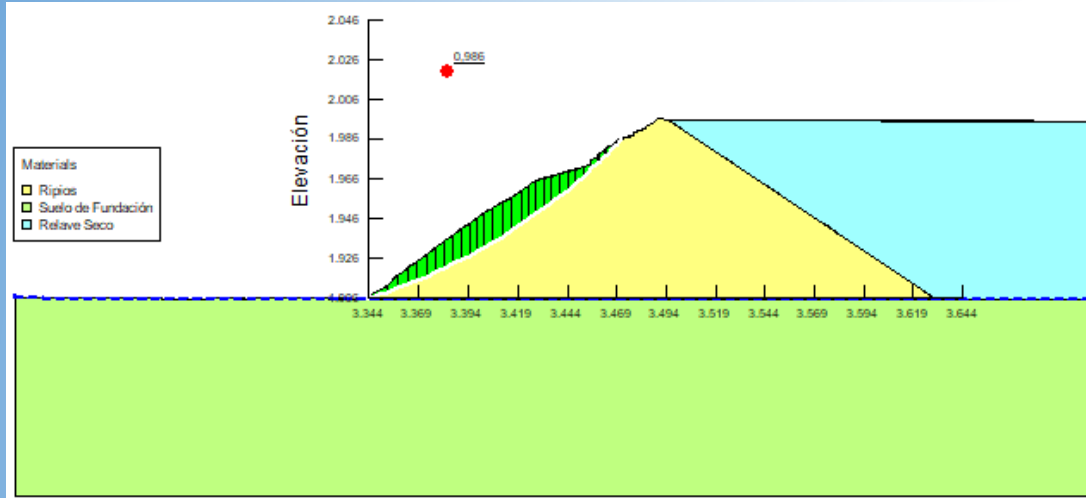


Geometría Perfil 2

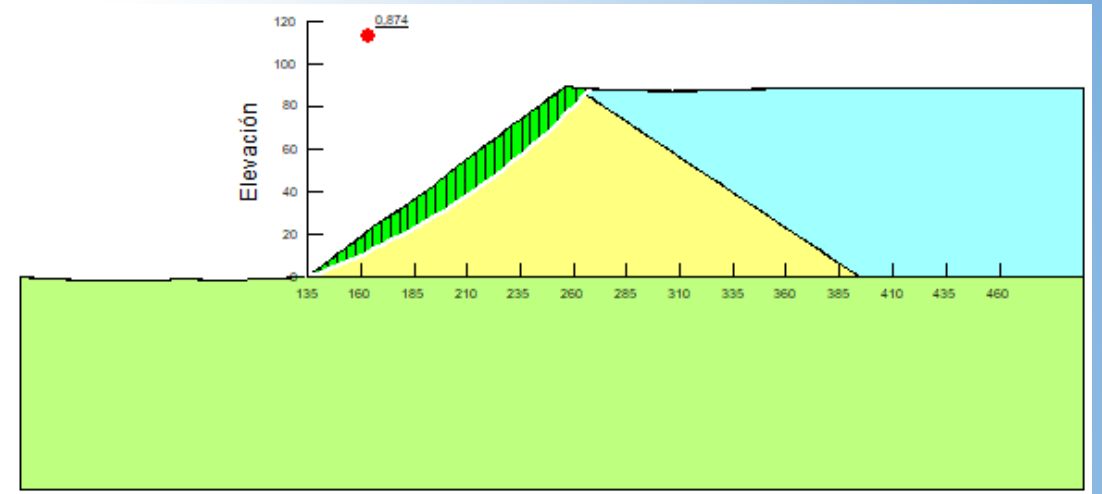


Geometría Perfil 3

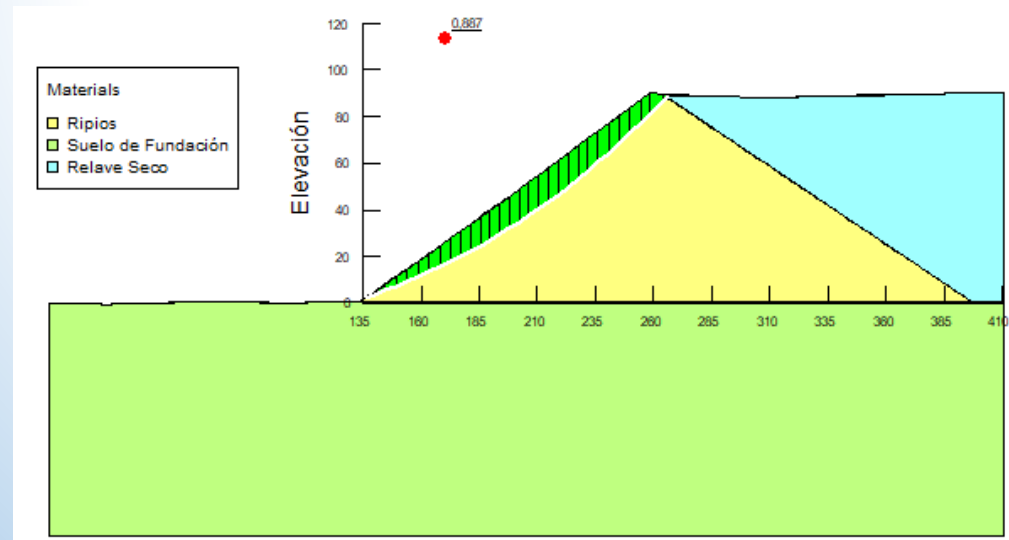
PRINCIPALES RESULTADOS



Perfil 1 Caso Seudoestático, $k_h=0,2g$. FS = 0,98



Perfil 2 Caso Seudoestático, $k_h=0,2g$. FS = 0,87



Perfil 3 Caso Seudoestático, $k_h=0,2g$. FS = 0,98

RESULTADOS ANÁLISIS ESTABILIDAD

Situación Base (caso normal)

Sector	Caso	Tipo de Falla	Factor de Seguridad
Perfil 1	Estático	Global	1,45
	Seudoestático ($k_h=0,15$ g)		1,08
	Seudoestático ($k_h=0,20$ g)		0,98
Perfil 2	Estático	Global	1,25
	Seudoestático ($k_h=0,15$ g)		0,95
	Seudoestático ($k_h=0,20$ g)		0,87
Perfil 3	Estático	Global	1,28
	Seudoestático ($k_h=0,15$ g)		0,97
	Seudoestático ($k_h=0,20$ g)		0,89

Situación Alternativa: con incremento Nivel freático

Sector	Nivel Freático [m]	Caso	Tipo de Falla	Factor de Seguridad
Perfil 2	1,0	Estático	Global	1,25
		Seudoestático ($k_h=0,15$ g)		0,95
		Seudoestático ($k_h=0,20$ g)		0,87
Perfil 2	5,0	Estático	Global	1,24
		Seudoestático ($k_h=0,15$ g)		0,94
		Seudoestático ($k_h=0,20$ g)		0,86
Perfil 2	10,0	Estático	Global	1,21
		Seudoestático ($k_h=0,15$ g)		0,91
		Seudoestático ($k_h=0,20$ g)		0,83

Criterios de Aceptabilidad

- Condición Drenada. Caso estático. $FS \geq 1.5$
- Condición Drenada. Caso sísmico. $FS \geq 1.2$

Conclusiones

- Condiciones de riesgo en casos estáticos y pseudoestáticos.
- Monitoreo topográfico del muro.
- Monitoreo del nivel freático al interior del muro.
- Monitoreo químico de las aguas observadas al pie del muro.
- Caracterización geotécnica.
- Adoptar medidas mitigatorias en el sector del agrietamiento

Recomendaciones (Propuesta)

Propuesta Investigación



Imagen general vuelo dron



Comentarios Finales

- Se requiere monitoreo de línea del ferrocarril, en sector con asentamientos detectados. Este seguimiento, entre otras cosas, permitirá visualizar la tendencia del mismo y según esto verificar soluciones de ingeniería dentro de la traza actual del ferrocarril (pilotes, mejoramientos con geosintéticos u otros).
- Para evaluar cualquier solución de ingeniería en la zona con asentamientos se deberá ejecutar prospecciones adicionales (sondajes, calicatas, geofísica) y ensayos de laboratorio en el área.
- Es factible que los asentamientos en la línea no sean ocasionados por la presencia del muro de Mantos Blancos y sus implicancias, sino más bien por un escurrimiento subterráneo natural en zona baja de quebrada existente.
- Se recomienda explorar la posibilidad de proyectar un by pass para el ferrocarril en el tramo afectado con asentamientos.
- Se recomienda evaluar la posibilidad de drenar el tramo afectado con asentamientos.

































