



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTABILIDAD DEL DEPÓSITO DE RELAVE 1-2, EN UNA UNIDAD MINERA, HUANCVELICA, 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Luis Alberto Quispe Vasquez

Asesor:

M.Sc. Daniel Alejandro Alva Huamán

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

La presente tesis la dedico a mi respetable familia Quispe Vasquez, a mis abuela peregrina Dalila Campos Benavides y mi abuelo Juan Ramos, por parte de mi padre; a mis abuelitos Raúl “Pastor” Vasquez Lozano y Margarita Chávez Diaz -padres de mi mamá-, y a mis seres queridos. Principalmente consagro mi tesis a mis padres luchadores, Víctor Raúl Quispe Campos y Aurora Vasquez Chavez, que han sido el pilar fundamental de mi formación académica como profesional, brindándome la confianza plena, consejos ejemplares, oportunidades y los recursos para poder lograr mi primera y gran anhelada meta.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por habernos dado una familia, amigos y compañeros que, a lo largo de mi realización como profesional en esta apasionante carrera de ingeniería de minas, siempre nos han dado ese aliento y apoyo para poder seguir adelante y nunca decaer.

Agradecemos también a nuestros maestros en especial consideración al Ing. Daniel Alva Huamán, quien ha sido abierto a responder mis dudas académicas, sacrificando su tiempo y logrando sacar el gran valor agregado de nuestras carreras. Gracias a todos los mencionados por estar en los buenos y malos momentos brindándome amor, comprensión y paciencia.

INDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN	7
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Realidad problemática.....	8
1.2. Formulación del problema	12
1.3. Objetivos.....	12
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	12
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	12
1.4. Hipótesis.....	13
CAPITULO II. METODOLOGÍA.....	14
2.1. Tipo de investigación	14
2.2. Población	14
2.3. Muestra	14
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.	14
2.5. Procedimiento	14
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	16
3.1. Características de los Depósitos de Relaves	16
4.1. Discusión	45
4.2. Conclusiones	46
REFERENCIAS.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Ubicación en Coordenadas UTM de los Depósitos de Relaves
Tabla 2.	Resumen de los ensayos de densidad de campo por el método del balón
Tabla 3.	Resumen de resultados del ensayo de Refracción Sísmica
Tabla 4.	Resumen de los Ensayos Estándar de Clasificación de depósito de Relaves
Tabla 5.	Resumen de lo ensayos Especiales
Tabla 6.	Mineralogía del compuesto de relave
Tabla 7.	Análisis químico de la muestra de compuesto de relaves
Tabla 8.	Resultado del balance ácido-base del compuesto de relaves
Tabla 9.	Resumen de los parámetros de los materiales de depósito de relave
Tabla 10.	Resumen de análisis de estabilidad

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Análisis Estático en Depósito de Relave N°01, sección A-A
- Figura 2.** Análisis Seudostático en Depósito de Relave N°01, Sección A-A
- Figura 3.** Análisis Estático en Depósito de Relave N°01, Sección B-B
- Figura 4.** Análisis Seudoestático en Depósito de Relave N°01, sección B-B
- Figura 5.** Análisis Estático en Depósito de Relave N°02, sección C-C
- Figura 6.** Análisis Seudoestático en Depósito de Relave N°02, sección C-C
- Figura 7.** Análisis Estático en Depósito de Relave N° 01, sección A-A – talud cierre
- Figura 8.** Análisis Seudoestático en Depósito de Relave N° 01, sección A-A – talud cierre
- Figura 9.** Análisis Estático en Depósito de Relave N°01, sección B-B - talud cierre
- Figura 10.** Análisis seudoestático en Depósito de Relave N°01, sección B-B – talud cierre
- Figura 11.** Análisis Estático en Depósito de Relave N°02, sección C-C -talud cierre
- Figura 12.** Análisis seudoEstático en Depósito de Relave N°02, sección C-C – talud cierre
- Figura 13.** Plano de diseño de estabilidad Física
- Figura 14:** Diseño de estabilidad hidrológica
- Figura 15:** Simbología de los Depósitos de Relaves 1 – 2

RESUMEN

Esta investigación tuvo por objetivo realizar el diseño de estabilidad del depósito de relave 1-2, en una unidad minera en Huancavelica. La investigación fue descriptiva, explicativa y cuantitativa; para evaluar la estabilidad de los depósitos de relaves, se ha realizado el análisis mediante modelo matemático en las secciones considerada críticas. En los cálculos relativos al análisis de estabilidad de taludes se han empleado programas de cómputo Slide de Rocscience. Para la estabilidad física, las actividades de movimiento de tierra del material suelto y relleno compactado con maquinaria se desarrollará in situ, hasta obtener el talud 2H:1V (26, 5°), recomendado por el análisis de estabilidad. El área que ocupará el depósito de desmonte luego de la estabilidad física es de 3,19 ha, con volúmenes de corte y relleno de 49 222 m³ y 49 222 m³, respectivamente; conformado por: 01 plataformas, 04 banquetas intermedias de ancho mínimo de 3m y 01 muros de gaviones como obras complementarias. El depósito de relaves 1 resulta inestable en la condición pseudo estática esto confirma lo visto en campo donde se observa desplazamientos de masas de material de relave en el talud aguas abajo. Para estabilizar los taludes se recomienda realizar cortes con talud 2H: 1 V con muros en el pie. Para el caso del Depósito de relaves 2 los resultados del análisis de estabilidad indican un talud estable tanto en condiciones estáticas sin embargo en condiciones de exposición sísmica resulta inestable con un factor de seguridad por debajo a 1, por lo que se recomienda realizar cortes con talud 2.5H: 1V.

De esta manera se aseguró la estabilidad para la etapa de cierre de minas, evitando la generación de aguas ácidas.

Palabras claves: Estabilidad, física, hidrológica, geoquímica, depósito de relave.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Actualmente hay un alto impacto generado por los incidentes derivados de la mala gestión de la estabilidad física e hidrológica de las instalaciones mineras, con altos índices de pérdidas económicas para las empresas, un alto nivel de efectos sobre el medio ambiente y, lo que es peor, gran capacidad de generar pérdida de vidas humanas. Por otro lado, la estabilidad física e hidrológica adquiere mayor relevancia cuando se trata de instalaciones mineras “remanentes”, que al término de la ejecución de las operaciones se mantendrán en el lugar de manera indefinida (SERNAGEOMIN, 2018).

La estabilidad física e hidrológica en todas las instalaciones mineras remanentes, depende de diferentes y en algunos casos complejas variables, que pueden presentarse a corto o largo plazo con posterioridad al cierre de la faena. La gestión de la estabilidad física facilita a las empresas mineras cumplir con los requerimientos legales vigentes y atender de mejor manera las inquietudes de la comunidad, junto con la generación, registro y análisis de información técnica relevante, que constituye una importante herramienta para determinar las acciones que se implementen en las diferentes etapas del ciclo de vida del proyecto, que permitan asegurar la estabilidad física en las etapas de cierre y post cierre.

La estabilidad física en un depósito de relaves se puede ver afectada por varios mecanismos de falla, los que en términos generales pueden ser representados por los mecanismos de desbordamiento, tubificación e inestabilidad de taludes (Equipo Programa Tranque, 2018).

Las fallas del suelo de fundación se generan debido a una falta de información o malinterpretación de los antecedentes en cuanto a la localización del depósito de relave

(geología, hidrogeología y geotecnia, entre otros). Si existe un estrato de suelo débil o roca blanda, situada a una reducida profundidad bajo la estructura, se podrían generar movimientos a lo largo de un plano de falla si el peso del depósito produce esfuerzos que superen la resistencia al corte de los suelos que conforman el estrato débil (Valparaiso, 2018).

Las consecuencias que se advierten por el mal manejo de los depósitos de relaves son: Inestabilidad física y química, por la existencia de aguas subterráneas y al sobrepeso de carga, como consecuencia del recrecimiento del depósito de relaves.

Contaminación de los cuerpos receptores, que son aguas para consumo humano y el desarrollo de la agricultura.

