

REPORTE FINAL
TRADUCCION

ESTUDIO DE ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DE LA UBICACIÓN

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL PROYECTO DE SULFUROS PRIMARIOS DE CERRO VERDE

Preparado para

Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.
Asiento Minero Cerro Verde – Uchumayo
Casilla Postal 299
Arequipa, Peru

Junio 2004

URS

URS Corporation
8181 E. Tufts Avenue
Denver, Colorado 80237

TABLA DE CONTENIDO

1.	SECCIÓN UNO Introducción	1-1
2.	SECCIÓN DOS Criterios de Evaluación.....	2-1
3.	SECCIÓN TRES Métodos Alternativos de Deposición de Relaves	3-1
3.1	Deposición Convencional de Relaves.....	3-1
3.2	Deposición de Relaves Espesados	3-4
3.3	Deposición de Relaves Secos.....	3-5
4.	SECCIÓN CUATRO Ubicaciones Probables del DAR para la Opción de Deposición Convencional de Relaves	4-1
5.	SECCIÓN CINCO Ubicaciones para la Opción de Deposición Convencional.....	5-1
5.1	Ubicación A 2	5-1
5.1.1	Espesadores Convencionales	5-1
5.1.2	Sistema de Conducción de Relaves	5-1
5.1.3	Túnel	5-2
5.1.4	Ciclones.....	5-2
5.1.5	Presa de arranque	5-2
5.1.6	Sistema de Retorno de Agua.....	5-3
5.1.7	Pozos de Bombeo de Retorno	5-3
5.1.8	Consideraciones Operativas.....	5-3
5.1.9	Estimación de Costos a Nivel Conceptual	5-5
5.1.10	Análisis Preliminar del Balance Hídrico.....	5-6
5.2	Ubicación A9	5-9
5.2.1	Esquema Conceptual del Diseño	5-9
5.2.2	Estimado de Costos a Nivel Conceptual	5-10
6.	SECCIÓN SEIS Opción de Deposición de Relaves Espesados	6-1
7.	SECCIÓN SIETE Conclusiones.....	7-1

TABLA DE CONTENIDO

Lista de Figuras

- Figura 1 Ubicaciones Probables para Deposición Convencional de Relaves - Planta
- Figura 2 Configuración Final de la Ubicación A2 - Deposición Convencional de Relaves -
Planta y Secciones
- Figura 3 Planta de las Estructuras de Arranque, Ubicación A2 - Deposición Convencional
de Relaves
- Figura 4 Línea de Conducción de Relave - Deposición Convencional de Relave - Perfil y
Secciones
- Figura 5 Configuración Final de Ubicación A9 - Deposición Convencional de Relaves con
Presa de Relaves Cicloneados - Planta y Sección
- Figura 6 Ubicación A9 con Deposición Convencional y Presa de Roca de Desmonte -
Planta y Sección Final
- Figura 7 Estructuras de Arranque, Ubicación A9 - Deposición Convencional de Relave con
Presa de Relave Cicloneada - Planta, Perfil y Sección
- Figura 8 Localización Preferente para Deposición de Relave Espesado - Planta y Sección

1. SECCIÓN UNO Introducción

El presente informe presenta un resumen de los estudios iniciales efectuados para evaluar varias alternativas relacionadas al depósito de almacenamiento de relaves (DAR). Dichos estudios fueron realizados por URS desde diciembre de 2001 hasta marzo de 2002, y fueron documentados mediante tres informes individuales. Cabe señalar que la evaluación técnica de alternativas presentada en este informe, se basó en la información preliminar disponible en dichas fechas y fueron efectuadas para realizar comparaciones relativas. Por consiguiente, algunas características han variado en función de los estudios detallados posteriores.

El presente documento describe los aspectos técnicos de las diversas alternativas de deposición y ubicaciones, así como los costos estimados, a nivel conceptual, de las ubicaciones técnicamente factibles, con fines comparativos. Tenemos entendido que la evaluación y presentación de los componentes ambientales asociados a las evaluaciones de las ubicaciones seleccionadas estará a cargo de otras entidades. El presente documento tiene como objetivo complementar el Estudio del Impacto Ambiental (EIA) realizado por otra entidad.

Se evaluaron alternativas de deposición y ubicaciones para el DAR entre diciembre de 2001 y marzo de 2002 como parte de los estudios iniciales para el Proyecto de Sulfuros Primarios de Cerro Verde. Estos estudios incluyeron los siguientes aspectos:

- Evaluación de distintas opciones para la deposición de los relaves, tales como:
 - Deposición convencional de relaves;
 - Deposición de relaves espesados; y
 - Deposición de relaves secos.
- Evaluación de distintos métodos de crecimiento de la presa para la deposición convencional de relaves, los cuales comprenden:
 - Método de crecimiento de aguas arriba;
 - Método de crecimiento de línea central; y
 - Método de crecimiento de aguas abajo.
- Evaluación de distintos materiales de construcción de la presa de arranque, tales como:
 - Material de préstamo;
 - Material de roca de desmonte; y
 - Material de relave cicloneado.
- Identificación de ubicaciones probables para el DAR
- Evaluación inicial de las ubicaciones probables en base a su factibilidad técnica e identificación de una lista corta de ubicaciones técnicamente factibles para evaluación adicional. Los factores para la evaluación inicial fueron:

- Capacidad de almacenamiento de relaves;
 - Distancia hasta la planta de procesamiento y longitud correspondiente de la línea de conducción de relaves;
 - Volumen de la presa;
 - Relación entre la capacidad máxima de almacenamiento de relaves y el volumen de la presa correspondiente, a la cual se denomina Razón de Almacenamiento; y
 - Diferencia de cotas entre el DAR y la planta.
- Evaluación adicional de los aspectos técnicos del DAR en las ubicaciones seleccionadas, la cual comprende:
 - Realización de análisis preliminares de balance hídrico en uno de los sitios alternativos del DAR.
 - Preparación de costos estimados, a nivel conceptual, para los sitios del DAR seleccionados.

2. SECCIÓN DOS Criterios de Evaluación

Esta sección presenta los criterios utilizados en el desarrollo y evaluación de distintas opciones para la deposición de relaves, como parte de los estudios iniciales realizados durante los años 2001 y 2002. Estos criterios fueron elaborados, en parte, en base a la información proporcionada por personal de Phelps Dodge (PD) y de la Mina Cerro Verde durante los estudios iniciales (2001/2002) y, en parte, en base a nuestra experiencia con proyectos similares.