REVISIÓN CRÍTICA DE LA MEDIDA URGENTE Y TRANSITORIA SOLICITADA POR LA SMA A MANTOS BLANCOS CONSISTENTE EN LA REALIZACIÓN DE UN ESTUDIO DE FACTIBILIDAD E IDONEIDAD DE CONSTRUIR UNA BARRERA HIDRÁULICA

1 ALCANCES

La SMA ha ordenado a la empresa minera Mantos Blancos (MB) el desarrollo de medidas urgentes y transitorias debido a la presunción de que infiltraciones provenientes del depósito de relaves de la faena minera han provocado el peraltamiento del nivel freático en el entorno, y con ello se ha comprometido la estabilidad de la infraestructura vial, y se podría contaminar el acuífero receptor de las infiltraciones.

En ámbitos estrictamente hidrogeológicos, las medidas urgentes y transitorias consisten en: i) la realización de un estudio de isotopos estables del agua, y ii) la realización de un estudio de factibilidad e idoneidad de construir una barrera hidráulica. El objetivo de la medida del estudio de isotopos es evaluativo, para determinar el origen de las aguas. Con lo que la medida de barrera hidráulica es la única que buscaría mitigar los impactos en el acuífero. La definición general de ambas medidas se encuentra en la Resolución Ex. SMA nº1538, instrumento que ordena las medidas urgentes y transitorias a Mantos Blancos.

En efecto, según ha sido planteado en el proceso, una medida consistente en una barrera hidráulica es requerida para reducir el nivel freático en el entorno de MB. En efecto, el nivel del agua subterránea se ha visto en permanente peraltamiento desde el inicio de la operación minera, según se plantea en el punto 2 de este informe.

Mantos Blancos dio respuesta a la SMA, según la información contenida en el proceso administrativo en curso. A saber, se trata de una serie de antecedentes sobre la forma en que Mantos Blancos realizó el entendimiento de las medidas, el detalle sobre el desarrollo técnico, y los plazos involucrados.

El objetivo de este informe es realizar una revisión de la medida planteada por MB consistente en la barrera hidráulica, a la luz de los antecedentes que han sido vertidos en el proceso y de los aspectos técnicos y regulatorios que requiere la implementación de una medida de este tipo. Al respecto, el punto 3 de este informe presenta una síntesis de los alcances con que MB ha desarrollado el planteamiento de la medida barrera hidráulica. Finalmente, el punto 4 presenta una revisión crítica de la formulación de la medida presentada por MB, en cuanto a la realización de un estudio de factibilidad e idoneidad de una barrera hidráulica.

2 EFECTO DE LA OPERACIÓN DE MANTOS BLANCOS EN EL NIVEL DE AGUA SUBTERRÁNEA

El efecto de la operación de Mantos Blancos en el nivel de agua subterránea en el entorno puede evaluarse a partir de la información disponible en el proceso. La información de nivel freático entregada por Mantos Blancos en el marco del procedimiento llevado a cabo por la SMA, consiste principalmente en la siguiente:

- i. Informes de determinada recurrencia en que se analizan periodos específicos, principalmente enfocada en dos pozos que se ubican aguas arriba del depósito de relaves (PM7 y PM8), asociados al seguimiento ambiental
- ii. Informes de monitoreo con datos puntuales en determinados pozos de control de nivel (principalmente PM-2, PM-7, PB-1, PB-2, PM-20, PM-6, PM-4, PB-3, PM-9, asociados al seguimiento ambiental)
- iii. Registro gráfico desde del año 2017 en dos pozos en el entorno del depósito de relaves (PB-1 y PB-2), entregados en el marco del procedimiento administrativo de la SMA
- iv. Serie histórica de nivel a resolución anual a partir de 1993 en una serie de pozos, entregados en el marco del procedimiento administrativo de la SMA (Figura 1)

Se aprecian tres grupos de pozos: PM-2, ubicado aguas arriba del depósito de relaves; P-29 y PM-5, ubicados aguas abajo del depósito de relaves; y el resto de los puntos de monitoreo utilizados, que corresponden a 13 puntos ubicados justo enfrente del depósito de relaves, en torno a la ruta 5.

La Figura 2 muestra la evolución del nivel freático en el entorno de la faena minera, en una serie de pozos de observación indicados en la Figura 1, ubicados al frente del depósito de relaves de Mantos Blancos. Según se aprecia, al comparar el año 2015 con el año 1993, se puede inferir la existencia un volumen de agua dispuesto por sobre el nivel del año 1993, de una altura máxima de alrededor de 25 m en torno al punto P-23, pero que en general varía entre los 10 y 20 metros de altitud. El aumento del nivel freático en este sector ha sido sostenido desde 1993, a tasas que varían en general en 0,5 y 1,0 m por año.

A cierta distancia, aguas arriba del depósito de relaves, no se observan cambios significativos en el nivel freático en el pozo PM-2, mientras que aguas abajo se observa un aumento del nivel hasta el año 2000 aproximadamente. Luego se mantienen relativamente constantes los niveles en esa zona.

Ahora bien, los antecedentes recién presentados finalizan el año 2015 a lo más. El comportamiento del nivel a contar de 2017 puede revisarse a partir de los gráficos de

nivel en PB-1 y PB-2 presentados por Mantos Blancos en su respuesta al oficio de la SMA¹. El registro de PB-1 muestra que el aumento del nivel freático ha continuado desde el 2017 a tasas mayores a 1 m/año, las que resultan a la vez superiores a las que se observaron antes del 2015, que eran menores a 1 m/año. El registro del PB-2 muestra el mismo comportamiento, con la diferencia que el nivel de agua en este pozo alcanzó la superficie del terreno a inicios del año 2020.



