

BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSITARIA

TN688.3.H4
.E86



1/T180335

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
Departamento de Ingeniería Civil y Minas

**PROCESO CONSTRUCTIVO DE PATIOS DE
LIXIVIACIÓN PROYECTO LA YAQUI**



**Que para obtener el título de:
INGENIERO EN MINAS**

PRESENTA:

CHRISTIAN ADELMO ESPINOZA PAYÉS

588.3.H4

HERMOSILLO, SONORA.

ABRIL 2018

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil y Minas
Academia de Geomecánica e Infraestructura Minera

15 de marzo de 2018.

P.I.M. CHRISTIAN ADELMO ESPINOZA PAYÉS
Presente.-

Por este conducto le informo que después de presentar ante los miembros de la **ACADEMIA DE GEOMECÁNICA E INFRAESTRUCTURA MINERA**, su solicitud de aprobación del Tema de Tesis: **PROCESO CONSTRUCTIVO DE PATIOS DE LIXIVIACIÓN PROYECTO LA YAQUI**, que usted propone para obtener el título de **INGENIERO MINERO**, me es grato hacer de su conocimiento que hemos acordado **APROBAR** la propuesta que nos ha enviado, a fin de brindarles la oportunidad de presentar su Examen Profesional según lo establecido por la normatividad vigente.

Asimismo, les informo que la Academia Revisora quedó integrada como sigue:

DIRECTOR:	DR. JUAN MANUEL RODRIGUEZ ZAVALA
ASESOR:	M.C. GENESIS LUISANA AGUIRRE LÓPEZ
ASESOR:	M.C. TOMÁS FERNANDO VILLEGAS BARBA

Aprovecho la oportunidad para desearle el mayor de los éxitos y solicitarle su mejor esfuerzo para el bien del trabajo académico de nuestra institución.

A T E N T A M E N T E,
"EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA"

Juan M. Rodríguez Zavala
DR. JUAN MANUEL RODRÍGUEZ ZAVALA
PRESIDENTE DE ACADEMIA



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil y Minas
Academia de Geomecánica e Infraestructura Minera

13 de abril de 2018.

P.I.M. CHRISTIAN ADELMO ESPINOZA PAYÉS
Presente.-

Por medio de la presente, informo a usted que después de analizar su solicitud de aprobación del Tema de Tesis: **PROCESO CONSTRUCTIVO DE PATIOS DE LIXIVIACIÓN PROYECTO LA YAQUI**, hemos tenido a bien emitir un dictamen satisfactorio del contenido del mismo, después de revisar cuidadosamente el trabajo desarrollado y verificar que los objetivos propuestos se hayan alcanzado, según lo establecido con anterioridad.

Por tal motivo, la Comisión extiende su autorización para proceder a la edición e impresión final del documento y, posteriormente, presentar el examen profesional en la fecha que de común acuerdo se convenga.

A T E N T A M E N T E,
"EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA"

Juan M. Rodríguez Zavala
DR. JUAN MANUEL RODRÍGUEZ ZAVALA
PRESIDENTE DE ACADEMIA

Juan M. Rodríguez Zavala
DR. JUAN MANUEL RODRÍGUEZ ZAVALA
PRESIDENTE DEL JURADO
(DIRECTOR)

Genesis Luisana Aguirre López
M.C. GENESIS LUISANA AGUIRRE LÓPEZ
SECRETARIO DEL JURADO
(ASESOR)

Tomás Fernando Villegas Barba
M.C. TOMÁS FERNANDO VILLEGAS BARBA
VOCAL DEL JURADO
(ASESOR)

ÍNDICE

Glosario de Términos	1
Documentación interna.....	2
Acrónimos/ Abreviaturas.....	3
INTRODUCCIÓN.....	4
1.1 Objetivo.....	4
1.2 Descripción del proyecto	6
2.0 GEOLOGÍA DEL SITIO.....	9
2.1 Ferricrete (Tfrr)	9
2.2 Dacita (Tpad).....	9
2.3 Andesita inferior (Tla)	9
2.4 Báucarit (Tba).....	10
3.0 INSTALACIÓN DEL PATIO DE LIXIVIACIÓN.....	12
3.1 Preparación del sitio	15
3.2 Drenaje del barranco	15
3.3 Nivelación y sistema de recubrimiento del patio.....	17
3.4 Ampliamiento y arreglo	19
3.5. Sistemas de colección de solución por gravedad	21
3.5.1 Celdas de colección de solución.....	21
3.5.2 Colección de solución y enrutamiento	22
3.5.3 Espaciamiento y medición de la tubería de colección.....	23
3.6 Piletas de proceso	25
3.6.1 Criterios de construcción de piletas	25
4.0 SISTEMAS DE RECUBRIMIENTO PARA LA PILETA.....	27
4.1 Descripción de las piletas	28

4.1.1	Pileta de solución rica	29
4.1.2	Pileta de solución estéril	30
4.1.3	Pileta de eventos	31
4.1.4	Volumen de almacenamiento disponible	32
4.2	Sistema de detección de fugas.....	33
4.2.1	Detección y colección de fugas en el patio de lixiviación.....	33
4.2.2	Detección de fugas en los canales forrados	36
4.2.3	Detección de fugas en las pilas de proceso.....	36
5.0	CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS	37
5.1	Estabilidad de talud	37
5.1.1	Criterio de construcción del patio de lixiviación	38
5.1.2	Suposiciones	39
5.1.3	Parámetros de estabilidad	40
5.1.4	Factores de seguridad	40
5.1.5	Método.....	41
5.2	Parámetros de resistencia	41
5.3	Resultados de estabilidad.....	42
5.4	Discusiones y conclusiones	44
6.0	CONSIDERACIONES DE CONSTRUCCIÓN.....	45
6.1	Especificaciones y control de calidad	45
6.2	Fuentes de préstamo	46
6.3	Instalación del sistema de recubrimiento.....	47
6.4	Materiales de construcción	47
6.4.1	Relleno estructural.....	47
6.4.2	Suelo arcilloso	48

6.4.2	Material de grava dren.....	49
7.0	BIBLIOGRAFÍA.....	51
	APÉNDICE "A" BASE DE DISEÑO.....	53

Glosario de Términos

<i>Término</i>	<i>Definición</i>
<i>Drenaje Ácido</i>	Lixiviado, efluente, o contaminante de drenaje que ha sido afectado por la oxidación de mineral de sulfuro natural, contenido en el tepetate expuesto al aire, el agua y/o los microorganismos promotores de la oxidación de azufre.
<i>Cierre</i>	Se refiere a la eliminación de toxicidad, estabilización final, restauración y actividades de monitoreo que se inician al final de la operación del Sistema de Lixiviación.
<i>Trabajos Complementarios</i>	Montaje de instalaciones y edificios necesarios para el funcionamiento correcto del Sistema de Lixiviación.
<i>Cubierta</i>	Material que se coloca en la base de la pila de mineral, donde el mineral que va a través del proceso de lixiviación está situado o apilado, y provee un recubrimiento resistente al agua que impide la infiltración de soluciones de contaminantes.
<i>Agente de Lixiviación</i>	Compuesto químico que se utiliza en el patio de lixiviación para la disolución y recuperación de valores de mineral.
<i>Proceso de Lixiviación</i>	Beneficiación de mineral, conforme la definición del Artículo 3 Sección III de la Ley Minera de México, que implica la disolución selectiva de los minerales con valor económico.
<i>Sistema de Lixiviación</i>	Ensamblaje de las obras y servicios que integran el proceso de lixiviación en pilas de mineral de oro y plata de baja ley. Este sistema constituye comúnmente de: obras de patio, planta metalúrgica que extrae el oro y la plata de solución rica.
<i>Pileta</i>	Barrera impermeable construida para manejar las soluciones acuosas generadas durante los procesos de lixiviación
<i>Solución Rica</i>	Solución acuosa, cargada con elementos de valor económico, una vez recuperado el proceso de lixiviación.
<i>Solución Gastada</i>	Solución acuosa que ha sido despojada de valor económico que suele estar condicionada para usarla otra vez como un agente de lixiviación.
<i>Pila</i>	Material de mineral, generalmente triturado, que ha sido depositado en una plataforma cuyo valor metálico puede ser recuperado a través del proceso de lixiviación, también puede significar pilas o volcados.

Documentación interna

<i>Código</i>	Fuente de información
<i>NOM</i>	Norma Oficial Mexicana de Estándares y Reglamentos
<i>A</i>	Minas de Oro Nacional S.A de C.V.
<i>G</i>	Golder Associates Inc.
<i>G1</i>	Golder Associates Inc. Balance de Agua Probabilístico (Probabilistic Water Balance), Operaciones del HLP, Mulatos, septiembre de 2013.
<i>G2</i>	Golder Associates Inc. Evaluación Preliminar de Estabilidad para la Explanación del HLP Sureste, Mina Mulatos, agosto de 2013 (Draft Stability Review of the Southeast HLP Expansion)
<i>R</i>	Plan de Cierre, Desmantelamiento y Reclamación para la Mina Mulatos (Mulatos Mine Closure, Decommissioning, and Reclamation Plan), febrero de 2012
<i>SRK1</i>	SRK Consulting, Actualización del Análisis Hidrológico para Proyecto Mulatos (Hydrological Analysis Update for Mulatos Project), agosto de 2012
<i>SRK2</i>	SRK Consulting, Balance de Agua para la Mina Mulatos (Water Balance for Mulatos Mine) agosto de 2012

Acrónimos/ Abreviaturas

m	Dimensiones en metros		
cm	Dimensiones en centímetros	DIA.	Diámetro
mm	Dimensiones en milímetros	MAX	Máximo
HDPE	Poliétileno de alta densidad	TYP.	Típico
DR	Proporción dimensional		
g/m ²	Gramos por metro cuadrado		
NTS	No a escala		
xxH:1V	Talud de corte o relleno; expresado como horizontal a vertical		
xx%	Canal, camino, nivel de patio; expresado como porcentaje		
MIN	Mínimo		
STA.	Estación		

INTRODUCCIÓN

En esta tesis se presenta el proceso de construcción de ingeniería básica para la instalación del patio de lixiviación HLF (Heap Leach Facility). Minas de Oro Nacional S.A de C.V (MON), se encuentra desarrollando un nuevo proyecto llamado La Yaqui, una mina de oro a cielo abierto que opera usando el procesamiento de lixiviación en pilas.

Golder Associates Inc. (Golder), entre otras empresas contratistas, han apoyado en el desarrollo de la mina por medio de la preparación del diseño de ingeniería para la HLF La Yaqui, cumpliendo con los requisitos de la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) de la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), que se aplican a este tipo de operación minera. La información que se presenta a continuación fue autorizada y proporcionada para la elaboración de esta tesis por parte de MON.

El tesista realizó las prácticas profesionales en el departamento de Proyectos de MON en el proyecto La Yaqui, el periodo de prácticas fue de Febrero 2017 – Marzo 2017, dicho tiempo contribuyó con la supervisión de la instalación de la HLF.



Figura 1. Mapa de la ubicación del proyecto La Yaqui. (Golder, 2016).

1.1 Objetivo

Este trabajo consiste en la presentación y explicación del proceso de construcción del patio de lixiviación del proyecto La Yaqui. Los aspectos principales incluyen:

- Un patio de lixiviación recubierto con geomembrana y con una extensión aproximadamente 84,000 m² que proporcionará una capacidad de mineral de 1,670,000 ton/m³.
- Piletas de almacenamiento de soluciones de proceso rica y estéril.
- Una pileta de eventos para almacenar agua de tormentas y eventos adversos.
- Un sistema de tubería de colección de solución por gravedad y detección de fugas encima del recubrimiento.

La instalación de la HLF, cumple con las pautas del Código Internacional del Manejo de Cianuro para la contención ambiental, y de la Norma Oficial Mexicana NOM-155-SEMARNAT-2007 (NOM-155), la que establece los requisitos regulatorios para la protección ambiental de sistemas de lixiviación de oro y plata. El cumplimiento de estas normas y prácticas, son consideradas para disminuir el riesgo ambiental de las instalaciones para suelos locales, roca, agua superficial y agua subterránea en y alrededor del sitio del impacto.

1.2 Descripción del proyecto



Figura 2. Área del sitio donde se encuentran los patios de lixiviación e instalaciones del proyecto. (Golder, 2016).

El proyecto se ubica cerca de la mina Mulatos, en Sonora, México, a 9 km al Suroeste del tajo Estrella, los cuales están en operación actualmente, como se muestra en la figura 1 y 2.

El mineral será extraído de un tajo a cielo abierto y acarreado a los circuitos de trituración y aglomeración, subsecuentemente será apilado en el patio de lixiviación en capas de 7 m a una altura máxima de 30 m, se usaran camiones para todo el acarreo requerido. El patio de lixiviación, tendrá un recubrimiento compuesto, que consta de un suelo de baja permeabilidad (arcilla) o recubrimiento de arcilla geosintética GCL (Geosynthetic Clay Liner), sobre esta, irá una geomembrana impermeable (liner), después, se colocará arriba una capa de grava dren para el drenaje (overliner), como se muestra en la figura 3 y 4.

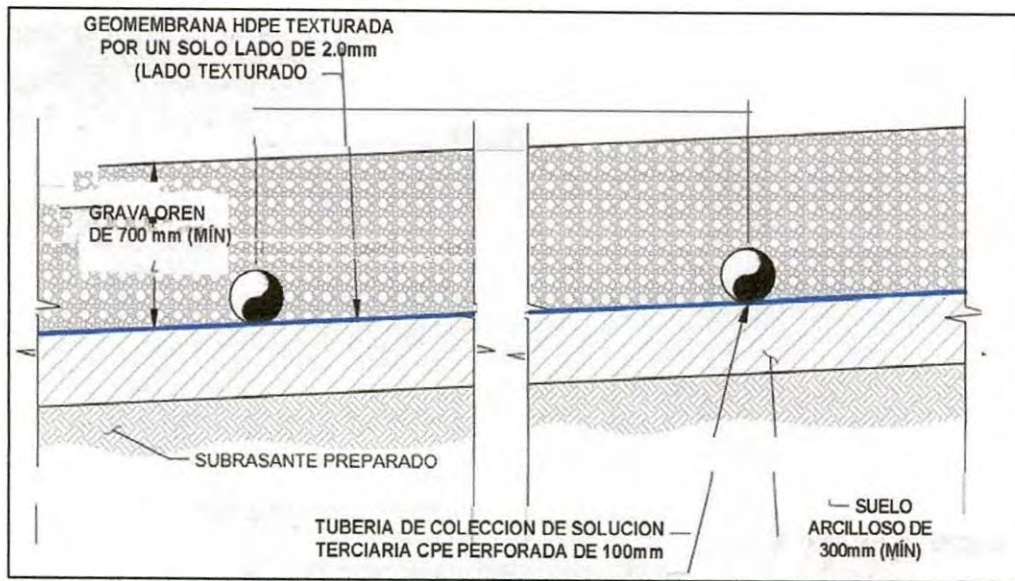


Figura 3: Detalle del suelo arcilloso para el patio de lixiviación. (Golder, 2016).

Se aplicará una solución pobre de cianuro de sodio a la superficie de cada capa de mineral, mediante emisores de goteo. La solución se filtrará a través del mineral apilado, acumulando metales hasta que alcance el recubrimiento de geomembrana, y en ese momento será recuperada por el sistema de colección de solución, situado inmediatamente por encima del recubrimiento. La topografía combinada con la nivelación del sitio, proporcionará transporte de la solución por gravedad hacia aguas abajo, a las piletas de proceso forradas con doble geomembrana. Los metales serán retirados utilizando el proceso carbón activado CIL (Carbon In Leach). Se presenta la HLF en los planos (apéndice B).

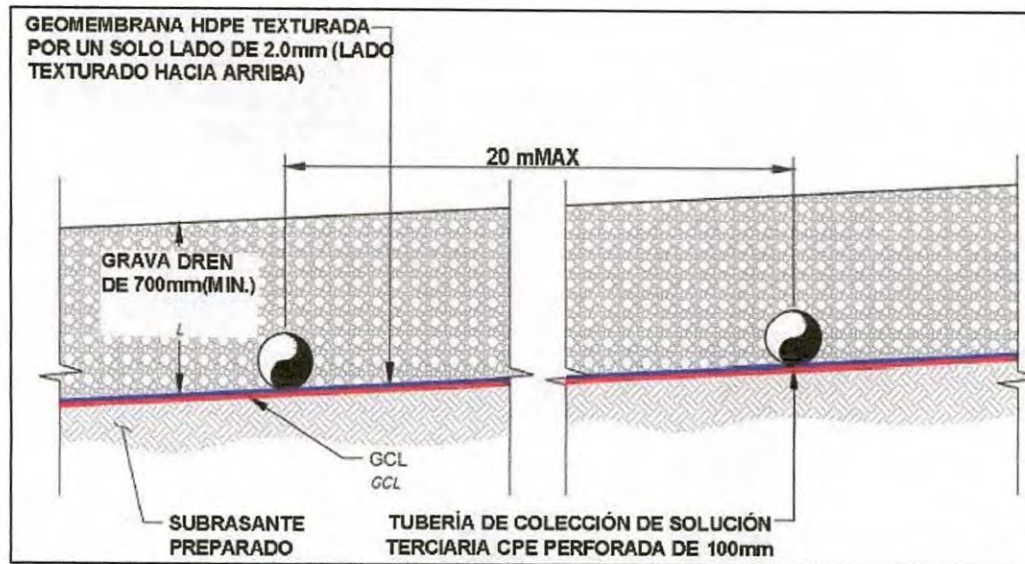


Figura 4: Detalle de sistema de recubrimiento de GCL y espaciamiento de tubería de colección. (Golder, 2016).