Los siguientes criterios de evaluación fueron adoptados para los estudios iniciales a fin de evaluar distintas alternativas de deposición de relaves:

- Cantidad total de deposición de relaves de 500 a 800 millones de toneladas métricas secas, estimadas como el requisito de capacidad en el 2001/2002.
- Potencial de expansión de capacidad a mil millones de toneladas métricas secas. Posteriormente, en base a las reservas minerales y planeamiento de la mina, esta fue la capacidad requerida.
- Porcentaje estimado de sólidos en la emulsión de relaves a los espesadores de 30% por peso.
- Porcentaje estimado de sólidos en los relaves al ser transportados al depósito de relaves:
 - Método convencional de deposición de relaves: 50% de sólidos por peso
 - Método de deposición de relaves espesados: 65% de sólidos por peso
 - Método de deposición de relaves secos: 75% de sólidos por peso
- Granulometría estimada del relave proveniente de los espesadores utilizada para las evaluaciones. Se basó en operaciones similares de PD en los Estados Unidos. Se utilizó la siguiente granulometría del relave entero:

Tamaño (micras)	Malla No.	Porcentaje Retenido	Porcentaje Acumulado que pasa
841	20	0.00	100.00
595	28	0.11	99.89
420	35	0.89	99.00
297	48	3.71	95.29
210	65	7.77	87.52
149	100	10.09	77.43
105	150	10.58	66.85
75	200	9.91	56.94
53	270	7.13	49.81
44	325	5.89	43.92
37	400	2.36	41.56

- Densidad seca promedio in situ estimada de 1.60 toneladas métricas por metro cúbico.
- Depósito de relaves diseñado para almacenar o desviar la escorrentía originada por una tormenta de Precipitación Máxima Probable (PMP).
- Depósito de relaves capaz de resistir cargas sísmicas importantes. El Máximo Terremoto Creíble (MTC) a ser evaluado como el Sismo de Diseño durante estudios posteriores.
- Las pérdidas de agua en el DAR a ser controladas mediante las estructuras adecuadas.

3. SECCIÓN TRES Métodos Alternativos de Deposición de Relaves

Los tres procesos alternativos de eliminación de relaves que se presentan a continuación fueron incluidos como parte de los estudios iniciales:

- **Sistema Convencional de Deposición de Relaves** – Esta opción incluye espesadores de relaves “convencionales” (de gran capacidad), sistema centrífugo de bombeo del “underflow” de relaves, sistema de bombeo del “overflow” de agua, una presa de relaves adecuada para alta sismicidad, y un sistema de retorno del agua de relaves del DAR hacia la planta procesadora por medio de bombeo.
- **Sistema de Deposición de Relaves Espesados** – Esta opción incluye espesadores de pasta, un sistema adecuado de bombeo del “underflow” de relaves para emulsiones con alto porcentaje de sólidos, sistema de bombeo del “overflow” de agua del espesador, una presa de relaves adecuada para el método de Deposición de Relaves Espesados, y un sistema de retorno del agua del DAR hacia la planta procesadora por medio de bombeo.
- **Sistema de Deposición de Relaves Secos** – Esta opción incluye un sistema de espesado/filtraje de relaves, un sistema de transporte y colocación de relaves basado en una cinta transportadora, y un sistema de retorno del agua del DAR hacia la planta procesadora por medio de bombeo.

Tomando como base los criterios de evaluación presentados en la sección anterior así como los mapas topográficos suministrados por personal de PD y de la Mina Cerro Verde, las tres opciones de deposición de relaves descritas anteriormente fueron evaluadas con detalle suficiente para permitir el análisis comparativo de dichas opciones, tal y como se detalla a continuación.

3.1 DEPOSICIÓN CONVENCIONAL DE RELAVES

El proceso de deposición convencional de relaves consiste en pasar todo el material de relave entero a través de espesadores “convencionales” (de gran capacidad) en los que se recicla el rebose de agua hacia la planta concentradora y la descarga de relaves es enviada a un DAR. La descarga del relave es transportada hacia el DAR ya sea por flujo de gravedad, bombas centrífugas, o una combinación de ambos. Los relaves son almacenados en el DAR detrás de una presa.

Por lo general, la construcción del DAR y la presa respectiva se realizan en varias fases para distribuir los gastos de capital a lo largo de la vida del depósito. En consecuencia, inicialmente sólo se construye la presa de arranque hasta cierta altura (la cual generalmente corresponde al volumen de almacenamiento de relaves correspondiente a un determinado periodo de operación inicial). La presa es posteriormente elevada utilizando uno de los siguientes métodos:

- Método de crecimiento de aguas arriba;
- Método de crecimiento de línea central; o
- Método de crecimiento de aguas abajo.

La presa inicial, comúnmente denominada presa de arranque, por lo general es construida con material de préstamo y/o roca de desmonte del área de tajo abierto. Cuando la planta concentradora inicia sus operaciones, los relaves provenientes de la descarga de los espesadores son conducidos al DAR y depositados detrás de la presa de arranque. Posteriormente, se incrementa la altura de la presa de arranque para almacenar los materiales de relaves provenientes de las operaciones de la planta concentradora.

El método de crecimiento de aguas arriba se lleva a cabo mediante la descarga de materiales de relaves hacia aguas arriba desde spigots o baterías de ciclones ubicados en la cresta de la presa. Los aumentos o elevaciones sucesivas de la presa de relaves por encima de la cresta de la presa de arranque, se desplazan progresivamente hacia aguas arriba formando así la cara aguas abajo de la presa. Los materiales de relaves colocados mediante el método de crecimiento aguas arriba no son compactados; por lo tanto, no se espera que permanezcan estables bajo cargas sísmicas que ocurren en zonas con altos niveles sísmicos, tales como la Mina Cerro Verde. En consecuencia, se considera que el método de crecimiento hacia aguas arriba no es un método de construcción seguro para el Proyecto de Sulfuros Primarios, y por consiguiente, fue descartado en las evaluaciones posteriores de las alternativas del DAR.

El método de crecimiento de línea central se realiza elevando la cresta de la presa de manera vertical por encima de la cresta de la presa de arranque. Los materiales utilizados para las elevaciones sobre la cresta de la presa de arranque generalmente consisten de la descarga de la porción gruesa de relaves cicloneados o de material de relleno. Los materiales de descarga de los ciclones o de relleno que conforman el sector de aguas abajo de la presa son generalmente compactados para incrementar la estabilidad en zonas con alto nivel de sismicidad; sin embargo, las presas constituidas por el método de línea central deben ser meticulosamente analizadas para evaluar su estabilidad bajo condiciones sísmicas. Si bien el método de crecimiento de línea central fue considerado un método de construcción viable y seguro, no fue adoptado debido a la escasa información disponible durante la realización de los estudios iniciales (2001/2002). Debido a que los análisis de ingeniería de detalle no formaron parte de los alcances de los estudios iniciales, de modo que permitiese evaluar la estabilidad del método de recrecimiento de línea central, se seleccionó el método de crecimiento de aguas abajo para evaluar diversas alternativas de ubicación del DAR. No obstante, se programó la realización de análisis de ingeniería más detallados en la ubicación del DAR seleccionada, como parte de los Estudios a Nivel de Factibilidad, a fin de evaluar la factibilidad y seguridad adecuada del método de recrecimiento de línea central.

El método de crecimiento de aguas abajo, se logra elevando la presa de arranque en dirección hacia aguas abajo, utilizando un, o una combinación de los materiales que se presenta a continuación:

- **Material de Préstamo** – En este caso, la presa de arranque es elevada en la dirección aguas abajo utilizando materiales de préstamo adecuados compactados en capas. La presa comúnmente incluye diversas zonas para reducir el riesgo de tubificación y controlar las filtraciones. Por consiguiente, usualmente se requiere cierto procesamiento de los materiales para producir materiales de relleno para las distintas zonas de la presa.

