

## ANEXO 1

### INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE UN EQUIPO MODULAR PARA AUMENTAR LA CAPACIDAD DE DESALACIÓN DE LA FAENA

(Objetivo específico N° 4 Acción I)

### DEJAR DE UTILIZAR EL SUMINISTRO DE AGUA INDUSTRIAL PROVENIENTE DE FCAB

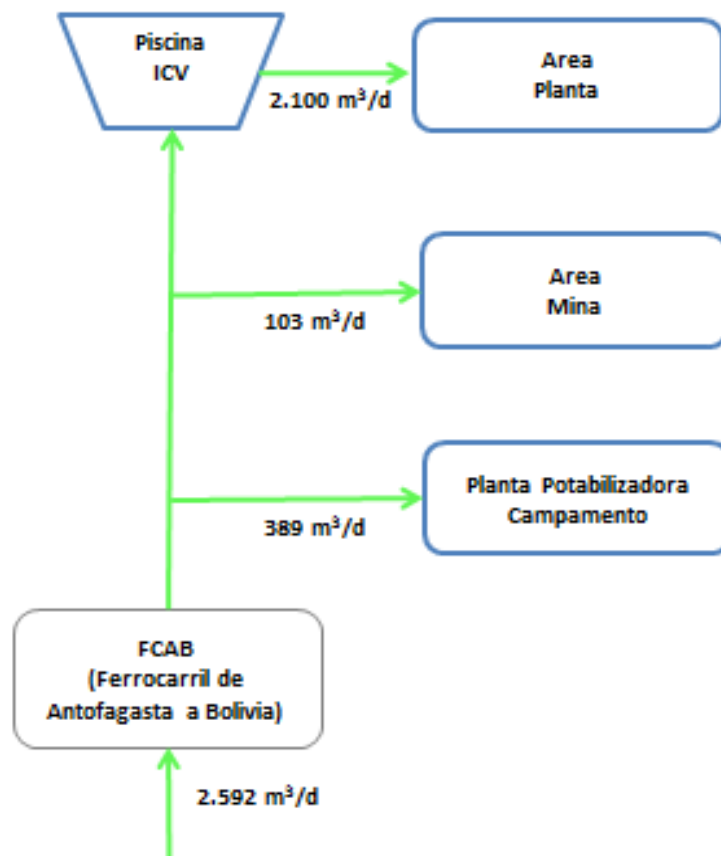
(Objetivo específico N° 4 Acción II)

## 1. SITUACIÓN ACTUAL

Actualmente Sierra Gorda SCM cuenta con suministro de agua industrial de FCAB (Ferrocarril Antofagasta a Bolivia), con un consumo de 30 l/s equivalente a  $2.592 \text{ m}^3/\text{día}$ .

El agua industrial suministrada por FCAB, abastece durante un periodo del día a la planta de agua potable que entrega este insumo al campamento y el tiempo restante ingresa a la piscina denominada "ICV".

La **Figura 1** presenta un esquema referencial simplificado de la distribución de agua.



**Figura 1:** Distribución referencial simplificada de agua FCAB

## 2. SUSTITUCIÓN DE AGUA INDUSTRIAL POR AGUA DE MAR

Para lograr sustituir totalmente el caudal de agua de FCAB se necesita incrementar la capacidad de desalinización en al menos 30 l/s de producción de agua desalada, pudiendo incrementar esta tasa de generación en función de los requerimientos de operación, en el marco de los caudales de agua de mar autorizados ambientalmente.

El agua de mar recibida desde la central de Mejillones, a través de una tubería de impulsión, es recepcionada en la piscina de agua de mar de 650.000 m<sup>3</sup> de capacidad.

Desde esta piscina de almacenamiento de agua de mar, el agua es transportada a través de tres bombas verticales (dos operando y una en reserva) hacia los puntos de consumo. Mediante una tubería adicional, se alimentará la planta de osmosis inversa adicional (equipo modular).

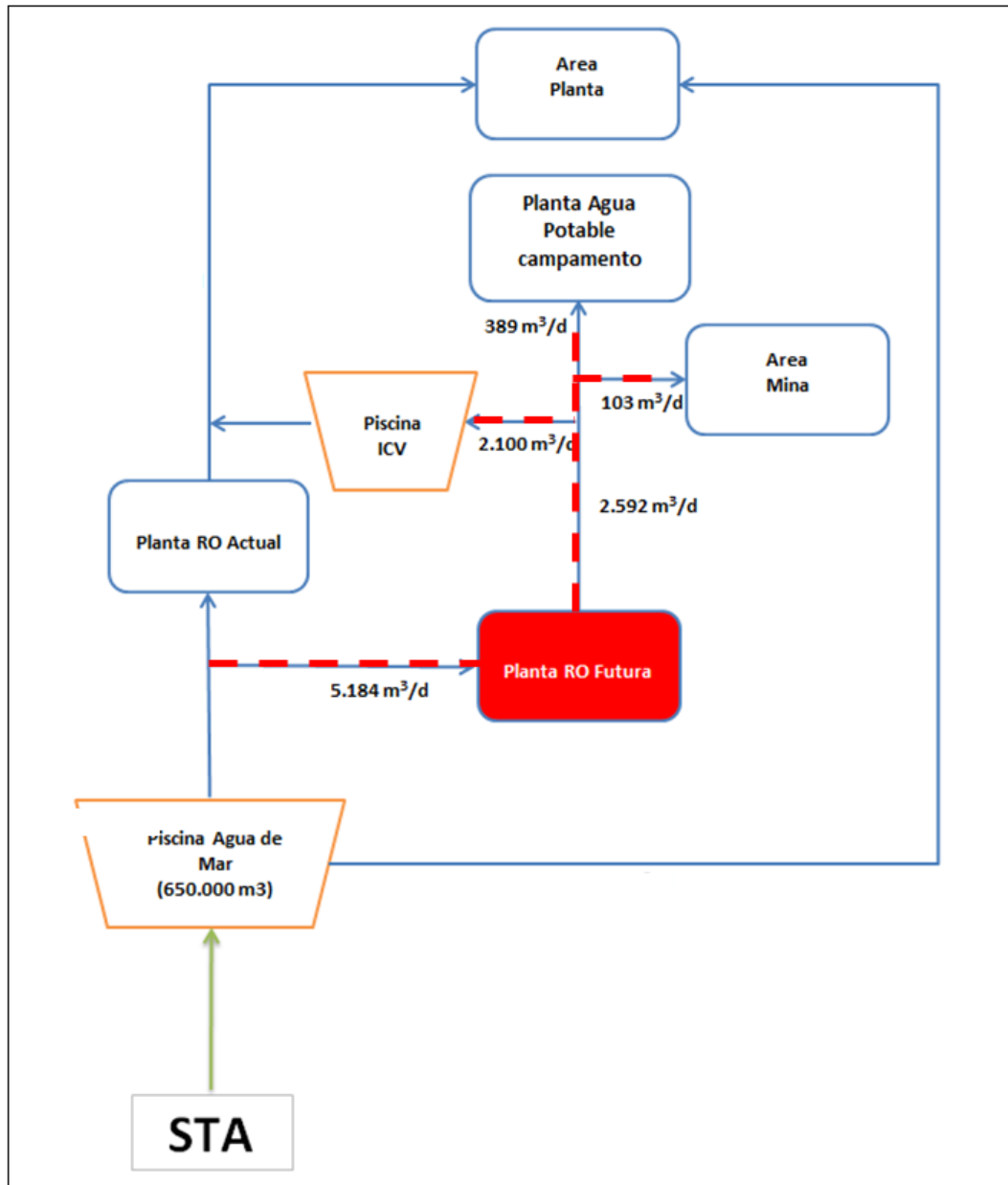
La **Figura 2** muestra una distribución de agua referencial considerando, para el ejercicio de evaluación, una capacidad mínima adicional del equipo modular de 30 l/s para reemplazar el suministro de FCAB, la cual puede ser ampliada en función de los requerimientos del proceso.

Cabe señalar que la medida demandará un aumento de agua de mar transportada desde la central de Mejillones para alimentar a la planta mencionada. Este aumento se enmarca dentro de los caudales de agua de mar actualmente autorizados.

El equipo modular, se alimentará con un caudal aproximado de 60 l/s de agua de mar y el caudal producido será de al menos 30 l/s, el cual se distribuirá, de manera referencial, 81% hacia la Planta Concentradora, 15% para potabilización y un 4% hacia el área de la Mina.

Para la implementación se debe considerar la instalación de:

- Tubería de alimentación al equipo modular de osmosis inversa.
- Tubería de descarga del equipo modular hacia la piscina ICV.
- Tubería de alimentación desde la piscina ICV hacia planta potabilizadora de campamento.
- Implementación del sistema de impulsión con bombas y conexión eléctrica.



**Figura 2:** Distribución de agua con equipo modular adicional con caudal referencial mínimo de alimentación de agua salada de 60 l/s

**Consideraciones:**

- El equipo modular adicional, tendrá una capacidad de producción de al menos 30 l/s.
- El descarte o agua de rechazo se utilizará para humectación de caminos en interior mina y el resto se acumulará en la piscina agua de proceso.



### 3. BLOQUEO ALIMENTACIÓN AGUA FCAB.

Una vez en servicio el equipo modular adicional, se dejará de consumir agua industrial de FCAB y se bloqueará la línea de alimentación, ubicada a un costado de la ruta principal. (Antofagasta a Calama)



**Figura 3:** Ubicación en terreno punto de bloqueo e imagen indicador de flujo.

El bloqueo consiste en la instalación de una tapa apernada en la línea de alimentación de agua del FCAB hacia la planta, específicamente entre flange de la válvula y el flange de la línea (unión apernada). En la imagen adjunta se indica el lugar donde se instalará el bloqueo.

Además se dejará evidencia del volumen de agua acumulada a la fecha de bloqueo con registro fotográfico de la lectura final del totalizador.