Si se llega a presentar el caso de una fuga en el patio de lixiviación, o en los recubrimientos de geomembranas de las piletas, los sistemas de detección y de recuperación de fuga (situados inmediatamente por debajo del recubrimiento de geomembrana primaria), permiten el monitoreo y evacuación de fugas, para minimizar los impactos a la geología y las aguas subterráneas del sitio.

Debido a la naturaleza poco profunda del depósito y la baja proporción de descapote, el material de desecho del tajo será utilizado para la construcción del camino de acarreo y la HLF; por lo tanto, no hay necesidad de una tepetatera formal.

El consultor Golder, en conjunto con MON, desarrollaron una base de diseño para establecer los criterios de construcción para la HLF, que se presenta en el apéndice A.

2.0 GEOLOGÍA DEL SITIO

El sitio La Yaqui, un depósito satélite del depósito Los Mulatos, se encuentra alojado en una dacita silicificada altamente alterada. La instalación del patio de lixiviación de La Yaqui, ocupará lugar en un valle pequeño al oeste del depósito. El geólogo de campo de Golder con ayuda de los geólogos de MON, proporcionó las siguientes cuatro unidades geológicas que fueron mapeadas o encontradas en los barrenos y pozos de prueba dentro de las inmediaciones del sitio propuesto para la instalación del patio de lixiviación:

2.1 Ferricrete (Tfrr)

Es generalmente caracterizado como gravas cementadas de óxido de hierro con clastos que van de subangulares a subredondeados y están mal clasificados. Las gravas consisten en intrusivos félsicos que están manchados con óxidos de hierro. Se observa una ligera estratificación por la variabilidad en el tamaño de los clastos. Esta unidad no tiene más de 2 m de espesor, y cubre de manera disconforme a otras unidades más antiguas y persiste en la base de los taludes del valle pequeño que domina el sitio.

2.2 Dacita (Tpad)

Está caracterizada por un intrusivo félsico afanítico, que es ligeramente porfirítico con fenocristales subedrales. En los afloramientos que se pueden observar en el sitio, la unidad fue intensamente silicificada, y se forman crestas pequeñas de manera competente, que sobresalen en los materiales que más fácil se erosionan.

2.3 Andesita inferior (Tla)

Está caracterizada por un intrusivo afanítico con intervalos ocasionales de porfídicos y fenocristales feldespáticos. Los afloramientos generalmente contienen coloración de óxido de hierro, las muestras recolectadas de los barrenos son ricas en sulfuros, con un contenido de hasta 2% de pirita

diseminada. La formación de andesita inferior, cerca de la superficie se encuentra alta a completamente alterada a suelos residuales ricos en arcilla.

2.4 Báucarit (Tba)

Está compuesta por dos unidades intercaladas: un conglomerado morado-marrón y una toba fina de tono beige. En el sitio, el conglomerado es el miembro predominante de los dos, y se compone principalmente de clastos volcánicos con su menor componente intrusivo. Los clastos son de tamaño de gravas, subredondos, pobremente clasificados. La matriz corresponde a una arenisca limosa de grano fino. Hay una variación considerable en ambas en cuanto a comparación de la matriz y la cantidad de clastos en esta unidad; y fue observada gradualmente fuera de los conglomerados, en arenisca masiva y de regreso. La unidad de la toba está compuesta de grano muy fino, competente y estratificado de manera muy fina. La formación Báucarit es una unidad de relleno de cuenca, que se atribuye al régimen extensional del Basin and Range.

Se realizó un mapeo geológico del sitio del HLF, con ayuda del geólogo de campo de Golder y geólogos de MON. En la figura 5 se muestran las estructuras geológicas, la ubicación de la falla inferida (Longo et al. 2015) y el área de una posible fuente de préstamo de arcilla.

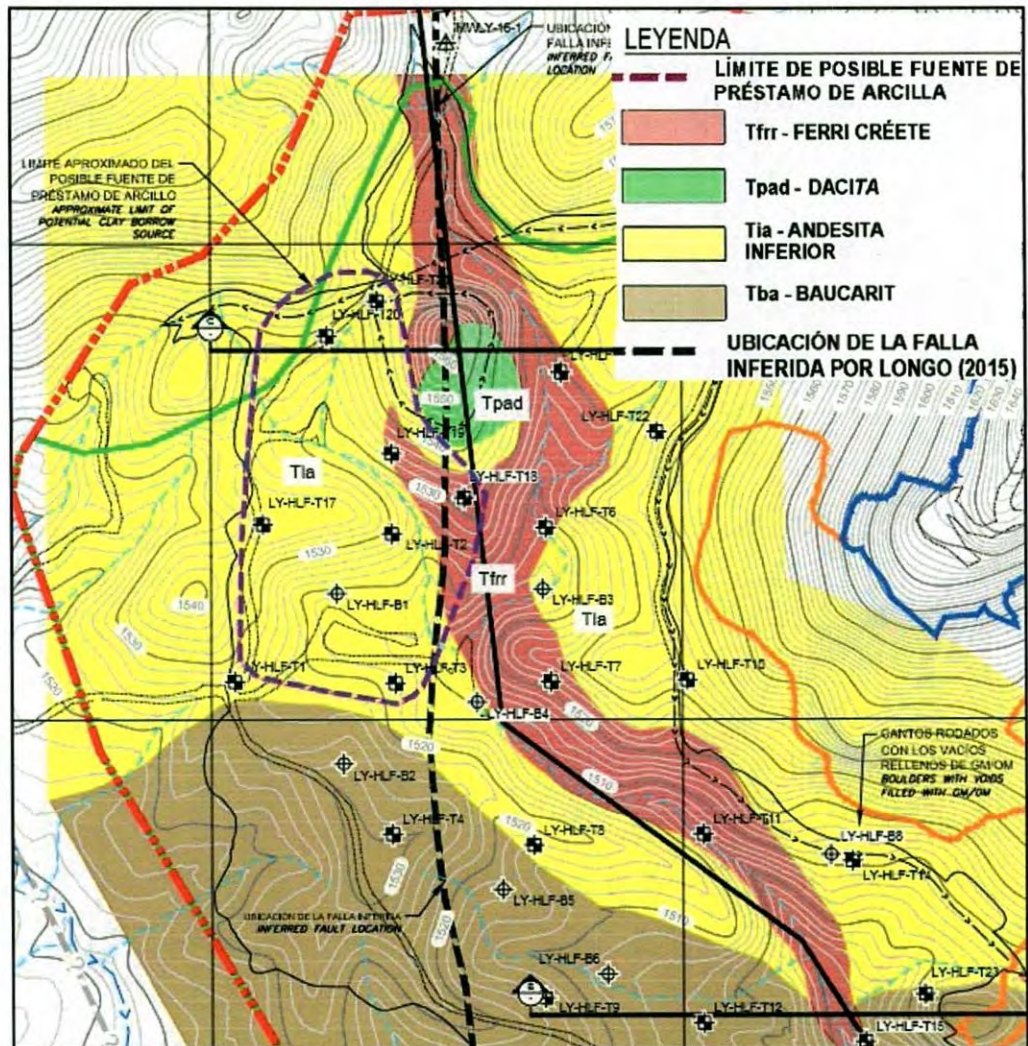


Figura 5: Exploración geotécnica y mapa de la geología del sitio. (Golder, 2016).

El mapa se basa en el mapa geológico provisto por MON (Longo et al. 2015), y las interpretaciones de la geología expuesta por el ingeniero de campo de Golder. La andesita inferior (Tia), subyace el sitio de la HLF, con la formación Báucarit (Tba) ocupando la porción suroeste del sitio en el campo. El Ferricrete (Tff) está también presente como una cubierta delgada discontinua, siguiendo el drenaje principal en la dirección sur a lo largo del sitio. La andesita inferior, es la unidad más antigua en el sitio, con una edad de 63 Ma (Longo et al. 2015). La formación Báucarit fue depositada discordantemente en la andesita inferior en el mioceno temprano (Bartolini et al. 1991). El contacto entre la andesita inferior y la

formación Báucarit, es expuesta en un corte de camino cerca de los límites al Suroeste de las instalaciones.

El mapa aportado por MON (Longo et al. 2015), indica una tendencia de falla inferida de Norte a Sur, siguiendo aproximadamente el drenaje principal, atravesando el centro de la HLF propuesta. La expresión en superficie no ha sido observada, a pesar de los esfuerzos hechos para encontrar evidencias de su presencia. Como se muestra en la figura 5, se ubica una falla inferida por (Longo et al. 2015), junto con tres secciones geológicas que cortan a través del sitio de la HLF, estas condiciones geológicas se encontraron en la información de barrenos proporcionada por el consultor Golder.

3.0 INSTALACIÓN DEL PATIO DE LIXIVIACIÓN

Después del reconocimiento de los sitios potenciales, y revisión de los datos del diseño preliminar existente desarrollado por MON, el consultor Golder, confirmó que el sitio de la propuesta HLF, es el sitio predilecto dentro de los límites de la MIA en La Yaqui. Los criterios favorables utilizados para la revisión del sitio incluyeron:

- Capacidad suficiente para almacenar y procesar el mineral identificado en el modelo actual de la mina.
- Una proximidad cercana al depósito mineral.
- Terreno favorable para construcción y operación.
- Estabilidad geotécnica.
- Potencial para un balance entre el corte y relleno de nivelación dentro del sitio de la HLF.
- Fuentes adecuadas de material de préstamo dentro del sitio de la HLF.

El patio de lixiviación de aproximadamente 7.9 he, ha sido medido utilizando una densidad promedio del mineral apilado de 1.60 ton, y una altura máxima de pila de 30 m por encima de la superficie forrada, para proporcionar una capacidad de 1.66 millones de toneladas del mineral. El mineral se colocará en el patio de lixiviación, a una tasa promedio de 550,000 ton anuales, que provee aproximadamente 3 años de almacenamiento antes de que la HLF alcance su capacidad pronosticada. El mineral será triturado a un tamaño máximo de partícula de 80 %, que pasa la malla de 25.4 mm en un circuito de trituración de dos etapas, para después apilarlo en capas de aproximadamente 7 m y se proporcionarán unos bancos entre capas, para crear una pendiente promedio general del mineral de 3H:1V (horizontal a vertical), que dará estabilidad operacional durante y después de la vida del proyecto.

El diseño realizado por parte del consultor Golder, para el patio de lixiviación y sistema de colección de solución por gravedad, se toma en cuenta un apilamiento de altura máxima de 50 m, para aumentar la capacidad total de La Yaqui a 2,300,000 ton. Las proporciones de dimensión de tubería de colección de solución, han sido seleccionadas para permitir un aumento en la altura de 30 m a 50 m. Se presenta una lista completa de los criterios de diseño del proyecto en la tabla 1.

Tabla 1: Criterios de operación. (Golder, 2016).

Parámetros	Valor	Comentarios	Documentos internos										
<i>Densidad del mineral</i>	1.6 ton/m ³		A										
<i>Contenido promedio de humedad natural del mineral</i>	2.8%	Por peso seco	A										
<i>Drenaje promedio del contenido de humedad del mineral después de lixiviación</i>	7.0%	Por peso seco	A										
<i>Tasa anual de carga de mineral</i>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Toneladas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pre-producción</td> <td>33,000</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>550,000</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>550,000</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>520,000</td> </tr> </tbody> </table>	Año	Toneladas	Pre-producción	33,000	1	550,000	2	550,000	3	520,000	1,570 ton /día	A
Año	Toneladas												
Pre-producción	33,000												
1	550,000												
2	550,000												
3	520,000												
<i>Días operacionales por año</i>	350		A										
<i>Tasa promedio de aplicación</i>	7.5 l/hr/m ²		G										
<i>Tasa máxima de aplicación</i>	11 l/hr/m ²		G										
<i>Tasa promedio de flujo</i>	3,000 m ³ /día		A										
<i>Tasa máxima de flujo</i>	4,500 m ³ /día		A										
<i>Sistema de irrigación de lixiviación</i>	Rociadores de baja evaporación estilo "Wobbler"		A										
<i>Ciclo promedio de lixiviación</i>	60 a 90 días		A										

3.1 Preparación del sitio

Antes de la construcción de la HLF, es necesario limpiar el sitio de árboles y matorrales, tocones y raíces fuertes. Después, el subrasante será despojado de cualquier vegetación remanente, masas de raíz y capa vegetal alta en contenido de material orgánico, antes de ser colocados en una reserva para su uso como una cubierta de reclamación final. Los suelos débiles, saturados y arcillosos que permanezcan en su lugar después de despojar la capa vegetal, también serán removidos y colocados en una reserva independiente. Los suelos arcillosos, pueden ser re-utilizados en la capa de suelo arcilloso que se instalará por debajo del recubrimiento de geomembrana en el patio de lixiviación y las piletas, si cumplen con los requisitos de las especificaciones técnicas del proyecto. La profundidad total de la capa vegetal despojada se estima de ser un promedio de 0.2 m para la huella del sitio.

3.2 Drenaje del barranco

Para recolectar y transportar infiltraciones o agua de manantial potenciales que se desarrollen por debajo de la HLF, se requerirá la preparación de drenajes, removiendo los suelos sueltos e inestables para colocar grava gruesa y durable de drenaje-libre como un drenaje alrededor de una tubería de polietileno corrugado perforado y envuelta con geotextil, como se muestra en la figura 6.

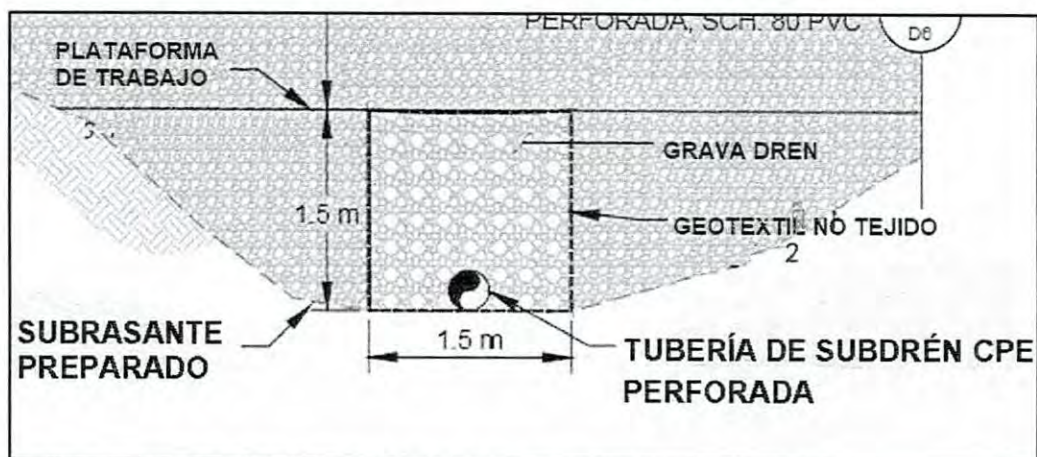


Figura 6: Arreglo típico del drenaje de la barranca. (Golder, 2016).

El sistema de desagüe compuesto será descrito colectivamente como drenaje de barranca. Las infiltraciones o manantiales ubicados en los taludes gradiente arriba dentro de la cimentación de la HLF, serán instalados con drenes y fluirán por gravedad a los subdrenes principales. Los límites y tamaños de los drenajes de barranca, serán instalados en una manera que mantendrá drenado el material de cimientos a la base de la HLF, para prevenir la presión hidráulica en la base de los sistemas de recubrimiento. Los drenajes subterráneos, serán separados hidráulicamente de la solución del patio de lixiviación, por el recubrimiento compuesto del mismo patio. En la figura 7 se muestra el área que abarcará el drenaje de la barranca, empezando desde la pileta de eventos hasta el patio de lixiviación, con sus respectivas extensiones.