Figura 1. Pozos de monitoreo

¹ Informe Respuesta Técnica Mantos Cooper Resolución Exente AFTA n°49/2021

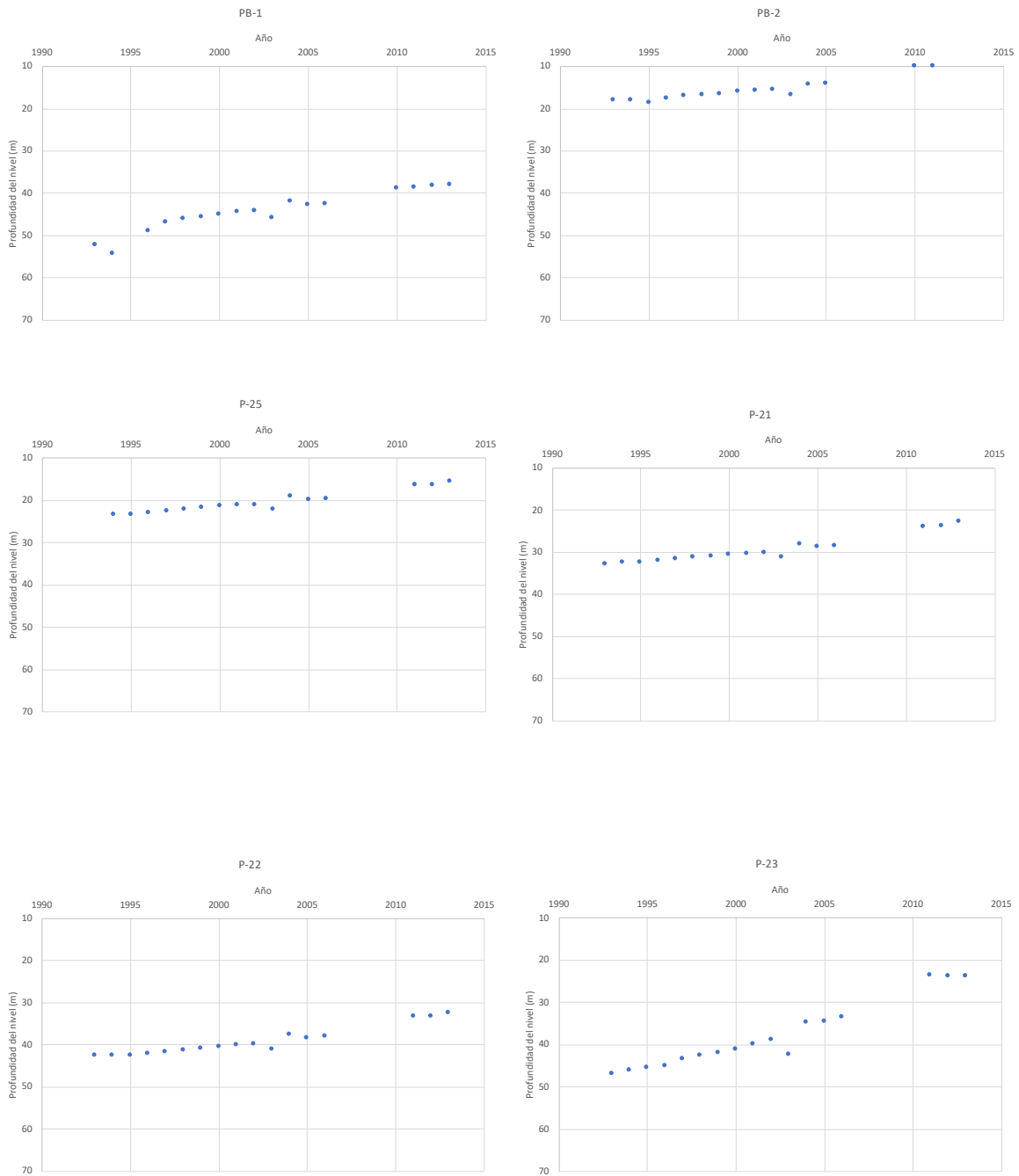


Figura 2. Evolución de nivel freático en puntos de monitoreo al frente del depósito de relaves, en torno a la ruta 5.

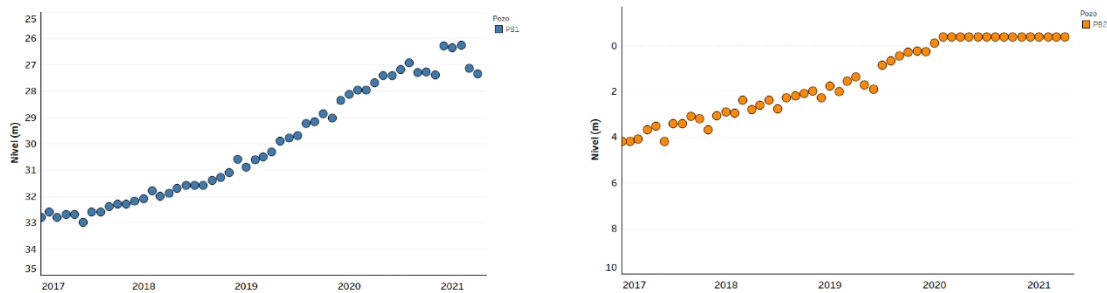


Figura 3. Evolución de nivel freático en puntos de PB-1 y PB-2 a contar del año 2017(Extraída de los informe de MB en respuesta a la solicitud de MUT)

La existencia de un volumen de agua dispuesto sobre el nivel natural puede apreciarse de igual forma en otros antecedentes vertidos por Mantos Blancos en el proceso. En efecto, la Figura 4 muestra un perfil hidrogeológico en el entorno del depósito de relaves en que se aprecia que los niveles se encuentran elevados frente al sector del depósito de relaves, alcanzando incluso niveles por sobre los medidos en pozos ubicados aguas arriba del depósito, hacia el este (nivel en pozo P-21 se encuentra en cota por sobre nivel en pozo PM-9).

En particular, el alzamiento en este sector del basamento hidrogeológico (UH-2), favorece que los niveles hayan alcanzado el nivel de terreno luego de años de ascenso sostenido. A su vez, la Figura 5 muestra una planta de las isolíneas de nivel presentada por Mantos Blancos como resultado de la modelación hidrogeológica en un proceso de evaluación de impactos, considerando las infiltraciones del depósito. Según se observa, las curvas isolíneas denotan un claro alzamiento del nivel freático en torno del depósito de relaves, generando un domo de agua subterránea que se eleva hasta la cota 785 msnm, valor que resulta 20 m incluso superior al nivel estimado para el sector del pozo PM-2 que es el que se ubica más alejado por el este en dirección aguas arriba según el flujo natural de la quebrada. Este domo resulta significativo al punto que se habría invertido el gradiente hidráulico natural este – oeste según se aprecia al comparar los niveles de los pozos P-13 y E-4.

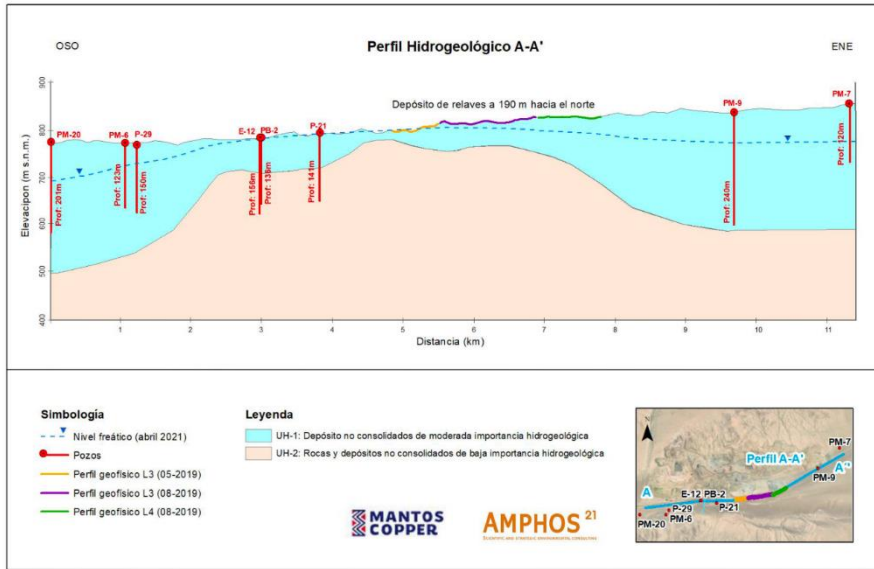


Figura 4. Perfil en el sentido de la ruta 5, en el entorno de la faena minera (Extraída de los informe de MB en respuesta a la solicitud de MUT)