## ANEXO 2

# COBERTURA DE PISCINAS

(Objetivo específico N° 6 Acción I)

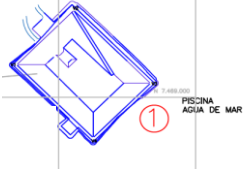
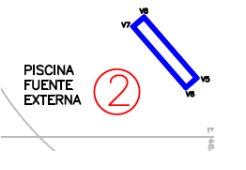
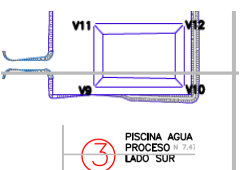
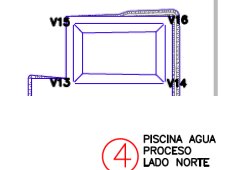
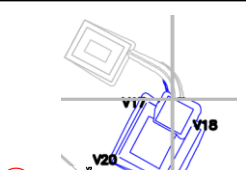
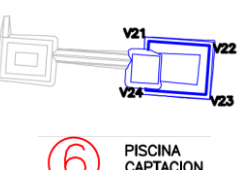
## 1. COBERTURA DE PISCINAS

Para disimular el efecto espejo de agua, se implementará una cobertura en las siguientes piscinas:

- Piscina Fuente Externa - ICV (0,42 ha / 4.200 m<sup>2</sup>),
- Piscina Primaria recuperación agua Depósito de Relave (0,27 ha / 2.700 m<sup>2</sup>),
- Piscina Intermedia recuperación agua Depósito de Relaves (0,27 ha / 2.700 m<sup>2</sup>),

En las piscinas de agua de mar, agua de proceso lado sur y agua de proceso lado norte, no se considera implementar una cobertura. En relación a estas piscinas se implementará el protocolo establecido en la Acción III del Objetivo Específico N° 6.

A continuación se muestra un cuadro resumen con el nombre de cada piscina, las coordenadas de ubicación, un esquema y el sistema de cobertura a implementar. En el Apéndice A se adjunta plano con ubicación de estas piscinas.

| ID | Nombre de piscina                       | Vertice | Coordenadas WGS 84 |         | Croquis  | Sistema de Cobertura           |
|----|---|---------|--------------------|---------|--|--------------------------------|
|    |   |         | Norte              | Este    |  |                                |
| 1  | Piscina de Agua de Mar                  | V1      | 7.469.091          | 462.882 |    | No aplica                      |
|    |   | V2      | 7.469.244          | 463.036 |  |                                |
|    |   | V3      | 7.469.038          | 463.242 |  |                                |
|    |   | V4      | 7.468.885          | 463.088 |  |                                |
| 2  | Piscina Agua Externa (ICV)              | V5      | 7.468.843          | 462.967 |    | Cobertura flotante con esferas |
|    |   | V6      | 7.468.823          | 462.944 |  |                                |
|    |   | V7      | 7.468.930          | 462.851 |  |                                |
|    |   | V8      | 7.468.950          | 462.874 |  |                                |
| 3  | Piscina Agua Proceso Lado Sur           | V9      | 7.469.983          | 462.829 |    | No aplica                      |
|    |   | V10     | 7.469.983          | 462.936 |  |                                |
|    |   | V11     | 7.470.053          | 462.829 |  |                                |
|    |   | V12     | 7.470.053          | 462.936 |  |                                |
| 4  | Piscina Agua Proceso Lado Norte         | V13     | 7.470.074          | 462.829 |   | No aplica                      |
|    |   | V14     | 7.470.074          | 462.829 |  |                                |
|    |   | V15     | 7.470.144          | 462.829 |  |                                |
|    |   | V16     | 7.470.144          | 456.671 |  |                                |
| 5  | Piscina Intermedia Recuperación de agua | V17     | 7.469.997          | 459.474 |  | Cobertura flotante con esferas |
|    |   | V18     | 7.469.974          | 459.516 |  |                                |
|    |   | V19     | 7.469.922          | 459.488 |  |                                |
|    |   | V20     | 7.469.945          | 459.446 |  |                                |
| 6  | Piscina Primaria Recuperación de agua   | V21     | 7.472.613          | 456.671 |  | Cobertura flotante con esferas |
|    |   | V22     | 7.472.608          | 456.730 |  |                                |
|    |   | V23     | 7.472.561          | 456.726 |  |                                |
|    |   | V24     | 7.472.565          | 456.667 |  |                                |

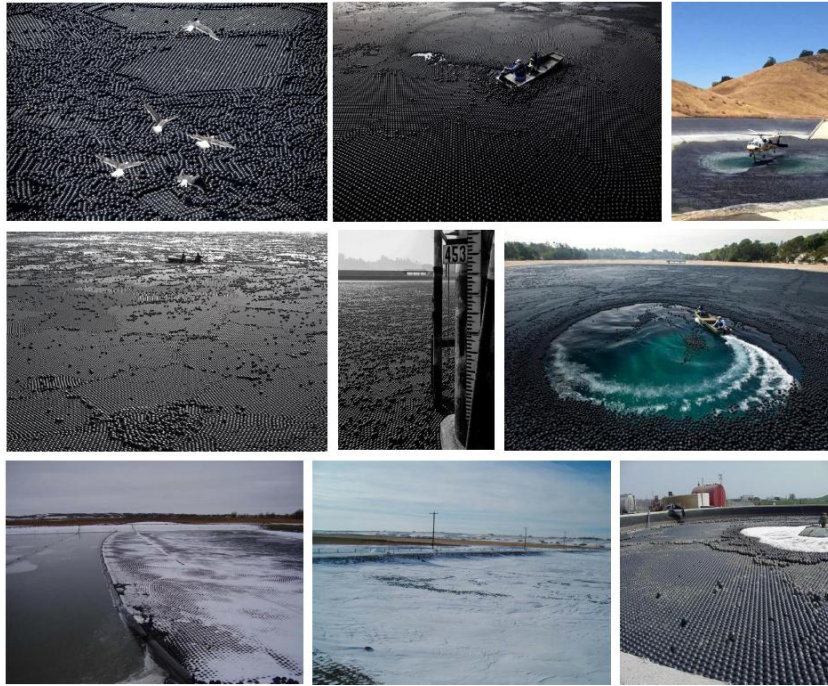
Para la cobertura flotante se considera esferas de 127 mm (5") de diámetro, 71 esferas/m<sup>2</sup> y peso total de 530 gr. Fabricadas en Polietileno de Alta Densidad con Aditivos UV, Antioxidantes, Alguicidas y Slip para soportar la alta radiación solar, altas velocidades de viento y bajas temperaturas. Las características referenciales del sistema son las siguientes:

- Cobertura 91% de la superficie de aplicación.



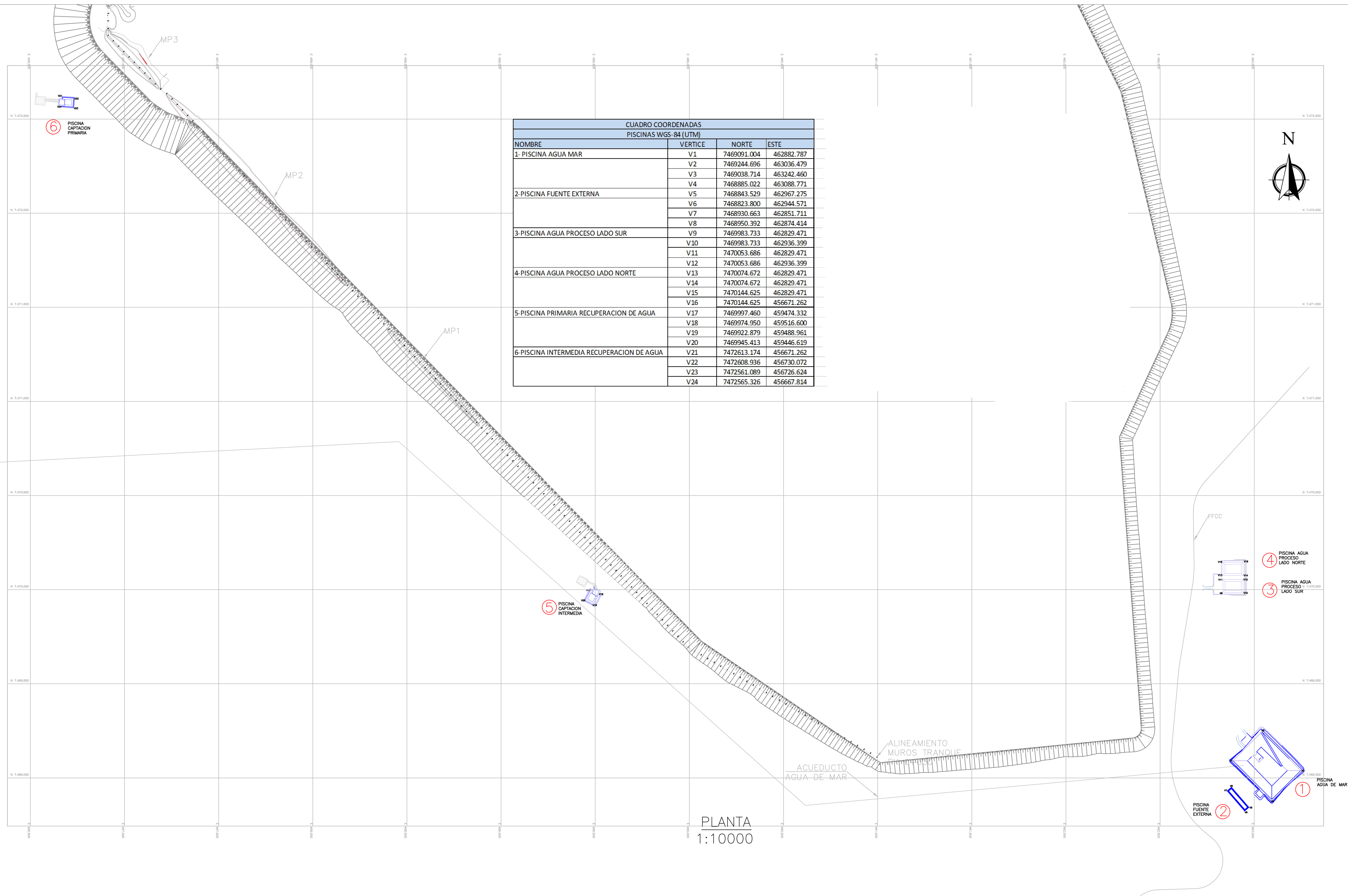
- Reduce Evaporación 80% - 85%.
- Reduce Consumo Energía 50% - 70% por Aislación Térmica.
- Mantiene Agua y Soluciones 5°C Sobre Temperatura Ambiente lo que permite importantes ahorros de energía sobre todo en invierno.
- Resiste Velocidades Viento hasta 200 km/hr.
- Ordenamiento automático en la cubierta ante cambios de nivel del líquido.
- Rellenas con Agua para Resistir para fuertes vientos, mayor eficiencia y evitar la rotación que se produce en las esferas sin relleno.
- Protección de la Fauna evitando ingreso aves a piscinas y estanques con productos químicos. Otros animales nativos no intentan caminar sobre la cubierta ya que las esferas individuales no son compatibles con el peso de estos.
- Se combinan con Aireadores y Mixers reteniendo el Calor, controlando Olores , crecimiento de Algas y manteniendo las condiciones Aerobias.
- Reduce el consumo de productos químicos por evaporación.
- Reducción vapores corrosivos que dañan estructuras y equipos.
- Permitir movimiento de equipos y embarcaciones a través de Cubierta Flotante.
- Cubierta no se ve afectado por Nieve, Lluvias y polvo.
- Rango Operación -30°C a 80°C.
- Baja punto de formación de hielo en hasta 10 ° C.
- Fabricadas de una pieza sin tapones en HDPE aditivado con protectores UV y antioxidantes.
- No requieren mantención.