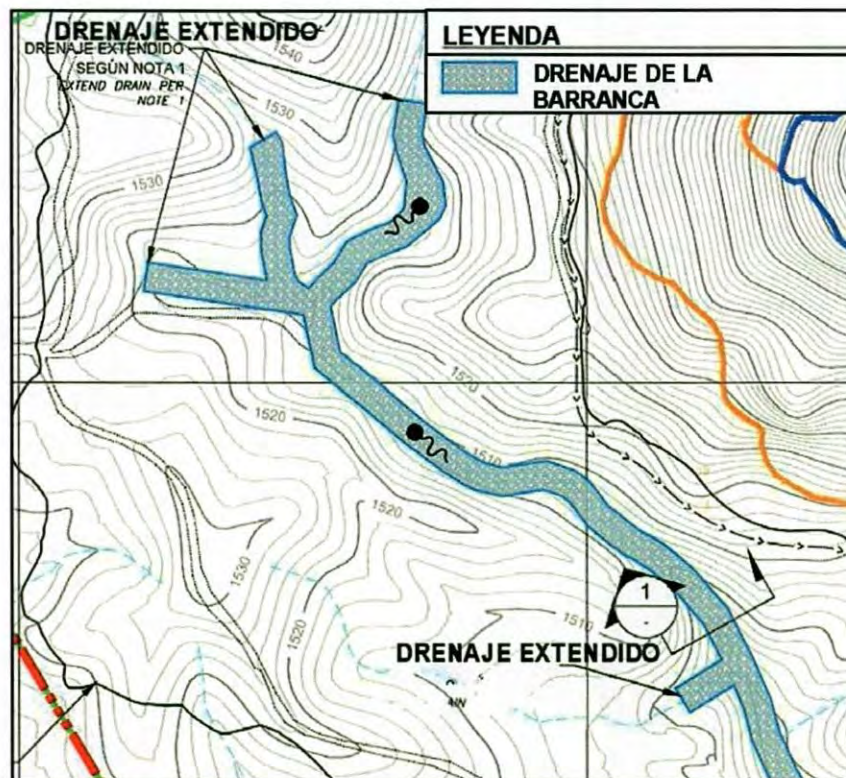


Figura 7: Arreglo general del drenaje de la barranca. (Golder, 2016).

3.3 Nivelación y sistema de recubrimiento del patio

Se requerirá algún tipo de nivelación de la cimentación de la HLF, en áreas enfocadas del patio de lixiviación antes de la instalación del sistema de recubrimiento. Se requiere un “relleno de punto” de la barranca de la HLF, para satisfacer criterios mínimos de pendiente, al mismo tiempo que se promueve el flujo de solución por gravedad positiva, en el sistema de colección de solución sobre el recubrimiento del patio de lixiviación. En general, este consistirá de preparación localizada y la colocación de relleno a lo largo de la punta sureste del patio, para construir una plataforma que provea un grado de recubrimiento diseñado, que no sea más inclinada que de un dos por ciento. La nivelación también incluirá formación general del sitio del patio de lixiviación, para proporcionar una superficie lisa y plana con pendientes locales, que no sean más inclinados que 2.5H:1V en preparación para la colocación del recubrimiento y para proveer caminos de acceso integrados y zanjas de control de agua pluviales alrededor de la HLF.

El material excavado de las áreas de corte dentro de la huella de la HLF, se utilizará para construir las piletas y plataforma de proceso, para llenar los drenajes profundos, y para construir el relleno de la punta este y para las bermas perimetrales del patio de lixiviación. La pileta de eventos usará la topografía natural dentro de la barranca combinado con relleno y preparación del material subrasante, para proveer el volumen de almacenamiento requerido. El material de relleno, será colocado para construir un terraplén pequeño en la barranca existente, que creará el límite sur de la pileta de eventos. Las piletas de solución estéril y solución rica, se equilibrarán para el volumen de almacenamiento necesario.

Aunque la mayoría del relleno estructural en el sitio vendrá de cortes de las operaciones de nivelación en el sitio, el plan de nivelación acomoda el uso del tepetate minado del tajo abierto. El tepetate cumplirá con los requisitos de gradación de relleno estructural, y será colocado en capas controladas, como se requiere en las especificaciones. Se anticipa que una pequeña porción de la

nivelación del sitio vendrá de material de tepetate.

En la figura 8 se muestra la nivelación del patio de lixiviación, junto con la separación de celdas y la pendiente que se le dará respectivamente.

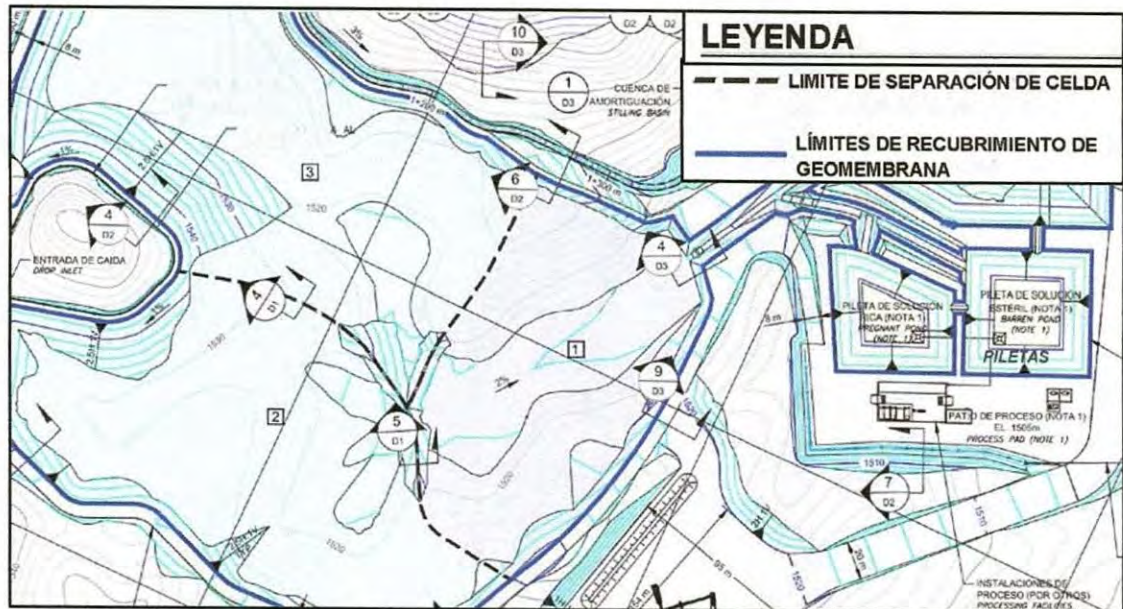


Figura 8: Plan de nivelación del patio de lixiviación. (Golder, 2016).

Como se muestra en la figura 9, el sistema de recubrimiento compuesto para el patio de lixiviación constará de (de abajo hacia arriba):

- Un subrasante preparado.
- Una capa de suelo arcilloso compactado a un espesor de 300 mm, colocado en capas de 150 mm o menos, para proporcionar una máxima conductividad hidráulica de 1×10^{-5} cm/seg.
- Una geomembrana HDPE (High Density Polyethylene) de 2.0 mm de espesor; el recubrimiento del patio de lixiviación consistirá de geomembrana texturada por un solo lado (lado texturado hacia abajo, contra el suelo arcilloso) para satisfacer requisitos de estabilidad.
- Material de grava dren granular de libre drenaje de 700 mm espesor (arena y grava), que contenga una red de tuberías de colección de solución.

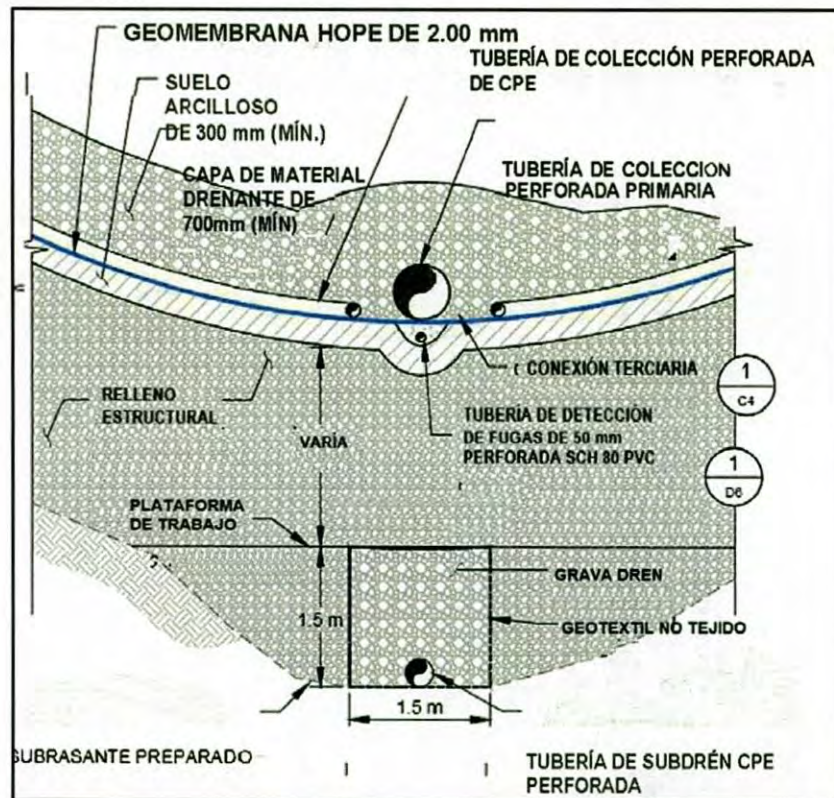


Figura 9: Detalle típico del arreglo general del drenaje de la barranca. (Golder, 2016).

Alternativamente, se puede sustituir la capa de suelo arcilloso de 300 mm de espesor con un recubrimiento de arcilla geosintética GCL (Geosynthetic Clay Liner) en las áreas que sean identificadas como no críticas, para la estabilidad geotécnica de la pila. El GCL tendrá una permeabilidad menor a 1×10^{-5} cm/seg.

3.4 Ampliamento y arreglo

Debido a que la HLF es relativamente pequeña, se anticipó que el patio será construido en una sola etapa, proporcionando un área superficial total del patio de lixiviación, que está recubierto con geomembrana de aproximadamente 84,300 m², y un área total recubierta de aproximadamente 106,600 m², que incluye los canales y piletas. La construcción de la HLF, consiste en construir los drenajes de la barranca, el patio de lixiviación, el camino de acceso perimetral, sistema de detección de fugas, sistema de recubrimiento de geomembrana en el patio de lixiviación, un sistema de colección de solución, piletas de proceso y

eventos forradas con geomembrana.

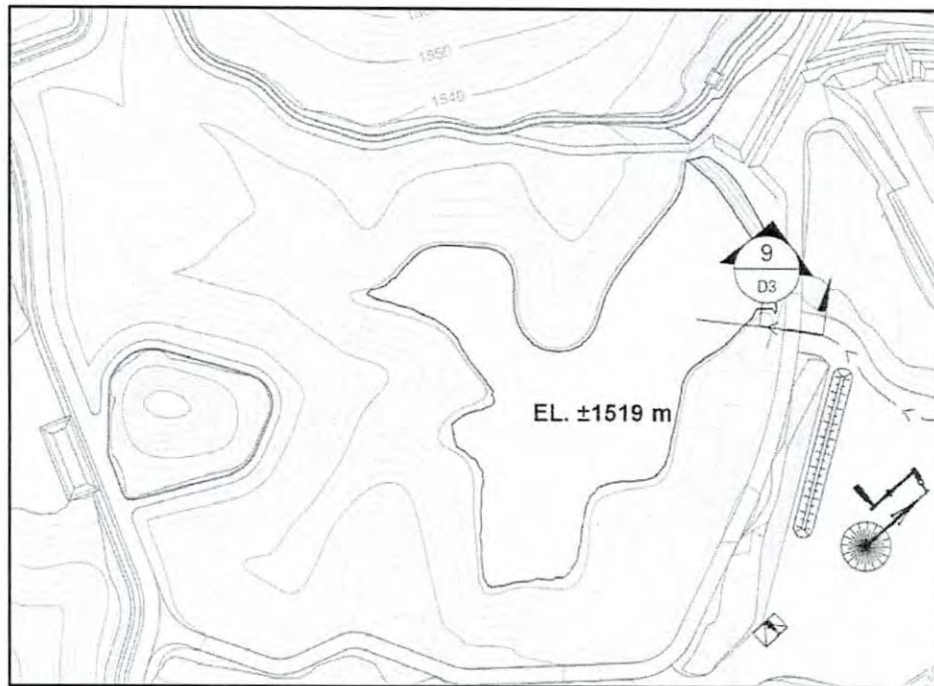


Figura 10: Capa 1 del plan de ampliamiento y colocación de material drenante. (0.08 Mtoneladas métricas de mineral en 0.2 años y se estiman 12,300 m³ de material grava dren). (Golder, 2016).

El mineral en el patio principal, será apilado en cargas nominales de 7 m de altura, con taludes construidos al ángulo de reposo y ajustados con bancos de entre capas, para proporcionar una pendiente total de mineral de 3H: 1V. La figura 10 y 11 muestra el plan de ampliamiento por capa, y el progreso de las etapas del patio de lixiviación.

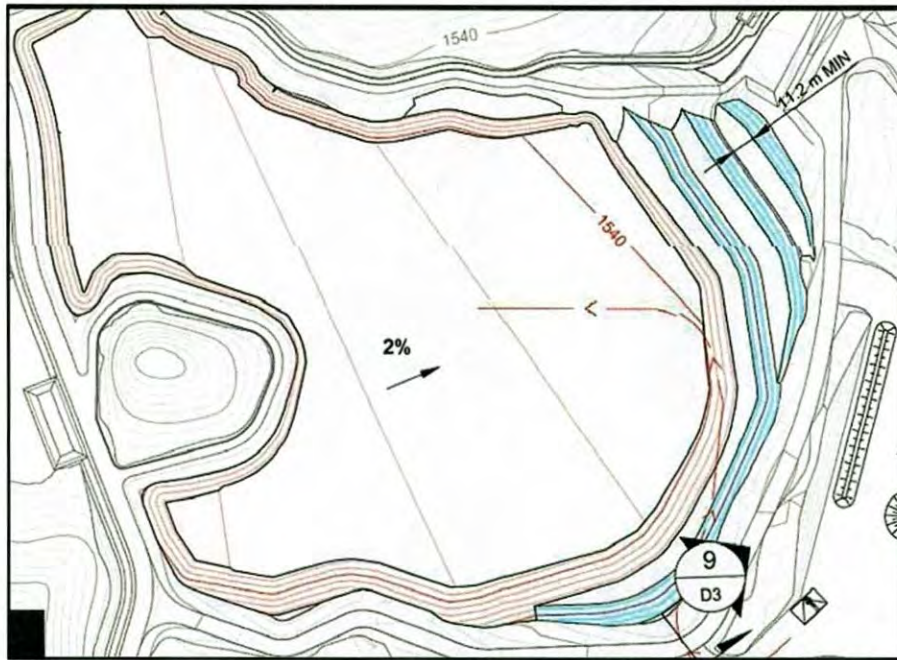


Figura 11: Capa 4 del plan de ampliamiento y colocación de material drenante. (1.66 Mtoneladas métricas de mineral en 3 años y se estiman 16,000 m³ de material grava dren). (Golder, 2016).

El material de grava será procesado al triturar el tepetate de la mina, y puede requerir el retiro (eliminar por filtración) de finos para cumplir con los requisitos de gradación y permeabilidad. En las áreas que son menos empinadas que aproximadamente el 10 %, la grava dren será colocada inmediatamente después de la instalación de la geomembrana en el patio de lixiviación. En áreas que son más empinadas que aproximadamente el 10 % se colocará grava dren, concurrentemente con cada capa mineral. El exceso de material de grava dren tendrá que ser producido y apilado en una reserva antes de cada capa subsecuente de colocación de mineral. Para más detalles la capa 1 y 4 se muestran en el plano C8 en el apéndice B.

3.5. Sistemas de colección de solución por gravedad

3.5.1 Celdas de colección de solución

El patio de lixiviación, se dividirá en tres celdas usando bermas forradas. Las tuberías de colección de solución, serán instaladas en la capa de grava dren, y serán perforadas dentro de cada celda para captar la solución rica. Las tuberías

de colección de solución pasarán a través y sellarán a las presas en bolsas de arena forradas con geomembrana, sirviendo como salidas para las celdas, para crear una separación hidráulica entre celdas. Por las salidas de celda, las tuberías de colección de solución perforadas tendrán una transición a tubería perforada a tubería no perforada, para llevar la solución por gravedad a la pileta de solución rica. Con base en una tasa de aplicación de solución promedio y una máxima de 7.5 l/hr/m² y 4,500 m³/día respectivamente, aproximadamente 25,000 m² del patio de lixiviación estará bajo lixiviación en cualquier momento. Las áreas aproximadas de celda que son mostradas en la figura 8 son:

- Celda 1 = ~19,500 m²
- Celda 2 = ~29,000 m²
- Celda 3 = ~35,900 m²

3.5.2 Colección de solución y enrutamiento

El sistema de colección de solución consiste en una red de tuberías que se instalarán sobre el sistema de recubrimiento dentro de la capa de grava dren del patio de lixiviación, como se muestra en la figura 12. La capa de grava dren, consiste de un material de arena y grava con un tamaño máximo de 50 mm. La capa de grava dren será colocada a un espesor mínimo de 700 mm por encima de las tuberías de colección.

Las tuberías de colección de solución, varían en tamaño de 100 mm (terciaria) a 400 mm (primaria), con tuberías más pequeñas alimentando a las tuberías cada vez más grandes conforme el flujo progresa a la punta sur de la pila. Las tuberías de colección terciaria y secundaria, son perforadas corrugadas de polietileno CPE (Corrugated Polyethylene Pipe). Antes de salir de cada celda, la tubería HDPE primaria de colección de solución tiene una transición a una tubería de pared sólida (no perforada) HDPE para llevar la solución a la pileta de solución rica.