- **Material de roca de desmonte** – En este caso, la presa de arranque es elevada en la dirección aguas abajo haciendo uso de la roca de desmonte generada a partir de las operaciones del tajo abierto. No se realizaron evaluaciones de las características de la roca de desmonte como parte de los estudios iniciales. Por lo general, debido a las diferencias significativas entre la distribución del tamaño de la roca de desmonte y los materiales de relaves, es necesario contar con un filtro/dren aguas arriba de la elevación de la presa de roca de desmonte. Asimismo, este tipo de presa usualmente incluye una capa adicional de baja permeabilidad aguas arriba para reducir la filtración de agua hacia el ambiente. En consecuencia, este método de recrecimiento también requiere cierto procesamiento del material para producir materiales para las distintas zonas de la presa. Para propósitos de evaluación de diversas alternativas de ubicación del DAR, se asumió que la presa construida con roca de desmonte incluye una zona de filtro/drenaje. Sin embargo, se programó una evaluación más detallada de los materiales de roca de desmonte como parte de los Estudios a Nivel de Factibilidad para evaluar la necesidad de un filtro/dren y de una zona de baja permeabilidad.
- **Material de relaves cicloneados** – En este caso, los materiales de relaves provenientes de los espesadores pasan a través de ciclones para separar la porción gruesa de la porción fina. La porción gruesa (descarga) se utiliza para construir la presa mientras que la porción más fina (rebose) es colocada en el depósito aguas arriba de la presa. En áreas con alta sismicidad, los materiales de la porción gruesa de los relaves cicloneados, por lo general se depositan en capas relativamente delgadas y son compactados con tractores. El agua decantada proveniente de la porción gruesa de los relaves, utilizada para el crecimiento de la presa, es generalmente recolectada y bombeada de retorno hacia el embalse.

El método de crecimiento de aguas abajo usando material de préstamo, generalmente es el método más caro de los métodos de deposición convencional, debido a las grandes cantidades de material que deben ser excavados, transportados y colocados, además del procesamiento de algunos materiales. Por lo tanto, se descartó el uso de material de préstamo para el método de recrecimiento aguas abajo por no ser económicamente factible.

El método de crecimiento aguas abajo que utiliza material de roca de desmonte requiere una cuidadosa coordinación con el plan de desarrollo de mina para disponer de materiales y recursos suficientes para mantener la elevación de la presa por encima del crecimiento del depósito. El uso de roca de desmonte para la construcción del crecimiento aguas abajo, permite reducciones de costo significativas, típicamente para ubicaciones del depósito cerca del tajo. En consecuencia, este método de recrecimiento aguas abajo sólo fue considerado para alternativas de ubicaciones del DAR cercanas y de fácil acceso al tajo.

Tomando como base las características de los relaves previstos utilizadas durante los estudios iniciales (Sección 2.0 – Criterios de Evaluación) así como la información obtenida de los fabricantes de espesadores y ciclones, se consideró que la producción de la descarga de relaves era factible utilizando ciclones para la construcción de la elevación de la presa, mediante los métodos de crecimiento de aguas abajo y de línea central. En base al éxito que Phelps Dodge ha sido capaz de obtener en el cicloneado de emulsiones con densidades de aproximadamente 50% en sus Minas Chino y Morenci ubicadas en los Estados Unidos, no se consideró la dilución en los

ciclones en el estudio inicial. Durante la realización de los Estudios a Nivel de Factibilidad, se programó una evaluación más detallada de los materiales de relaves y ciclones para evaluar la calidad y cantidad de la descarga de relaves requeridas para la construcción de la presa de relaves, utilizando los métodos crecimiento de aguas abajo y de línea central. Para evaluar probables ubicaciones del DAR, se asumió un método de crecimiento de aguas abajo

Para propósitos del estudio inicial y evaluación de ubicaciones probables del DAR por deposición convencional de relaves, se consideró la siguiente configuración para la presa de arranque y su posterior elevación con relaves cicloneados:

- Presa de arranque
 - Talud aguas arriba 2.5H:1.0V
 - Talud aguas abajo 3.0H:1.0V
 - Ancho de cresta de 15 metros
 - Altura correspondiente a un volumen de almacenamiento de relaves de 2 años

- Presa de Relaves Cicloneados
 - Talud aguas arriba 2.5H:1.0V
 - Talud aguas abajo 4.0H:1.0V
 - Ancho de cresta de 15 metros
 - Borde libre de 3 metros

3.2 DEPOSICIÓN DE RELAVES ESPESADOS

La deposición de relaves espesados incluye el uso de espesadores de pasta, ubicados cerca o en la zona de la planta procesadora, para recuperar parte del agua antes de transportar los relaves al DAR. En comparación con la deposición convencional de relaves, los espesadores de pasta pueden extraer más agua de la emulsión relaves que los espesadores convencionales. Posteriormente, el relave espesado (generalmente con 60 a 65% de sólidos) es transportado al DAR utilizando por lo general bombas especiales de desplazamiento positivo. Debido a que el relave espesado contiene un porcentaje significativamente alto de sólidos, no es técnicamente factible utilizar ciclones para separar la porción gruesa de la fina.

En el DAR, los relaves espesados son descargados sobre una superficie de terreno plana o casi plana, desde la parte superior de una presa o torre. Posteriormente, se deja que los relaves espesados fluyan en todas las direcciones para formar una figura geométrica cónica relativamente plana con pendientes de los de relaves usualmente de 3 a 5 %. Debido al “flujo laminar” resultante, el exceso de agua fluye hacia la superficie del relave espesado y los relaves subyacentes quedan parcialmente saturados. Dependiendo de la topografía del terreno, por lo general se requiere una presa de poca altura y un canal de pie de talud a lo largo del perímetro del depósito de relaves espesados para contener y recolectar el exceso de agua. Tomando como base la literatura publicada, es posible disponer los depósitos de relaves condensados de diversas formas reubicando de manera secuencial los puntos de descarga.

La construcción de depósitos de relaves espesados es económicamente factible en zonas relativamente planas debido a que por lo general no requieren presas de gran tamaño para contener los relaves espesados y el exceso de agua. Sin embargo, resulta importante resaltar que, a pesar de que el método de deposición de relave espesado ha sido utilizado por 25 años aproximadamente, jamás ha sido probado en una mina de gran capacidad con una tasa de producción del orden de las 100,000 t/d, tal y como se planea en el caso del Proyecto de Sulfuros Primarios. Los sitios en los que se utiliza este método de deposición por lo general tienen tasas de producción en el rango de 1,500 a 8,500 t/d y la tasa más alta de la cual tenemos conocimiento es de 30,000 t/d aproximadamente.

Para propósitos del estudio inicial, se estimó una pendiente de deposición de relaves espesados de 3%, con los relaves espesados retenidos detrás de una presa de pie. La presa de pie debería ser diseñada como una estructura de retención de agua, ya que el agua decantada de la emulsión de relaves se acumularía contra el talud de aguas arriba.