El relave es un sólido finamente molido, que se descarta en operaciones mineras. La minería de sulfuros de cobre extrae grandes cantidades de material (roca) del yacimiento que se explota. Sólo una pequeña fracción corresponde al elemento de interés económico que se desea recuperar (algo menos de 1%). Una vez que ese material (la roca) ha sido finamente molido y concentrado por procesos de flotación, se obtiene un material (el concentrado) con una concentración más alta de cobre (entre 20 y 30%), que se puede vender como Concentrado o procesar hasta cobre metálico puro. El resto del material (muy pobre en cobre) se denomina “relave”, y se debe depositar de forma segura y ambientalmente responsable (SERNAGEOMIN, 2018)

Las partes de un depósito de relave son:

Muro: Que es una obra de ingeniería que permite contener los residuos sólidos que en ella se descargan, es decir, delimita la cubeta.

Cubeta: Corresponde al volumen físico disponible para el depósito de relaves (lamas), junto con gran parte del agua de los relaves. En la cubeta, el agua se localiza en la Laguna de Aguas Claras.

Laguna de Aguas Claras: La depositación de relaves (lamas) en la cubeta, que llega en una mezcla del sólido con agua para su transporte, en tanto los sólidos sedimentan a las capas inferiores, el agua forma esta laguna de aguas claras debido a la sedimentación de las partículas finas.

Sistema de drenaje: Sistema utilizado para retirar al grado adecuado el agua del interior del muro, con el objetivo de deprimir al máximo el nivel freático en el interior del cuerpo del muro.

Revancha: Es la diferencia menor, en cota, entre la línea de coronamiento del muro de contención y la superficie inmediatamente vecina de la fracción lamosa o de la superficie del agua, que se produce en los tranques y embalses de relaves.

Coronamiento: Es la parte superior del prisma resistente o muro de contención, muy cercano a la horizontal.

Canal de contorno: Canal de desvío de las aguas de la cuenca que captan y desvían las escorrentías superficiales, impidiendo el ingreso a la cubeta del depósito de relaves.

Playa activa: Zona donde se descargan los relaves en la cubeta, se le denomina playa porque usualmente esta seca en la superficie y se asemeja a una playa de arenas finas. Es la parte del depósito de relaves o lamas situada en las cercanías de la línea de vaciado.

Laguna de aguas claras: Corresponde a la laguna de clarificación que se forma en la cubeta debido a la sedimentación o decantación de las partículas sólidas.

La mayoría de los depósitos de relaves existentes en la actualidad se han construido mediante sistema de relleno hidráulico, que consiste en captar los relaves de la planta concentradora y transportarlas por tubería mezclados con agua. Los residuos del proceso de flotación, en esencia roca finamente molida mezclada con agua, con la consistencia de un lodo llamado pulpa, son bombeados a través de tuberías hacia el depósito. Es

característico en los relaves la proporción de agua en relación a los sólidos, mayor de 3:1 en volumen (Oldecop, Zabala, F., Pacheco, R. R. , & Libardi, L. G., 2008).

En los últimos años se han sumado nuevos aspectos relacionados a las condiciones ambientales que influyen en las evaluaciones de estabilidad física. En este ámbito, se pueden destacar las crecientes regulaciones ambientales que han de ser concluyentemente acatadas y, además, el creciente déficit de recursos hídricos que amenaza el normal desempeño de las operaciones mineras (Peters, Verdugo, Echevarría, & Caro, 2014). La infiltración de aguas superficiales procedentes de relaveras, escombreras piritosas, pilas de lixiviación, áreas de beneficio y desechos humanos, causan serios daños en la calidad del agua subterránea (Tovar Pacheco, El agua subterránea en el medio ambiente minero y su importancia en los planes de cierre, 2015).

(Avellaneda-Puri, 2020), concluye que los resultados de los factores de seguridad para el depósito de relave de flotación son 1,7 en condiciones estáticas y 1,34 para condiciones pseudo-estáticas, mientras que para el depósito de relaves de cianuración los valores son de 1,79 en condiciones estáticas y 1,29 para condiciones pseudo-estáticas, siendo valores en ambos casos, superiores a los factores de seguridad mínimos requeridos por la legislación vigente, por lo que ambas estructuras son físicamente estables, tanto en condiciones estáticas como pseudo-estáticas.

Por lo expuesto, es muy importante realizar esta investigación ya que beneficiará a la población en general de la provincia de Santa Bárbara y principalmente a las autoridades para que puedan tomar cartas en el asunto y hacer el control adecuado de la etapa de cierre de minas.

En primer lugar, antes de permitir que se instale un depósito de relaves, se examina rigurosamente su diseño. En seguida, se verifica la correcta construcción y operación, que debe cumplir normas precisas de seguridad y estabilidad. En términos prácticos, se

adoptan varias medidas, como mantener los muros compactados, no saturados, con una cantidad baja de finos y sistema de monitoreo en los muros, compromisos que la empresa ha debido adoptar durante las etapas de diseño.

En el sector de investigación funcionó una planta pirometalúrgica de mercurio, en la que el mineral de la mina chancado a $-2.5''$ era sometido a temperaturas que varían entre 300°C a la salida del horno y 700°C cerca del quemador, dentro de hornos rotatorios. El cinabrio por efecto del calor produce mercurio al estado de vapor mediante la reacción: $\text{HgS} + \text{O}_2 = \text{Hg} + \text{SO}_2$. El vapor de mercurio pasa a condensadores donde el descenso de temperatura hace que el mercurio se condense y se obtenga el mercurio líquido.

En esta forma opera la planta con una capacidad de 250 ton/día. Este último año entra en operación una planta de flotación con capacidad de 400 ton/día, produciendo un concentrado con ley de 7 % de mercurio que luego era tratado en retortas.

De lo anterior resulta que hay 2 tipos de relave, uno grueso al que en la planta le llamaban “escoria” y que procede del tratamiento térmico del mineral chancado, y otro relave fino que se producía en la flotación del mineral molido.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el diseño de estabilidad del depósito de relave 1-2 de una unidad minera en Huancavelica 2021?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Realizar el diseño de estabilidad del depósito de relave 1-2 de una unidad minera en Huancavelica 2021.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar geotécnicamente al depósito de relave 1-2
- Elaborar el diseño de estabilidad física del depósito de relave 1-2

- Elaborar el diseño de estabilidad hidrológica del depósito de relave 1-2.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis General

Con el estudio se diseñará la estabilidad del depósito de relave 1-2 de una unidad minera en Huancavelica, 2021.

CAPITULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La investigación es aplicada, por su alcance es descriptiva y por el enfoque la investigación es cuantitativa. Diseño no experimental de corte transversal, (Sampieri, 2010).

2.2. Población

Todos los depósitos de relaves de las unidades mineras en Huancavelica.

2.3. Muestra

El depósito de relave 1-2 de una unidad minera en Huancavelica.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.

La técnica viene a ser la observación directa, y análisis documental.

Como instrumentos se utilizaron formatos de recolección de parámetros geotécnicos.

2.5. Procedimiento

Etapas de pre - campo

Se hizo una recopilación bibliográfica en bibliotecas virtuales, revistas indexadas, tesis doctorales, etc. Además, se confeccionaron los planos que nos ayuden a la ubicación y acceso al depósito de relave 1-2.

Etapas campo

Se procedió al reconocimiento de las formaciones geológicas

Se recolectó información geotécnica.

Etapas de Procesamiento y Análisis de Datos

Para evaluar la estabilidad de los depósitos de relaves, se ha realizado el análisis mediante modelo matemático en las secciones considerada críticas.

En los cálculos relativos al análisis de estabilidad de taludes se han empleado programas de cómputo de reconocida confiabilidad Slide de Rocscience, lo que ha posibilitado

estudiar detalladamente una gran variedad de configuraciones de falla. Estos programas analizan la estabilidad de taludes tomando en cuenta las propiedades del suelo (cohesión y fricción) y las características geométricas del talud.

Los programas de cómputo tienen incorporados los métodos de Bishop, Spencer basados en el criterio de equilibrio límite para determinar el factor de seguridad de una superficie de falla.

Se ha determinado el factor de seguridad de los taludes actuales de los depósitos de relaves, estos análisis se han realizado en condiciones estáticas y pseudo estáticos.