Algunos ejemplos del uso de este sistema se muestran a continuación en la **Figura 1**.



**Figura 1.** Ejemplos del uso del sistema propuesto





| CUADRO COORDENADAS                        |         |             |            |
|---|---------|-------------|------------|
| PISCINAS WGS-84 (UTM)                     |         |             |            |
| NOMBRE                                    | VERTICE | NORTE       | ESTE       |
| 1- PISCINA AGUA MAR                       | V1      | 7469091.004 | 462882.787 |
|   | V2      | 7469244.696 | 463036.479 |
|   | V3      | 7469038.714 | 463242.460 |
|   | V4      | 7468885.022 | 463088.771 |
| 2-PISCINA FUENTE EXTERNA                  | V5      | 7468843.529 | 462967.275 |
|   | V6      | 7468823.800 | 462944.571 |
|   | V7      | 7468930.663 | 462851.711 |
|   | V8      | 7468950.392 | 462874.414 |
| 3-PISCINA AGUA PROCESO LADO SUR           | V9      | 7469983.733 | 462829.471 |
|   | V10     | 7469983.733 | 462936.399 |
| 4-PISCINA AGUA PROCESO LADO NORTE         | V11     | 7470053.686 | 462829.471 |
|   | V12     | 7470053.686 | 462936.399 |
|   | V13     | 7470074.672 | 462829.471 |
|   | V14     | 7470074.672 | 462829.471 |
| 5-PISCINA PRIMARIA RECUPERACION DE AGUA   | V15     | 7470144.625 | 462829.471 |
|   | V16     | 7470144.625 | 456671.262 |
|   | V17     | 7469997.460 | 459474.332 |
|   | V18     | 7469974.950 | 459516.600 |
| 6-PISCINA INTERMEDIA RECUPERACION DE AGUA | V19     | 7469922.879 | 459488.961 |
|   | V20     | 7469945.413 | 459446.619 |
|   | V21     | 7472613.174 | 456671.262 |
|   | V22     | 7472608.936 | 456730.072 |
|   | V23     | 7472561.089 | 456726.624 |
|   | V24     | 7472565.326 | 456667.814 |

[illegible]

## ANEXO 3

# SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE RELAVES

(Objetivo específico N° 7 Acción II)



## **1. RESUMEN EJECUTIVO**

El presente anexo describe la forma en que se implementará el sistema de descarga regulable de caudal de relaves. Este sistema considera varias vías de evacuación, dispuestas a modo de “peineta”, generando la posibilidad de administrar la descarga de relave en el depósito.

De esta forma, se minimiza el efecto de la erosión mediante la dispersión y control de la velocidad del flujo, y se genera la opción de dirigir la descarga para dar un uso racional al área de depósito disponible, mejorando la pendiente del área de depositación. Con esta acción, se optimiza logra además mejorar el control de la laguna de aguas claras en la cubeta del depósito.

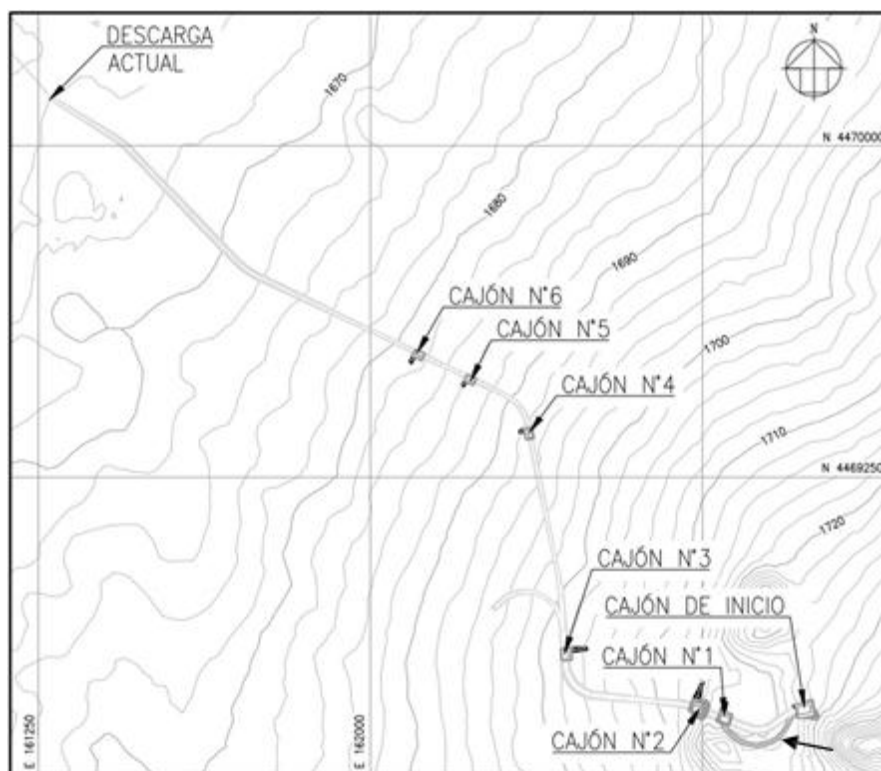
## **2. DESCRIPCIÓN GENERAL SITUACIÓN ACTUAL**

Actualmente, la descarga del relave proveniente desde los espesadores, llega al Cajón de Inicio desde donde se comienza el transporte de relave por medio de tuberías de HDPE de 1200 [mm] de diámetro y que descarga hacia la cubeta del depósito. El sistema cuenta con 6 cajones disipadores de energía.

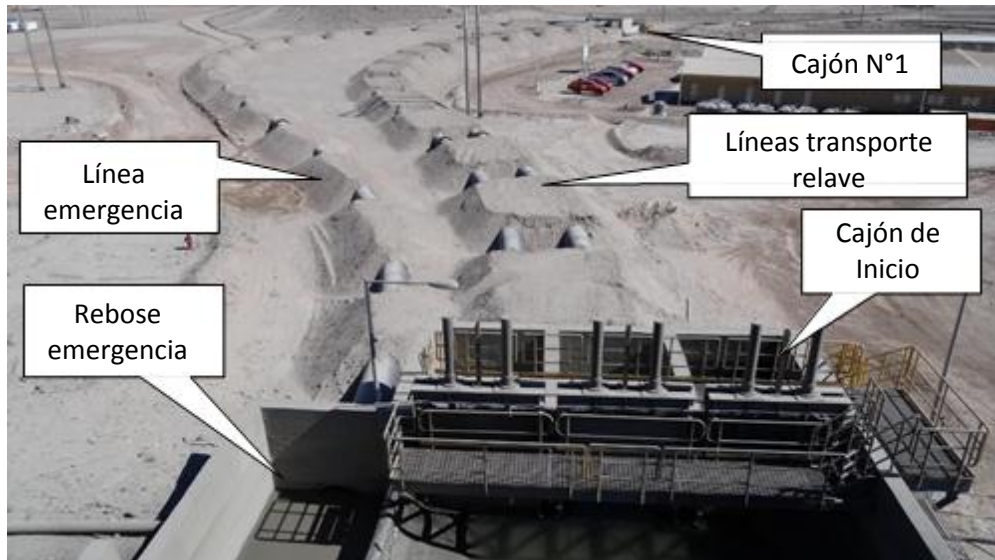
En la Figura 1 se muestra una vista en planta de la ubicación de los cajones indicados en la Tabla 1 siguiente. En las Figuras 2 y 3 se entregan imágenes del sistema actual.

**Tabla 1:** Elevación tubería de descarga en cajones existentes

| Cajón N° | Elevación BOP Tubería Descarga<br>(msnm) | Distancia acumulada<br>(m) |
|----------|--|----------------------------|
| Inicio   | 1.723,0                                  | 0                          |
| 1        | 1.715,0                                  | 210                        |
| 2        | 1.710,1                                  | 280                        |
| 3        | 1.694,2                                  | 700                        |
| 4        | 1.688,4                                  | 1.200                      |
| 5        | 1.683,4                                  | 1.360                      |
| 6        | 1.679,9                                  | 1.490                      |



**Figura 1:** Vista en planta de la ubicación de los cajones disipadores de energía.



**Figura 2:** Cajón de Inicio – vista hacia aguas abajo.



**Figura 3:** Cajón disipador.

El relave transportado se descarga hacia una piscina de recepción, la cual por medio de unos reboses conduce finalmente el relave por una canaleta excavada en tierra hacia la depositación final en la cubeta. En la Figura 4, se muestra la zona de descarga.