3.3 DEPOSICIÓN DE RELAVES SECOS

El proceso de deposición en seco incluye el uso de técnicas de filtrado para retirar la mayor cantidad de agua de la emulsión de relaves antes de que estos sean transportados hacia el área de eliminación. Generalmente, la planta de filtrado se ubica cerca o en el área de la planta, y los materiales de relaves provenientes del proceso de filtrado por lo general tienen altos porcentajes de sólidos (de 70 a 80% de sólidos por peso). Posteriormente, estos materiales de relaves con altos porcentajes de sólidos son llevados hacia el DAR utilizando un sistema de transporte y colocación basado en una faja transportadora. Una vez en el DAR, los relaves parcialmente saturados son depositados detrás de una presa construida con material de préstamo compactado. Debido a que los relaves son depositados en condiciones de saturación parcial, no se genera un volumen significativo de exceso de agua en el depósito y, por lo tanto, no se necesita un sistema de retorno de agua.

Aunque la opción de deposición de relaves en seco recupera más del exceso de agua de la emulsión de relaves que los espesadores convencionales o de pasta, este método es también más caro en comparación con las opciones de deposición de relaves convencional y espesado. Es probable que el proceso de filtrado utilizado para el extraer agua de los relaves, así como el sistema de transporte y colocación de relaves, tengan costos de operación y mantenimiento muy altos en el caso de esta opción. Por ejemplo, los costos de operación y mantenimiento del sistema de deposición en seco de relaves que actualmente se utiliza en la Mina La Coipa ubicada en Chile es cerca de \$1.00 por tonelada métrica. Asimismo, tomando como base una revisión de la literatura realizada para el presente proyecto, no se pudo hallar precedentes del uso del proceso de deposición en seco de relaves para tasas de producción superiores a 18,000 t/d. En el caso del Proyecto de Sulfuros Primarios, en el que la tasa de producción proyectada es de orden de 100,000 t/d, la opción de deposición en seco de relaves, a nuestro parecer, no resultaría una opción ni técnica ni económicamente factible. Por estas razones se descartó el uso de la opción de deposición de relaves en seco para los estudios iniciales de diversas alternativas del DAR.

4. SECCIÓN CUATRO Ubicaciones Probables del DAR para la Opción de Deposición Convencional de Relaves

Se buscaron ubicaciones probables del DAR para el método de deposición de relaves convencional, las cuales fueron evaluadas preliminarmente de acuerdo a su factibilidad técnica en función de los siguientes factores:

- Altura y elevación máximas de la presa requeridas para retener de 500 a 800 millones de toneladas métricas de relaves, considerado como el requisito de capacidad durante las fases iniciales de la evaluación en 2001/2002. Se utilizó una densidad de relaves in situ de 1.6 toneladas métricas por metro cúbico para calcular el volumen de almacenamiento requerido.
- Capacidad de almacenamiento total de la ubicación y potencial de expansión hasta mil millones de toneladas métricas. Posteriormente, en base a las reservas de mineral y plan de minado, esta fue la capacidad requerida.
- Distancia hasta la planta concentradora y longitud aproximada correspondiente de la línea de conducción de relaves.
- Diferencia de elevación entre el DAR y la planta.
- Volumen máximo de la presa requerido para retener la porción fina de los relaves (rebose de los ciclones), tomando como base la geometría que se muestra en la Figura 1.
- Relación entre la capacidad máxima del depósito de relaves y el volumen de la presa correspondiente, denominada Razón de Almacenamiento.

Se identificó un total de nueve ubicaciones probables y se concluyó que no había otras ubicaciones que parecieran factibles. Las nuevas ubicaciones probables se muestran en la Figura 1. Los valores de los factores de evaluación de estas ubicaciones se presentan también en la Figura 1.

Cinco de las ubicaciones probables del DAR poseían capacidades limitadas entre 500 a 800 millones de toneladas métricas, que son menores que la capacidad final requerida de mil millones de toneladas métricas. Se determinó entonces que sólo los sitios A2, A4, A8 y A9 contaban con un potencial de expansión a mil millones de toneladas métricas, que es la que se requiere para el actual Proyecto de Sulfuros Primarios.

Se consideró que una razón de almacenamiento menor que 3.0 correspondía a un DAR con requisitos de costos de capital y operativos significativamente altos, debido a la necesidad de una presa considerablemente más grande para almacenar la misma cantidad de relaves. La ubicación A8, la cual posee una razón de almacenamiento menor que 3.0, también se ubica a una distancia considerable del área de la planta concentradora. Adicionalmente, la ubicación A8 del DAR requeriría que el bombeo de agua recuperada hacia la planta concentradora se realice para una

diferencia de elevación superior a 600 m. En consecuencia, se consideró que la ubicación A8 no era una ubicación económicamente factible del DAR.

Si bien la de ubicación A4 posee la razón de almacenamiento más alta (la presa más pequeña para almacenar la cantidad relaves requerida), ésta también tiene la mayor distancia hasta la planta concentradora. Asimismo, esta alternativa de ubicación también requeriría el bombeo de agua recuperada para una diferencia de elevación de más de 700 m. Por lo tanto, debido razones similares que para la ubicación A8, la ubicación A4 tampoco fue considerada económicamente factible.

En base a los factores de evaluación técnica presentados en la Figura 1, así como discusiones de personal de URS, PD y de la Mina Cerro Verde, se seleccionaron sólo las ubicaciones A2 y A9 para realizar evaluaciones adicionales posteriores para la opción de deposición convencional de relaves. Las siguientes secciones presentan los componentes del diseño conceptual así como los costos estimados correspondientes con fines comparativos de las ubicaciones A2 y A9 del DAR.

5. SECCIÓN CINCO Ubicaciones para la Opción de Deposición Convencional

Tal y como se describe en la sección anterior, las ubicaciones A2 y A9 del DAR fueron seleccionadas para evaluaciones más detalladas adicionales utilizando deposición convencional de relaves. Esta sección presenta los distintos componentes conceptuales de diseño correspondientes a estas ubicaciones, los costos conceptuales estimados de construcción, y los resultados del análisis preliminar del balance hídrico para la ubicación A2.

5.1 UBICACIÓN A 2

Las Figuras 2 a 4 muestran los componentes de diseño a nivel conceptual para la ubicación A2 con una capacidad de 530 millones de toneladas métricas aproximadamente. A continuación se presentan los diversos componentes conceptuales del diseño para un DAR, si estuviese ubicado en A2.

5.1.1 Espesadores Convencionales

Se utilizarán espesadores convencionales para el espesado de la emulsión de relaves descargado de las operaciones de flotación y retornar el exceso de agua a la planta. Con fines del estudio inicial, se asumió que los espesadores estaban ubicados cerca de o en el área de la planta. Basados en nuestras conversaciones con PD y los fabricantes de los espesadores, también se asumió que la emulsión de relaves provenientes de los espesadores tendrían una densidad de aproximadamente 50 por ciento de sólidos por peso. Para fines de evaluación de costos y tomando como base una capacidad de diseño de 100,000 toneladas secas al día, se asumió que se utilizarían dos mecanismos de espesado y dos tanques espesadores en la planta de Cerro Verde.