También se ha verificado la estabilidad de los taludes recomendados para la estabilización.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Características de los Depósitos de Relaves

Tabla 1

Ubicación en Coordenadas UTM de los Depósitos de Relaves

Sector	Norte	Este	Altitud msnm
Depósito de relave 1	8583886	505570	4179
Depósito de relave 2	8583751	502689	4178

Depósito de Relaves RE -SB -01

Geográficamente, se encuentra ubicado en la margen derecha de la quebrada Santa Bárbara (Putacca), en dirección Oeste cerca de la Planta Concentradora de cinabrio, el relieve original del terreno corresponde a una ladera inferior cuyo contorno es algo ondulado y tiene pendientes de 20" a 25". Esta ha sido labrada en rocas areniscas probablemente en la formación Chaclatacana, la cual se halla cubierta por depósitos glaciares. El lugar no presenta problemas de geodinámica externa y por la quebrada, que se halla cerca de la relavera fluyen aguas en forma permanente. (Anexo 1)

Depósito de Relaves RE -SB -02

Ubicado en dirección Sureste, cerca al primer depósito, ambos de similar morfología; dispuesto en una ladera con características y litología similares; conformado por arenas finas, yace poco denso, seco, con granos de formas angulosas, color gris claro a ligeramente anaranjado y descansa con taludes de 35" a 42", donde existen numerosas cárcavas, cuyo material fue arrastrado por la fuerza eólica e hídrica, hacia los alrededores al pie de la citada relavera. (Anexo 1)

Características Hidrogeológicas

La mineralización de cinabrio se encuentra diseminada en las fracturas y en las brechas de falla de la Formación Goyllarisquizga. La roca que ha sido procesada está depositada al pie de la quebrada Santa Bárbara, lo que constituye el relave grueso y relave fino.

El relave está depositado en una antigua terraza de la quebrada Santa Bárbara, cuyo relieve original tiene pendientes de 20 a 25 y está apoyado en la ladera derecha constituido de roca arenisca, la misma que está cubierta por depósitos glaciares.

Los relaves en el sector de Santa Bárbara están constituidos por una mezcla rocas areniscas y calizas gravosas predominantemente subangulosas, con arenas y sedimentos finos de alta porosidad estimándose como valor medio 15%. Los relaves finos tienen porosidades menores, estimándose en 3% y presentan niveles de almacenamiento de agua en su superficie y dentro del cuerpo del relave.

La superficie del cuerpo del relave en la parte superior es llana, el encauzamiento de las aguas de lluvia erosiona el talud poco compacto originando cárcavas y derrumbes locales durante los periodos de lluvia; posteriormente, se produce la remoción de los materiales en dirección de la pendiente hasta alcanzar el pie del talud.

La quebrada se encuentra canalizada desde aguas arriba del depósito de relave por donde drena sus aguas en forma permanente. Los relaves están depositados sobre las areniscas cuarzosas y cretácicas de la Formación Goyllarisquizga, cubiertas por depósitos fluvioglaciares de espesores variables, por donde se infiltran el agua de precipitación y las de escorrentía superficial. Las aguas que circulan por la cobertura sedimentaria siguen la dirección de la pendiente del terreno pasando por debajo de los relaves. El sentido de escurrimiento presenta dos frentes principales en los depósitos sedimentarios de origen glaciar; el que baja de las laderas laterales de la quebrada y que sigue la dirección de la quebrada.

No se produce almacenamiento de agua en los relaves gruesos por su alta permeabilidad; estos aseguran el paso del agua a través del material en dirección vertical hasta llegar al contacto con los depósitos glaciares en la base del relave y de menor permeabilidad, lo provocando el cambio de dirección de las aguas hacia aguas abajo de la quebrada y en sentido del eje de la quebrada. Las aguas infiltradas aparecen como pequeños ojos de agua en la base del relave grueso, las que son captadas por el canal perimétrico existente en él.

Los valores de permeabilidad obtenidos en laboratorio de los relaves es 2.5×10^{-4} cm/ s.

Las aguas infiltradas que siguen la dirección vertical desde la superficie del relave al entrar en contacto con el depósito sedimentario compactado en la base, migran en dirección de la pendiente del terreno por la base del cuerpo del relave, desde el flanco derecho de la quebrada hacia su eje.

El cinabrio (HgS) es un mineral estable, para obtener el mercurio metálico (líquido) debe ser fundido en un horno; los residuos de fundición y relaves con bajo contenido de cinabrio, por ser estables no lixivian con la presencia de las precipitaciones pluviales ni con el oxígeno del aire-, por lo tanto, no existe migración e infiltración de este mineral, hacia el cauce del riachuelo ubicado al pie de los depósitos citados.

El contenido de mercurio del riachuelo citado, aguas abajo del depósito de relaves y residuo cuerpo receptor) tiene una concentración $< 0,001$ mg/l. Valor por debajo de lo establecido en la Ley General de Aguas, Ley N° 17752, para aguas de clase 111. Asimismo, de acuerdo a la nueva norma D. S. No 002- 2008- MINAM, que aprueba los Estándares Nacionales Calidad Ambiental para Agua, este valor también es inferior al límite establecido, para un agua de Categoría 3.

Características Geotécnicas

Exploración de Campo

Las exploraciones de campo se detallan a continuación, el registro y análisis de laboratorio

Ensayos de Densidad de Campo

Con el objeto de estimar la densidad del material del depósito de relaves se ha realizado 4 ensayos de densidad de campo por el método del balón.

Tabla 2

Resumen de los ensayos de densidad de campo por el método del balón.

Sondaje	C.H. (%)	Densidad (Kg/cm ²)	Ubicación
D-1	11,42	1,69	Depósito de Relave
D-2	16,15	1,89	
D-3	12,09	1,70	
D-4	7,27	1,63	

Ensayos de Penetración Estándar (SPT)

Este permite medir la resistencia a la penetración y obtener muestras para ser ensayadas en laboratorio.

Para el presente estudio se ha ejecutado 1 sondaje SPT denominado SPT -01 de 13, 60 m de profundidad. En dichos sondajes se han ejecutado ensayos SPT a cada metro de perforación y han sido profundizados mediante el ensayo Cono de Peck.

Ensayos Cono de Peck (CPT)

Para el presente estudio se han ejecutado 4 sondajes Cono de Peck denominados CP - 01, CP -02, CP -03 y CP -04 de 12,60 m; 12, 00 m; 17, 70 y 15, 60 m de profundidad respectivamente.

Ensayo de Refracción Sísmica

Se han ejecutado un total de 825 m de investigación geofísica distribuido en 11 líneas sísmicas, denominadas LS -01, LS -03, LS -05 y LS -06 de 100 m de longitud, LS -02, LS -04 y LS -08 de 62, 50 m de longitud, LS -07 y LS -09 de 50 m de longitud y LS -09 de 75 m de longitud.

La Tabla presenta Resumen de los resultados de velocidad de propagación de onda P y el número de estratos identificados en cada línea sísmica.

Tabla 3

Resumen de resultados del ensayo de Refracción Sísmica

Perfil	Línea N°	Longitud (m)	Distancia Geófonos (m)	N° de estratos	Estrato 1 VP (m/s)	Estrato 2 VP (m/s)	Estrato 3 VP (m/s)
1-1	LS-01	100,0	4,0	3	400-500	600-700	2800-3200
	LS-02	62,5	2,5	3	350-400	650-750	2500-2800
2-2	LS-03	100,0	4,0	2	600-700	3100-3200	
3-3	LS-04	62,5	2,5	3	400-500	600-700	2500-2800
4-4	LS-05	100,0	4,0	3	350-450	650-750	2800-3200
5-5	LS-06	100,0	4,0	3	400-500	650-750	2800-3100
6-6	LS-07	50,0	2,0	2	350-450	3400-3700	
7-7	LS-08	50,0	2,0	2	350-450	3300-3600	
8-8	LS-09	62,5	2,5	2	350-400	3200-3500	
9-9	LS-10	75,0	3,0	3	500-600	2300-2500	3100-3500
10-10	LS-11	62,5	2,5	3	550-650	1100-1300	3100-3500

El perfil sísmico estimado con la refracción sísmica está constituido por una capa superficial de material de relave suelto (GP -GM) de hasta 8 metros de espesor, por debajo

se encuentra el mismo material, pero medianamente compacto, con un espesor de hasta 25 m y por debajo, de esta última capa, se encuentra el macizo rocoso.