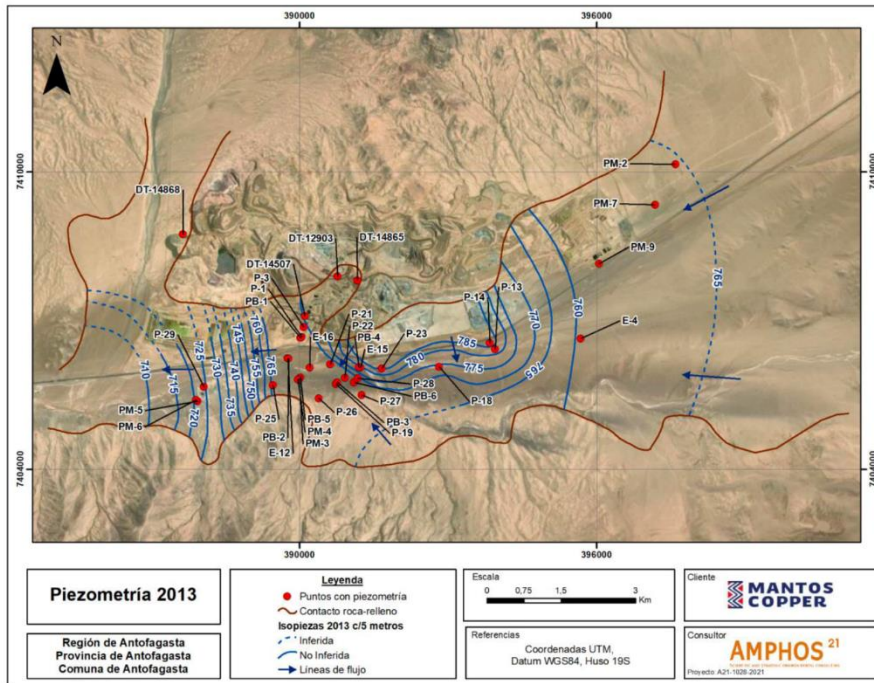


Figura 5. Vista en planta de isótopos de acuerdo con la modelación hidrogeológica (Extraída de los informes de MB en respuesta a la solicitud de MUT)

3 ALCANCES DE LA MEDIDA PROPUESTA DE BARRERA HIDRÁULICA

En respuesta a la Resolución Ex. SMA nº1538, Mantos Blancos entregó una serie de antecedentes con su propuesta sobre la implementación de las medidas, incluyendo aquellas de carácter hidrogeológico. Se trata principalmente de dos estudios, el de isótopos estables del agua y el de factibilidad e idoneidad de una barrera hidráulica. De acuerdo con la respuesta de MB, ambas medidas se entregarían en plazos más extensos que los señalados por la SMA en el oficio que ordena las MUT.

De esta forma, la MUT correspondiente al estudio de isótopos fue entregada en septiembre del 2021, mientras que el informe de idoneidad de una barrera hidráulica fue entregado en diciembre del 2021. A continuación, se revisa la formulación realizada por MB de la medida correspondiente a la barrera hidráulica.

Metodológicamente, la formulación de la medida por parte de MB, a partir de las entregas que ha realizado, puede resumirse en los siguientes términos:

3.1 Construcción de un modelo numérico de flujo de la zona, el que será diseñado a partir de una actualización de la modelación conceptual

MB realizó un modelo numérico para la zona, a partir de la información existente que permite caracterizar el acuífero y las recargas, incluyendo las recargas debido a la infiltración desde sus instalaciones. La herramienta permitiría evaluar proyecciones en el comportamiento de nivel freático, para diferentes escenarios de operación de una barrera hidráulica. El desarrollo de este tipo de herramientas técnicas puede considerarse un estándar para este tipo de problemas.

El enfoque desarrollado por MB considera el desarrollo de un modelo conceptual para la zona en análisis y luego un modelo numérico de proyección. El modelo conceptual desarrolla los estudios básicos requeridos, incluyendo caracterización hidrológica, geológica, geofísica, hidrogeológica, hidroquímica y de balance hídrico, aunque se analiza muy someramente el coeficiente de almacenamiento de las unidades hidrogeológicas, parámetro crítico para la estimación de los flujos de filtraciones desde los relaves.

El desarrollo de un modelo conceptual de esta naturaleza involucra una serie de consideraciones interpretativas sobre los datos colectados. En este caso, los supuestos considerados parecen ponderar de forma adecuada los datos disponibles. Como parte del análisis presentado, se establece un balance hídrico para el período histórico el cual determina un rango potencial para la recarga por infiltraciones desde el sector de los depósitos de relaves para el período activo, entre 1.4 l/s y 34 l/s. El valor estimado para

la condición actual (sin descarga de relaves) se estima del orden de 4 l/s. A estas estimaciones, el propio informe de MB le asigna un alto grado de incertidumbre.

Respecto al modelo numérico, éste fue desarrollado sobre la base del modelo conceptual, utilizando el código de modelación MODFLOW-USG, el cual es un estándar utilizado para este tipo de análisis. Al igual que en el caso del modelo conceptual, en términos generales, la construcción, calibración y simulación de escenarios se desarrolla sobre supuestos razonables y concordantes con el modelo conceptual, sin embargo, se han identificado algunos aspectos que podrían ser revisados, los cuales se resumen a continuación:

- i. Se identificaron algunas inconsistencias entre la zonificación de permeabilidades y la zonificación de coeficientes de almacenamiento. Por ejemplo, existe un sector al sur de los rellenos para el que se ajusta una permeabilidad muy alta de 98 m/d (zona 6 y zona 22) y a la vez, se ajusta un coeficiente de almacenamiento drenable S_y en el rango bajo de 1.2% (zona 6) o bien de 1.5% (zona 22). Esta configuración es difícil de sostener desde el punto de vista formativo geológico a menos que se cuente con información de pruebas que así lo ratifiquen.
- ii. La calibración subestima el incremento de nivel freático en los pozos ubicados aguas arriba (al Este) del depósito de relaves. Esto podría estar subestimando el caudal de recarga generado por el depósito de relaves y por lo tanto, cuantificando un menor volumen de agua necesario de extraer para disminuir los niveles freáticos actuales del acuífero.
- iii. No se desarrolla un análisis de incertidumbre que permite visualizar los riesgos en la proyección de las variables críticas (caudal y tiempo de respuesta requeridos para que la solución genere el efecto deseado).

Independiente de estos aspectos a revisar, se considera que la herramienta desarrollada es adecuada en términos generales, para el análisis de la problemática y que subsanar los aspectos señalados podría precisar los resultados del modelo pero no cambiar su sentido ni sus conclusiones generales.

3.2 Simulación de escenarios para diferentes técnicas y configuraciones de bombeo de la barrera hidráulica, utilizando el modelo de flujo

El informe presentado en diciembre del 2021 por MB, define una serie de escenarios que representan diferentes configuraciones de barrera hidráulica. Se trata de cuatro escenarios de barrera hidráulica, según se presenta en la **Figura 6**. El escenario E1 corresponde a una zanja de bombeo, y se esquematiza con una línea naranja en la **Figura 6**. El E2 corresponde a una serie de pozos en dirección este-oeste, en un trazo coincidente con la zanja. Se esquematizan como puntos morados en la **Figura 6**. El E3 corresponde a pozos en sentido norte-sur, ubicados perpendicularmente a los puntos de

bombeo planteados en los escenarios anteriores, los que se esquematizan como puntos verdes en la **Figura 6**. Finalmente, el E4 considera el bombeo desde dos pozos existentes, esquematizados como puntos amarillos en la **Figura 6**. La misma figura presenta el bombeo resultante para cada escenario.

Los puntos rojos de la **Figura 6** corresponden a pozos virtuales planteados por MB, utilizados para evaluar en ellos la efectividad de los diferentes escenarios. La **Figura 7** presenta las proyecciones en el nivel freático obtenidas en pozos virtuales, para cada escenario.