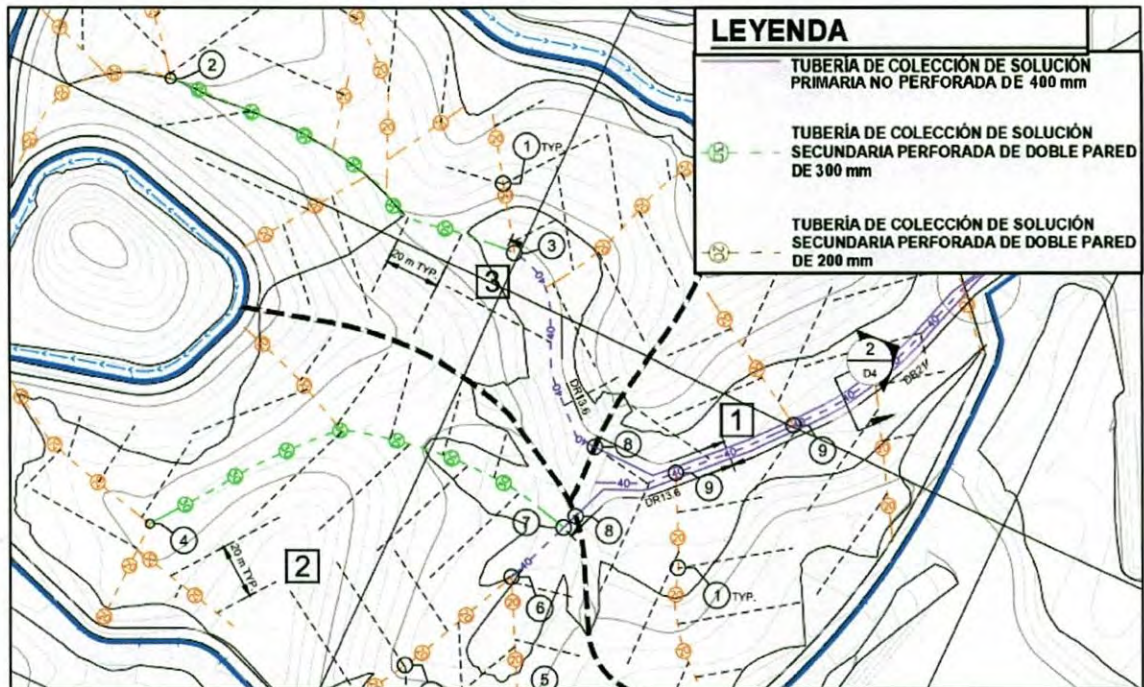


Figura 12: Arreglo de la tubería de colección de solución. (Golder, 2016).

3.5.3 Espaciamiento y medición de la tubería de colección

Las tuberías de colección CPE perforadas secundarias, reciben flujo de las tuberías terciarias perforadas, y aumentan de diámetro de 200 a 300 mm a medida que avanzan aguas abajo a las tuberías de colección primaria en cada celda. Las tuberías de colección secundaria fueron diseñadas con una inclinación mínima de 1 %.

Las tuberías primarias de colección, hacen una transición a las tuberías de salida de celda de HDPE no perforada de 400 mm, inmediatamente antes de pasar a través de la berma de separación de la celda forrada con geomembrana. La tubería de pared sólida, transmite solución al canal de salida al este de la celda 2 y 3, que en fin, mandan la solución a la pileta de solución rica, como se muestra en la figura 13.

Las tuberías de salida de la celda, transmitirán una tasa de flujo de aplicación de solución máxima de 187.5 m³/h, con una pendiente mínima de diseño del dos por ciento. La capacidad total de flujo de las tuberías de colección primaria es aproximadamente dos veces mayor que el flujo de diseño, con una capacidad total de flujo de 378 m³/hr y una pendiente más plana de 1.5 %.

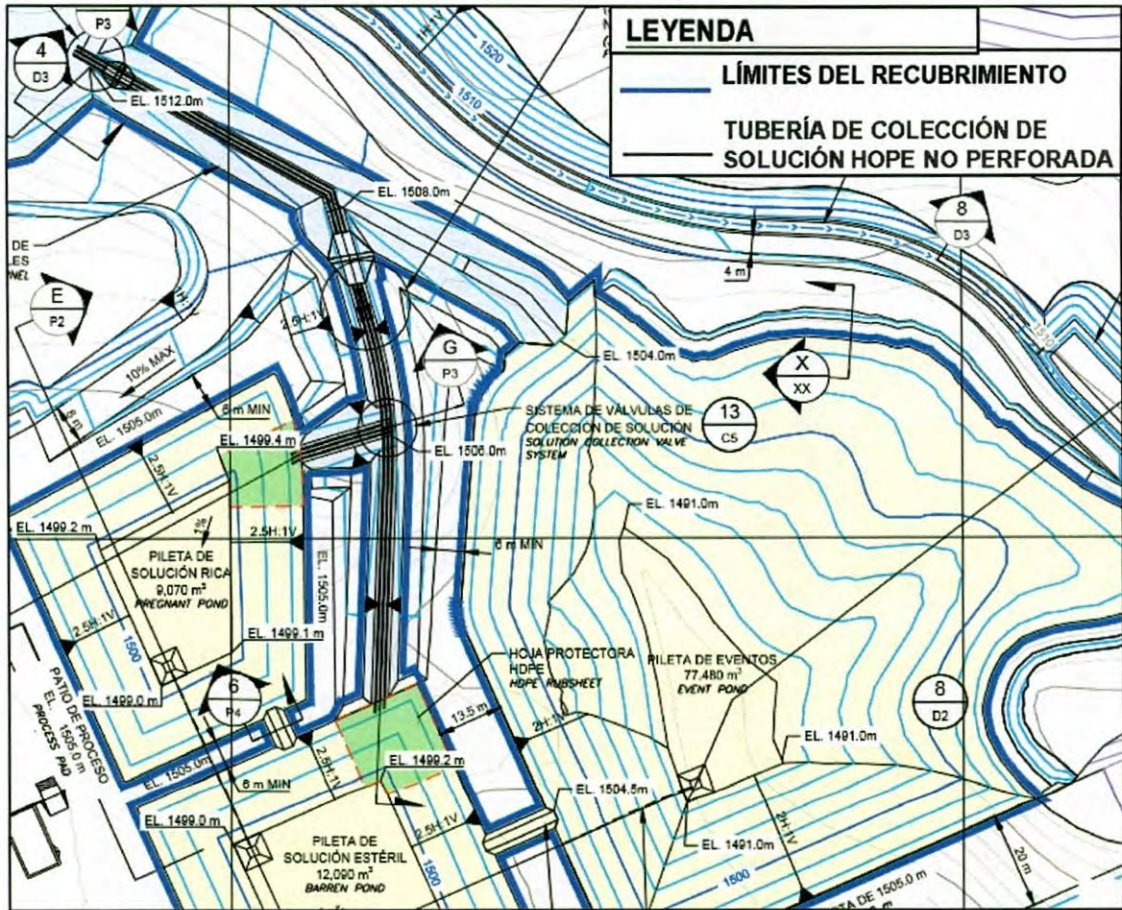


Figura 13: Arreglo de tubería primaria del patio de lixiviación hacia las piletas. (Golder, 2016).

Hay tres tuberías HDPE de 400 mm de salida de celda, que funcionarán como el medio principal de contención para la solución de proceso. Un canal de salida forrado con HDPE de 2.0 mm, funcionará como la contención secundaria debajo de la tubería de salida HDPE primaria. El canal de salida será construido a 2 m de profundidad, con un fondo de canal de 3 m para contener la tubería primaria. El canal de salida también funcionará como un canal de eventos, para enrutar los

flujos de aguas pluviales a la pileta de eventos, en el caso de que los flujos de agua de tormentas se desborden.

Debido a que el sistema de colección de solución es crítico para el sistema de recubrimiento y la recuperación de metales, la red de tuberías ha sido diseñada conservadoramente para promover un rendimiento a largo plazo. Usando un tamaño de tubería para transmitir el flujo de diseño al 50 por ciento de la capacidad de las tuberías de colección secundaria y terciaria, teniendo en cuenta la deformación y pandeo de la tubería.

3.6 Piletas de proceso

Las piletas de solución rica, solución estéril y de eventos se ubican al sureste del patio de lixiviación, como se muestra en la figura 8. Las plataformas de las piletas de proceso serán desarrolladas por corte y relleno, localizados en suelos nativos dentro de la plataforma de procesos y/o para rellenarse con residuos de la mina. La plataforma de proceso incluye las siguientes instalaciones:

- Piletas de solución rica, solución estéril y de eventos
- Canales de eventos y colección de solución forrados
- Bombas y tubería
- Edificios de proceso (CIL (Carbon In Leach), generador, etc.)

3.6.1 Criterios de construcción de piletas

El balance de agua que se obtuvo por parte del consultor Golder, es para asignar valores de volúmenes de almacenamiento de la pileta, y un volumen del agua de reemplazo. Para tratar estos requisitos, en el balance de agua se tomó en cuenta las entradas de agua, incluyendo la lluvia y el agua de reemplazo, así como las salidas de agua, como la evaporación y la pérdida de consumo debido a la humectación del mineral.

Lo siguiente es un resumen de factores que se obtuvieron del criterio de diseño hecho por el consultor (Golder):

- Los datos de precipitación y evaporación de bandeja mensuales fueron obtenidos del estudio Hidrológico de Mulatos adoptado de SRK(2012).
- Una tasa de flujo de aplicación de solución promedio y máxima de 3,000 m³/día y 4,500 m³/día respectivamente.
- Se aplicará la solución a la pila usando emisores de baja evaporación, a una tasa de aplicación por unidad promedio de 7.5 l/hr/m² para el sistema de aplicación de solución estéril. La tasa máxima de aplicación de solución será 11 l/hr/m².
- La HLF almacenará 1,650,000 ton de mineral.
- Se apilará el mineral en el patio a una tasa nominal de 1,570 ton/día (0.55 Mt anualmente).
- Hay dos temporadas distintas:
 - Una temporada seca desde Octubre a Mayo.
 - Una temporada de lluvias desde Junio a Septiembre.

La HLF y las instalaciones de proceso se construirán considerando los criterios propuestos por el consultor (Golder) con el fin de tener cero descargas de agua sobre la superficie durante las condiciones climáticas. El circuito del proceso y las tasas de flujo de aplicación se muestra esquemáticamente en la figura 14.

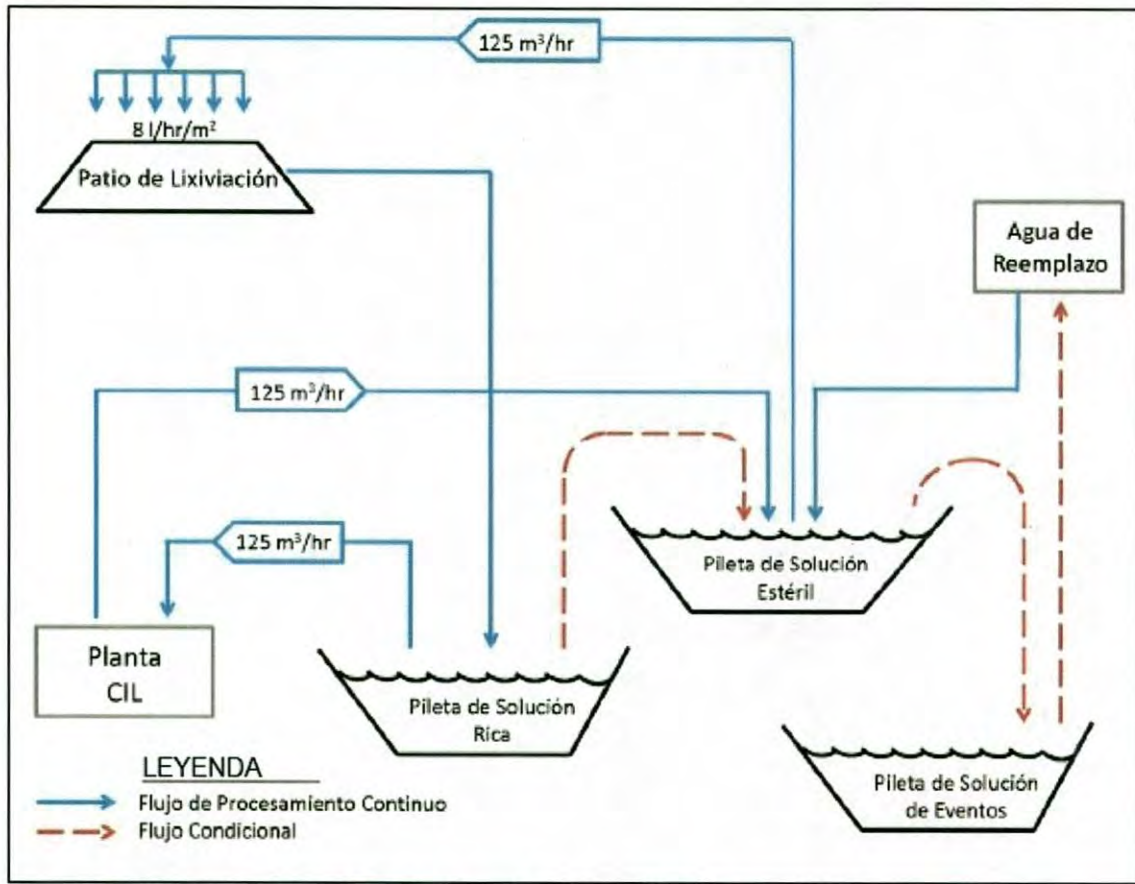


Figura 14: Diagrama del proceso de Heap Leach Facility. (Golder, 2016).

4.0 SISTEMAS DE RECUBRIMIENTO PARA LA PILETA

Cada una de las piletas de solución rica, solución estéril, y de eventos tendrá un sistema independiente de doble contención de recubrimiento de geomembrana y de detección de fugas. El sistema de recubrimiento para las tres piletas, como se muestra en la figura 15, consistirá en (de abajo para arriba):

- Un subrasante compactado.
- Suelo de grano fino con un mínimo de 300 mm de espesor o un GCL.
- Un solo recubrimiento secundario de geomembrana HDPE lisa de 1.5 mm
- Una geored HDPE encima de la geomembrana secundaria que drena el cárcamo de detección de fugas.
- Un cárcamo de evacuación y detección de fugas que es de 0.8 m de

profundidad por 2 m² con un tubo HDPE ascendente de detección de fugas de 250 mm de diámetro que se extiende por la pendiente lateral de la pileta. El cárcamo de detección de fugas está lleno de grava limpia de libre drenaje y acepta flujos de la geored de detección de fugas.

- Un solo recubrimiento HDPE de geomembrana primario de 2 mm con el lado texturizado hacia arriba.

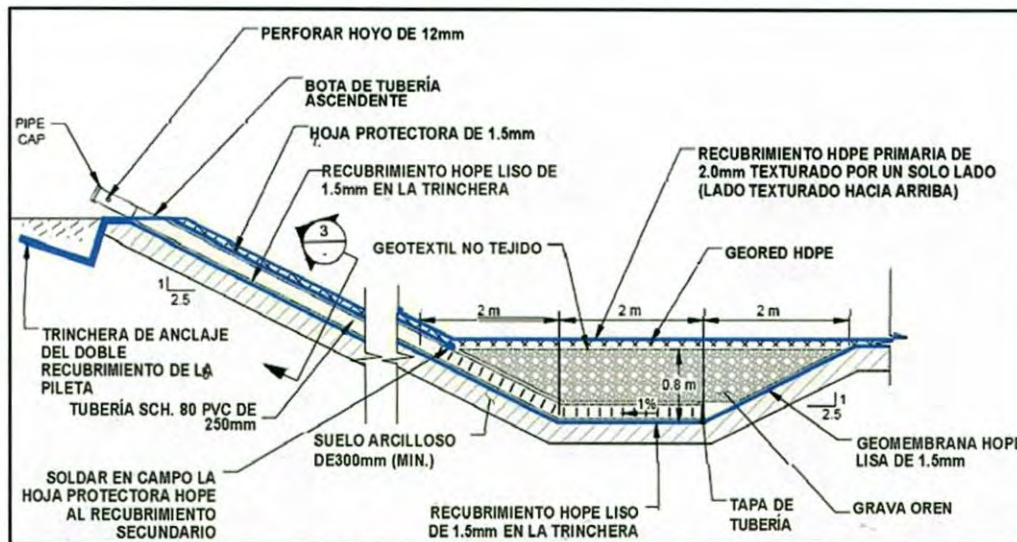


Figura 15: Detalle de detección de fugas en las piletas. (Golder, 2016).

4.1 Descripción de las piletas

Las piletas de solución rica, solución estéril y de eventos, serán construidas junto con el patio de lixiviación. El patio de lixiviación, será construido con bermas de separación de celdas, tuberías y válvulas, que permitan que las áreas de colección de lixiviación, estén aisladas y manejadas por MON durante las operaciones. Las válvulas y tuberías ubicadas en la punta sureste de la pila, serán utilizadas para desviar la solución rica de la pileta de solución rica y pileta de solución estéril dependiendo de las necesidades de la operación, como se muestra en la figura 13.