Se han clasificado los espesadores de acuerdo a las siguientes sub-actividades con el fin de estimar costos:

- Preparación de la zona y fundación
- Unidades de espesadores
- Componentes mecánicos
- Componentes eléctricos

5.1.2 Sistema de Conducción de Relaves

La línea de conducción de relaves transportará la descarga de los espesadores, ubicados en o cerca de la planta, a los ciclones, posiblemente ubicados a lo largo de la cresta de la presa del depósito de relaves, tal y como se muestra en la Figura 3. Por lo general, los relaves pueden ser transportados por medio de un canal cubierto o descubierto o por una tubería de conducción de relaves. Se ha asumido que la emulsión de relaves será transportada por medio de un sistema de dos tubos de HDPE de 900 mm de diámetro que corresponden los dos circuitos de molienda. Cada uno de los tubos fue diseñado para que transportara la mitad de la capacidad de diseño total de 100,000 toneladas secas al día, asumiendo 50 por ciento de sólidos en la emulsión de relaves. La Figura 4 muestra el perfil de la superficie natural del terreno a lo largo de la línea de conducción de relaves estimada.

Para fines de estimación de costos, se ha asumido que la línea de conducción de relaves estará compuesta por las siguientes sub-actividades:

- Excavación
- Relleno
- Buzones
- Compuertas y Válvulas
- Tubería de procesamiento
- Componentes eléctricos
- Bombas elevadoras

5.1.3 Túnel

Las tuberías de conducción de relaves y la tuberías retorno de agua estarán colocadas dentro de un túnel excavado a través de la cadena de montañas ubicada al sur del área de la planta, tal y como se muestra en la Figura 3. La Figura 4 muestra el perfil de la superficie natural del terreno en la ubicación del túnel propuesto. Con fines de estimación de costos, se ha asumido que la construcción del túnel estará compuesta por las siguientes sub-actividades:

- Excavación del túnel
- Refuerzo de concreto
- Soporte permanente del túnel
- Concreto estructural vaciado in situ (portales)
- Componentes eléctricos

5.1.4 Ciclones

Se utilizará ciclones para separar la porción gruesa de la porción fina de los relaves para construir la presa. En el caso de la ubicación A2, se ha asumido la presencia de 4 baterías de ciclones móviles ubicadas a lo largo de la cresta de la presa. Se consideró que cada batería de ciclones estaba compuesta por cinco ciclones de 650 mm (26 pulgadas) de diámetro. Las baterías de ciclones serán trasladadas periódicamente, con la ayuda de una grúa móvil, a medida que se eleve la cresta de la presa como parte de las operaciones en curso. Para fines de estimación de costos, se ha asumido que las operaciones de cicloneo comprenderán las siguientes sub-actividades:

- Estructuras metálicas
- Compuertas y Válvulas
- Tuberías de procesamiento
- Unidades de cicloneo

5.1.5 Presa de arranque

Se construirá una presa de arranque para poder almacenar los materiales de la porción fina de los relaves cicloneados durante el periodo inicial de dos años de las operaciones de concentración. La presa de arranque se construirá como una presa homogénea de material de préstamo sobre el terreno preparado. A nivel de diseño conceptual, se ha asumido que la presa de arranque tendrá un talud aguas arriba de 2.5H:1V, un talud aguas abajo de 3H:1V y una cresta de 15 metros de ancho, tal y como se muestra en la Figura 2. Para fines de estimación de costos,

se ha asumido que la construcción de la presa de arranque comprenderá las siguientes sub-actividades:

- Limpieza del sitio y preparación de la fundación
- Terraplén

5.1.6 Sistema de Retorno de Agua

El exceso de agua recuperada en el depósito de relaves será decantado y llevado de vuelta hacia la planta mediante el sistema de retorno de agua. Se utilizará balsas flotantes múltiples con bombas para bombear el agua decantada de retorno a la planta. Debido a la topografía natural subyacente de la ubicación del depósito A2, se estimó que el agua decantada deberá ser bombeada desde dos lagunas de decantación separadas. Por lo tanto, se ha asumido el uso de dos circuitos de retorno de agua separados para la ubicación A2, tal y como se muestra en la Figura 3. Tomando como base los resultados de los análisis del balance hídrico, se ha asumido el uso de tuberías HDPE de 600 mm de diámetro para los dos circuitos de retorno de agua. La longitud total de la tubería HDPE que se requiere para los dos circuitos de retorno de agua es de 16,000 m aproximadamente.

Para fines de estimación de costos, se ha asumido que el sistema de retorno de agua comprenderá las siguientes sub-actividades:

- Excavación
- Relleno
- Compuertas y Válvulas
- Tubería de procesamiento
- Componentes eléctricos
- Sistemas de balsas de bombeo de retorno

5.1.7 Pozos de Bombeo de Retorno

Se utilizarán pozos de bombeo de retorno para interceptar el agua de filtraciones subterráneas aguas abajo de la presa de relaves y llevarla nuevamente al depósito. En el caso de la ubicación A2, se ha asumido tres pozos de bombeo de retorno dentro de cada uno de los lechos del valle aguas abajo de la presa final, tal y como se muestra en la Figura 3. Para fines de estimación de costos, se ha asumido que los pozos de bombeo de retorno comprenden las siguientes sub-actividades:

- Perforación/Instalación
- Bombas
- Tubería de procesamiento
- Componentes eléctricos

5.1.8 Consideraciones Operativas

Configuración del Depósito

Durante la puesta en marcha, el depósito en la ubicación A2 estará conformado por tres presas de arranque individuales cuyas alturas varían entre 80 y 100 metros aproximadamente, tal y como se muestra en la Figura 3. Se ha previsto la excavación de un canal para conectar las áreas de

drenaje creadas por la presa de arranque central y del extremo occidental, de manera que se formen únicamente dos áreas de deposición individuales en lugar de tres. Esto simplificará las operaciones de las áreas de disposición y los sistemas de recuperación de agua. El material excavado para el canal de conexión sería utilizado como material de préstamo para construir las presas de arranque. Inicialmente, el depósito A2 sería operado como dos áreas de eliminación de relaves individuales, con líneas de conducción de relaves y sistemas de decantación individuales. A medida que las presas de relaves son elevadas por encima de las crestas de la presa de arranque hasta una elevación de 2460, las crestas de los depósitos este y oeste se unirán y formarán un solo depósito con dos lagunas de decantación principales, tal y como se muestra en la Figura 2.

Manejo del Agua de Escorrentía

Debido al considerable tamaño de la presa de relaves proyectada para la ubicación A2 y las consecuencias de la falla de dicha presa, URS recomienda que el depósito sea diseñado y operado de tal manera que se evite el desborde de la presa durante un evento de tormenta de la Máxima Precipitación Probable (MPP). La MPP constituye el evento de tormenta más severo cuya ocurrencia podría esperarse razonablemente en un área determinada. Se utilizaron datos limitados sobre precipitaciones recolectados en la estación de Arequipa, Perú que estuvieron disponibles durante los estudios iniciales en 2001/2002 y el Manual para Estimación de Máxima Precipitación Probable, Operational Hydrology Report No. 1, WMO – No. 332 preparado por la World Meteorological Organization (WMO) para estimar la altura de la MPP. Los cálculos de los estudios iniciales indicaron una precipitación para el evento de tormenta de MPP de 216 mm.