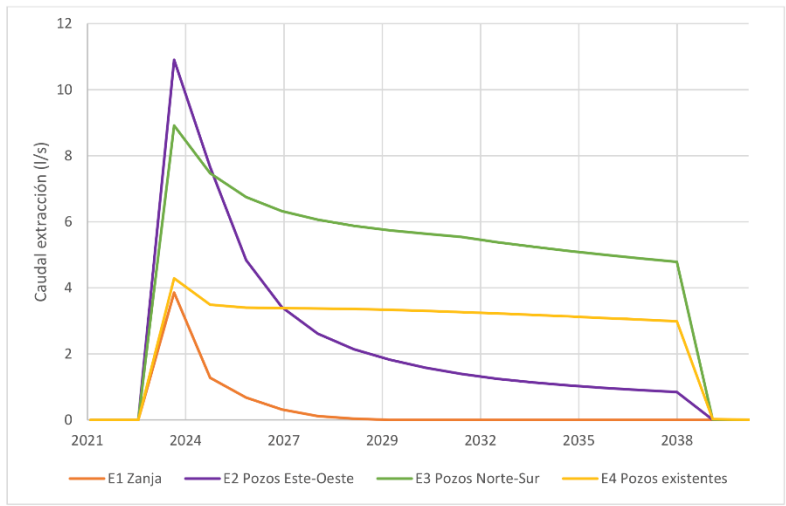
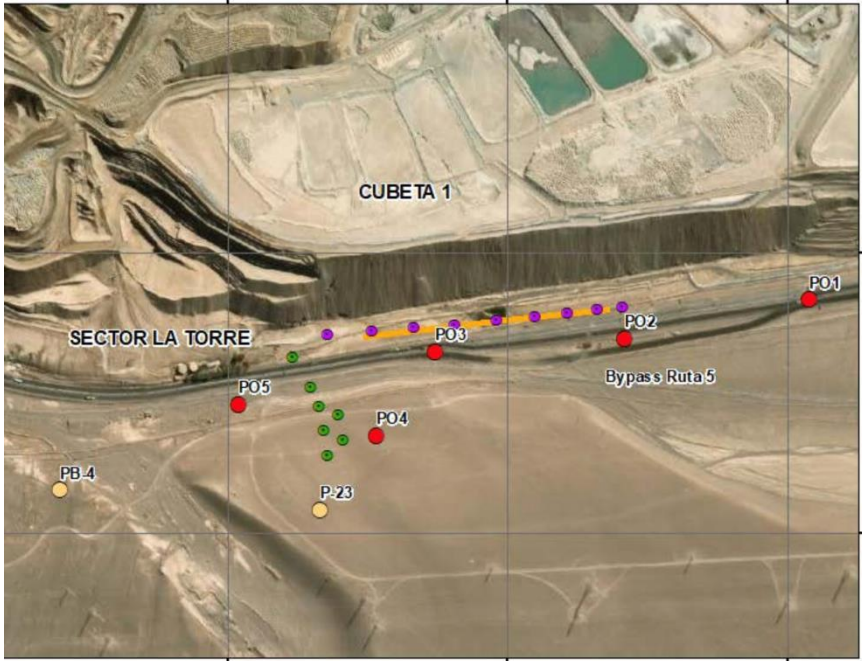


Figura 6. Configuraciones tanteadas por MB para la barrera hidráulica, y caudales comprometidos en el bombeo (extraído del informe de MB de diciembre del 2021).

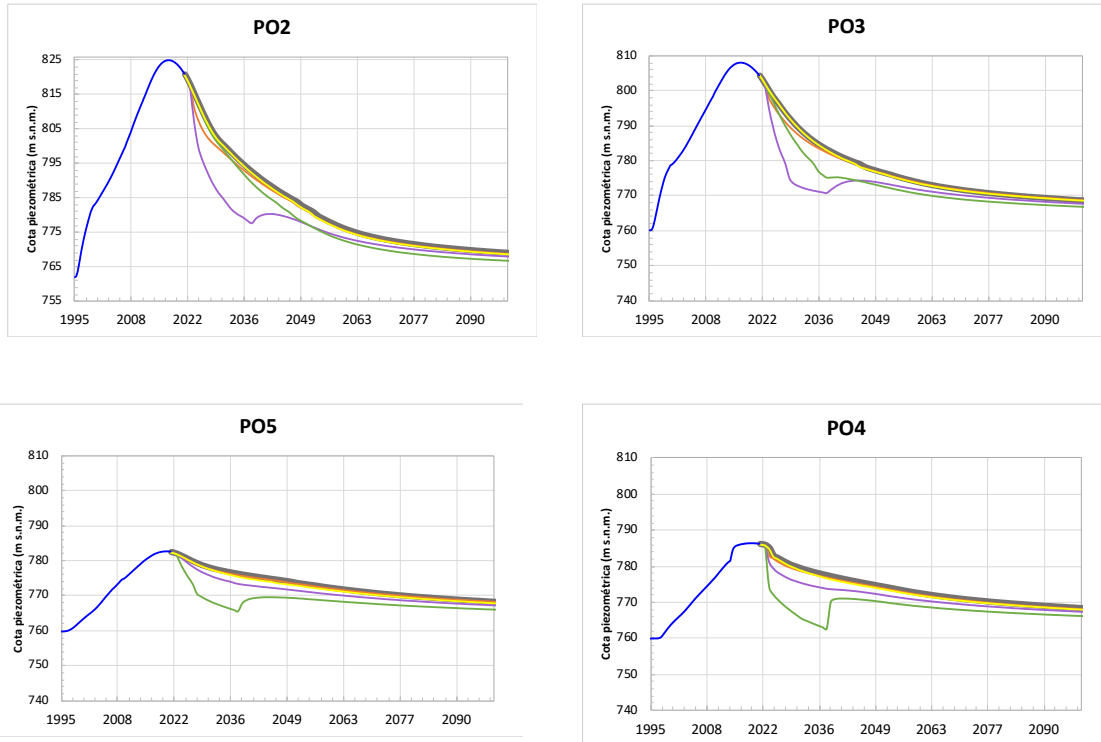


Figura 7. Efectividad de los diferentes escenarios de barrera hidráulica analizados por MB. En azul escenario base, en naranja E1, en morado E2, en verde E3, en amarillo E4. (extraído del informe de MB de diciembre del 2021)

3.3 Análisis de la idoneidad técnica de la barrera hidráulica

El informe de MB de diciembre del 2021 realiza un análisis de idoneidad de la barrera hidráulica a partir de los resultados obtenidos de las simulaciones con el modelo numérico en cuanto al comportamiento del nivel freático. La conclusión a la que arriba MB, bajo estas consideraciones, es que, en mayor o menor medida, los escenarios tanteados podrían brindar una solución que cumpla con el objetivo de reducir el nivel freático en el entorno del bombeo, y capturar las infiltraciones desde la faena minera. A su vez, el informe plantea que se requiere mejorar el nivel de información en una serie de materias, antes de ser más concluyente en la definición de la medida.

3.4 Formulación de un plan de trabajo

Debido a la necesidad de mejorar la base de información de terreno, MB propone en el informe de diciembre del 2021 realizar un plan de trabajo durante el año 2022, que considere las materias indicadas en la Figura 8.

Actividad		Programación año 2022											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
1	Construcción de pozos de monitoreo												
2	Perfiles geofísicos												
3	Adecuación pozos actualmente existentes												
4	Campañas hidroquímicas e isotópicas												
5	Campañas de medición de niveles												
6	Perfiles de Conductividad Eléctrica												
7	Muestreo isotópico de sales y sulfuros de cobre												
8	Modelo numérico de infiltración SEEP/W en los depósitos												
9	Perforación de sondajes al interior de las cubetas												
10	Actualización modelo hidrogeológico conceptual												
11	Actualización modelo hidrogeológico numérico												

Figura 8. Programa de trabajo propuesto por MB (extraído del informe de diciembre del 2021)

4 REVISIÓN CRÍTICA DE LA FORMULACIÓN DE LA MEDIDA DE BARRERA HIDRÁULICA

Según la problemática planteada en el proceso administrativo que lleva adelante la SMA, la realización de un estudio de factibilidad e idoneidad de una barrera hidráulica como el solicitado tendría como principal objetivo determinar la viabilidad de llevar adelante una solución de este tipo para mantener control sobre el nivel freático debido a las infiltraciones en la zona, y sobre el avance del frente de infiltración para evitar la contaminación del sistema natural. Sin embargo, el planteamiento de Mantos Blancos parece proponer la medida consistente en barrera hidráulica principalmente para mantener control de los niveles. Este objetivo resulta de la mayor importancia, atendiendo el efecto de la operación minera en el nivel del agua subterránea, según se plantea en el punto 2 del presente informe.