4.1.1 Pileta de solución rica

La pileta de solución rica, es de forma rectangular y está ubicada cerca de la esquina noroeste del patio de proceso. Las dimensiones de la pileta son de aproximadamente 60 m de ancho por 40 m de largo en la cresta Sur, y aproximadamente 60 m de ancho por 60 m de longitud a la cresta Norte. Tiene 6 m de profundidad al cárcamo, con taludes laterales de 2.5H:1V, tiene una profundidad de bordo libre 0.5 m. Dentro de la profundidad del bordo libre, hay un canal de salida de desbordamiento forrado de 0.5 m de profundidad, que descarga a la pileta de solución estéril hacia el Sur. El fondo de la pileta se inclina hacia un cárcamo a la esquina Suroeste, para la evacuación de solución y detección de fugas en el evento de que haya una filtración, como se muestra en la figura 16.



Figura 16: Arreglo general de la pileta de solución rica. (Golder, 2016).

La pileta de solución rica, acepta flujos del sistema de colección de solución por gravedad, por medio de la tubería HDPE que se encuentran dentro de un canal de contención secundaria, que está forrado con una geomembrana secundaria. La capacidad de la pileta de solución rica, incluye un volumen operacional de $1,500 \text{ m}^3$, un desagüe de emergencia de 12 hrs, a una tasa de $125 \text{ m}^3/\text{hr}$ ($1,500 \text{ m}^3$). La capacidad de almacenamiento disponible de la pileta de solución rica es, $9,170 \text{ m}^3$.

4.1.2 Pileta de solución estéril

La pileta de solución estéril, es de forma casi cuadrada. Las dimensiones de la pileta son de aproximadamente 64 m de ancho por 63 m de largo en su cresta, y 6 m de profundidad al cárcamo, con pendientes laterales de 2.5H:1V. La pileta de solución estéril tiene una profundidad de borde libre de 0.5 m. Por la profundidad del bordo libre, hay un canal forrado de salida de desbordamiento de 0.5 m de profundidad, que descarga a la pileta de eventos hacia el Este. El fondo de la pileta se inclina hacia un cárcamo a la esquina Noroeste por la evacuación de fluidos como se muestra en la figura 17.



Figura 17: Arreglo general de la pileta de solución estéril. (Golder, 2016).

Si las válvulas del sistema de colección de solución se desvían, la pileta de solución estéril acepta los flujos del sistema de colección de solución por gravedad, por medio de las tuberías primarias HDPE de colección de solución, las cuales se ubican dentro de un canal de contención forrado con geomembrana secundaria. Si el volumen de solución dentro de la pileta de solución estéril, alcanza al canal de rebose forrado, la solución fluirá por el canal de rebose hacia el Este, y llegará a la pileta de eventos.

La capacidad de la pileta de solución estéril, incluye un volumen de operación de 1,500 m³ y un drenaje de 12 hrs a una tasa de 125 m³/hr (1,500 m³). La capacidad de almacenamiento de la pileta de solución estéril es de 12,100 m³.

4.1.3 Pileta de eventos

El sistema del manejo de flujo incluye provisiones para acomodar condiciones adversas, incluyendo escorrentía de agua de tormentas estacionales, tormentas severas, y la pérdida temporal de electricidad o bombas. En condiciones adversas, el volumen de solución puede exceder la capacidad de la tubería en el patio de lixiviación, causando que la solución sea transportada por gravedad mediante el canal forrado de salida a la pileta de eventos. La pileta que exceda la capacidad de solución fluirá de la misma manera mediante el canal forrado de la pileta de solución estéril a la pileta de eventos como se muestra en la figura 18.

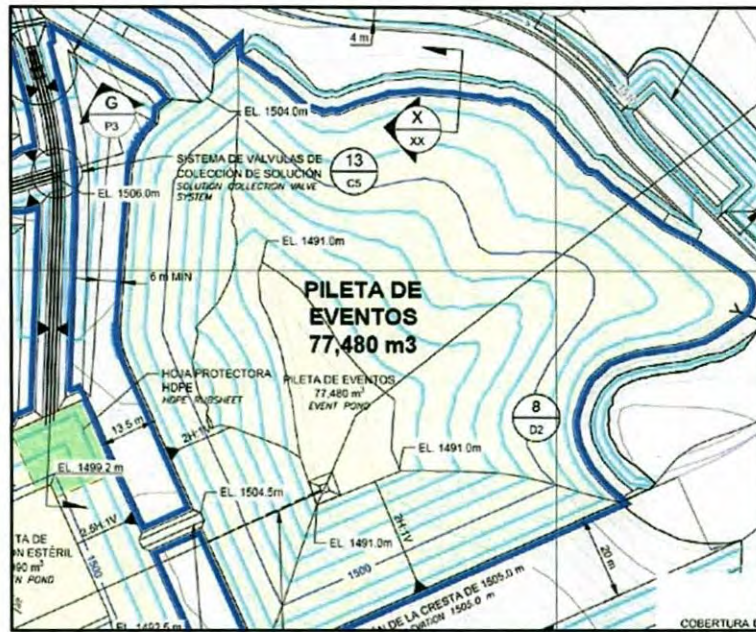


Figura 18: Detalle del arreglo de la pileta de eventos. (Golder, 2016).

La pileta de eventos, fue optimizada para la topografía del sitio y contendrá hasta 77,500 m³ de almacenamiento de fluidos debajo del nivel del borde libre.

4.1.4 Volumen de almacenamiento disponible

La tabla 3 presenta los requisitos mínimos del volumen de almacenamiento para cada pileta de proceso. Como se indica a continuación, las piletas han sido dimensionadas más grandes que las capacidades mínimas requeridas por las condiciones adversas descritas anteriormente. La capacidad adicional de las piletas de solución, puede ser utilizada para acomodar la solución de pileta que se acumula durante temporadas más húmedas de las condiciones climáticas normales. Bajo condiciones climáticas típicas y condiciones operacionales normales, se espera que la pileta de eventos no reciba flujo de la HLF.

Tabla 3: Volumen de almacenamiento disponible y requerido de las piletas de proceso. (Golder, 2016).

<i>Pileta</i>	<i>Criterio</i>	<i>Volumen requerido (m³)</i>	<i>Volumen disponible (m³)</i>
<i>Solución rica</i>	Al vertedor de rebose (0.5 m debajo de la cresta)	8,631	9,170
<i>Solución estéril</i>	Al vertedor de rebose (0.5 m debajo de la cresta)	8,631	12,100
<i>Evento</i>	Al vertedor de eventos (0.5 m debajo de la cresta)	77,500	77,500
<i>Total</i>	Al bordo libre (0.5 m debajo de la cresta)	94,762	98,770

4.2 Sistema de detección de fugas

El patio de lixiviación y las piletas de solución, han sido diseñados con sistemas de detección de fugas, para monitorear y capturar las soluciones fugitivas que podrían pasar a través del recubrimiento primario de geomembrana.

4.2.1 Detección y colección de fugas en el patio de lixiviación

El patio de lixiviación y el sistema de canal de salida, se componen de un recubrimiento geomembrana HDPE, colocado sobre ya sea: una capa de suelo arcilloso de 300 mm o GCL como se muestra en la figura 8. Se encuentra instalado un sistema de tuberías de detección de fugas para el patio de lixiviación, entre el recubrimiento de geomembrana y la capa de suelo arcilloso, en las áreas donde haya flujos de solución concentrada sobre el recubrimiento compuesto. En la figura 19 se muestra la distribución que tendrá la tubería de detección de fugas, tanto tubería perforada como no perforada.

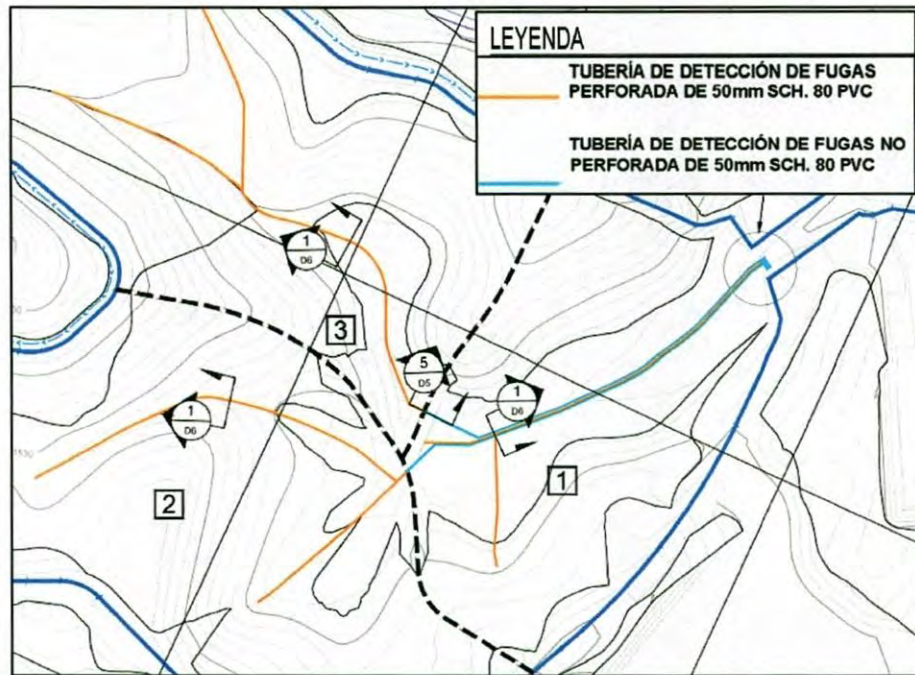


Figura 19: Arreglo general de detección de fugas. (Golder, 2016).

Cada celda de colección de solución, contiene al menos una tubería de PVC de 50 mm perforada para la detección de fugas, debajo del recubrimiento de geomembrana, directamente debajo de la tubería principal de la colección. Las tuberías de detección de fugas, están rodeadas y asentadas por grava dren y cubiertos con un geotextil no tejido, para proteger la geomembrana suprayacente, como se muestra en la figura 20.

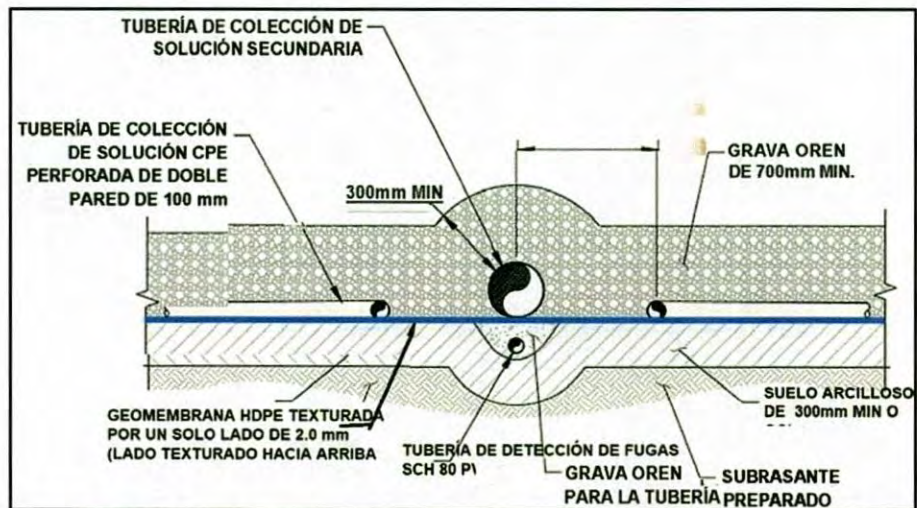


Figura 20: Sistema de tubería de solución secundaria y detección de fugas. (Golder, 2016).

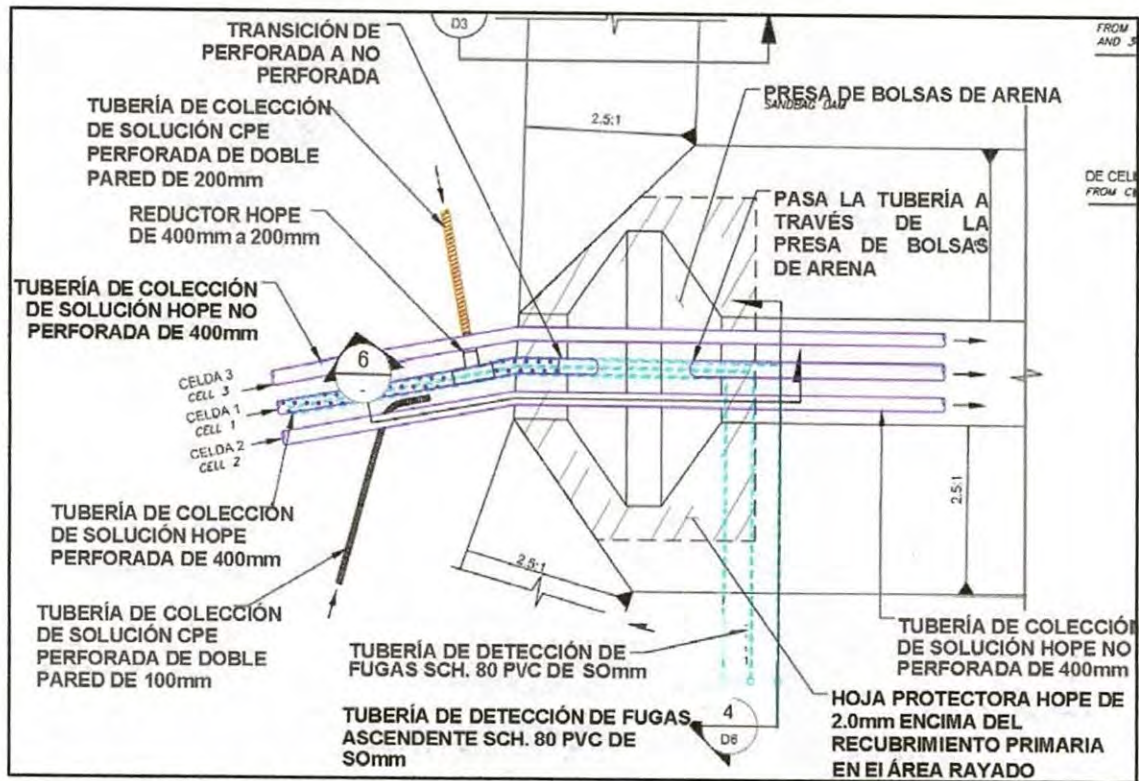


Figura 22: Vista en plano de la salida de tubería de solución. (Golder, 2016).

4.2.2 Detección de fugas en los canales forrados

Las tuberías de salida de celda en los canales, proporcionarán una contención primaria de solución, mientras el recubrimiento de geomembrana, funcionará como contención secundaria. Las fugas de la tubería pueden ser observadas fácilmente, y la solución fugitiva fluye en los canales forrados a las piletas.

4.2.3 Detección de fugas en las pilas de proceso

Las piletas de solución rica, solución estéril, y de eventos, contienen un recubrimiento de doble contención y sistemas de detección de fugas independientes entre sí, y de las otras instalaciones. Se proporciona la contención doble de recubrimientos de geomembrana HDPE primarias y secundarias, una geored HDPE instalada entre los recubrimientos primarios y secundarios, recoge el agua fugitiva que pasa a través del recubrimiento primario. La geored es un geosintético diseñado para uso como medio de drenaje entre

las geomembranas. El fondo de cada pileta, ha sido inclinado para drenar hacia a un cárcamo de detección de fugas lleno de grava. Una tubería de colección de solución base ranurada Schedule 80 PVC de 250 mm de diámetro, es conectada a una tubería ascendente de pared sólida que se extiende por el talud lateral de la pileta, desde la base del cárcamo a la cresta de la pileta. La tubería ascendente, permitirá el acceso al cárcamo de detección de fugas por donde se puede verificar, mostrar, o evacuar la presencia de soluciones con un cárcamo sumergible de diámetro pequeño. Se muestran las ubicaciones de los cárcamos y las tuberías ascendientes en las figuras 16, 17 y 18.

5.0 CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS

Las secciones siguientes, presentan los criterios de estabilidad y asentamiento propuestos por el consultor (Golder) para la HLF, e incluye las descripciones y propiedades de materiales escogidos para el suelo nativo y roca, así como los materiales de ingeniería que serán utilizados para la construcción de las instalaciones. Se presentan también los criterios de asentamiento, para evaluar los impactos potenciales de asentamiento con respecto a los materiales de cimentación nativos, desempeño del recubrimiento y las tuberías asociadas con el diseño propuesto para la HLF. Se presentan las conclusiones de estabilidad y asentamiento en los siguientes apartados.

5.1 Estabilidad de talud

Se seleccionó una sección para la estabilidad del patio de lixiviación, basado en las características geométricas de las configuraciones finales; con la ubicación de la sección presentada en la figura 23. La sección seleccionada fue ubicada en el área crítica de la pila, base en la altura, ángulo de pendientes laterales de la pila propuesta, topografía de la superficie del terreno y la geología de las cimentaciones.