Ensayos de Laboratorio

Ensayos Estándar

La tabla presenta un resumen de los resultados de los ensayos estándar realizados.

Tabla 4

Resumen de los Ensayos Estándar de Clasificación de depósito de Relaves

Calicata/ Trinchera	Muestra	Profund. (m)	Granulometría (%)			Límites (%)		C.H. (%)	Clasf. SUCS
			Grava	Arena	Finos	L.L.	L.P.		
CPR-01	M-1	2,30-2,50	44,30	27,50	28,20	50	29	23,86	GM
CPR-02	M-1	0,90-2,00	61,40	32,10	6,50	-	NP	8,89	GP-GM
CPR-03	M-1	0,90-1,20	74,20	17,40	8,40	26	16	9,85	GP-GC
CPR-05	M-1	2,00-3,00	37,40	20,80	41,80	46	26	41,45	GC
CPR-06	M-1	0,40-1,50	51,90	8,20	39,90	48	35	33,15	GM
TPR-01	M-1	0,00-1,50	62,80	32,70	4,50	-	NP	3,17	GP
TPR-02	M-1	0,00-5,00	36,30	54,70	9,00	-	NP	6,16	SP-SM
SPT-1	M-1	1,00-1,45	18,70	58,20	23,10	-	NP	12,26	SM
	M-2	1,45-2,00	0,00	11,60	88,40	26	10	26,75	CL
	M-3	2,00-2,45	0,00	43,80	56,20	NP	NP	21,8	ML
	M-4	3,00-3,45	0,00	26,50	73,50	26	17	27,45	CL
	M-5	6,00-6,45	0,00	8,80	91,20	26	19	33,96	CL-ML
	M-6	8,00-8,45	0,00	24,90	75,10	NP	NP	27,1	ML
	M-7	9,00-9,45	0,00	43,40	56,60	-	NP	26,12	ML
	M-8	10,00-10,45	0,00	4,30	95,80	42	31	38,93	ML

L.L.: Límite líquido

L.P.: Límite plástico

C.H.: Contenido de humedad

Ensayos Especiales

Para estimar los parámetros de resistencia de los depósitos de relaves se han ejecutado ensayos de corte directo, permeabilidad y compresión triaxial CU del material de tamaño máximo inferior a 318", humedad natural y semi compacto. El cuadro N° 2, 31- 5 muestra los resultados de laboratorio.

Tabla 5

Resumen de lo ensayos Especiales

Ensayo	Trinchera/ Muestra	Profund. (m)	Permeabilidad (cm/s)	Totales/Efectivos		Clasf. SUCS
				Φ (°)	C (kg/cm ²)	
Triaxial CU	TPR-01	0,00-1,50	-	44/46,6	2,16/0,3	GP
Corte Directo	TPR-02/M- 1	0,00-5,00	2,5x10 ⁻⁴	40	0,1	SP-SM

Perfiles Estratigráficos

Sobre la base de los registros de calicatas, ensayos de laboratorio, registros de sondajes, resultados del ensayo de refracción sísmica se han elaborado los perfiles estratigráficos.

Depósito de Relaves N° 1

El perfil estratigráfico del depósito está constituido por un material de grava mal gradada con limo y arena (Relave suelto) en estado suelto; por debajo se encuentra grava mal gradada con limo y arena (Relave) en estado medianamente compacto, por debajo se encuentra el macizo rocoso. (ANEXO N°02)

Depósito de Relaves N°2

El perfil estratigráfico del depósito está constituido por un material de limo de baja plasticidad con arena (Relave) en estado suelto; por debajo se encuentra limo de baja plasticidad con arena en estado medianamente compacto (Relave consolidado); por debajo se encuentra el macizo rocoso. (ANEXO N°03)

Características Geoquímicas

El proceso de explotación minera, subterránea y a cielo abierto, ha generado una serie de depósitos; éstos se encuentran distribuidos en la zona de Cabra Machay, Yanamina, y zona adyacente a la planta concentradora, constituyendo los pasivos ambientales mineros, más significativos de la mina " Santa Bárbara".

La estabilidad geoquímica del depósito de relave depende del contenido de sulfuros y carbonatos presentes en el material que conforman dichos depósitos. Por lo cual, se debe realizar pruebas estáticas, que permitan determinar la capacidad de generar drenaje ácido (PN), así como el contenido de material consumidor de ácido y la capacidad que tiene el material de Neutralizar la generación de drenaje ácido (PN), de cuya diferencia se obtiene el Potencial Neto de Neutralización (PNN).

Procedimiento de la prueba

Inicialmente, se mide el pH en pasta, para determinar si antes del análisis ocurrió la generación de ácido. Si el valor del pH es > 8 Unidades de pH, es probable que exista presencia de carbonatos en la muestra, si es < 5 Unidades de pH, posiblemente ocurrió generación de ácido en la muestra.

En una muestra, el contenido total de azufre se analiza utilizando un horno tipo L las especies sulfurosas, usando diferentes procedimientos de digestión y precipitación (método APHA 1985).

El procedimiento más común para desarrollar las pruebas estáticas es el de ácido-base (Sobek); También, se usa el procedimiento modificado para prueba de balance ácido-base (BAB). Cada uno de ellos determina los minerales potencialmente generadores de ácido expresados como potencial de acidez máxima (PA) y los minerales potencialmente consumidores de ácido (expresados como potencial de neutralización PN).

pH en pasta

El pH en pasta de la muestra proporciona una indicación de la acidez total almacenada en ésta y la extensión en la que ha ocurrido la oxidación, antes del análisis.

Azufre

El contenido de azufre como sulfuro, de la muestra, indica la acidez potencial total.

Usualmente, se expresa como el PA o Potencial de Ácido y se puede calcular mediante la fórmula siguiente:

$$PA = \% \text{ de azufre} \times 31,25$$

El factor 31,25 se basa en la acidez generada, según se derivó por estequiometría química, para la oxidación completa de la pirita y la subsiguiente hidrólisis del Fe^{3+} generado. Por lo tanto, este factor relaciona la acidez total producida con la alcalinidad equivalente, como $CaCO_3$, requerida para la neutralización.

Potencial de Neutralización

El Potencial de Neutralización (PN) se mide por titulación de la muestra y se calcula a partir de la masa de la muestra y el volumen y normalidad del ácido y la base añadidos. El PN se expresa en términos del equivalente en kg de $CaCO_3$ por tonelada de muestra.

El Potencial Neto de Neutralización (PNN) de una muestra está dado por la diferencia:

$$PNN = PN - PA$$

Además, la proporción entre las especies que consumen ácido y aquellas que la generan se calcula por PN/PA.

Los resultados de cada prueba de balance ácido base deberán incluir:

- **Descripción de la muestra.**
- **pH en pasta.**
- **Análisis de azufre en forma de sulfuros.**
- **Cálculo de PN, PA y PNN.**
- **Proporción de PN/PA.**

Interpretación de las Pruebas Estáticas

La interpretación de los resultados de pruebas estáticas se basa en la diferencia y proporción entre el potencial de acidez y el de neutralización. La diferencia entre la acidez potencial máxima y el potencial de neutralización nos da el potencial neto de neutralización. Por eso las pruebas estáticas se refieren a la composición geoquímica de una muestra, y no a la velocidad ni a la magnitud de las reacciones que pueden producir o consumir acidez. Por eso, los procedimientos para pruebas estáticas son

igualmente aplicables en cualquier región climática o geológica. Se debería contratar los servicios de laboratorios experimentados para todo programa de pruebas.