**Figura 4:** Descarga final de relaves.

### 3. DESCRIPCIÓN GENERAL SISTEMA PROYECTADO (CONCEPTUAL)

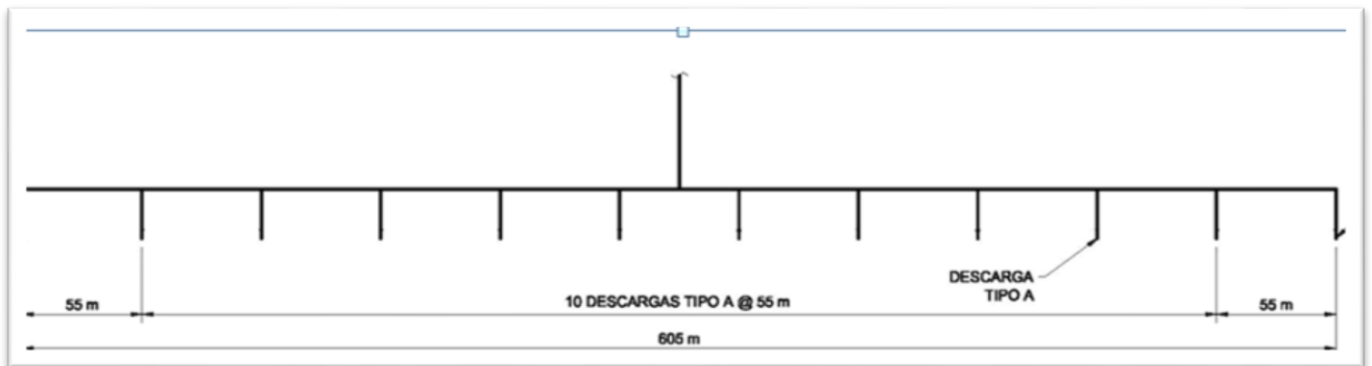
Se contempla la implementación de una red de tuberías que conduzca y distribuya, a través de sistema de evacuación dispuesto en modo de peineta el relave proveniente desde el proceso de espesamiento. Las características de la red se mencionan a continuación:

Desde km 0+000 hasta km 2+470, se proyecta la conducción de relave mediante una tubería de HDPE 900 [mm], la que se conecta con un flange de 1200 mm existente en el Cajón de Inicio.



**Figura 5:** Conexión a Cajón de Inicio.

Como se indicó, se contempla un sistema de evacuación compuesto de varias vías dispuestas a modo de peineta. En función de los antecedentes actuales, se estima, en principio, un sistema que tendrá una longitud aproximada de 605 [m], considerando la descarga por ramales instalados a 55 m de distancia entre sí.

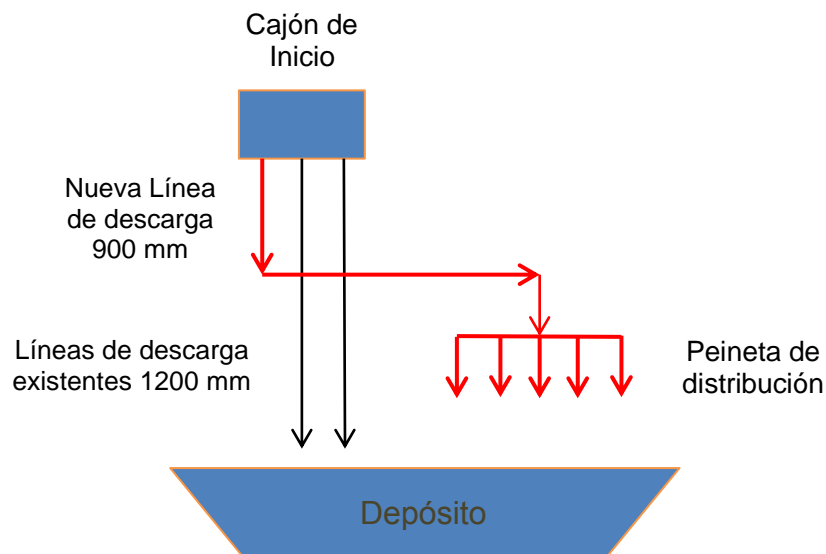


**Figura 6:** Sistema de distribución de relaves (Peineta)

El objetivo de utilizar un sistema de distribución es producir una depositación homogénea en todo el largo del sitio y favorece la depositación de relaves aguas arriba de los muros perimetrales.

Se contempla flexibilidad para operar con el sistema existente u operar con el nuevo sistema proyectado.

En la Figura 7 se muestra de forma esquemática, la red de distribución de relaves proyectada. En color negro se indican las instalaciones existentes, mientras en color rojo lo proyectado.



**Figura 7:** Esquema de distribución de relaves proyectada.

#### 4. CRITERIOS DE DISEÑO

##### Caracterización del relave

Se presenta en esta sección un resumen de la caracterización del relave adoptado para el diseño de la red de Sistema de distribución de relaves, compuesto de varias vías dispuestas a modo de “peineta”. Los parámetros hidráulicos/procesos referenciales han sido adoptados a partir de información operacional y de diseño.

- Producción de relaves totales : 110 [ktpd]
- Concentración sólidos  $C_p$  : 58 - 62 [%]
- Granulometría D50 : 58 [ $\mu\text{m}$ ]
- Granulometría D85 : 200 [ $\mu\text{m}$ ]
- Gravedad específica de los sólidos : 2,77 [ ]
- Densidad del relave : 1,622 [ $\text{ton}/\text{m}^3$ ]
- Viscosidad dinámica : 0,030 [ $\text{Pa s}$ ]
- Viscosidad cinemática : 1,85E-05 [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]

Atendiendo a la variabilidad del tonelaje de mineral procesado, la concentración en peso  $C_p$  en la descarga de los espesadores la etapa de ingeniería en desarrollo y la necesidad de contar con flexibilidad operacional que permita eventualmente volver al sistema actual de descarga, se utilizará como caudal total de relave a descargar a través de la peineta 50 ktpd y un  $C_p$  entre 58 - 62 [%].

#### 5. DISTRIBUCION DE RELAVES

La descarga del relave mediante sistemas de distribución se realizará por ramales, tal como se indica en la Figura 8. La tubería va sobre una berma de inicio, Cuya plataforma superior estará a una elevación entre la cota 1684 y 1686 msnm



**Figura 8:** Esquema descarga proyectado.

## ANEXO 4

# IMPERMEABILIZADO DE MUROS DEL DEPÓSITO DE RELAVES

(Objetivo específico N°7 Acción III)



## **1. RESUMEN EJECUTIVO**

El presente anexo describe la Acción III del objetivo específico N°7 que se implementará para impermeabilizar los muros 1, 2, 5 y 6 del depósito de relaves.

Actualmente, se cuenta con impermeabilización únicamente en los muros 3 y 4 mediante la aplicación de una carpeta de HDPE en su superficie interior.

## **2. OBJETIVO**

Impermeabilizar la totalidad de los muros de partida perimetrales del depósito de relaves, para fortalecer el sistema de manejo de control de infiltraciones.

## **3. ALCANCE**

El alcance del presente documento se refiere a los trabajos de instalación de materiales geosintéticos asociados a la impermeabilización de los MP N°1-2-5-6, muros de partida del depósito de relaves. Lo anterior considera lo siguiente:

- Instalación de Geotextil en la cara interior de los muros, seguidos de una capa de Geonet.
- Posteriormente, colocación de geomembrana.
- Movimiento de tierra para la generación de zanjas de anclaje de la geomembrana a instalar.

Para realizar los trabajos descritos será necesario habilitar, dentro del depósito, zonas para manejo temporal de relaves, de forma tal de evitar que éstos entren en contacto con los muros que será necesario impermeabilizar. Para ello, se harán movimientos de tierra dentro de la cubeta.

## **4. MUROS PERIMETRALES DE PARTIDA QUE SERÁN IMPERMEABILIZADOS**

Como se indicó, se considera la impermeabilización de 4 muros de partida (MP) que son: MP1, MP2, MP5 y MP6. La disposición de estos muros se muestra a continuación en la Figura 1.



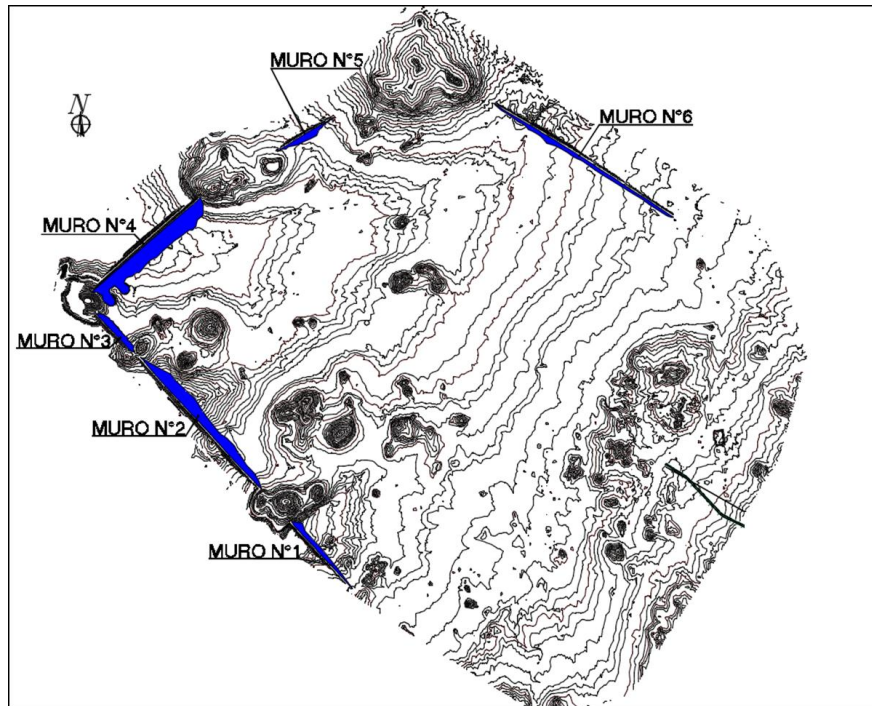


Figura 1: Disposición de los muros del tranque de relaves

La sección transversal típica de impermeabilización se puede observar en la siguiente figura, considerando los siguientes componentes:

- Geotextil
- Geonet
- Geomembrana de HDPE

Los puntos de anclaje y la configuración de estas zanjas se detallan en la Figura 2, sección transversal tipo de los muros MP 1-2-5-6.