Si se asume un número de curva alta de 93 para la cuenca, el cual corresponde a un potencial extremadamente alto de precipitación que podría producirse en terreno sin cobertura con suelos hidrológicos del grupo D, se estima que el área de drenaje de 31.9 kilómetros cuadrados producirá una escorrentía de aproximadamente 6,200,000 metros cúbicos durante la MPP. Se ha revisado el almacenamiento disponible en distintas etapas de construcción de la presa de relaves y se ha llegado a la conclusión de que el almacenamiento disponible entre la superficie de las lagunas de decantación y las crestas de las presas en todo momento son siempre suficientes para poder almacenar el volumen de la escorrentía MPP. Por tal motivo, se ha concluido que esta ubicación no requiere la construcción de estructuras de derivación o aliviaderos. Los análisis del MPP y la escorrentía deben ser realizados con información climatológica y características del área de drenaje más completas, si se seleccionase la ubicación A2.

Manejo de las Lagunas de Decantación

Se debe mantener los estanques de decantación al mínimo nivel práctico, por medio de bombeo, durante la operación del depósito de relaves. Esto es lo ideal por diversas razones. En primer lugar, esto aumenta la cantidad de agua recuperada disponible para ser reutilizada en la planta. En segundo lugar, se mejora la estabilidad de la presa ayudando a mantener un menor nivel freático en la presa. Finalmente, se aumenta la capacidad de almacenamiento disponible para eventos de tormenta. Nuestra experiencia con bombas de decantación montadas sobre balsas nos indica que éstas deben ser capaces de operar a dos metros o menos de profundidad de agua. La Figura 2 muestra las dimensiones estimadas de las lagunas de decantación para una profundidad máxima de agua de dos metros.

Monitoreo de la Construcción del Movimiento de Tierras

Los materiales de la porción gruesa de los relaves cicloneados previstos para la construcción de la presa aguas abajo, deben ser relativamente permeables para incrementar el drenaje de la presa y deben ser compactados a las densidades establecidas para proporcionar una estructura estable durante condiciones de carga estáticas y sísmicas. Será necesario monitorear permanentemente los materiales de descarga de los ciclones para que se cumplan las especificaciones del diseño relacionadas a la gradación y densidad, a lo largo de la vida operativa del depósito.

Instrumentación de la Presa

Se debe monitorear el comportamiento de la presa de relaves mediante sistemas de instrumentación debidamente diseñados, tales como piezómetros instalados en posiciones estratégicas en la presa de relaves y en la fundación. Esto nos permitirá realizar comparaciones entre las condiciones reales y aquellas asumidas durante el diseño. Este “enfoque observacional” permite realizar ajustes a los métodos de construcción en base a las condiciones reales observadas, las cuales pueden ser más o menos favorables que aquellas asumidas durante el diseño.

5.1.9 Estimación de Costos a Nivel Conceptual

Generalidades

El Estimado Conceptual del Costo de Construcción preparado y presentado en el presente documento está destinado a ser utilizado como una herramienta que sirva como base para la elaboración de objetivos administrativos, requisitos presupuestarios y análisis económicos. El desarrollo de los diseños y costos a nivel conceptual se basó en datos topográficos e información proporcionada por Cerro Verde. Los costos estimados de construcción son costos del contrato de construcción y no incluyen costos de tierras y daños, autorización y mitigación ambiental, o costos del propietario.

Cantidades

Las cantidades calculadas para el Estimado de Costos de Capital se basan en los gráficos incluidos en el presente informe. La información disponible para el sitio se limita al presente informe y a referencias discutidas anteriormente. No se disponía de una topografía detallada de la zona; por lo tanto, los cálculos de cantidades se realizaron a partir de simples planos esquemáticos o estimaciones. Las cantidades calculadas se basan en volúmenes in situ y no reflejan las reducciones de cantidad que se pueden lograr mediante el manejo de los materiales y el balance de volúmenes de corte y relleno.

Estimados de Costos

Los costos de la construcción de los elementos del proyecto se basan en las cantidades estimadas para cada tarea identificada en cada uno de los elementos del proyecto. Los precios de las tareas se obtuvieron a partir de precios unitarios obtenidos a partir de bases de datos tanto históricas publicadas, así como otras internamente desarrolladas y actualizadas, corregidas de acuerdo a la ubicación y otros criterios específicos del proyecto. Los precios de los materiales, cuando fueron necesarios, se obtuvieron a partir de la cotización verbal del proveedor, estimados de costo actuales, información suministrada por el propietario y experiencia del estimador de costos. La lógica, métodos y procedimientos para el desarrollo de costos son aquellos típicos en la industria de la construcción. Los costos estimados de construcción han sido calculados en dólares

americanos 2001, y se asume que el trabajo será concursado y contratado mediante un proceso de adquisición abierto y competitivo.

Contingencias

Se ha añadido una asignación de contingencia de aproximadamente 20% a la valoración para aquellos elementos que poseen suficientes detalles e información de diseño para aislar y cuantificar tareas. Esta contingencia tiene como objetivo absorber costos de construcción generados a partir del desarrollo y detalle del diseño. Aquellos elementos que no tienen suficientes detalles e información de diseño son tratados y valorados como una contingencia de suma total sujeta a perfeccionamiento a medida que se dispone de más detalles e información.

Estimado de Costo de Construcción

El estimado del costo de construcción para los distintos componentes de diseño asociados a la ubicación A2 del DAR fue calculado de la siguiente manera (redondeado):

Espesadores Convencionales	\$ 12,100,000
Sistema de Conducción de Relaves	\$ 39,600,000
Sistema de Retorno de Agua	\$ 15,300,000
Túnel	\$ 15,300,000
Presa de arranque	\$ 67,700,000
Ciclones	\$ 1,600,000
Pozos de Bombeo de Retorno	\$ 2,200,000
	\$ 155,200,000

5.1.10 Análisis Preliminar del Balance Hídrico

Se realizó un análisis del balance hídrico para estimar el funcionamiento hidrológico a largo plazo del DAR bajo condiciones de operación. Se calculó la evaporación, infiltración, precipitación directa, escorrentía de tormentas, ingreso de agua en la emulsión de relaves, pérdida de agua en la porosidad en los relaves almacenados y la infiltración para la vida proyectada del depósito. Se representó un periodo seco, un periodo húmedo y años de precipitación promedio en una hoja de cálculo para simular el depósito de relaves bajo diversas condiciones climáticas. A partir del análisis del balance hídrico se obtuvo la proyección del flujo de retorno a la planta disponible a medida que el DAR se expande.

La ecuación general de balance hídrico puede expresarse como:

$$A = I - Q - E$$

Donde A equivale al cambio en el almacenamiento en la laguna, I corresponde al flujo de entrada, Q corresponde al flujo de salida y E corresponde a la evaporación y otras pérdidas.

En este caso los componentes específicos de la ecuación de balance hídrico del DAR incluyeron:

A:	Agua disponible
I ₁ :	Flujo de entrada de escorrentía superficial

I ₂ :	Precipitación directa en la superficie del depósito y la laguna de decantación
I ₃ :	Afluencia de agua de la conducción de la emulsión de relaves
I ₄ :	Bombeo de retorno desde el sistema de recolección de filtraciones de aguas abajo
I ₅ :	Escorrentía de la cuenca
Q ₁ :	Infiltración
E ₁ :	Evaporación en la superficie de la laguna de decantación
E ₂ :	Evaporación desde las áreas de superficie de relaves saturados

El análisis del balance hídrico se realizó en incrementos mensuales que simulaban un intervalo de 14 años de operación estimado durante los estudios iniciales de 2001/2002. Todos los cálculos se realizaron en hojas de cálculo de Excel y los resultados fueron graficados para mostrar los cambios en el agua disponible.