El criterio empleado para la determinación de la generación de acidez es:

- **Sí: PNN < - 20 Genera Acidez.**
- **20 < PNN < 20 Incertidumbre.**
- **PNN > 20 No Genera Acidez.**

Pruebas de balance ácido – base:

Tabla 6

Mineralogía del compósito de relave

Minerales	Fórmula	Muestra RSB-1 % en peso
Cuarzo	SiO ₂	90,12
Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	0,30
Calcita	CaCO ₃	3,21
Ortoclasa	K(AlSi ₃ O ₈)	0,80
Albita	Na(AlSi ₃ O ₈)	0,30
Anortita	Ca(Al ₂ Si ₂ O ₈)	0,40
Pirita	FeS ₂	0,91
Calcopirita	CuFeS ₂	0,01
Esfalerita	ZnS	0,06
Galena	PbS	0,06
Hematita	Fe ₂ O ₃	1,62
Yeso	CaSO ₄ .2H ₂ O	0,31
Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	1,30
Montmorillonita	(Na,Ca) _{0.3} (Al,Mg) ₂ Si ₂ O ₁₀ (OH) ₂ .nH ₂ O	0,40

Composición química

Tabla 7

Análisis químico de la muestra de compósito de relaves

N°	Muestras	%Ca	%Fe	%Mn	%Cu	%Pb	%Zn	Cd (ppm)	As (ppm)	Hg (ppm)
01	RSB-1	1.35	1.56	0.017	0.004	0.056	0.038	6	45	452

Tabla 8
Resultado del balance ácido-base del compuesto de relaves

N°	Muestras	pH en pasta	%S	PN	PA	PNN	PN/PA
01	RSB-1	6.9	0.52	3.12	16.25	-13.13	0.2

PN; PA y PNN: Kg. CaCO₃/TM de material

El Potencial Neto de neutralización (PNN) del material que conforma el depósito de relaves es igual a -13.13 Kg. CaCO₃/TM de material. Este valor indica que la muestra se encuentra en zona de incertidumbre de generar drenaje ácido de roca.

Estabilidad física en depósito de relaves
Parámetros de resistencia

Los parámetros de resistencia de los materiales han sido determinados a partir de los resultados de la investigación geotécnica ejecutada en el área de los depósitos de relaves, en dichas investigaciones se han ejecutado ensayos de penetración estándar (SPT), ensayo de Cono Peck, ensayos de refracción sísmica y ensayos de laboratorio estándar, corte directo y ensayos de compresión triaxial.

Tabla 9
Resumen de los parámetros de los materiales de depósito de relave

Depósito	Material	Peso Unitario (KN/m ³)		C (Kpa)	Angulo de fricción (°)
		Natural	Saturada		
Depósito de relaves N°1	Grava suelta	20	21	10	35
	Grava semicompacta	20	21	10	40
	Roca	22	22	100	35
Depósito de Relaves N° 2	Relave suelto	16	17	5	22,5
	Relave consolidado	17	18	10	30,5
	Roca	20	21	100	35

Análisis de estabilidad de taludes en depósitos de relaves

Las obras de cierre han sido proyectadas tomando en cuenta las recomendaciones de la guía ambiental de aumentar los factores de seguridad mínimos en un 10% es decir 1,5 y 1,1 para la condición estática y pseudo-estática respectivamente.

Estado actual:

Análisis Estático en Depósito de Relave N°01, sección A-A'

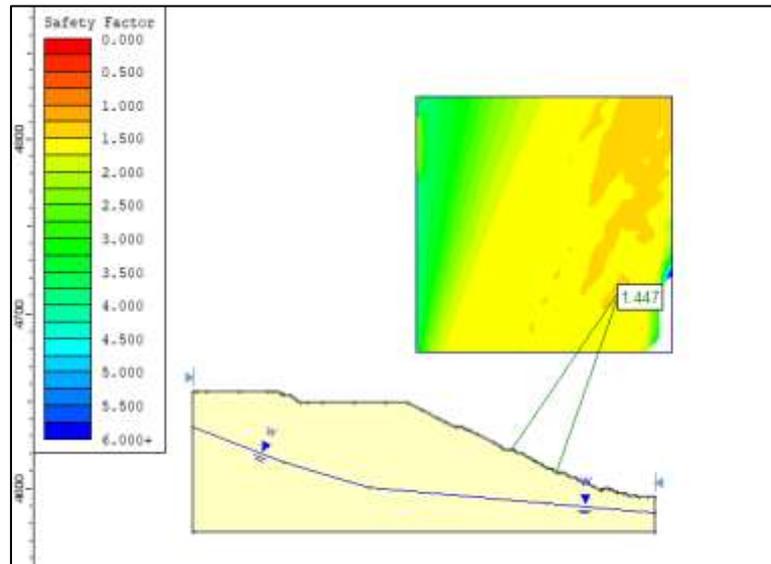


Figura N° 1: Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 1.447 en condiciones estáticas.

Análisis Seudostático en Depósito de Relave N°01, Sección A-A'

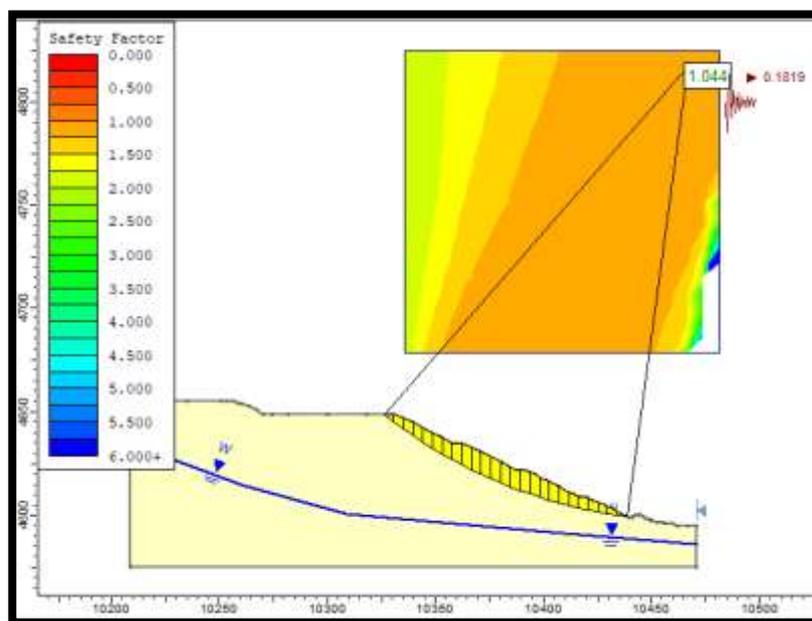


Figura N° 2: Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es inestable con un Factor de seguridad de 1.044 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.1819 y un coeficiente vertical de 0.

Análisis Estático en Depósito de Relave N°01, Sección B-B'

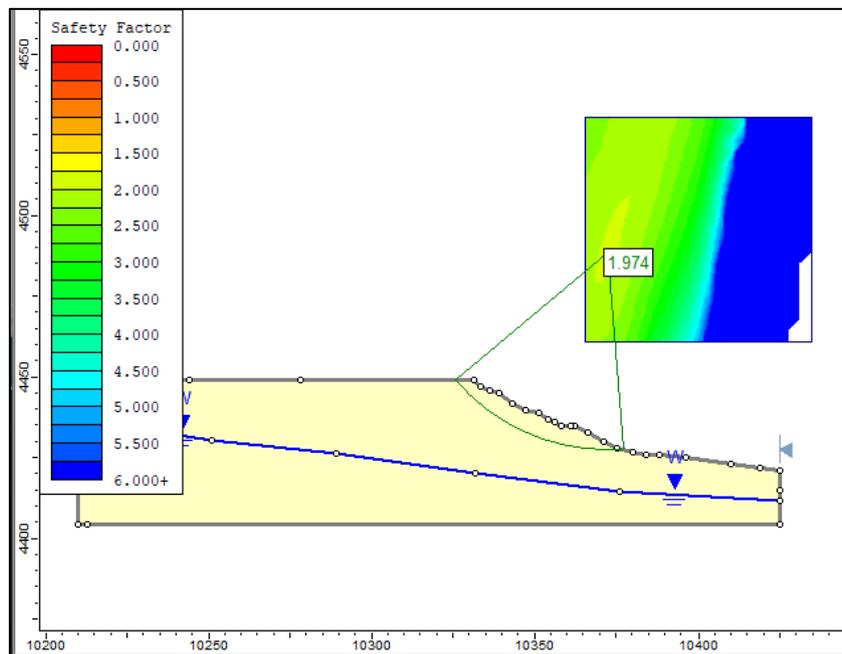


Figura N° 3: Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 1.974 en condiciones estáticas.