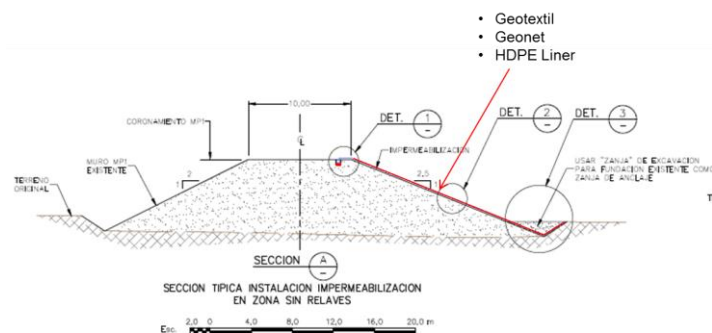


Figura 2: Puntos de anclaje y configuración de zanjas

## 5. CUBICACIÓN MUROS PERIMETRALES DE PARTIDA

### Impermeabilización muros de partida MP1, MP2, MP5, MP6

Las cantidades aproximadas para la impermeabilización de los muros de partida en esta etapa, se muestran en la siguiente tabla.

#### Cantidades de movimiento de tierra muro de partida MP1

| Ítem                                  | Unidad         | Cantidad |
|---------------------------------------|----------------|----------|
| Geomembrana lisa HDPE                 | m <sup>2</sup> | 17.710   |
| Geotextil                             | m <sup>2</sup> | 17.710   |
| Geonet                                | m <sup>2</sup> | 17.710   |
| Excavación y relleno zanja de anclaje | m              | 700      |

#### Cantidades de movimiento de tierra muro de partida MP2

| Ítem                                  | Unidad         | Cantidad |
|---------------------------------------|----------------|----------|
| Geomembrana lisa HDPE                 | m <sup>2</sup> | 39.941   |
| Geotextil                             | m <sup>2</sup> | 39.941   |
| Geonet                                | m <sup>2</sup> | 39.941   |
| Excavación y relleno zanja de anclaje | m              | 1.400    |

#### Cantidades de movimiento de tierra muro de partida MP5

| Ítem                                  | Unidad         | Cantidad |
|---------------------------------------|----------------|----------|
| Geomembrana lisa HDPE                 | m <sup>2</sup> | 10.178   |
| Geotextil                             | m <sup>2</sup> | 10.178   |
| Geonet                                | m <sup>2</sup> | 10.178   |
| Excavación y relleno zanja de anclaje | m              | 525      |

#### Cantidades de movimiento de tierra muro de partida MP6

| Ítem                                  | Unidad         | Cantidad |
|---------------------------------------|----------------|----------|
| Geomembrana lisa HDPE                 | m <sup>2</sup> | 41.052   |
| Geotextil                             | m <sup>2</sup> | 41.052   |
| Geonet                                | m <sup>2</sup> | 41.052   |
| Excavación y relleno zanja de anclaje | m              | 1.600    |

## ANEXO 5

# MEJORAS EN EL SISTEMA DE CAPTACIÓN Y EXTRACCIÓN DE INFILTRACIONES A TRAVÉS DE DRENES Y POZOS DE RECOLECCIÓN

(Objetivo específico N° 7 Acciones V y VI)

## **1. RESUMEN EJECUTIVO**

El presente anexo describe el diseño conceptual de las mejoras en el sistema de captación y extracción de infiltraciones a través de drenes y pozos de recolección.

Este sistema de drenaje permitirá controlar infiltraciones provenientes de la operación del depósito de relaves.

## **2. OBJETIVOS**

Los objetivos principales del sistema que se implementará son los siguientes:

- Controlar y direccionar el flujo de las infiltraciones.
- Colectar las infiltraciones que escurren por el subsuelo.
- Contar con un sistema de impulsión que pueda recircular las infiltraciones captadas.
- Contar con un sistema de pozos de recolección de infiltraciones aguas abajo que permita recuperar y recircular el agua que el sistema de drenaje no alcance a captar.

El sistema será lo suficientemente flexible para crecer y adaptarse al crecimiento de los muros del depósito.

## **3. DESARROLLO DEL SISTEMA**

El sistema de captación y extracción de infiltraciones a través de drenes y pozos de recolección se describirá de acuerdo al orden siguiente:

1. Diseño sistema de drenaje (Conceptual).
2. Disposición sistema de drenaje.
3. Materiales a utilizar.
4. Secciones típicas de los drenes.
5. Pozo de extracción de agua infiltrada.

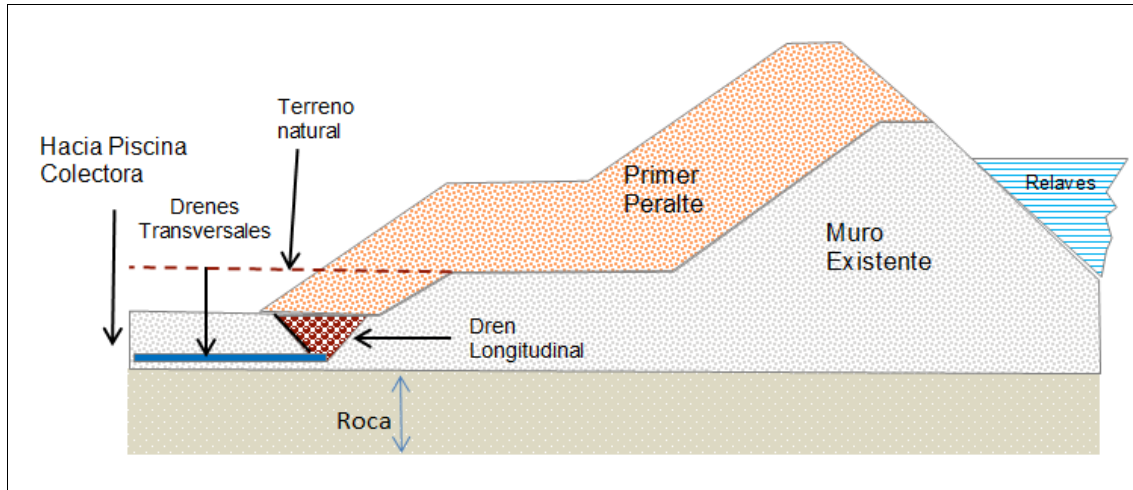
### **3.1. Diseño Sistema de Drenaje (Conceptual)**

Para el diseño del sistema de drenaje se considerará que:

- El sistema de drenaje tendrá capacidad para captar y evacuar las aguas de filtraciones que puedan pasar a través y bajo los muros.
- Los drenes estarán compuestos de un núcleo drenante de gravas y y geomembrana para el suelo de fundación (piso) y su cara aguas abajo.

- El caudal de agua que se recupere en cada muro será conducido a una piscina o sentina, la que estará equipada con un sistema de bombeo para recircular el agua y llevarla a los sistemas de acumulación de la Planta.

En la Figura 1 se presenta esquemáticamente el sistema de drenaje considerado para ser construido junto con el primer peralte de los muros.



**Figura 1:** Esquema sistema de drenaje en muros.

Para la configuración de los drenes y sistemas de captación y extracción de infiltraciones se considerarán los siguientes criterios técnicos:

#### **Criterios Hidráulicos**

- Los drenes se diseñan en base al material de grava drenante y a una pendiente mínima.

#### **Caudales de Diseño**

Los caudales de diseño del sistema de drenaje serán parte del desarrollo de ingeniería para dimensionar el sistema para las infiltraciones calculadas y que se deban manejar.

### **Protección de Drenes**

Todos los drenes deben ser protegidos de la erosión y alteración que puedan causar agentes atmosféricos y el tránsito de las personas o maquinaria durante la construcción y operación del sistema de drenaje.

### **3.2. Disposición Sistema de Drenaje**

Las obras propuestas, a nivel conceptual, consideran los siguientes elementos:

- Un dren longitudinal, consistente en una zanja excavada al pie de los muros de partida, y un relleno de material drenante.
- Drenes colectores, consistentes en zanjas transversales al dren longitudinal con un relleno de material drenante.
- Piscina de recirculación de infiltraciones. Se considera bombear las infiltraciones hacia el sistema de recuperación de agua.

### **3.3. Materiales a Utilizar**

#### **Materiales Granulares**

Los materiales granulares a utilizar en el sistema de drenaje serán materiales que cumplan con los requisitos para asegurar condiciones de filtro, permeabilidad y estabilidad interior. Por ello, como material de dren se utilizará un material con un tamaño entre 1" y 10".

#### **Geomembrana**

Se instalará una geomembrana de HDPE sobre el fondo y la cara aguas abajo del dren principal.

Para los drenes transversales y la piscina colectora se considera instalación de geomembrana en todas sus caras.

### **3.4. Secciones Típicas de los Drenes**

#### **Geometría Drenes**

Los drenes principales deberán ser excavados hasta un nivel que minimice las infiltraciones de agua debajo de este. Para ello se considera excavar hasta llegar a la roca basal, en los lugares que sea factible.

En relación al crecimiento de los muros, se utilizará material estéril extraído del rajo Catabela y transportado en camiones mineros, utilizándose un área de depositación transitoria para su manejo.

### Cubicaciones

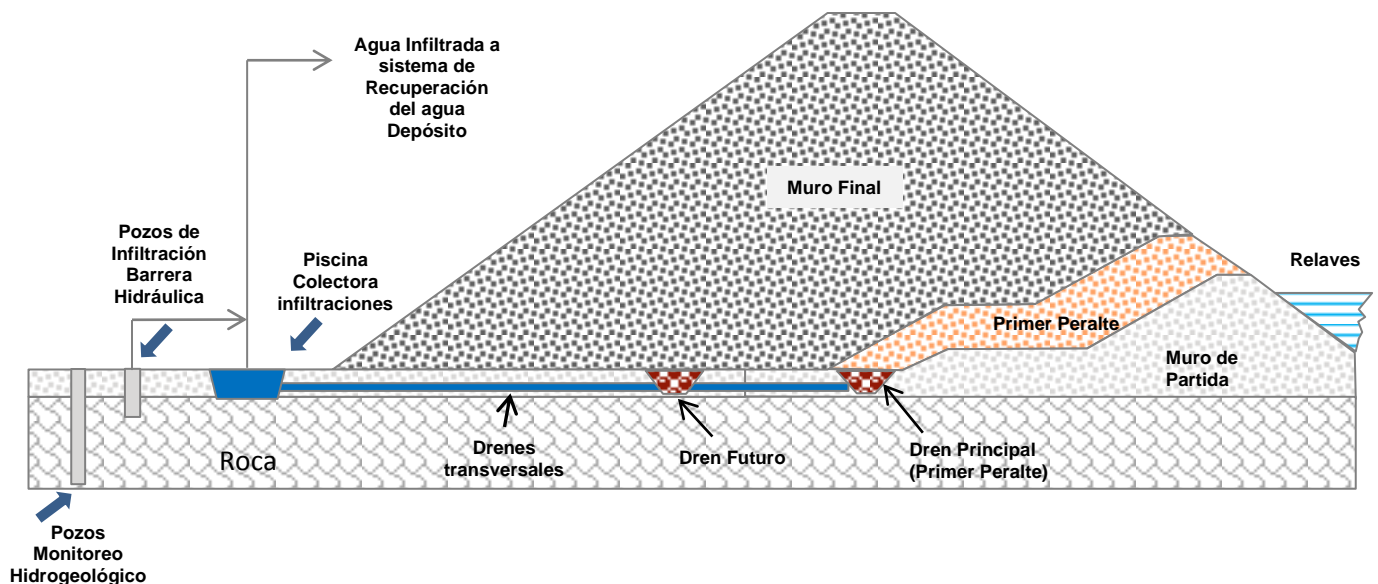
Se realizarán las cubicaciones del sistema de drenaje, las que serán estimadas a partir de las secciones tipos y largo de cada dren.