Conceptualmente, una barrera hidráulica para abatir el nivel freático implica en términos resumidos abarcar tres aspectos: i. evaluar la posibilidad física de realizar la medida, en el sentido de si es posible con bombeos localizados conseguir los objetivos, considerando las características de las aguas y del acuífero; ii. diseñar y operar una medida de barrera hidráulica en cuanto la técnica, la ubicación, el caudal, y el plazo considerando la caracterización de las infiltraciones; y iii. resolver los aspectos

administrativos requeridos para respaldar administrativamente las extracciones de agua que supondría ejecutar una barrera hidráulica.

La evaluación de la posibilidad física de realizar la medida considera aspectos evaluativos conceptuales (como los presentados por MB) además de aspectos técnicos relacionados con la posibilidad real de operar una barrera hidráulica. En efecto, evaluar la posibilidad real de implementar una medida de este tipo requiere una serie de acciones en terreno, tanto de caracterización directa (perforaciones) o indirecta (geofísica, muestreo hidroquímico, etc.), así como ejecución de pruebas específicas (pruebas de bombeo con pozos de observación para determinación del coeficiente de almacenamiento y pruebas de bombeo de mediano plazo). Sólo algunas de estas actividades se abarcan en el programa propuesto por MB. Adicionalmente, se requiere actualizar tanto el modelo conceptual como el modelo numérico a la luz de estos antecedentes específicos capturados con el objetivo de diseñar la medida de bombeo. Esto último sí es considerado por el programa indicado por MB.

El diseño y operación de una medida de barrera hidráulica en cuanto la técnica, la ubicación, el caudal, y el plazo considerando la caracterización de las infiltraciones, considera la evaluación de distintas posibilidades, y la selección de la alternativa apropiada considerando los objetivos. Esto comprende la perforación de pozos piloto, la verificación de su potencial de bombeo a partir de pruebas de bombeo de largo plazo, el análisis de efectividad del bombeo en cuanto a la expansión del cono de cada pozo, pruebas de interferencia y programa de optimización. Esto no ha sido considerado en el programa de MB.

Finalmente, resolver los aspectos administrativos requeridos para respaldar administrativamente las extracciones de agua que supondría ejecutar una barrera hidráulica, considera la realización de los diferentes procedimientos administrativos en cuanto a solicitud de derechos de agua mediante los mecanismos existentes, incluyendo la aplicación de la Circular DGA n° 3 del 2018 que reconoce la posibilidad de extraer aguas que se infiltran en un tranque de relave, respaldando en derechos de agua solamente la parte de la extracción que se origina en el agua subterránea, y no en la infiltración del tranque.

La propuesta de Mantos Blancos en relación con la barrera hidráulica se orienta principalmente en el análisis mediante herramientas de simulación, construidas a partir de información física, a la definición de escenarios de simulación y al levantamiento de información de terreno requerida para mejorar el entendimiento. Este planteamiento contiene elementos de análisis necesarios, pero requiere complementarse con pruebas físicas destinadas a evaluar la factibilidad de realizar extracción, y con ello ejercer control sobre el nivel y sobre la propagación del frente de infiltración, y una serie de otros aspectos. La **Tabla 1** presenta los aspectos y las labores que debiesen abordarse para la implementación de una barrera hidráulica, y el nivel con que MB consideró cada labor en el planteamiento de la medida.

Tabla 1. Aspectos y labores que debiesen abordarse para la implementación de una medida de barrera hidráulica. Nivel de cobertura de la propuesta de MB

Aspecto	Labor requerida	¿Fue la labor considerada en la MUT propuesta por Mantos Blancos?
Evaluar la posibilidad física de realizar la medida	Pruebas preliminares in-situ	No considerada
	Estimación del potencial de drenaje residual del depósito de relaves	Considerada
	Actualización del modelo conceptual	Considerada
	Actualización del modelo numérico	Considerada
Diseñar una medida de barrera hidráulica en cuanto la técnica, la ubicación, el caudal, y el plazo	Perforación de pozos piloto	No considerada
	Verificación de potencial de bombeo por zona	No considerada
	Análisis in-situ de la expansión del cono de depresión	No considerada
	Análisis de interferencia y optimización	No considerada
Resolver los aspectos administrativos requeridos para respaldar administrativamente las extracciones de agua	Evaluación de disponibilidad de derechos en la cuenca	No considerada
	Posibilidad de adquisición de derechos preexistentes	No considerada
	Evaluación de las posibilidades regulatorias de dar respaldo administrativo a las extracciones	No considerada
	Realizar una solicitud de derechos de agua con aplicación de la Circular DGA n°3 del 2018	No considerada

Según se aprecia, MB ha propuesto la medida de barrera hidráulica descuidando materias fundamentales para poder ejecutar en términos reales una medida de ese tipo. Se ha limitado a aspectos relacionados con la evaluación conceptual de las medidas y la construcción del modelo numérico para realizar evaluaciones numéricas. Naturalmente, estos aspectos son importantes, pero pueden ser resueltos en paralelo con la ejecución de una medida de bombeo real que pueda ser mejorada en el tiempo, a la luz del enriquecimiento conceptual que proveerá la información que MB busca levantar en su programa de trabajo, y sobre todo la información que supone el monitoreo y evaluación de la medida de barrera hidráulica que se implemente.

En esa misma línea, no se requiere resolver todos los cuestionamientos técnicos que ha planteado MB para implementar una medida, menos si, como su propia evaluación lo indica, una medida de bombeo se vislumbra como idónea para disminuir el peraltamiento de nivel freático. Habiendo concluido esto a partir de la información existente, la formulación de MB debiese considerar desde ya la implementación de una barrera con los objetivos de abatir nivel al corto plazo y a su vez entregar información de base que permita mejorar progresivamente el desempeño de la medida. MB ha evaluado con cierta

urgencia los aspectos técnicos conceptuales de la medida, en los plazos comprometidos, pero sus planteamientos ni siquiera consideran para el 2022 la implementación de la medida según denota el programa de trabajo presentado en la Figura 8.

Esta situación -que no parece existir en el planteamiento de MB una urgencia para el desarrollo de la medida de barrera hidráulica- debe atenderse considerando que los efectos de la operación minera en el nivel freático de la zona son muy significativos (según se explica en el punto 2), que existiría efecto inmediato en la reducción de nivel para algunos escenarios de bombeo (según se explica en el punto 3 a partir de lo presentado por MB), y que el proceso puede disponer de instancias en que se pueda mejorar progresivamente la aplicación de la medida.

Mantos Blancos también ha descuidado los aspectos administrativos requeridos para proveer el respaldo que deben tener en derechos de aguas las extracciones realizadas por una barrera hidráulica. Es otro aspecto que denota lo lejano en el tiempo que resulta para Mantos Blancos la implementación real de una medida de barrera hidráulica. Acotado al entorno, la posibilidad de respaldar administrativamente las aguas requeridas se vislumbra como compleja, debido a que:

- La zona en que se emplazaría la barrera corresponde a una Zona de Prohibición, lo que implica que no existe disponibilidad de derechos de aprovechamiento consuntivo de ningún tipo
- La posibilidad de respaldar extracciones por derechos no consuntivos implica verificar la calidad de las aguas y considera la restitución en el acuífero. No parece una opción que pueda implementarse en el caso, y la figura no se utiliza con regularidad para estos fines
- Aún la aplicación de la Circular DGA nº3 del 2018 parece razonable, en la práctica resulta de difícil implementación y tiene que asociarse a una solicitud de derechos de agua que, como se ha dicho, resulta de difícil tramitación

De esta forma, es probable que, habiendo solucionado los aspectos técnicos asociados a la barrera, los aspectos administrativos prevalezcan. El ordenamiento regulatorio de las aguas no brinda una solución expedita para estos casos, por lo que el trabajo con los órganos de la administración del Estado para encontrar un camino regulatorio apropiado, a partir de los instrumentos disponibles, es requerido para asegurar la posibilidad de una medida como la barrera hidráulica y debiesen realizarse al más breve plazo posible.