Análisis Seudoestático en Depósito de Relave N°01, sección B-B'

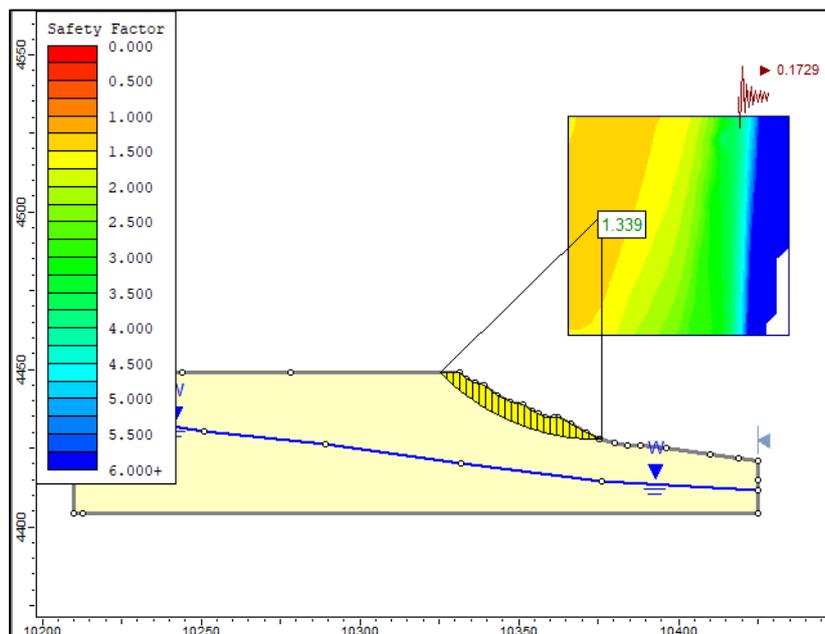


Figura N° 4: Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud estable con un Factor de seguridad de 1.339 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.1729 y un coeficiente vertical de 0.

Análisis Estático en Depósito de Relave N°02, sección C-C ’

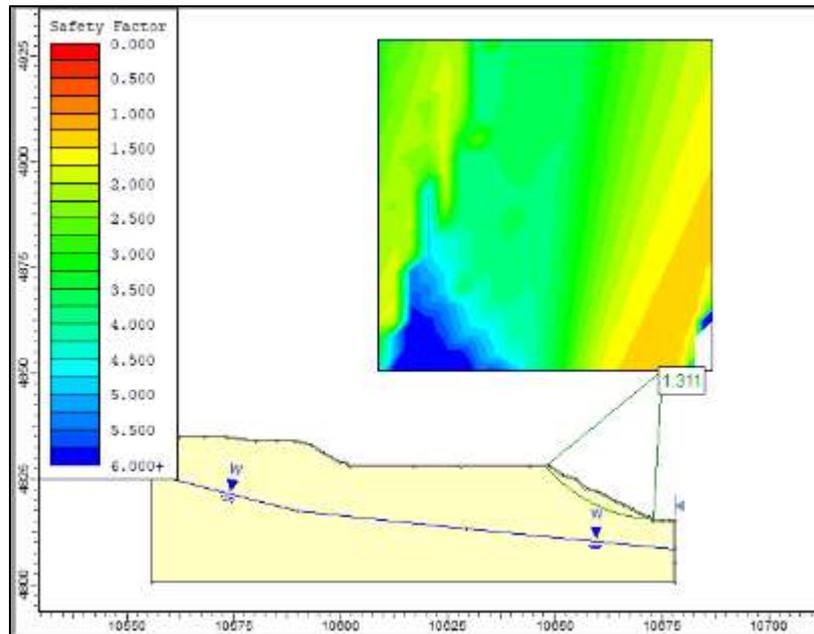


Figura N° 5: Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 1.311 en condiciones estáticas.

Análisis Seudoestático en Depósito de Relave N°02, sección C-C ’

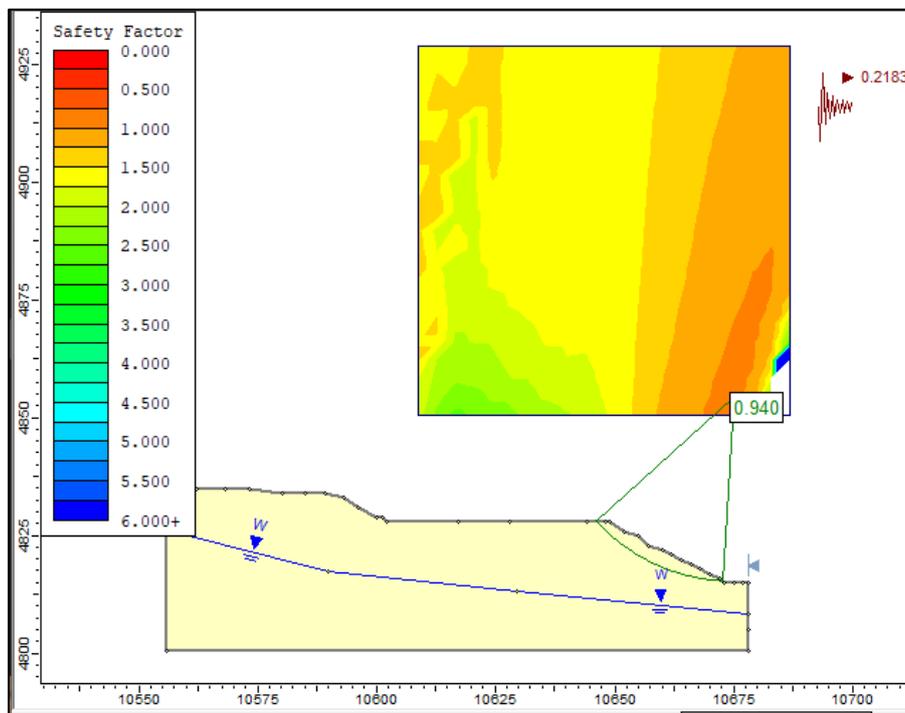


Figura N° 6: Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es inestable con un Factor de seguridad de 0.940 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.2183 y un coeficiente vertical de 0.

Talud de cierre

Análisis Estático en Depósito de Relave N° 01, sección A-A ’

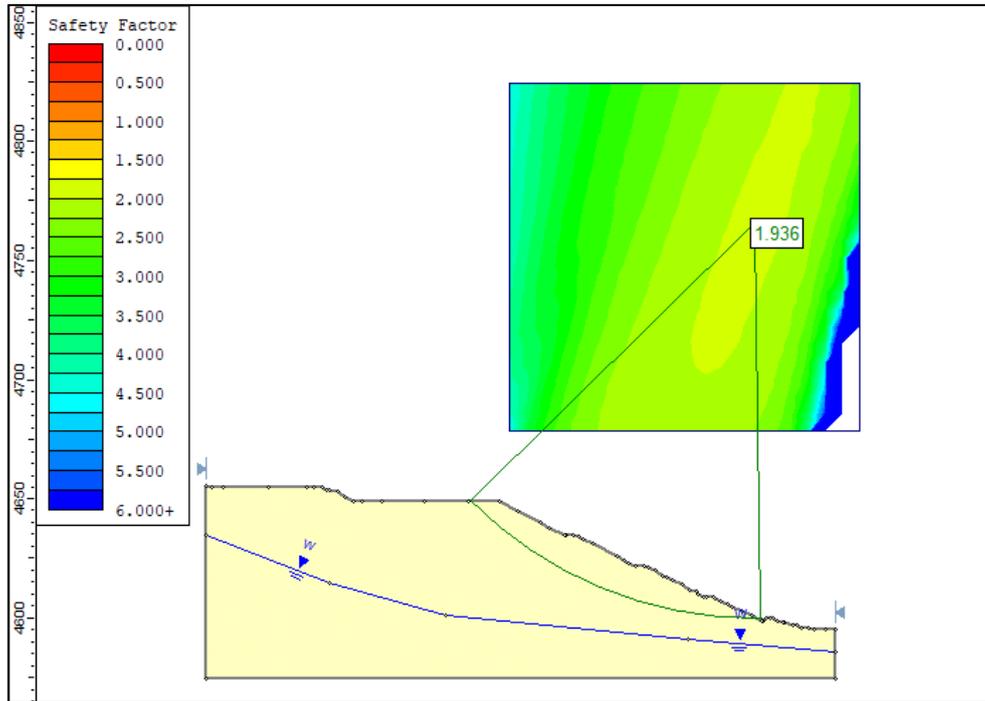


Figura N° 7: Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 1.936 en condiciones estáticas.