Los datos de precipitación mensual total y evaporación mensual promedio fueron obtenidos de la estación climática de Arequipa, Perú para el periodo comprendido entre 1980 y 2001. Los datos climáticos fueron proporcionados por Phelps Dodge. La producción estimada de tonelaje de relaves secos también fue proporcionada por Phelps Dodge y fue convertida a caudales de afluencia de emulsión de relaves utilizando los supuestos descritos a continuación. Los estimados de pérdidas por infiltración se realizaron tomando como base el trabajo previo en otros sitios y criterios de ingeniería. No existen datos de infiltración disponibles para la Mina Cerro Verde que puedan servir como base para las tasas de infiltración; por lo tanto, se examinó un rango de valores que consideramos razonables para las condiciones existentes del sitio.

Se adoptó varios supuestos razonables para calcular el balance hídrico:

1. Durante los primeros años de vida de la mina, cincuenta por ciento del área de las playas de relaves se encuentran saturada, y la evaporación desde esa cantidad de superficie ocurre con en índices iguales a aquellos especificados para agua libre. El porcentaje de playa de relaves saturada se reduce gradualmente hasta llegar a 33 por ciento al final del periodo de vida de 14 años del DAR. El resultado es un área de saturación que se incrementa gradualmente.
2. La laguna de decantación se mantiene constante durante el periodo de vida de 14 años del DAR con un volumen de 300,000 metros cúbicos y un área de superficie de 0.3 kilómetros cuadrados.
3. Toda el agua en la laguna de decantación en exceso de 300,000 metros cúbicos es bombeada nuevamente hacia la planta, de esta manera el volumen de agua que queda después de balancear los caudales entrantes y salientes, es igual a la cantidad que es bombeada de retorno hacia la planta.
4. La densidad de la emulsión de relaves del caudal entrante es de 50 por ciento por peso, los sólidos del relave tienen una gravedad específica de 2.7 y la porosidad promedio de los relaves en el área DAR de 40.6 por ciento.

5. Se evaluó la infiltración a los relaves y a través de estos en un rango de 0.5 milímetros al día hasta 2.0 milímetros al día por área unitaria sin efectuar análisis. Se estima que esto representa un rango razonable de infiltración desde los relaves hacia los materiales de fundación en la zona de Cerro Verde.
6. La cuenca que drena hacia el DAR mide 31.9 kilómetros cuadrados. Toda el área puede contribuir escorrentía hacia el depósito de relaves y no existen desviaciones para limitar la escorrentía de la cuenca.
7. Se estimó que la escorrentía tormentas es igual a 5 por ciento de la precipitación total durante el mes más húmedo del año (febrero), 3 por ciento durante los siguientes dos meses más húmedos (enero y marzo) y 0.5 por ciento durante los meses restantes que por lo general son muy secos. La precipitación que cae directamente sobre la laguna de decantación y las áreas de superficie de relaves saturadas se considera como un incremento del 100 por ciento.

La tasa de afluencia de la emulsión de relaves lleva aproximadamente 100,000 toneladas de peso seco de material por día hacia el DAR. Esta tasa se convierte en una tasa de afluencia de agua de 100,000 metros cúbicos por día, la cual equivale a 70.4 metros cúbicos por minuto. La siguiente tabla muestra nuestros estimados del caudal de agua de retorno disponibles.

Agua de la Laguna de Decantación Disponible para Retorno Hacia la Planta

Infiltración (mm/día/área unit.)	Recolección de filtraciones (% de Infiltración)	Caudal Promedio (m³/min)	Caudal Máximo (m³/min)	Caudal Mínimo (m³/min)
0.5	30	48.1	56.3	45.2
0.5	60	48.4	56.4	45.7
0.5	90	48.8	56.5	46.1
1.0	30	47.3	56.1	44.1
1.0	60	48.0	56.3	45.0
1.0	90	48.7	56.5	46.0
2.0	30	45.7	55.7	41.8
2.0	60	47.1	56.1	43.7
2.0	90	48.4	56.4	45.7

Estos estimados han sido proporcionados para mostrar la sensibilidad del balance hídrico a algunos de los parámetros que deben estimarse sin contar con el beneficio de datos específicos de la zona para cuantificar los caudales. Al parecer, un caudal promedio de bombeo de retorno hacia la planta procesadora de 46m cúbicos por minuto resulta razonable en esta etapa preliminar de planificación del proyecto.

5.2 UBICACIÓN A9

5.2.1 Esquema Conceptual del Diseño

La ubicación A9 se muestra en la Figura 1. Se seleccionó la deposición de relaves convencional como la mejor opción para el depósito de relaves ubicado en la ubicación A9. Sin embargo, se consideraron dos presas distintas para retener los relaves. Una de las alternativas de presa es similar al concepto de diseño para la ubicación A2, en el que la presa de arranque se construye con material de préstamo y las elevaciones posteriores se realizarían utilizando materiales de relaves cicloneados compactados. La segunda alternativa de presa comprende una presa de arranque con elevaciones posteriores construidas con material de roca de desmonte. Los esquemas del diseño a nivel conceptual para las alternativas de presas de relaves cicloneados y roca de desmonte se muestran en las Figuras 5 y 6 respectivamente. Se dimensionó el tamaño de la presa de arranque para las dos alternativas para poder almacenar aproximadamente 1.5 años de producción de relaves. Por consiguiente, se seleccionó una elevación de la cresta del dique de arranque de El 2,495 para almacenar cerca de 33.8 millones de metros cúbicos de relaves (54.1 millones de toneladas) para ambas alternativas, tal y como se muestra en la Figura 7. La configuración de la presa de arranque para las dos alternativas de presa es ligeramente diferente debido a las diferencias en los materiales de construcción. Se asumieron valores para los taludes aguas arriba y aguas abajo para la presa de arranque construida con material de préstamo (Figura 5) de 2.5H:1V y 3H:1V, similares a la geometría de la presa de arranque de la ubicación A2. Se asumieron taludes aguas arriba y aguas abajo de 2H:1V ligeramente más empinados para la presa que sería construida con roca de desmonte (Figura 6). Se estimó los volúmenes correspondientes de la presa de arranque en 10.7 millones de metros cúbicos y 7.4 millones de metros cúbicos para las presas construidas con material de préstamo y roca de desmonte, respectivamente.

Las elevaciones posteriores de la presa de arranque se efectuarían utilizando el método de crecimiento de aguas abajo, para las dos alternativas de presa, tal y como se muestra en las Figuras 5 y 6. No obstante, en el caso de la presa de arranque construida con materiales de préstamo, se asumió que las elevaciones posteriores se realizarían utilizando relaves cicloneados compactados (Figura 5), de manera similar al concepto de diseño de la ubicación A2. Por consiguiente, se asumió que el talud aguas abajo de las futuras elevaciones sería de 4H:1V. La elevación final de la cresta para las elevaciones de la presa construidas con relaves cicloneados a la El 2,620 proporcionará almacenamiento para cerca de 526 millones de metros cúbicos de relaves (842 millones de toneladas métricas). Se asumió que las elevaciones posteriores en el caso de la presa de arranque construida de materiales de roca de desmonte se lograrían utilizando la misma roca de desmonte (Figura 6). No obstante, se asumió que el talud aguas abajo de las futuras elevaciones sería de 2H:1V. La elevación final de la cresta para las elevaciones de la presa construidas con roca de desmonte de El 2,652 proporcionará almacenamiento para 502 millones de metros cúbicos de relaves (803 millones de toneladas métricas).