ACCIONES REQUERIDAS EN EL PROGRAMA DE CUMPLIMIENTO DE MANTOS COOPER PARA MITIGAR EL EFECTO EN EL NIVEL FREÁTICO DEBIDO A LAS INFILTRACIONES DE LA FAENA MINERA MANTOS BLANCOS

1 ALCANCES

La SMA ha realizado Formulación de Cargos (FdC) contra Minera Mantos Cooper, por una serie de infracciones relacionadas con la operación de la Minera Mantos Blancos debido a acciones que se riñen con las autorizaciones ambientales vigentes y que la regulan. Una de las infracciones (la infracción nº1) corresponde a haber continuado con la depositación de relaves en la cubeta nº1 con posterioridad al final de su operación, de acuerdo con el permiso ambiental.

Según plantea la FdC, tanto los hechos descritos en la infracción nº1, que dicen relación con la utilización de piscinas en periodos en que no se contaba con autorización, como los efectos atribuidos, que corresponden a la generación de infiltración con la consecuente contaminación del acuífero y peraltamiento del nivel freático en el entorno de la faena, cuentan con mérito suficiente para sostener las acusaciones presentadas.

La FdC también señala otras cuatro infracciones que, si bien también se relacionan con la generación de infiltración al acuífero, tendrían una relevancia menor en cuanto al efecto sobre el peraltamiento de niveles freático en el sector ubicado frente al depósito de relaves.

Por su parte, Mantos Cooper ha respondido con un Programa de Cumplimiento (PdC) según lo establece la regulación de la SMA. En tal programa, la Empresa propone ciertas metas y acciones para eliminar o contener y reducir los efectos negativos generados debido a las infracciones.

El objetivo de esta Nota es revisar el contenido del PdC propuesto por Mantos Cooper en cuanto a su efectividad para revertir, contener y reducir los efectos negativos generados por las infiltraciones desde el depósito de relaves de Mantos Blanco en el sistema de aguas subterráneas, en cuanto al peraltamiento del nivel freático en el acuífero en torno a la faena minera.

2 EFECTOS EN EL SISTEMA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA FORMULACIÓN DE CARGO

Según fuese planteado en la FdC, los efectos atribuibles a la infracción n°1, esto es haber continuado con la depositación de relaves en la cubeta n°1 con posterioridad al final de su operación, implicarían infiltraciones al sistema de aguas subterráneas, provocado así la contaminación y el alza del nivel freático del acuífero relacionado con la faena Mantos Blancos.

Esta conclusión de la FdC estaría basada en diferentes informes de fiscalización de las autoridades competentes, en los antecedentes incorporados en el proceso de Medidas Urgentes y Transitorias presentado por la SMA con anterioridad a la FdC, además de los antecedentes contenidos en los reportes de seguimiento ambiental. Así de acuerdo con la FdC, resulta acreditada la relación entre la infracción n°1 y el hecho de mantener flujos de infiltración que produjeron y continuaron con peraltamiento de nivel freático y la afectación de una amplia zona debido a que este habría alcanzado e incluso superado la cota de terreno.

A este respecto, el análisis de la documentación técnica incorporada en el proceso de Medidas Urgentes y Transitorias, permite acreditar el aumento de los niveles freáticos del acuífero desde incluso los primeros años de registro en 1993, lo cual da cuenta de una infiltración significativa y permanente desde el depósito de relaves. Así, la infracción n°1 habría generado una extensión de esta infiltración en los años recientes, con las consecuencias señaladas de continuar el aumento del nivel freático en el acuífero hasta la actualidad.

Ahora bien, la infiltración desde los relaves de Mantos Blancos, y el impacto ambiental subsecuente en el sistema de aguas subterráneas, fue un asunto considerado en las evaluaciones ambientales de su proyecto minero. Los escenarios evaluados no consideraron que el efecto de las infiltraciones pudiese llevar el nivel freático tan próximo a la cota del terreno, por lo que existe regulación contravenida por Mantos Blancos en cuanto al efecto de las infiltraciones desde el depósito de relaves, más allá de que las causas se encuentren en una infracción a la operación del proyecto minero.

3 METAS Y ACCIONES INDICADAS EN EL PROGRAMA DE CUMPLIMIENTO

En relación con la infracción n°1, que en la FdC se relaciona con el efecto de las infiltraciones en el acuífero, el Programa de Cumplimiento propone como meta implementar acciones para dejar de disponer relaves sobre la Cubeta N°1 de manera permanente y cumplir con lo aprobado ambientalmente. Planteado así, el PdC hace énfasis en los aspectos de la operación minera contravenidos que producen infiltración, sin atender los impactos causados por ellas.

En efecto, las acciones propuestas en el PdC en relación a la infracción n°1, pueden sintetizarse según se señala en la Tabla 1. A este respecto, las acciones

comprometidas en el PdC señalan dejar de utilizar de forma permanente las piscinas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 y 10, acción ya ejecutada y finalizada en agosto de 2021. Sin embargo, sólo plantea una reducción gradual de paralización de las piscinas 7 y 9, las cuales dejarían de ser utilizadas en mayo de 2024.

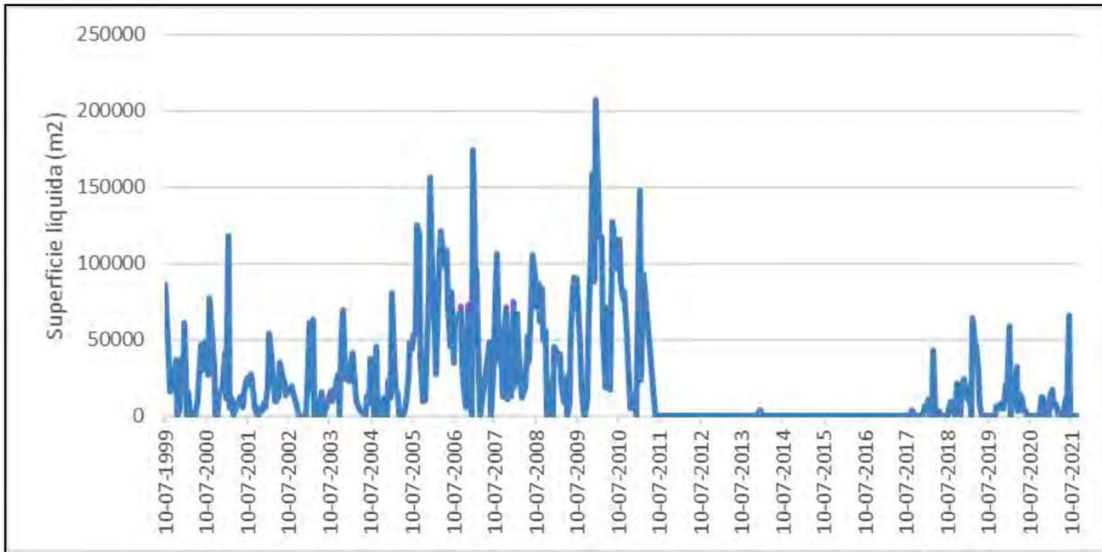
Tabla 1: Acciones asociadas a la infracción nº1 en el PdC de Mantos Cooper

Tipo acción	Acción
Ejecutadas	Dejar de utilizar en forma permanente piscinas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 y 10.
En ejecución	Ejecutar plan gradual de paralización de uso de piscinas 7 y 9.
	Realizar estudio geotécnico Cubeta N°1 Mina Mantos Blancos – Análisis de estabilidad física.
Por ejecutar	Analizar alternativas de la disposición de relaves que son depositados transitoriamente en la Cubeta N°1 en otro lugar de la faena, para dejar de disponer sobre ella en forma permanente.
	Se realizará un análisis de opciones de disposición temporal de relaves en condiciones seguras y en conformidad con la legislación ambiental vigente dentro de la faena Mantos Blancos.
	Desarrollar ingeniería de factibilidad para someter a evaluación ambiental el sistema de piscinas de emergencia definitivo.
	Evaluar ambiental y sectorialmente el Sistema definitivo de piscinas de emergencia.
	Actualizar y difundir Plan de emergencia de manejo de relaves para el uso de Tranquecito y piscinas 7 y 9.
	Actualizar e implementar plan de cierre minero asociado a las piscinas de emergencia en Cubeta N°1.