Análisis Seudoestático en Depósito de Relave N° 01, sección A-A ’

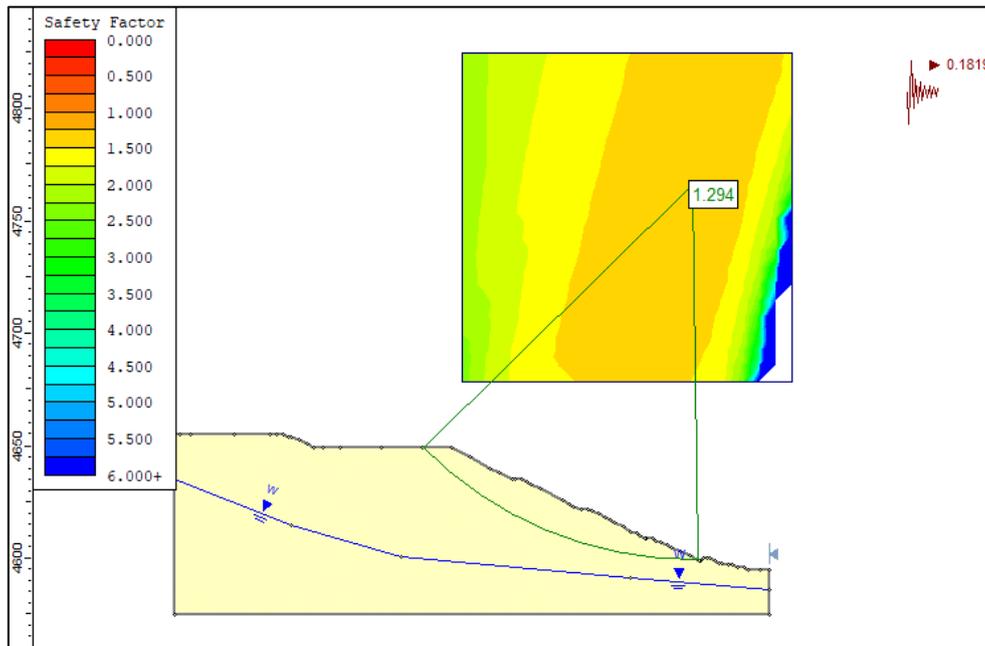


Figura N° 8: Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud estable con un Factor de seguridad de 1.294 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.1819 y un coeficiente vertical de 0.

Análisis Estático en Depósito de Relave N°01, sección B-B ’

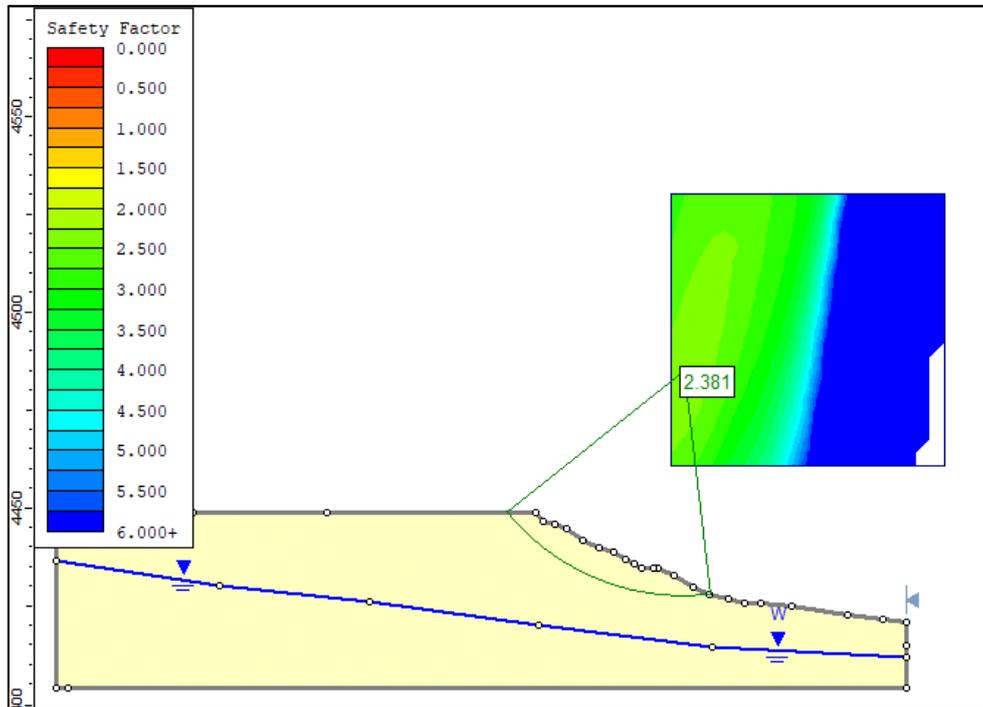


Figura N° 9: Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 2.381 en condiciones estáticas.

Análisis pseudoestático en Depósito de Relave N°01, sección B-B ’

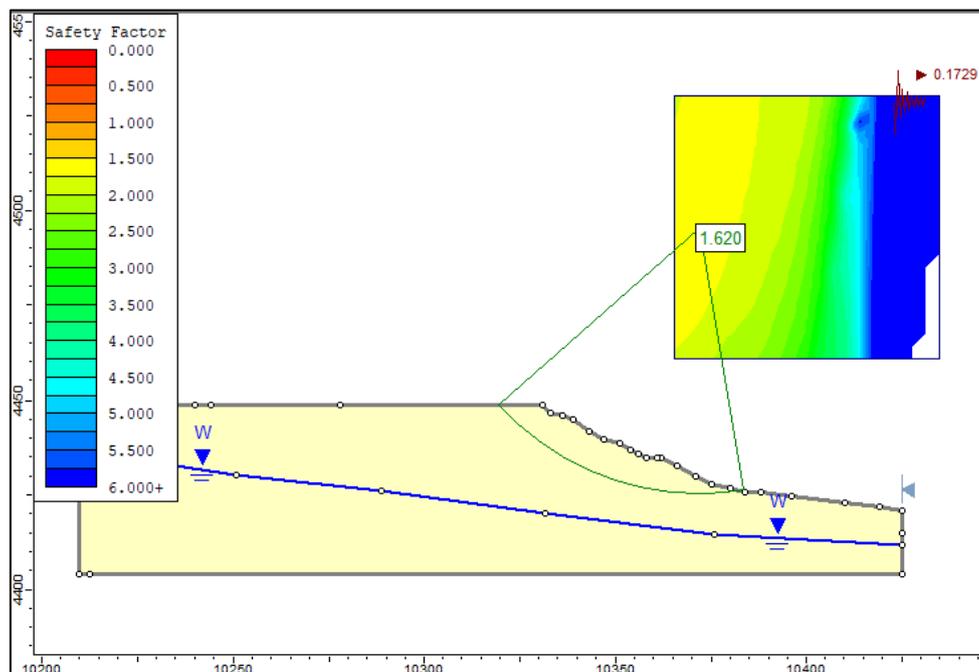


Figura N° 10: Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud estable con un Factor de seguridad de 1.620 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.1729 y un coeficiente vertical de 0,