### **3.5. Pozo de Extracción de Agua Infiltrada**

Son perforaciones creadas para el control de infiltraciones con el objetivo de extraer el agua infiltrada que no haya sido captada por el sistema de drenes.

Las perforaciones serán encamisadas con tubos ranurados y una vez realizada esta labor se bombean creando un filtro de graduación natural en su exterior que aumenta su permeabilidad evitando el arrastre de finos hacia el interior del pozo. Los detalles técnicos del diámetro, número de pozos y del sistema de impulsión por medio de bomba quedarán definidos según ingeniería basada en el estudio de vías preferenciales de cada muro. Se estima preliminarmente que no debieran ser más de dos pozos por muro.

A continuación una figura conceptual de los sistemas.



**Figura 2:** Esquema general conceptual de drenes y pozos.

## ANEXO 6

# PROGRAMA DE SEGUIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

(Objetivo específico N° 7 Acción XI)





## PROGRAMA DE SEGUIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

CÓDIGO ARCADIS: N° 4468-2000-GH-INF-004\_1

SEPTIEMBRE 2016

| ARCADIS CHILE            |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | APROBADO                 |
| <input type="checkbox"/> | APROBADO CON COMENTARIOS |
| <input type="checkbox"/> | CORREGIR Y REEMITIR      |
| <hr/>                    |                          |
| Firma Revisor            | Fecha                    |

| REV. |              | Ejecutor                | Revisor  | Aprobador   | DESCRIPCIÓN                   |
|------|--------------|-------------------------|----------|-------------|-------------------------------|
| C    | Nombre Firma | A. Palacios / P. Ortega | C. Ortiz | A. Palacios | Revisión y Aprobación Cliente |
|      | Fecha        | 19.07.16                | 19.07.16 | 20.07.16    |                               |
| 0    | Nombre Firma | A. Palacios / P. Ortega | C. Ortiz | A. Palacios | Aprobación Cliente            |
|      | Fecha        | 20.07.16                | 20.07.16 | 20.07.16    |                               |
| 1    | Nombre Firma | A. Palacios             | C. Ortiz | C. Ortiz    | Aprobación Cliente            |
|      | Fecha        | 05.09.16                | 05.09.16 | 05.09.16    |                               |

## CONTACTOS

**ALEJANDRA PALACIOS**  
Jefe de Proyecto

**T** +56223816229  
**e** [alejandra.palacios@arcadis.com](mailto:alejandra.palacios@arcadis.com)

Arcadis.  
Av. Antonio Varas 621  
Providencia, CP 7500966  
Santiago | Chile

---

## CONTENIDO

|  |          |
|--|----------|
| <b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>  | <b>3</b> |
| <b>2 PLAN DE MONITOREO.....</b>                                      | <b>3</b> |
| 2.1 Identificación, caracterización y monitoreo de las fuentes ..... | 4        |
| 2.2 Monitoreo del acuífero .....                                     | 4        |
| <b>3 PLAN DE ALERTA .....</b>  | <b>7</b> |

### LISTADO DE TABLAS

|   |   |
|---|---|
| Tabla 2-1. Información de pozos de monitoreo.....                             | 4 |
| Tabla 2-2: Parámetros medidos en terreno .....                                | 4 |
| Tabla 2-3: Parámetros, elementos y compuestos analizados en laboratorio. .... | 5 |

### LISTADO DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 2-1. Ubicación de pozos de monitoreo .....          | 6  |
| Figura 3-1: Dominios Hidrogeológicos de Sierra Gorda. .... | 8  |
| Figura 3-2: Diagrama de decisión, Plan de Alerta .....     | 10 |

## 1 INTRODUCCIÓN

En la Res N°4 de la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA), del 30 de junio de 2016, la autoridad emitió observaciones al Programa de Cumplimiento presentado por Sierra Gorda SCM (SG SCM) el día 5 de abril de 2016. En el Resuelto Primero, Punto 18, se pronunció respecto a las acciones indicadas por SGSCM para cumplir con el objetivo N°7.

Específicamente en el Punto 18 letra g) la SMA se pronunció respecto a la Acción VIII, y solicita: *“Replantear la acción en términos de elaborar e implementar un programa de seguimiento del comportamiento del acuífero, con una periodicidad de muestreo, medición y reporte mensual, que incorpore la totalidad de los pozos y sondajes habilitados para realizar mediciones de calidad química y niveles, inclusive los que se incorporen como consecuencia de la acción XI y XII. En caso que el monitoreo arroje por resultado que se están produciendo cambios en el comportamiento esperable de las aguas subterráneas, el programa deberá considerar levantamiento de alertas, y la realización de monitoreos y análisis adicionales (isótopos deuterio y oxígeno-18, por ejemplo), que permitan determinar si los cambios son atribuibles a la operación del proyecto”.*

Dicha resolución (N°4) fue posteriormente complementada con la Resolución N°6 del 26 de agosto de 2016, donde hacen nuevas observaciones al Plan de Cumplimiento, esta vez presentado por SG SCM el día 22 de julio, que menciona en el numeral 7) literal J. las siguientes observaciones al Programa de Seguimiento del Comportamiento del Acuífero presentado anteriormente por SG SCM:

- j. “...En Anexo 6 precisar lo siguiente como parte del Plan de monitoreo: (i) variables a ser monitoreadas – niveles, calidad química, etc.; (ii) listado de parámetros que se compromete como parte del monitoreo de calidad química; (iii) frecuencia de monitoreo – a lo menos mensual; (iv) análisis de isótopos naturales o isótopos artificiales con frecuencia semestral. Como parte del plan de alertas, reformular la propuesta que el plan debe permitir la adopción de medidas tempranas de control, por lo tanto los umbrales de alerta deben activarse antes de arribar a la conclusión de que una infiltración ha alcanzado aguas subterráneas; por lo mismo respecto del criterio estadístico para los umbrales en concentraciones de parámetros hidroquímicos, estos deberían corresponder a una cifra menor al promedio más dos desviaciones estándar. Respecto a las acciones de alerta, contemplar la adopción de medidas materiales de control...”

Este documento da respuesta a ambas Resoluciones, a través de la presentación del diseño conceptual del programa de seguimiento del comportamiento del acuífero, el cual se divide en dos partes: 1) Plan de monitoreo y 2) Plan de alerta. El plan de monitoreo identificará el lugar de monitoreo, variables a medir, frecuencia y reportes asociados. El Plan de alerta definirá los indicadores de estado (pozos de alerta), variables indicadoras, umbrales de alerta y acciones.

## 2 PLAN DE MONITOREO

Una de las acciones incorporadas al Plan de Cumplimiento que SGSCM presentó al SMA, es la elaboración de un estudio denominado: “Revisión Red De Monitoreo Hidrogeológica Sierra Gorda”, cuyo objetivo es diagnosticar la red actual de monitoreo, identificando aciertos y falencias, siendo estas últimas resueltas a través de la proposición de nuevos puntos o metodologías de muestreo. El objetivo final de proponer un plan de monitoreo (puntos de medición, parámetros y frecuencia) que sea una herramienta efectiva para monitorear el acuífero, respecto de los potenciales efectos del proyecto Sierra Gorda. Por lo tanto, una vez que se desarrolle dicho estudio se contará con el plan que utilizará Sierra Gorda para monitorear el acuífero. Sin perjuicio de lo anterior, mientras se desarrolla el estudio de la revisión de la red y se propone el nuevo plan de monitoreo, se contempla seguir ejecutando el monitoreo que actualmente Sierra Gorda realiza.

## 2.1 Identificación, caracterización y monitoreo de las fuentes

El plan de monitoreo que será generado, tiene como objetivo identificar las posibles fuentes de infiltración generadas durante la operación de la faena minera. Cada fuente identificada será caracterizada hidroquímicamente de manera detallada y en función de su resultado y posible evolución se definirán los parámetros específicos a medir y su frecuencia de monitoreo. Lo anterior con el objetivo de determinar si los cambios son atribuibles a la operación del proyecto.

## 2.2 Monitoreo del acuífero

Actualmente el monitoreo de nivel y química del acuífero, de acuerdo a lo solicitado por la SMA, se realiza en los 22 pozos presentados en la Tabla 2-1, la frecuencia de muestreo y entrega de reportes a la autoridad se realiza de manera mensual. La ubicación geográfica de los mismos se muestra en Figura 2-1.