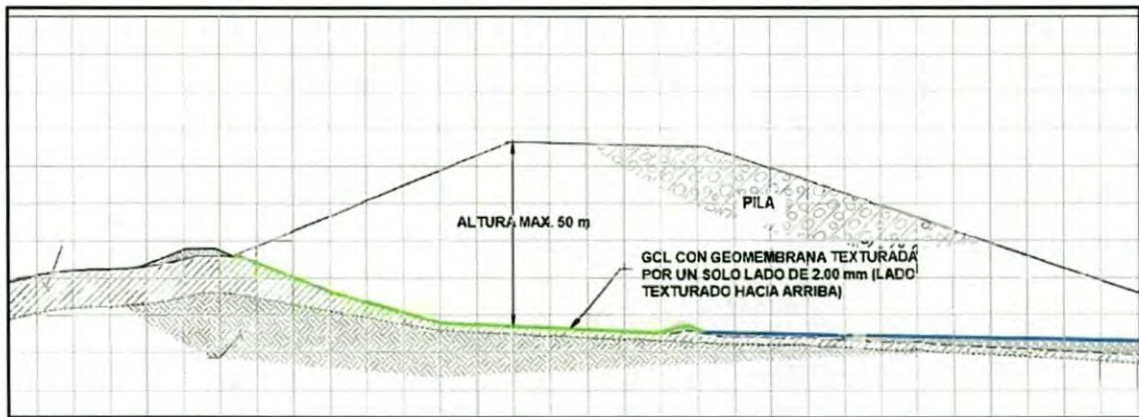


Figura 23: Análisis de estabilidad del área crítica de la pila. (Golder, 2016).

5.1.1 Criterio de construcción del patio de lixiviación

Las consideraciones de construcción tomadas por el consultor (Golder), que se utilizaron en el análisis, incluyen los arreglos generales y nivelación del sitio, altura del mineral, taludes laterales del mineral, parámetros geotécnicos de los materiales del sitio, parámetros de diseño sísmico, factores de seguridad requeridos. Las consideraciones de geometría general y de corte transversal utilizadas en el análisis fueron las siguientes:

- Una altura máxima de diseño para el mineral de 50 m.
- Las pendientes generales en el patio de lixiviación son, en promedio, no más inclinadas que de 3H: 1V.
- La nivelación del sitio consiste en la conformación general de cortes y rellenos, realizados como sean necesarios dentro de la huella de la HLF para llevar los sitios a nivel.
- Un relleno de punta al extremo sur del patio de lixiviación, se realizará para lograr el nivel de diseño del recubrimiento del patio de lixiviación, de aproximadamente el dos por ciento.
- La capa de grava dren para el recubrimiento para la HLF, consistirá de material que haya sido triturado y/o procesado para proporcionar una capa de drenaje libre.

El corte transversal típico por debajo del mineral del patio de lixiviación consta de (de abajo hacia arriba):

- Suelos nativos/Lecho de roca.
- Relleno de material producto de voladura que no conste de mineral (donde sea requerido para fines de nivelación).
- GCL o una capa de suelo arcilloso con un mínimo de 0.3 m de espesor. La capa de suelo arcilloso constará de suelo de grano fino con una permeabilidad de 1×10^{-5} cm/s o más baja, cuando este correctamente compactada y condicionado por humedad.
- Geomembrana HDPE texturizada por un solo lado; cuando se coloca encima de la capa de suelo arcilloso, la geomembrana será instalada con el lado texturizado hacia abajo; donde se coloca encima del GCL, la geomembrana será colocada con el lado texturizado hacia arriba.

5.1.2 Suposiciones

El consultor (Golder) propuso las siguientes consideraciones, para el análisis del límite de equilibrio de estabilidad de talud:

- Se anticipó que el arranque y retiro de suelos superficiales nativos en la huella del patio de lixiviación, eliminará toda la capa vegetal y suelos superficiales débiles.
- Se realizó el modelo de estabilidad del patio de lixiviación considerando una capa delgada de base de recubrimiento al fondo de la pila, con un espesor de 0.3 m. La punta del patio de lixiviación requerirá una longitud mínima de 93 m del recubrimiento de suelo arcilloso, colocado debajo de la geomembrana texturada (con el lado texturado hacia abajo) extendiéndose al norte hacia el patio de lixiviación. Se asume que esta interfaz de sistema de recubrimiento de la geomembrana y suelo arcilloso, representa la resistencia al corte.

- Dependiendo de la disponibilidad de material del recubrimiento de suelo arcilloso durante la construcción, el restante del patio HLF que se encuentra más allá del relleno de punta de 93 m, puede ser construido ya sea de recubrimiento de suelo arcilloso o GCL.

5.1.3 Parámetros de estabilidad

Los parámetros sísmicos utilizados por el consultor (Golder), se basan en el reporte específico del sitio de peligros sísmicos preparados para el proyecto de la mina Mulatos por Engineering Analytics, Inc. (EA, 2013). El reporte de riesgos sísmicos específico para el sitio, proporcionó las aceleraciones máximas del suelo para diferentes periodos de retorno. El coeficiente de carga pseudo-estático (k_H) fue tomado como 2/3 de la aceleración máxima del suelo PGA (Peak Ground Acceleration). La tabla 4 proporciona un resumen de las aceleraciones máximas del suelo y los coeficientes sísmicos horizontales utilizados o considerados por el consultor (Golder) para el diseño o consideraciones de carga.

Tabla 4: Parámetros de carga de terremoto utilizados para el análisis de estabilidad. (Golder, 2016).

Frecuencia de Terremoto	Consideración de Diseño	Aceleración Máxima del Suelo (g)	Coefficiente de Carga Pseudo-Estático (K_H)
Intervalo de Retorno de 475 años	Diseño	0.03	0.02
Intervalo de Retorno de 2,475 años	Considerado	0.06	0.04

5.1.4 Factores de seguridad

Los factores mínimos de seguridad contra la inestabilidad que se utilizan en el análisis de Golder, se basan en una revisión de la NOM-155-SEMARNAT-2007. Ésta norma proporciona una guía para la identificación de la severidad del riesgo relativo para el análisis de estabilidad y tipos de monitoreo recomendados para los sistemas de lixiviación de oro y plata. Con base en la información proporcionada, el factor de seguridad FOS (Factor Of Safety) mínimo para los taludes laterales del patio de lixiviación son 1.5 y 1.05 para las condiciones

estática y pseudo-estática (dinámica), respectivamente. Los valores de los FOS para las operaciones y del cierre se consideran ser el mismo y el análisis de estabilidad que se presenta aquí es para las condiciones a largo plazo, después del cierre.

5.1.5 Método

El consultor (Golder), utilizó el modelo de estabilidad de límite de equilibrio bidimensional Slide 6.0 (RocScience, 2010) para el análisis de estabilidad. Con base a la experiencia, se seleccionó el método de rebanadas de Spencer para analizar las superficies de falla. Este método satisface con fuerza y equilibrio todas las rebanadas de cada modelo. Se realizó un análisis individual, para evaluar los diferentes modos de falla potenciales de los taludes del patio de lixiviación. Se evaluaron los siguientes modos de falla para las instalaciones:

- Superficies en bloque, no circular: Utilizado para evaluar los mecanismos de falla que se desarrollan a lo largo de zonas de debilidad como a lo largo de los sistemas de recubrimiento e interfaces de suelo-geomembrana. Estas superficies se extienden desde la cresta del talud y pasan a lo largo (no mediante) el sistema de recubrimiento y salen por la punta del talud.
- Superficies totales del talud, tipo circular: Utilizado para evaluar los mecanismos de falla que se desarrollan a través de la altura total de los taludes, y representan una falla global (o total) del talud. Estas superficies se extienden desde la cresta del talud y salen cerca de la punta del talud.

5.2 Parámetros de resistencia

Se resumen las propiedades geotécnicas del mineral del patio de lixiviación, el recubrimiento de suelo, relleno estructural, y materiales de cimentación en la tabla 5.

Tabla 5: Propiedades de materiales utilizados para el análisis de estabilidad. (Golder, 2016).

Material	Peso de Unidad Húmedo (KN/m ³)	Parámetros de Resistencia al Corte	
		Ángulo de Fricción Efectivo (C°) (Grados.)	Cohesión Efectivo (C) (KPa)
Mineral de la pila de lixiviación. (1)	19	33	0
Material del recubrimiento del suelo arcilloso	20	24	0
Relleno estructural	20	24	0
Recubrimiento del suelo arcilloso – Geomembrana texturada de 80 mil	20	24	0
GCL – Geomembrana lisa	20	4	0
Material de cimentación (Andesita erosionada a suelos residuales)	20	30	0
Material de cimentación (Lecho de roca erosionada)	22	30	3,500

5.3 Resultados de estabilidad

Se resumen los FOS estáticos calculados para cada corte transversal del patio de lixiviación en la tabla 6. Se muestran los resultados del análisis de estabilidad estático del talud para ambas instalaciones en las impresiones del modelo slide, en las figuras 23 a la 26 que se muestran más adelante, estos muestran las superficies de falla crítica (es decir, la superficie con el valor de FOS más bajo) identificados para cada sección bajo ambas condiciones de cargas estáticas y pseudoestáticas.

Tabla 6: Resumen de los resultados del análisis de estabilidad de talud. (Golder, 2016).

Sección de Estabilidad		Estática	Pseudoestática	
			Diseño – $K_H = 0.02$ (PGA= 0.03g – 475 años)	Considerado $k_H = 0.04$ (PGA = 0.06g – 2,475 años)
A	Circular	1.87	1.75	1.65
	Bloque	1.86	1.74	1.64
FOS mínimo requerido		1.50	1.05	

Todos los FO'S calculados por el consultor (Golder) resultaron ser muy por encima el criterio mínimo de estabilidad estático (FOS = 1.5), que indica que las instalaciones propuestas serán estables para las geometrías y las propiedades de los materiales asumidos.

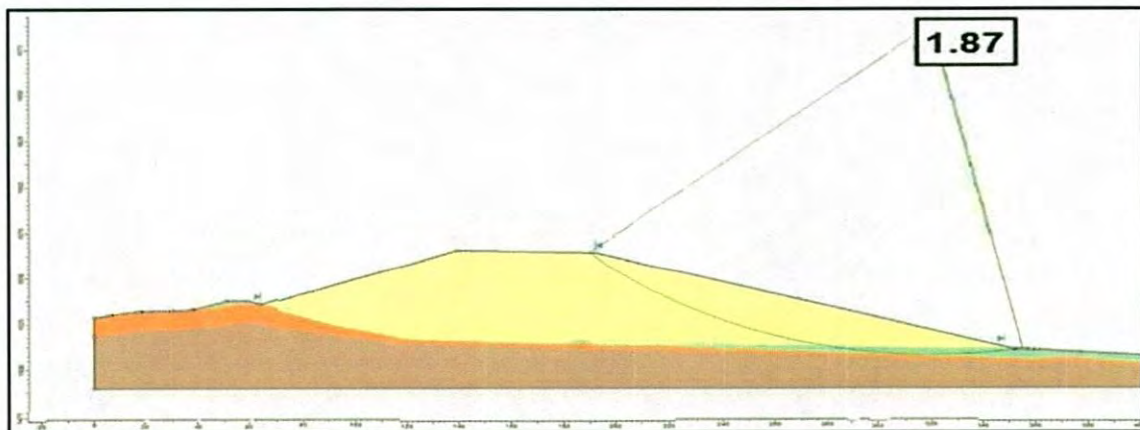


Figura 23: Sección de estabilidad A – circular – estática (FOS=1.87). (Golder, 2016).

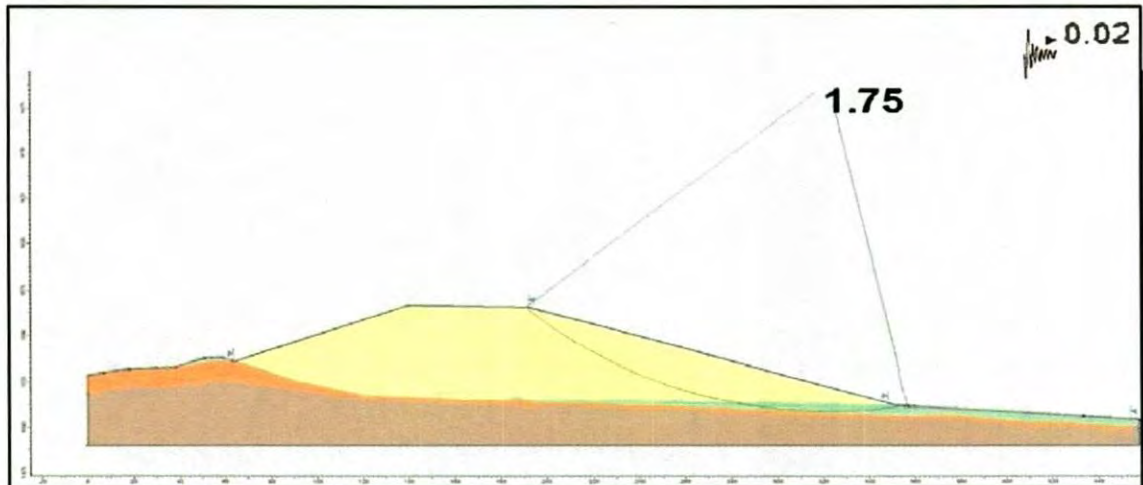


Figura 26: Sección de estabilidad A – circular – periodo de retorno de 475 años (2/3 PGA). (FOS=1.75) Golder Associates. Reporte de Diseño Preliminar. 2016. 354p. (Modificado)

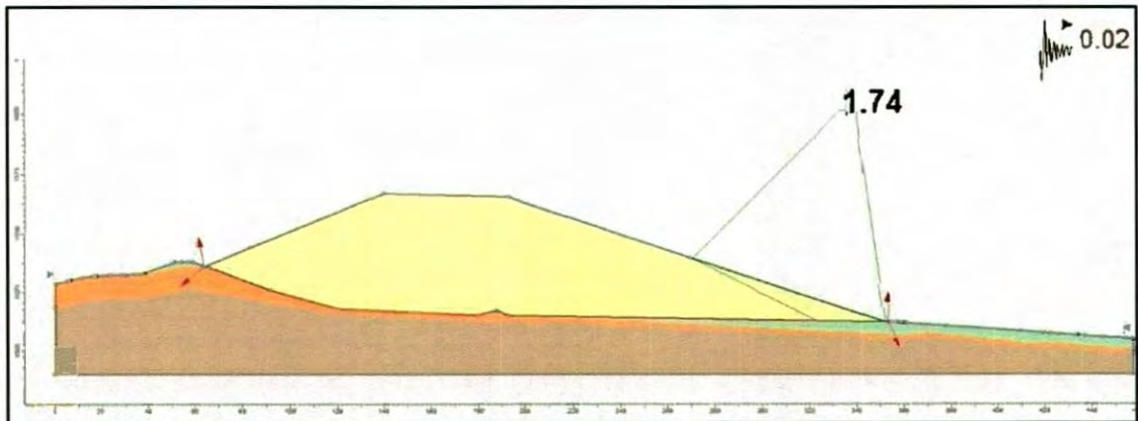


Figura 25: Sección de estabilidad A – por bloque – periodo de retorno de 475 años (2/3 PGA). (FOS=1.74). (Golder, 2016).

5.4 Discusiones y conclusiones

Lo siguiente, resume las conclusiones con base a la estabilidad del talud, de los resultados obtenidos por el consultor (Golder).

- La estabilidad del talud para la condición estática, indica que los criterios de construcción propuestos para el patio de lixiviación, es geotécnicamente estable bajo ambas condiciones de operación a corto y largo plazo posteriores al cierre. Los valores calculados de FOS para las condiciones estáticas, son superiores a los criterios para condiciones de

talud estable.

- La estabilidad para la condición sísmica (eventos para periodo de retorno de 475 años), indica que los criterios de construcción propuestos para el patio de lixiviación es geotécnicamente estable bajo las condiciones a largo plazo posteriores al cierre.
- Los resultados indicaron que el modo de falla crítico para estas instalaciones bajo condiciones estáticas y sísmicas, son fallas desarrolladas a lo largo de la base del sistema de recubrimiento para el patio de lixiviación (modo de falla de tipo bloque).
- Para el patio de lixiviación, los modos de falla que pasan a través de los materiales de base de recubrimiento, rindieron valores de FOS significativamente más altos que las fallas a lo largo de la base de sistema. Por lo tanto, las fallas que penetren en la masa de la roca por debajo de estas instalaciones se consideran ser de muy bajo riesgo.
- Para permanecer estable durante el ampliamiento, la pila tiene que ser apilada empezando desde las elevaciones bajas (el extremo sur del patio de lixiviación), y progresando hacia arriba en elevación de capas de 7 m, usando bancos entre capa y capa, para proporcionar un talud total del mineral de 3H:1V.