Los detalles asociados a los elementos del diseño, tales como espesadores convencionales, tubería de conducción de relaves, sistema de retorno de agua, manta de subdrenaje, presa de arranque, ciclones y pozos de bombeo de retorno son similares a aquellos descritos detalladamente para la ubicación A2 y, en consecuencia, no los repetiremos en esta sección. Las

diferencias principales más grandes se relacionan con los volúmenes de las presas de arranque y las longitudes de las líneas de conducción de relaves y de retorno de agua (Figura 7).

5.2.2 Estimado de Costos a Nivel Conceptual

Los métodos, enfoque y supuestos utilizados para el desarrollo del estimado de costos a nivel conceptual para la ubicación A9 son similares a aquellos descritos para la ubicación A2, con excepción de la valoración de carga, traslado y colocación de los materiales de préstamo y de roca de desmonte en capas de dos metros; esta valoración fue proporcionada por PD.

A continuación se presenta una comparación de los costos de construcción correspondientes a las presas construidas con materiales de préstamo y con roca de desmonte:

Tabla de Comparación de Costos de Construcción para la Ubicación A9

Elemento del Diseño	Presa de Arranque de Material De Préstamo (millones de US\$)	Presa de Arranque de Roca de Desmonte (millones de US\$)
Espesadores Conducción	11.8*	12.9*
Sistema de Conducción de Relaves	27.6	26.3
Sistema de Drenaje	--	14.7
Presa de arranque	22.2	14.3
Ciclones	1.8	--
Sistema de Retorno de Agua	11.2	12.9
Pozos de Bombeo de Retorno	2.4	2.6
Costo de Capital Total para Puesta en Marcha	77.0	83.7

*La diferencia en el costo se debe a los porcentajes agregados por mov/demov, ingeniería, etc., los cuales son diferentes debido a subtotaes distintos.

6. SECCIÓN SEIS Opción de Deposición de Relaves Espesados

La topografía natural de la mina Cerro Verde y sus alrededores generalmente comprende laderas empinadas y fondos de valle estrechos. Este tipo de topografía no se adapta muy bien al método de deposición de relaves espesados, el cual requiere una superficie de terreno plana o casi plana relativamente extensa. Tomando como base nuestra revisión del mapa topográfico, la única zona en la que probablemente podría implementarse el depósito de relaves espesados sería el área correspondiente a la ubicación A8. En esta zona, la superficie natural del terreno tiene una pendiente de aproximadamente 5 a 6 por ciento, lo cual haría que sea geoméricamente casi imposible construir un depósito convencional de relaves espesados con una pendiente de superficie de relaves de 3 por ciento. Para esta zona, la única opción disponible para implementar un depósito de relaves espesados, con una gran capacidad, sería construir una gran presa de pie y descargar los relaves espesados hacia la base de talud de la presa desde aguas arriba. Hemos desarrollado la disposición final para un depósito de relaves espesados en la ubicación A8 utilizando una gran presa de pie tal y como se muestra en la Figura 8. Si bien la Figura 8 muestra una representación simplista de un depósito de relaves espesados real, asumiendo una superficie uniforme de relaves de 3 por ciento, la altura de la presa de pie requerida para alcanzar la capacidad de diseño del depósito es de 160 metros para almacenar cerca de 540 millones de toneladas métricas de relaves. Si se asume la geometría de la presa que se muestra en la Figura 8, la presa de pie tendría un volumen de 54 millones de metros cúbicos aproximadamente. La presa de pie debería ser esencialmente diseñada como una presa de almacenamiento de agua, ya que el agua se acumularía contra el talud de aguas arriba.

Tomando como base nuestra experiencia con instalaciones de relaves espesados y la gran presa de pie mencionada líneas arriba, consideramos que el esquema de relaves espesados que se muestra en la Figura 8 no sería una opción económicamente factible para el Proyecto de Sulfuros Primarios. Algunos de los factores que hacen que la disposición de relaves espesados en la ubicación A8 no sea factible incluyen: (1) costo elevado de la presa de pie; (2) distancia considerable hasta la planta; (3) diferencia de elevación significativa para retornar el agua hasta la planta; y (4) falta de precedentes en el uso de este método para una operación del orden de 100,000 mtpd.

Tomando como base estas consideraciones, creemos que la opción de deposición de relaves espesados no es apropiada para la ubicación de la Mina de Cerro Verde. Por consiguiente, esta opción fue descartada para las evaluaciones posteriores.

7. SECCIÓN SIETE Conclusiones

1. Las alternativas del DAR evaluadas en este informe se basan en factores técnicos y económicos, para crear la lista corta de ubicaciones seleccionadas a ser evaluada de acuerdo a factores ambientales y sociales por otra entidad.
2. Tomando como base las evaluaciones iniciales realizadas para el presente estudio, se recomienda una instalación de eliminación de relaves convencional. Se ha determinado que la deposición de relaves espesados o en seco no resultarían técnicamente factibles o económicamente competitivos para el Proyecto de Sulfuros Primarios.
3. Las ubicaciones A1, A3, A5, A6 y A7 no cuentan con la capacidad suficiente para el requisito de mil millones de toneladas métricas para el Proyecto de Sulfuros Primarios actualmente planificado.
4. Entre las nueve ubicaciones evaluadas, las ubicaciones A2, A4, A8 y A9 aparentemente poseen una capacidad de expansión del orden de mil millones de toneladas métricas, tal y como lo requiere el Proyecto de Sulfuros Primarios actualmente planificado.
5. Entre las ubicaciones del DAR con una capacidad de cerca de mil millones de toneladas métricas (A2, A4, A8 y A9), se determinó que las ubicaciones A4 y A8 no eran económicamente viables debido a su elevado costo de construcción.
6. Se determinó que las ubicaciones A2 y A9 eran técnicamente factibles y fueron seleccionados para evaluaciones posteriores con fines de comparación de costos. Debido a la proximidad al tajo de la mina, la ubicación A9 también fue considerada para una presa de roca de desmonte, además de una presa de underflow de relaves cicloneados.
7. El agua promedio de retorno disponible desde la ubicación A2 es de aproximadamente 46 m³/min, en base a los análisis preliminares del balance hídrico. No se realizó análisis del balance hídrico para la ubicación A9, pero se estima que los resultados indiquen mayor cantidad de agua disponible para las instalaciones de procesamiento en comparación con la ubicación A2.
8. Se estimó el costo de la construcción para la ubicación A2 es de aproximadamente 200% más que en la ubicación A9.
9. Se planificó la evaluación detallada de la factibilidad de un recrecimiento hacia aguas abajo basada en la posible producción de underflow de relaves cicloneados como parte del Diseño a Nivel de Factibilidad.
10. Se planificó la evaluación detallada de la factibilidad de un recrecimiento de línea central, utilizando producción de underflow de relaves cicloneados basada en los requisitos de estabilidad como parte del Diseño a Nivel de Factibilidad.