**Tabla 2-1. Información de pozos de monitoreo.**

| Pozo       | Tipo pozo         | Coords. Datum WGS84 H19S |                  | Cota<br>(msnm) | Información<br>Habilitación |
|------------|-------------------|--------------------------|------------------|----------------|-----------------------------|
|            |                   | UTM Este<br>(m)          | UTM Norte<br>(m) |                |                             |
| CB-1       | Pozo monitoreo    | 464.816                  | 7.477.795        | 1677,1         | Si                          |
| CB-2       | Pozo monitoreo    | 469.896                  | 7.476.666        | 1629,1         | Si                          |
| CB-3       | Pozo monitoreo    | 468.300                  | 7.474.360        | 1628,1         | Si                          |
| CB-4       | Pozo monitoreo    | 466.756                  | 7.473.826        | 1645,2         | Si                          |
| CB-5       | Pozo monitoreo    | 461.686                  | 7.475.937        | 1656,3         | Si                          |
| CB-6       | Pozo monitoreo    | 462.428                  | 7.473.336        | 1660,1         | Si                          |
| CB-7       | Pozo monitoreo    | 456.979                  | 7.473.555        | 1600,8         | Si                          |
| CB-8       | Pozo monitoreo    | 457.143                  | 7.472.135        | 1607,7         | Si                          |
| CB-9       | Pozo monitoreo    | 462.530                  | 7.468.675        | 1678,6         | Si                          |
| CB-10      | Pozo monitoreo    | 466.257                  | 7.471.785        | 1690,1         | Si                          |
| CB-11      | Pozo monitoreo    | 458.093                  | 7.470.374        | 1631,0         | Si                          |
| CB-12      | Pozo monitoreo    | 465.426                  | 7.466.586        | 1593,6         | Si                          |
| QSCSG6-237 | Sondaje monitoreo | 467.436                  | 7.470.006        | 1624,0         | No habilitado               |
| QSG08-402  | Sondaje monitoreo | 465.616                  | 7.474.997        | 1649,1         | No habilitado               |
| QSG08-431  | Sondaje monitoreo | 465.241                  | 7.474.006        | 1670,5         | No habilitado               |
| QSG08-493  | Sondaje monitoreo | 466.416                  | 7.473.626        | 1659,2         | No habilitado               |
| CON-10     | Sondaje monitoreo | 455.346                  | 7.468.329        | 1582,0         | No habilitado               |
| CON-15     | Sondaje monitoreo | 456.639                  | 7.472.210        | 1598,1         | No habilitado               |
| CON-16     | Sondaje monitoreo | 456.200                  | 7.471.111        | 1618,6         | No habilitado               |
| CON-21     | Sondaje monitoreo | 457.261                  | 7.467.311        | 1604,3         | No habilitado               |
| CON-23     | Sondaje monitoreo | 458.250                  | 7.470.012        | 1664,0         | No habilitado               |
| KP-DH10-40 | Sondaje monitoreo | 456.897                  | 7.473.752        | 1596,0         | No habilitado               |

Fuente: Elaboración Propia

Los parámetros medidos en terreno corresponden al nivel piezométrico y parámetros fisicoquímicos in situ. Los parámetros fisicoquímicos medidos se mencionan en la Tabla 2-2. Por otra parte los parámetros, elementos y compuestos analizados por el laboratorio se detallan en la Tabla 2-3. Todas estas mediciones y análisis son utilizadas para caracterizar y determinar la evolución de la calidad química del acuífero.

**Tabla 2-2: Parámetros medidos en terreno**

| Parámetros medidos en terreno | Unidades |
|-------------------------------|----------|
|-------------------------------|----------|

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| pH                        |       |
| Temperatura               | °C    |
| Conductividad eléctrica   | mS/cm |
| Sólidos disueltos totales | ppt   |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 2-3: Parámetros, elementos y compuestos analizados en laboratorio.**

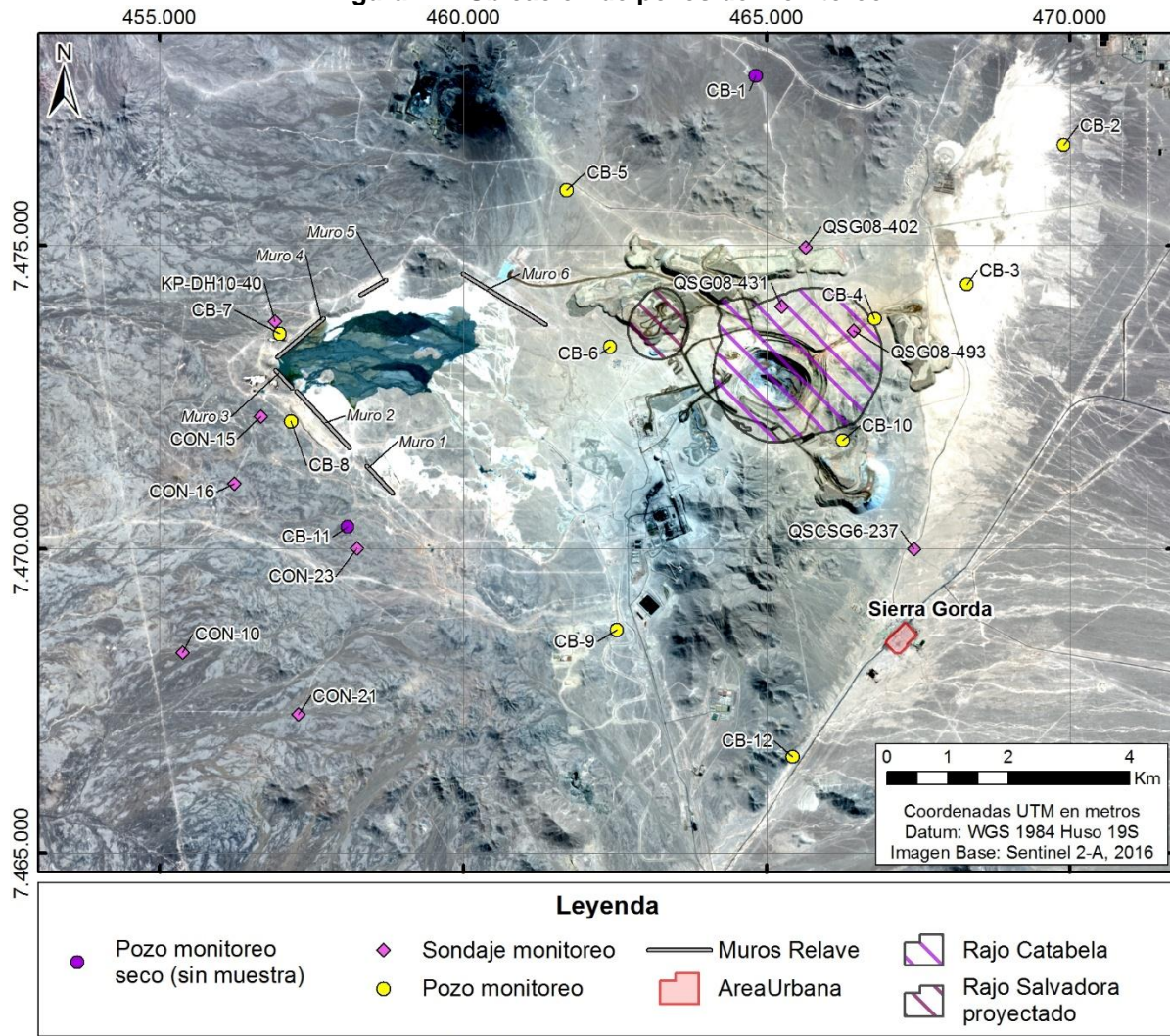
| Parámetros Analizados en Laboratorio |               |
|--------------------------------------|---------------|
| Alcalinidad HCO <sub>3</sub>         | Bario, Ba     |
| Conductividad Eléctrica              | Berilio, Be   |
| pH                                   | Cadmio, Cd    |
| Total de sólidos disueltos           | Cobalto, Co   |
| Cloruro, Cl                          | Cromo, Cr     |
| Fluoruro, F                          | Cobre, Cu     |
| Sulfato, SO <sub>4</sub>             | Hierro, Fe    |
| Nitrógeno, N-NO <sub>3</sub>         | Mercurio, Hg  |
| Boro, B                              | Litio, Li     |
| Calcio, Ca                           | Manganeso, Mn |
| Potasio, K                           | Molibdeno, Mo |
| Magnesio, Mg                         | Níquel, Ni    |
| Sodio, Na                            | Plomo, Pb     |
| Estroncio, Sr                        | Selenio, Se   |
| Plata, Ag                            | Vanadio, V    |
| Aluminio, Al                         | Zinc, Zn      |
| Arsénico, As                         | CN            |

Fuente: Elaboración propia.

En complemento al programa de monitoreo indicado, SGSCM se encuentra estudiando y analizando la actual red con el objetivo de re-definir una red acorde a la operación del proyecto y al seguimiento de sus posibles efectos ambientales en el acuífero. Una vez finalizado el estudio de optimización mencionado, se redefinirá el programa de monitoreo final considerando los resultados.



**Figura 2-1. Ubicación de pozos de monitoreo**



N:\Cartografia\PY\4677\03 PRODUCTO\31 MXD\4677\_FIG\_PozosMonitoreo\_SG\_v5.mxd

Fuente: Elaboración Propia

### 3 PLAN DE ALERTA

El Plan de Alerta corresponde a una herramienta de gestión ambiental que alerta de posibles efectos de la operación del proyecto sobre el objeto de protección. Será diseñado como un sistema de toma de decisiones que activa medidas orientadas a determinar si los cambios que puedan identificarse, a través de los monitoreos, son atribuibles a la operación del proyecto de SG SCM, para su posterior gestión.

Dado que la red actual de monitoreo está siendo analizada para su re-definición, el Plan de Alerta Temprana será dividido en dos etapas, llamadas: Primer Plan de Alerta (PAT1) y Segundo Plan de Alerta (PAT2).

#### PAT1

El primer plan de alerta temprana tiene como objetivo monitorear las posibles infiltraciones ocurridas desde el depósito de relaves que llegan a la zona no saturada del sistema, y por consiguiente no alcanzan el acuífero.

El PAT1 se realiza con el estado actual de la red de monitoreo y considera como indicadores de estado los pozos CB-7, CB-8, CB-11 y CB-12; y los sondajes KP-10-40 y CON-15. Para definir las especificaciones del PAT1, se considera un tiempo de elaboración de 2 meses, luego de lo cual se enviará a la SMA para su validación. Este plan se mantendrá operativo hasta que la SMA haya validado el PAT2 (descrito en el punto siguiente).

En caso de activación del primer plan de alerta las medidas a implementar son:

1. Dar aviso a la SMA a través del sistema de contingencias.
2. Elaborar un diagnóstico sobre lo ocurrido y presentarlo a la SMA.

#### PAT2

El segundo plan de alerta temprana tiene como objetivo monitorear y alerta de posibles efectos de toda la operación del proyecto Sierra Gorda sobre el objeto de protección (acuífero).