6.0 CONSIDERACIONES DE CONSTRUCCIÓN

6.1 Especificaciones y control de calidad

Las especificaciones del material y colocación para la preparación de la cimentación de la HLF, que guiará la construcción para que las instalaciones planificadas se adhieran a la intención del diseño, se presentan en los siguientes apartados. Las especificaciones son desarrolladas para todas las terracerías, incluyendo la preparación del sitio, excavaciones, rellenos de ingeniería, capa de suelo arcilloso, material de grava dren (capa de drenaje). Las especificaciones también incluyen información para los materiales permanentes, incluyendo los recubrimientos de geomembrana, geosintéticos, tubería y componentes auxiliares.

Las especificaciones incluyen los requisitos para el control de calidad y las inspecciones para asegurar que se adhieran a los planos de diseño y especificaciones. El control de calidad se utilizará durante la instalación de los materiales en el sitio y durante las operaciones críticas de nivelación.

6.2 Fuentes de préstamo

La mayoría del relleno estructural requerido vendrá de cortes locales dentro de la HLF. Se estima que aproximadamente 7,000 m³ de relleno estructural será importado de fuentes fuera del sitio, principalmente del tepetate extraído del tajo de la mina.

El relleno estructural importado, usado para la construcción del patio de lixiviación y las piletas de proceso, consistirán en residuos de la mina con menos de 35 % de limo y fracción de arcilla (que pasen de 75 µm).

El material de suelo arcilloso de baja permeabilidad, colocado debajo de la geomembrana para el patio de lixiviación y las piletas, consistirá en suelos arcillosos que han sido retirados de la superficie del patio de lixiviación y huella de la pileta durante la nivelación del sitio, o importada de una fuente de préstamo fuera del sitio. Este material tendrá un tamaño de roca máximo de 19 mm. Las pruebas geotécnicas de laboratorio realizadas por el consultor (Golder) indican que el material dentro del sitio del proyecto, cumple o excede las especificaciones requeridas (una conductividad hidráulica más lenta que el 1×10^{-5} cm/seg).

El material de grava dren, probablemente será producido por trituración y/o al cribar roca, utilizando una trituradora portátil. La roca necesaria para alimentar a la trituradora será tepetate despojado del camino al tajo, o roca excavada en la HLF o de fuentes locales cercanas.

La tabla 7 presenta las áreas de la superficie de la HLF forradas, así como los requisitos aproximados de terracerías, con base en los requisitos de nivelación que se muestran en los planos de diseño.

Tabla 7: Cantidades aproximadas de las áreas forradas del patio de lixiviación y terracerías principales. (Golder, 2016).

<i>Material de Construcción</i>	<i>Total</i>
Área forrada (m ²)	109,00
Capa vegetal y material inadecuado removido a la pila de acopio (m ³)	39,800
Excavación en el sitio en roca para la colocación de relleno (m ³)	113,800
Excavación en el sitio en suelo para la colocación de relleno (m ³)	42,800
Relleno estructural importado (m ³)	6,900
Recubrimiento arcilloso mínimo (m ³)	13,100
Grava dren (m ³)	59,000

6.3 Instalación del sistema de recubrimiento

El sistema de recubrimiento será instalado y probado para su integridad, por un contratista calificado con la presencia de un representante que haga pruebas de calidad, por parte de un tercero. La colocación del recubrimiento incluirá la instalación del suelo arcilloso o GCL, recubrimiento de geomembrana, tubería de colección de soluciones, y material de grava dren.

En las áreas donde la capa de suelo arcilloso no se requiera para la estabilidad geotécnica, se puede colocar el GCL sobre un subrasante preparado y compactado a 300 mm, en vez de una capa de suelo arcilloso.

6.4 Materiales de construcción

6.4.1 Relleno estructural

El relleno estructural, puede consistir de suelos y roca de las excavaciones en el sitio, tepetate, o material de una fuente aprobada de préstamo. El relleno estructural debe ser compactado con equipo adecuado, para lograr la compactación correcta y debe ser colocado en cargas o capas de nivel (suelos) de 30 cm de espesor máximo, y densificadas a al menos al 92 % de compactación

relativa (ASTM B1557), para poder proporcionar una estructura de estabilidad geotécnica y para minimizar la compresibilidad y reducir el potencial de distorsión excesiva del recubrimiento. El contenido de humedad requerido de los suelos antes de densificación depende del tipo de suelo, y los resultados de las pruebas de la relación humedad-densidad. Los suelos clasificados como medio de crecimiento o capa vegetal, o suelos que contienen raíces u orgánicos, no se consideran adecuados como relleno estructural. Se presenta los requisitos del relleno estructural en la Tabla 8.

Tabla 8: Requisitos recomendados para el relleno estructural. (Golder, 2016).

<i>Tamaño métrico de malla estándar</i>	<i>Porcentaje que pasa (%) por peso seco</i>
<i>200 mm</i>	<i>100</i>
<i>19 mm</i>	<i>60 – 100</i>
<i>No. 4</i>	<i>40 – 100</i>
<i>No. 200</i>	<i>5 – 60</i>
<i>Índice de plasticidad : ≤ 25</i>	

El relleno estructural que contenga más del 30 % de materiales de roca sobre tamaño de 19 mm, será colocado como relleno de roca. Se realizarán pruebas para determinar el tipo de equipo de compactación, número de pasos, espesor de carga, y tamaño máximo de la roca requerido para determinar el método de colocación apropiada para lograr una compactación adecuada, y la humectación del material.

6.4.2 Suelo arcilloso

La capa de suelo arcilloso consistirá en una capa de 300 mm mínimo de suelo de grano fino, ya sea compactado, in-situ o de fuentes identificadas como material de préstamo, y estará humectado y compactado para proporcionar una

permeabilidad más lenta que de 1×10^{-5} cm/seg. Se utiliza un suelo arcilloso para proporcionar una superficie lisa como base, y proteger el recubrimiento de geomembrana y la contención secundaria. El relleno de suelo arcilloso debe ser compactado al 92 % del proctor modificado (ASTM D1557), y humectado a no menos de un 2 % abajo del contenido de humedad óptima y no más de un 3 % sobre el contenido de humedad óptima. Se presentan los requisitos del material de relleno del suelo arcilloso en la tabla 9.

Tabla 9: Requisitos recomendados para el suelo arcilloso. (Golder, 2016).

<i>Tamaño métrico de malla estándar</i>	<i>Porcentaje que pasa por peso seco</i>
50 mm	100
No. 4	70 - 100
No. 40	30 - 85
No. 200	20 - 60
Índice de plasticidad	> 5
Permeabilidad (cm/seg)	1×10^{-5} o más lento

6.4.2 Material de grava dren

El material de grava dren de solución, o sea, la capa de drenaje colocada sobre el recubrimiento de la HLF, consistirá de material selecto que ha sido triturado y/o procesado para proporcionar una capa de material durable de drenaje-libre que esté libre de arcilla, material friable, y escombros. El material de grava dren deberá ser colocado en capas con un mínimo de 700 mm de espesor y no debe ser compactado. Además, el material de grava dren deberá ser colocado con camiones de volteo o cargadores a la orilla del recubrimiento de geomembrana, sin permitir que el equipo tenga contacto directo con el recubrimiento de geomembrana. El material de grava dren deberá tener una conductividad hidráulica más rápida que 1×10^{-1} cm/seg, cuando sea aprobado de conformidad con la ASTM D2434, bajo una presión vertical de 50 kPa y debe cumplir con los requisitos de gradación como se muestra en la tabla 10.

R. 180335

Tabla 10: Requisitos recomendados para el material de grava dren. (Golder, 2016).

<i>Tamaño métrico de malla estándar</i>	<i>Porcentaje que pasa por peso seco</i>
<i>50 mm</i>	<i>100</i>
<i>19 mm</i>	<i>60 – 100</i>
<i>No. 4</i>	<i>0 – 50</i>
<i>No. 40</i>	<i>0 – 50</i>
<i>No. 200</i>	<i>0 - 25</i>
<i>Índice de plasticidad</i>	<i>≤ 15</i>
<i>Permeabilidad (cm/seg)</i>	<i>1 x 10⁻¹ o más rápido</i>

7.0 BIBLIOGRAFÍA

Bartolini, C., Morales, M., Damon P., Shafiquillah, M., 1991. Geology and Geochronology of the Sierra Lista Blanca, Central Sonora, Mexico. Bol. Depto. Geol. Uni-Son, V. 8, P 1-5.

Bentley FlowMaster V8i (SELECTseries 1), Versión 08.11.01.03, fecha de construcción el 4 de noviembre de 2009, desarrollado por Bentley Systems, Inc. (Bentley, 2009)

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Climas (Clasificación de Köppen, modificado por García. Escala 1:1000000. México. 1998. (CONABIO, 1998)

Corporación Ambiental de México, Estudio Hidrogeológico en la Localidad de Mulatos, Municipio de Sahuaripa, Estado de Sonora, Para el Proyecto Minero La Yaqui. July de 2015. (CAM, 2015)

Engineering Analytics, Inc., Seismic Hazard Evaluation: Mulatos Mine, Sonora, Mexico. Con fecha el 16 de diciembre de 2013. (EA, 2013)

Foundation Analysis and Design, Joseph E. Bowles, Fifth Edition. Publicado por The McGraw-Hill Companies, Inc. (Bowles, J.E., 1996)

Golder Associates, Inc., Probabilistic Water Balance, Mulatos HLP Operations. Con fecha el 3 de septiembre de 2013. (Golder, 2013)

Golder Associates, Reporte de Diseño Preliminar, Marzo del 2016. (Golder, 2016).

Longo, A. Bourkey, F., Rodrigues, S., 2015. Interpreted Lithology of the Yaqui Project. Alamos Gold Inc., con fecha octubre de 2015.

Pre-Feasibility Study on the La Yaqui Property, Sonora State, Mexico. Alamos Gold, Inc., con fecha el 10 de febrero de 2010. (Alamos, 2010)

Rocscience Inc., Slide, Version 6.0, fecha de construcción el 24 de junio de 2010.

(Rocscience, 2010)

SRK Consulting (Canada) Inc., Hydrological Analysis Update for Mulatos Project. Con fecha el 20 de agosto de 2012. (SRK, 2012A)

SRK Consulting, Water Balance for Mulatos Mine. Con fecha el 27 de agosto de 2012. (SRK, 2012B)

U.S. Army Corp of Engineers (USACE), HEC-HMS Version 3.5, fecha de construcción el 10 de agosto de 2010. (HEC, 2010.)

US Department of Agriculture, National Resource Conservation Society, WinTR-55 Small Watershed Hydrology, Technical Release 55. Versión 1.00.10, compilado el 04/01/2011. (USDA, 2011)

APÉNDICE “A” BASE DE DISEÑO

Datos climatológicos y meteorológicos

Ubicación del sitio y estaciones meteorológicas

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Referencia</i>
<i>Estaciones meteorológicas</i>	Basado en 3 puntos de datos del sitio y 1 punto fuera del sitio (se utilizó el punto de dato fuera del sitio, para establecer los datos antes del desarrollo de la mina)	G
<i>Coordenadas norte (UTM NAD27)</i>	3168700	G
<i>Coordenadas este (UTM NAD27)</i>	719100	
<i>Elevación del sitio (m)</i>	1,410 m (msnm)	

Precipitación de tormentas

<i>Precipitación Total (mm)</i>		
<i>Evento de Tormenta</i>	<i>Media</i>	<i>Referencia</i>
<i>2 años, 24 horas</i>	57.6	SRK2
<i>5 años, 24 horas</i>	76.4	
<i>10 años, 24 horas</i>	88.8	G, Interpolado
<i>25 años, 24 horas</i>	103.8	
<i>50 años, 24 horas</i>	116.1	
<i>100 años, 24 horas</i>	127.6	SRK2

Patio de lixiviación

Propiedades de resistencia del material

Material	Peso por unidad húmedo (kN/m ³)	Tipo de resistencia	Parámetros de resistencia al corte		Referencia
			Ángulo de fricción, Φ (°)	Cohesión (kPa)	
Mineral de la pila de lixiviación/ grava dren	19	Mohr-Coulomb	33	0	G
Material de recubrimiento de suelo arcilloso	20	Mohr-Coulomb	24	0	G
Relleno estructural	20	Mohr-Coulomb	24	0	G
Recubrimiento – geomembrana texturada de 80 mil	20	Mohr-Coulomb	24	0	G
GCL – Geomembrana texturada por un solo lado – lado texturado hacia arriba)	20	Mohr-Coulomb	4	0	G
Andesita erosionada – suelos residuales	20	Mohr-Coulomb	30	0	G
Material de cimentación (Lecho de roca erosionado)	25	Mohr-Coulomb	30	3,500	G

*Nota: Los parámetros de resistencia se refieren a las resistencias picas, con la excepción de la interfaz de recubrimiento que utilizó resistencias residuales

Estabilidad geotécnica del talud

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Comentarios</i>	<i>Referencia</i>
<i>Programa de modelado de estabilidad</i>	Slide 6.0	2-D Análisis de límite de equilibrio de estabilidad	G
<i>Densidad del mineral</i>	1.60 toneladas/m ³		G
<i>Aceleración máxima del suelo (PGA por sus siglas en inglés):</i>			
<i>Sismo máximo de diseño (MDE por sus siglas en inglés)</i>	0.03 g	Periodo de retorno de 475 años	G
<i>Coefficiente de aceleración Horizontal del Suelo (k_h):</i>			
<i>MDE, k_h</i>	0.02 g	2/3 x MDE PGA	G
<i>Factores de seguridad de estabilidad mínimos (FOS por sus siglas en inglés):</i>			
<i>Cierre estático</i>	1.50	Con base en el MDE	NOM, G2
<i>Cierre sísmico</i>	1.05	Con base en el MDE	NOM, G2

Criterios generales

Arreglo general del patio de lixiviación

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Comentarios</i>	<i>Referencia</i>
<i>Capacidad</i>	1.65 toneladas métricas	NI 43 – 101	A
<i>Tasa promedio de apilamiento</i>	550,000 t/año	NI 43 – 101	A
<i>Vida de la mina</i>	3 años	NI 43 – 101	A
<i>Densidad del mineral</i>	1.6 toneladas/m ³		A
<i>Altura máxima de la pila</i>	Ninguna		G
<i>Altura nominal de la capa</i>	7 m		A
<i>Pendiente total de la pila</i>	3H: 1 V		G
<i>Pendiente local de la pila (entre bancos)</i>	1.4 H:1 V		G
<i>Banco ancho</i>	11,2 m		G
<i>Ancho mínimo de la cresta de la pila</i>	30 m		G
<i>Método de apilamiento</i>	Transportador		A
<i>Pendiente máxima del patio</i>	2 %	Del análisis de estabilidad	G
<i>Compensación mínima desde la punta de la pila (cierre) a la punta expuesta de la berma perimetral</i>	4 m		G

Criterios de operación

Parámetros	Valor	Comentarios	Referencia										
<i>Densidad del mineral</i>	1.6 ton/m ³		A										
<i>Contenido promedio de humedad natural del mineral</i>	2.8%	Por peso seco	A										
<i>Drenaje promedio del contenido de humedad del mineral después de lixiviación</i>	7.0%	Por peso seco	A										
<i>Tasa anual de carga de mineral</i>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Toneladas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pre-producción</td> <td>33,000</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>550,000</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>550,000</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>520,000</td> </tr> </tbody> </table>	Año	Toneladas	Pre-producción	33,000	1	550,000	2	550,000	3	520,000	1,570 toneladas /día	A
Año	Toneladas												
Pre-producción	33,000												
1	550,000												
2	550,000												
3	520,000												
<i>Días operacionales por año</i>	350		A										
APLICACIÓN DE SOLUCIÓN													
<i>Tasa promedio de aplicación</i>	7.5 l/hr/m ²		G										
<i>Tasa máxima de aplicación</i>	11 l/hr/m ²		G										
<i>Tasa promedio de flujo</i>	3,000 m ³ /día		A										
<i>Tasa máxima de flujo</i>	4,500 m ³ /día		A										
<i>Sistema de irrigación de lixiviación</i>	Rociadores de baja evaporación estilo "Wobbler"		A										
<i>Ciclo promedio de lixiviación</i>	60 a 90 días		A										

Parámetros de los materiales de construcción de la pila

Parámetro	Valor	Comentarios	Referencia
Espesor mínimo del suelo arcilloso	300 mm compactado		G
Conductividad hidráulica del suelo arcilloso – más lento que Recubrimiento de geomembrana primaria	1.0×10^{-5} cm/seg		G
Capa de drenaje sobre el recubrimiento – espesor mínimo	2.0 mm sin compactación		G
Capa de drenaje sobre la conductividad hidráulica del recubrimiento – más rápido que Sistema de tuberías de colección de solución	700 mm sin compactación		G
Inclinación mínima de la tubería	1.0×10^{-1} cm/seg	Mineral triturado	G
Espaciamiento máximo entre las tuberías de colección terciarias	CPE perforado HDPE de pared sólido		G
Sistema de detección de fugas	1.0 %		G
Sistema de tubería de detección de fugas	Variable con base en la pendiente del patio	Promedio del límite de la cabeza hidráulica al recubrimiento a 700 mm entre las tuberías de colección	G
Sistema de detección de fugas	Requerida debajo del patio y piletas		NOM
Sistema de tubería de detección de fugas	PVC perforado de 50 mm	Bajo las tuberías de colección y canales de salida	G