Así, ninguna de las acciones propuestas por Mantos Cooper en el PdC apunta a mitigar el efecto de las infiltraciones en cuanto al aumento del nivel de agua subterránea en el acuífero. Acciones que apunten a mitigar el impacto propiamente tal resultan necesarias como parte del PdC por dos razones: primero, ya que existe un problema real y presente ocasionado por las infiltraciones, que afecta la operación del camino y de ferrocarriles; y segundo porque este impacto no necesariamente se vería mitigado por el solo hecho de eliminar la fuente de infiltración (condición que recién ocurriría en mayo de 2024 para las piscinas 7 y 9, manteniendo incluso la posibilidad de continuar posteriormente con depositación temporal después de dicha fecha).

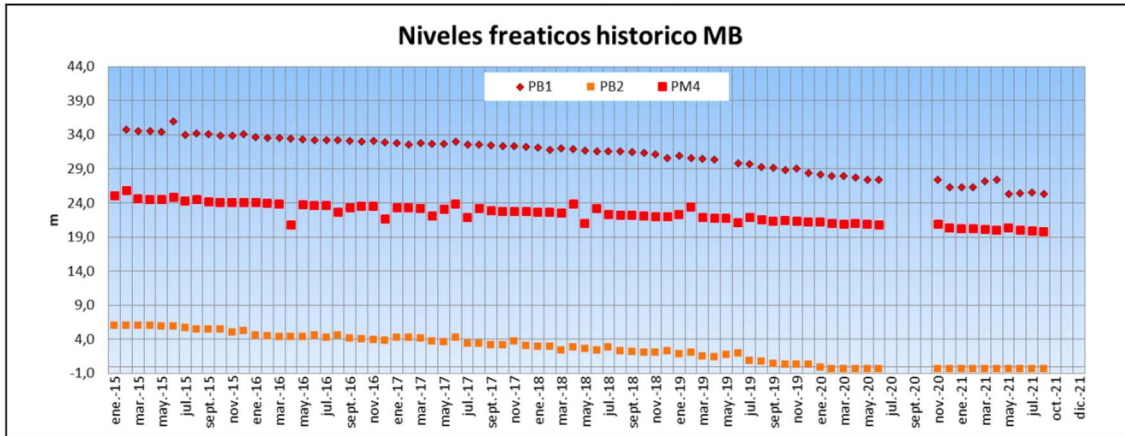
En efecto, existe un flujo latente de los relaves históricos que aún se encuentra fluyendo en vertical al interior del depósito y que no se ha incorporado al sistema de aguas subterráneas. Es más, cuando las piscinas de la cubeta nº1 dejaron de operar el año 2010, el nivel de agua subterránea siguió en aumento, según se aprecia en el Gráfico nº1 y nº3 de la FdC, y que se reproducen en la Figura 1.

Gráfico N° 1. Superficie líquida de la cubeta N° 1



Fuente: Informe “Análisis Satelital Multitemporal de Obras”, de 25 de octubre de 2021

Gráfico N° 3. Profundidad del nivel freático en pozos aguas abajo de cubeta N° 1



Fuente: Elaboración propia a partir de información de monitoreo de Mantos Blancos.

Figura 1. Depositación de relaves en la cubeta n°1 y niveles freáticos aguas abajo.

De esta forma, el PdC requiere imperiosamente de la incorporación de acciones a ejecutar que se hagan cargo de los impactos de las infiltraciones, acorde a una meta que busque mitigar el efecto de las infiltraciones en el sistema de aguas subterráneas. Al respecto, se propone la ejecución de tres acciones:

- i. La implementación de bombeo en la zona más afectada, que permita desagüe rápido y focalizado en los sectores del acuífero con niveles freáticos cercanos al nivel de terreno, especialmente en aquellas zonas que han afectado las instalaciones de la autopista y ferrocarriles, esto, en

atención a que la detención de depositación permanente de las piscinas 7 y 9 recién ocurrirá en el año 2024 y no se ha evaluado aún el efecto de vaciado residual del agua contenido al interior del depósito (draindown).

- ii. La implementación de una barrera hidráulica permanente orientada a reducir en el mediano y largo plazo, el nivel freático de manera de mitigar las interferencias ocasionadas en el camino y en la línea férrea y asegurar la operación regular de la infraestructura afectada.

En el marco del procedimiento de Medidas Urgentes y Transitorias, Mantos Cooper evaluó la factibilidad de una medida de este tipo. La conclusión a la que arribó es que, en mayor o menor medida, ésta puede brindar una solución que cumpla con el objetivo de reducir el nivel freático en el entorno del bombeo, y capturar las infiltraciones desde la faena minera.

- iii. Desarrollar un plan de evaluación técnica y luego seguimiento, destinado a analizar la relación entre las decisiones operativas en cuanto a la depositación de relaves, y el seguimiento de las infiltraciones que pudiesen afectar el acuífero en cuanto a nivel y contaminación.

Esto implicaría disponer de herramientas predictivas, y de un plan de seguimiento que considere una red de monitoreo, indicadores y umbrales que alerten sobre cuan efectivo resulta en la reducción de las infiltraciones, las definiciones operacionales que se tomen como parte del PdC.

En el formato del PdC, estas tres acciones podrían definirse en los términos presentados en la Tabla 2.

Tabla 2. Metas y acciones que podrían incorporar al PdC para atender el impacto de las infiltraciones en el peraltamiento de nivel freático.

Meta	Mitigar el efecto de las infiltraciones en el sistema de aguas subterráneas, dándole operatividad a las actividades afectadas		
Acciones a ejecutar			
Descripción Acción	Plazo de Ejecución	Indicadores de cumplimiento	Medios de Verificación
Implementación inicial barrera hidráulica (considera desarrollo de un plan de corto plazo de elementos y caudales para el desarrollo de un plan de desagüe focalizado)	Inicio: septiembre 2022 Finalización: junio 2023	Reporte de caudales desagüados de acuerdo con planificación y análisis técnico de efectividad de la medida	Niveles freáticos en pozos de control cercanos a las labores de desagüe. Informe hidrogeológico cada dos meses que dé cuenta de la efectividad de la medida
Medida definitiva barrera hidráulica (considera actualización de modelo conceptual y numérico)	Inicio: junio 2023 Finalización: según indicadores de cumplimiento	Reporte de caudales bombeados de acuerdo con planificación. Tasas de descenso del nivel freático acorde a planificación. Validación semestral de la calibración del modelo numérico y actualización de pozos y plan de bombeo en caso de ser necesario.	Niveles freáticos en pozos de control cercanos a las labores de desagüe. Seguimiento a las calidades químicas de los pozos de control. Informe hidrogeológico semestral que dé cuenta de la efectividad de la medida (incluyendo validación de la calibración del modelo numérico y validación/actualización del plan). Informe de actualización anual del modelo conceptual y del modelo numérico
Plan de Seguimiento Infiltraciones	Inicio: julio 2022 Finalización: junio 2023	Estudios técnicos finalizados lo cual incluye: Estudio de brechas de información. Reporte técnico de actividades de caracterización hidrogeológica para subsanar las brechas. Modelo hidrogeológico conceptual y numérico, actualizado (el cual puede ser el mismo aplicado para el diseño y evaluación de la barrera hidráulica). Incluye formalización de un plan de seguimiento (red de monitoreo, variables, frecuencias, umbrales, acciones) Modelo hidrodinámico del depósito de relaves para cuantificación de infiltraciones.	Existencia de los estudios técnicos en plazos acordados. Implementación del plan de seguimiento según plazo acordado