El PAT2 se diseñará con la nueva red de monitoreo de aguas subterráneas, comprendiendo un periodo de 6 meses de mediciones, posterior a la ejecución de la Acción VII. Finalizado este periodo, en el plazo de un mes y considerando los resultados obtenidos, se enviará a la SMA el PAT2 para su validación y posterior inicio de operación. Cabe recordar que hasta que ocurra esta validación, se mantendrá operativo el primer plan de alerta temprana.

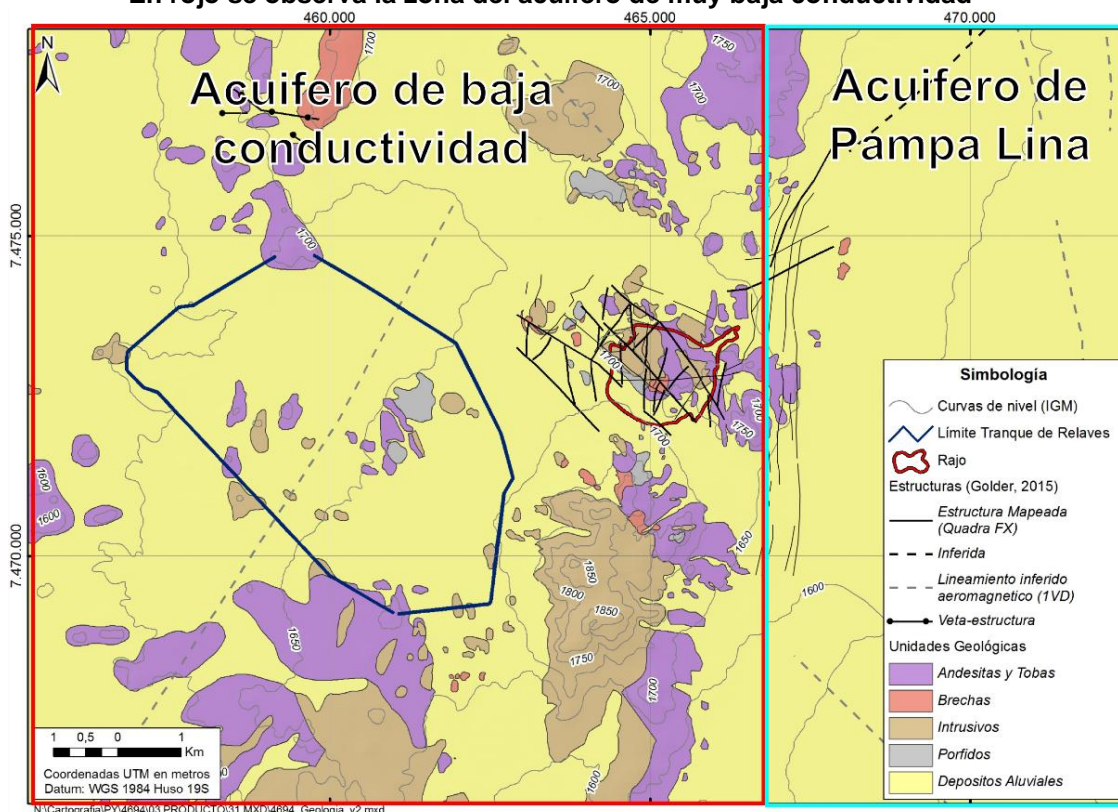
La elaboración del PAT2 se basará en los resultados del Plan de monitoreo de variables hidrogeológicas y de fuentes (ver acápite 2) realizadas durante los últimos dos años (2014 a 2016), es decir con los datos de nivel e hidroquímica que han sido recopilados durante la fase de operación del proyecto. Las principales características del PAT2 corresponderán a definir las siguientes variables: 1) objeto de protección, 2) indicadores de estado, 3) variables indicadoras, 4) umbrales de alerta y 5) acciones.

#### 1. Objeto de protección

El sistema ambiental que el plan de Alerta 2 debe proteger corresponde al acuífero de muy baja conductividad de Sierra Gorda. Este acuífero se encuentra en la zona Oeste del proyecto minero Sierra Gorda (cuadro con límites en color rojo en Figura 3-1), y se encuentra limitado al este por una falla de orientación Norte-Sur. Las aguas subterráneas de este sistema se encuentran alojadas en fracturas de rocas ígneas volcánicas e intrusivas y sus flujos están limitados de forma local por la conectividad y ocurrencia de estas fracturas.



**Figura 3-1: Dominios Hidrogeológicos de Sierra Gorda.**  
En rojo se observa la zona del acuífero de muy baja conductividad



Fuente: Elaboración propia.

## 2. Variables indicadoras

Corresponde a las variables que actualmente se monitorean en el Plan de Seguimiento Ambiental, es decir niveles estáticos, parámetros fisicoquímicos e hidroquímica de los pozos y sondajes de monitoreo que llegan al acuífero.

Respecto a la hidroquímica se debe definir parámetros diferenciadores que permitan identificar relación causal entre la variable indicadora medida en las aguas subterráneas naturales y las fuentes potenciales de infiltración.

Para la definición de las variables indicadoras se realizarán las siguientes acciones:

- Caracterización de las fuentes potenciales de infiltración y de las aguas subterráneas naturales. Esta caracterización debe contemplar todos los niveles estáticos y parámetros hidroquímicos medidos desde el inicio del monitoreo. La caracterización debe contener un análisis estadístico de los datos (análisis de puntos fuera de tendencia) con la finalidad de obtener un grupo de datos representativos de la calidad real de las aguas subterráneas naturales y de las fuentes potenciales de infiltración.
- Posteriormente se definirán las variables indicadoras. Estas pueden ser variables medidas o analizadas directamente en las aguas (ej: nivel estático, sulfatos, TDS,

magnesio, etc) y/o variables calculadas para determinar enriquecimiento (ej: Cl/SO<sub>4</sub>, Mg/Ca, diagramas de Schoeller, etc).

### 3. Umbrales de alerta:

Corresponde al valor puntual que indica que una infiltración ha alcanzado las aguas subterráneas naturales y que por lo tanto se están produciendo cambios en el comportamiento esperable de las aguas subterráneas.

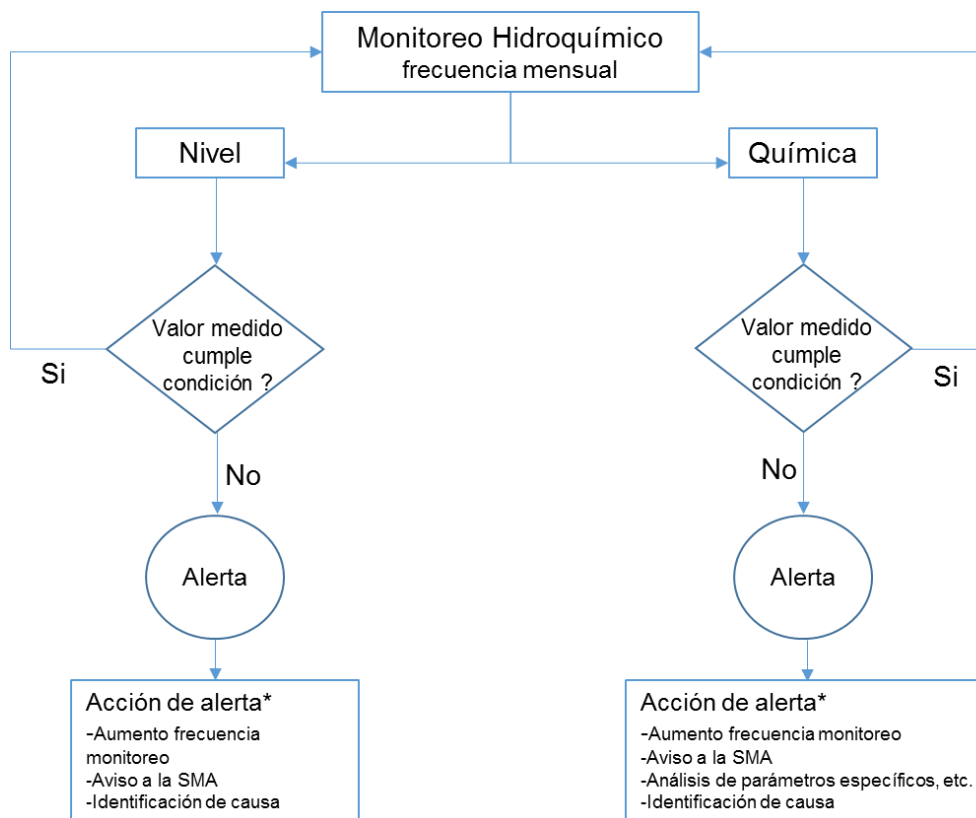
Los valores base se definirán de acuerdo al monitoreo histórico de Sierra Gorda, acogiendo datos desde el 2008 en adelante. Luego para definir los valores umbrales de control se realizarán las siguientes acciones:

- Se definirán valores umbrales de acuerdo a criterios estadísticos y/o conceptuales. Por ejemplo, el criterio estadístico utilizado ampliamente en planes de alerta temprana corresponde al promedio más dos desviaciones estándar para las concentraciones hidroquímicas.
- En el caso de los niveles estáticos se debe tomar en cuenta una variación de acuerdo a la conceptualización hidrogeológica. Por ejemplo, una variación o tasa de ascenso de algunos centímetros puede ser evidencia de infiltraciones para un pozo con tendencia estable y habilitado en roca fracturada.
- En el caso que no se puedan definir valores estadísticos de concentraciones y/o mediciones de los parámetros hidrogeológicos y geoquímicos, se tomarán criterios gráficos. Por ejemplo, en el caso que las aguas potenciales de infiltración tengan una signature geoquímica de Ca/Mg caracterizada con una recta de pendiente específica, y/o caracterizada por un gráfico de Schoeller singular, se podrá tomar como valor de alerta si los gráficos de las aguas naturales se asemejan a los gráficos de Ca/Mg y de Schoeller de las aguas potenciales de infiltración.

### 4. Acciones de alerta

Corresponde a las acciones de Alerta a implementar como por ejemplo monitoreos y análisis adicionales. Estas acciones estarán dispuestas como un diagrama de decisión el cual explicitará que tareas a realizar de acuerdo a las alertas que se puedan ir gatillando para cada variable y punto de control.

Figura 3-2: Diagrama de decisión, Plan de Alerta 2



\* Las acciones presentadas son referenciales y serán definidas en el Programa de Alerta definitivo.

Fuente: Elaboración propia.