Piletas de proceso del patio de lixiviación

Capacidades de las piletas de proceso

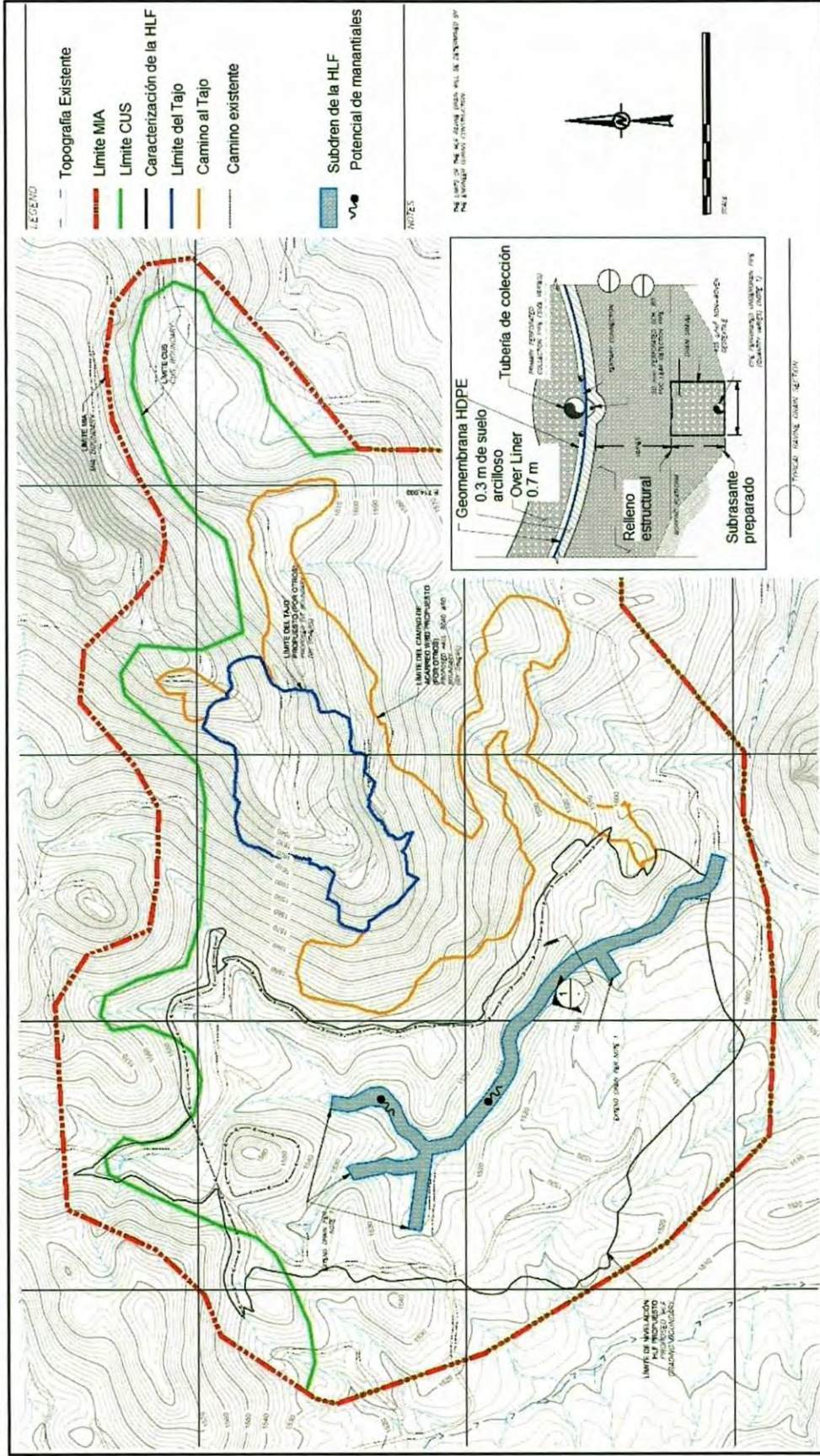
Parámetro	Requisitos mínimos de almacenamiento	Comentarios	Referencia
Capacidad de la piletta de solución rica	Operacional = 12 horas Fluctuación = 12 horas	Al vertedero de rebose, 0.5m bajo la cresta	A
Capacidad de la piletta de solución pobre	Operacional = 12 horas Fluctuación = 12 horas	Al vertedero de rebose, 0.5m bajo la cresta	A
Capacidad de la piletta de eventos			
El mayor volumen de los dos casos presentados:			
Caso 1: Suma de los siguientes requisitos de almacenamiento al vertedero de emergencia (0.5m bajo la cresta):			
Condición adversa 1: Drenaje de emergencia	24 horas debido a una pérdida de electricidad	Drenaje de los sistemas de solución rica y pobre	G
Condición adversa 2: Almacenamiento de flujos de proceso	Acumulación máxima de condiciones climáticas típicas	Desarrollado del balance de agua de los flujos de proceso	G
Condición adversa 3: Evento de tormenta de diseño	Tormenta de 100 años, 24 horas		G
Caso 2: Suma de los siguientes requisitos de almacenamiento al vertedero de emergencia (0.5m bajo la cresta):			
Condición adversa 1: Drenaje de emergencia	24 horas debido a una pérdida de electricidad	Drenaje de los sistemas de solución rica y pobre	G
Condición adversa 2: Almacenamiento de flujos de proceso	Acumulación máx de condiciones climáticas húmedas de 1 en 100 años	Desarrollado del balance de agua de los flujos de proceso	G

Caminos de acceso y acarreo

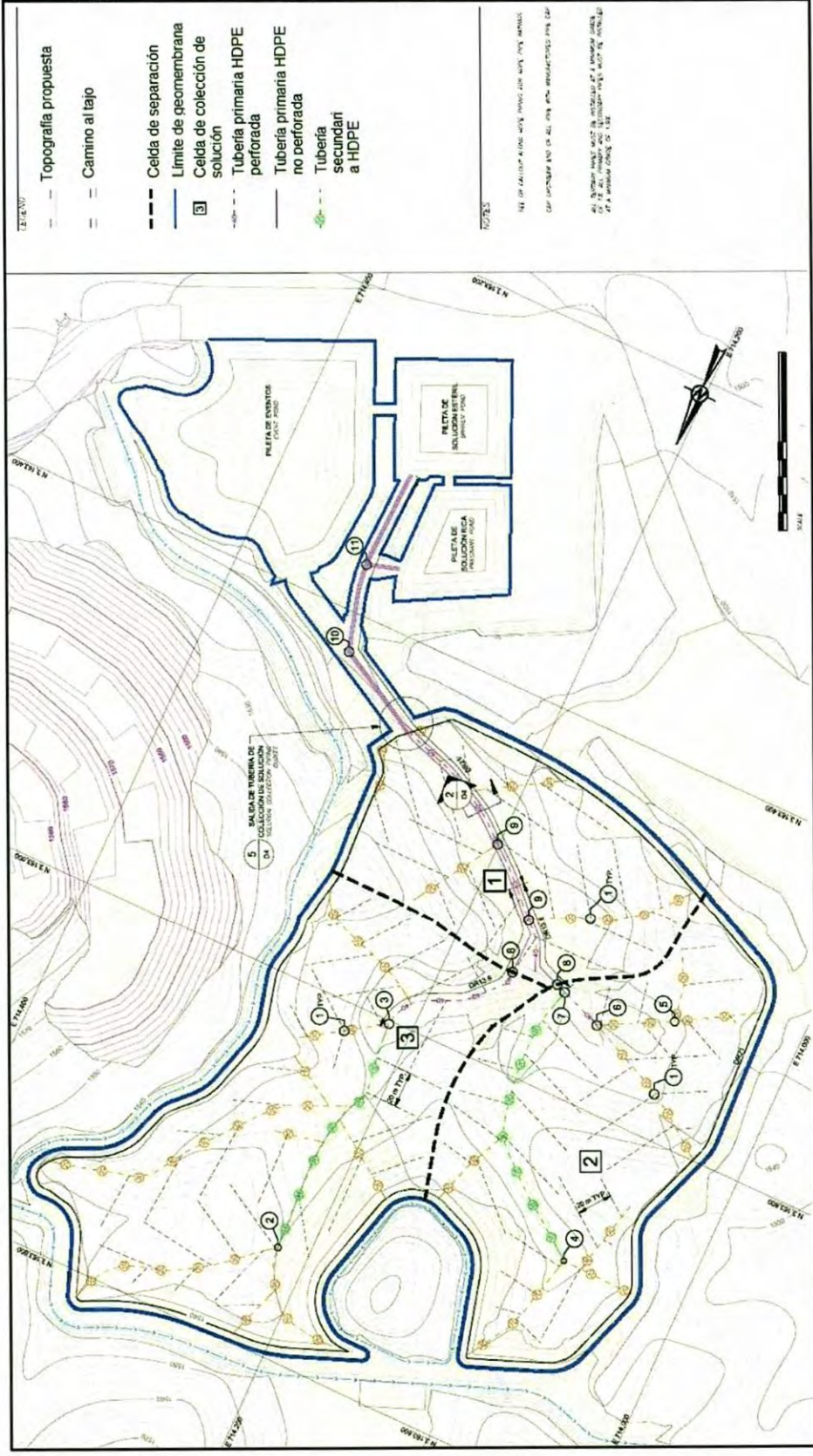
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Comentarios</i>	<i>Referencia</i>
<i>Inclinación máxima del camino de acarreo durante la operación de la pila</i>	10 %		A
<i>Inclinación máxima del camino de acceso de la pila después de operación (cierre)</i>	10 %		A
<i>Ancho mínimo del camino de acarreo durante operación</i>	20 m	Tráfico de 2 vías para el camión articulado de 40 toneladas	A
<i>Inclinación máxima del camino de acceso al proceso</i>	10 %		A
<i>Ancho mínimo del camino de acceso al proceso</i>	10 m	Tráfico de 2 vías de camiones ligeros	A
<i>Inclinación máxima del camino perimetral de acceso a la HLF</i>	10 %		A
<i>Ancho mínimo del camino perimetral de acceso a la HLF</i>	8 m	Tráfico de 1 vía de camiones ligeros	A

APÉNDICE B “PLANOS DEL DISEÑO”

Arreglo general del drenaje de la barranca y arreglo típico (RD1)



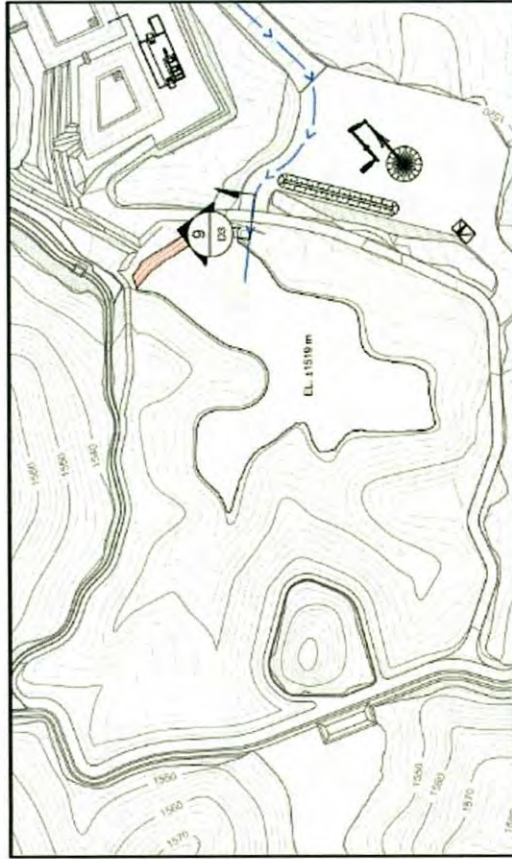
Arreglo de la tubería de colección de solución (C3)



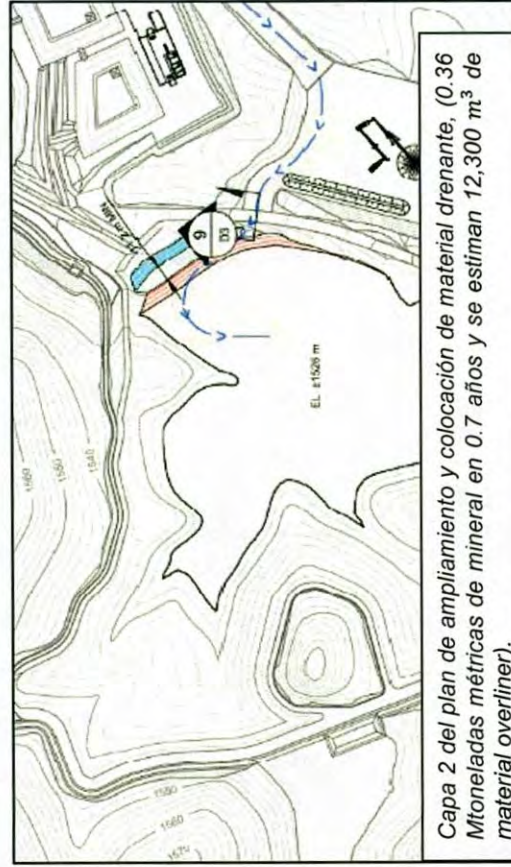
Plan de ampliamiento y colocación de material drenan

LEYENDA LEGEND

- 1500 — TOPOGRAFÍA EXISTENTE Y PROPUESTA (CONTORNOS DE 2M) (NOTA GENERAL 1)
EXISTING AND PROPOSED TOPOGRAPHY (2m CONTOURS) (GENERAL NOTE 1)
- 1500 — NIVELACIÓN DE CAPA ACTUAL (CONTORNOS DE 2M)
CURRENT LIFT GRADING (2m CONTOURS)
- 1500 — NIVELACIÓN DE CAPA COMPLETADA (CONTORNOS DE 2M)
COMPLETED LIFT GRADING (2m CONTOURS)
- < — RUTA DE ACCESO PARA CAPAS 1 & 2
LIFTS 1 & 2 ACCESS ROUTE
- < — RUTA DE ACCESO PARA CAPAS 3 & 4
LIFTS 3 & 4 ACCESS ROUTE



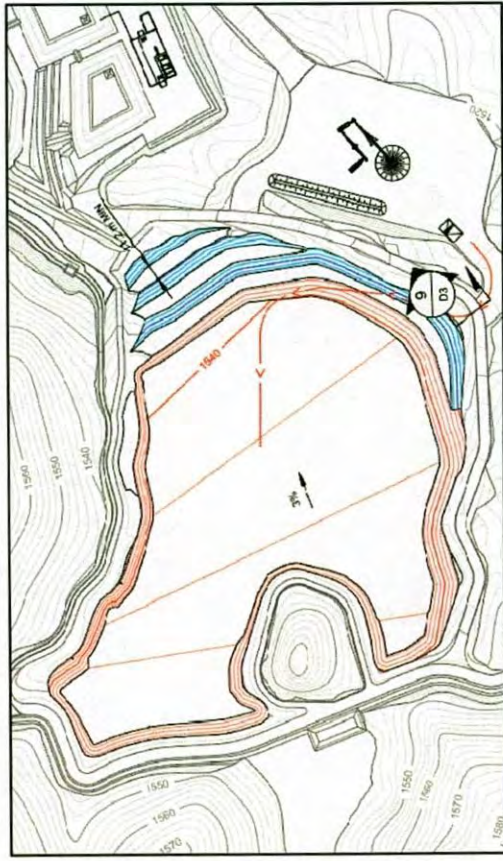
Capa 1 del plan de ampliamiento y colocación de material drenante. (0.08 Mtoneladas métricas de mineral en 0.2 años y se estiman 12,300 m³ de material overliner).



Capa 2 del plan de ampliamiento y colocación de material drenante. (0.36 Mtoneladas métricas de mineral en 0.7 años y se estiman 12,300 m³ de material overliner).



Capa 3 del plan de ampliamiento y colocación de material drenante, (0.81 Mtoneladas métricas de mineral en 1.5 años y se estiman 14,700 m³ de material overliner).



Capa 4 del plan de ampliamiento y colocación de material drenante, (1.66 Mtoneladas métricas de mineral en 3 años y se estiman 16,000 m³ de material overliner).

LEYENDA
LEGEND

STA AL 1)
EXISTING AND PROPOSED TOPOGRAPHY (2m CONTOURS)
(GENERAL NOTE 1)

— 1500 —
NIVELACIÓN DE CAPA ACTUAL (CONTORNOS DE 2M)
CURRENT LIFT GRADING (2m CONTOURS)

— 1500 —
NIVELACIÓN DE CAPA COMPLETADA (CONTORNOS DE 2M)
COMPLETED LIFT GRADING (2m CONTOURS)

— < —
RUTA DE ACCESO PARA CAPAS 1 & 2
LIFTS 1 & 2 ACCESS ROUTE

— < —
RUTA DE ACCESO PARA CAPAS 3 & 4
LIFTS 3 & 4 ACCESS ROUTE