Análisis Estático en Depósito de Relave N°02, sección C-C´

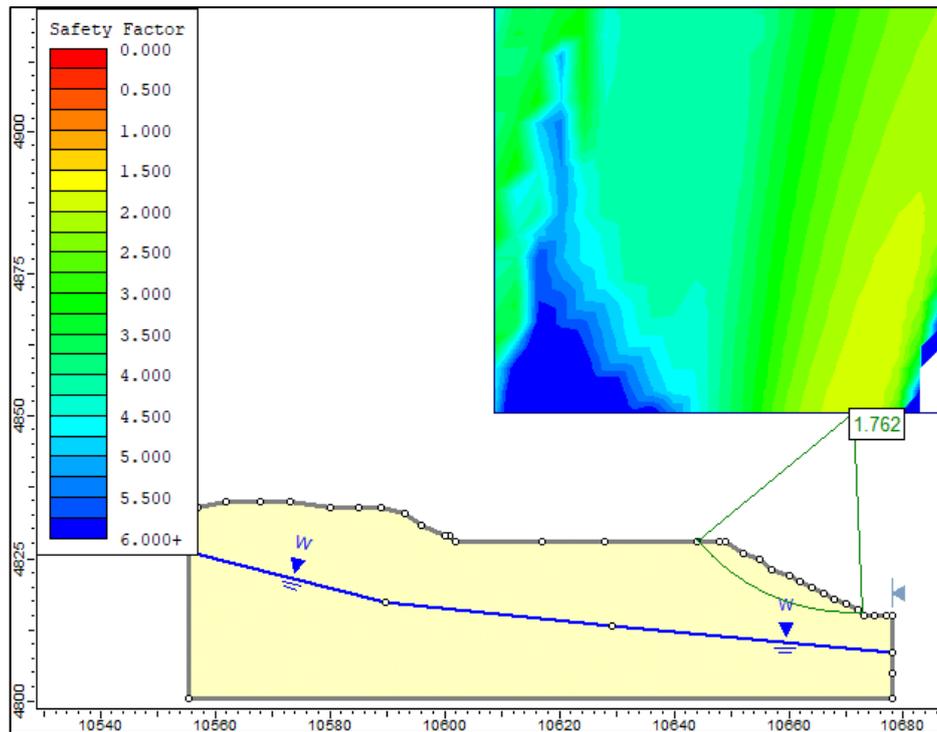


Figura N° 11: Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 1.762 en condiciones estáticas.

Análisis pseudoEstático en Depósito de Relave N°02, sección C-C´

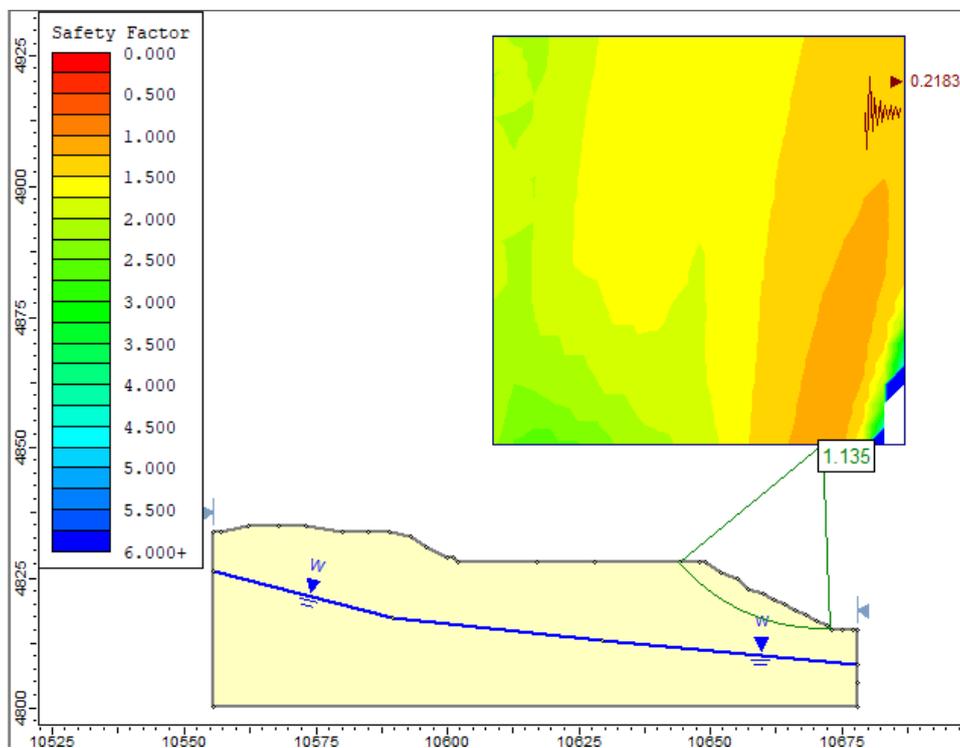


Figura N° 12: Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud estable con un Factor de seguridad de 1.135 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.2183 y un coeficiente vertical de 0.

Tabla 10
Resumen de análisis de estabilidad

Depósito	Sección	Estado actual		Talud de cierre		
		FS Estático	FS Pseudo Estático	Recomendación	FS Estático	FS Pseudoestático
Depósito de relave 1	A-A	1,44	1,04	Cortes con talud 2H:1V	1,93	1,29
	B-B	1,97	1,33	Cortes con talud 2H:1V	2,38	1,62
Depósito de relave 2	C-C	1,31	0,94	Cortes con talud 2,5H:1V	1,76	1,13

De la inspección del cuadro anterior donde se puede notar el siguiente comportamiento:

La sección A-A del Depósito de relaves N.º 01 resulta inestable en la condición pseudo estática, esto confirma lo observado en campo, donde existen deslizamientos de masas de material de relave en el talud aguas abajo. En tal sentido para mitigar dichos problemas se recomienda realizar cortes con talud 2H:1V y construir muros de protección en el pie y proveer de una cobertura adecuada.

En la sección B-B ubicado en el extremo izquierdo del Depósito de relaves N.º 01 los resultados del análisis de estabilidad indican un talud estable tanto en condiciones estáticas como pseudo estáticas sin embargo se recomienda realizar cortes con talud 2H:1V con el objeto de bajar la pendiente para las obras de cobertura. También se recomienda la construcción de un muro de protección en el pie.

En la sección C-C del Depósito de relaves N.º 02 los resultados del análisis de estabilidad indican un talud estable en condiciones estáticas sin embargo en condiciones de exposición sísmica resulta inestable con un factor de seguridad por debajo a 1,0, por lo que se recomienda realizar cortes con talud 2.5H:1V, proporcionar una capa de cobertura y la construcción de un muro de protección en el pie.

Según resultados del análisis de estabilidad de taludes en la sección A-A del depósito de relaves N° 01 se concluye el talud es inestable ante condiciones de exposición sísmica por lo cual se recomienda realizar cortes con taludes 2H:1V, construir muros de protección en el pie y colocar una cobertura adecuada. Por otro lado, el sector izquierdo (sección B-B) se presenta estable para las condiciones propuestas, sin embargo, se recomienda tomar las mismas medidas anteriores con el objeto de reducir la pendiente para las obras de cobertura.

De los resultados de análisis de estabilidad en el depósito de relaves N° 02 se concluye que los taludes son inestables en condiciones de exposición sísmica por lo que se recomienda realizar cortes con talud 2.5H:1V, proporcionar una capa de cobertura y la construcción de un muro de protección en el pie.

Diseño de estabilidad

Trazo y Replanteo

Eje de Plataforma:

Eje de Plataforma 1, inicia en la progresiva 0+000,00 (8 583 953,96 N, 502 620,32 E). Cota 4 183

Eje de Banqueta Intermedia:

Eje 1, inicia en la progresiva 0+000,00 (8 583 759,82 N, 502 636,84 E), y termina en la progresiva 0+264,49 (8 583 964,99 N, 502 583,80 E). Cota 4 169

Eje 2, inicia en la progresiva 0+000,00 (8 583 842,49 N, 502 522,84 E), y termina en la progresiva 0+135,19 (8 583 972,57 N, 502 549,14 E). Cota 4 156

Eje 3, inicia en la progresiva 0+000,00 (8 583 891,57 N, 502 494,61 E), y termina en la progresiva 0+087,61 (8 583 959,77 N, 502 506,77 E). Cota 4 143

Eje 4, inicia en la progresiva 0+000,00 (8 583 941,63 N, 502 473,81 E), y termina en la progresiva 0+038,00 (8 583 977,94 N, 502 484,63 E). Cota 4 130

Ejes de Obras Complementarias:

Eje Muro Gavión, inicia en la progresiva 0+000,00 (8 583 958,89 N, 502 461,09 E), y termina en la progresiva 0+015,00 (8 583 971,75 N, 502 464,87 E)

Ver plano: EF-DSR1

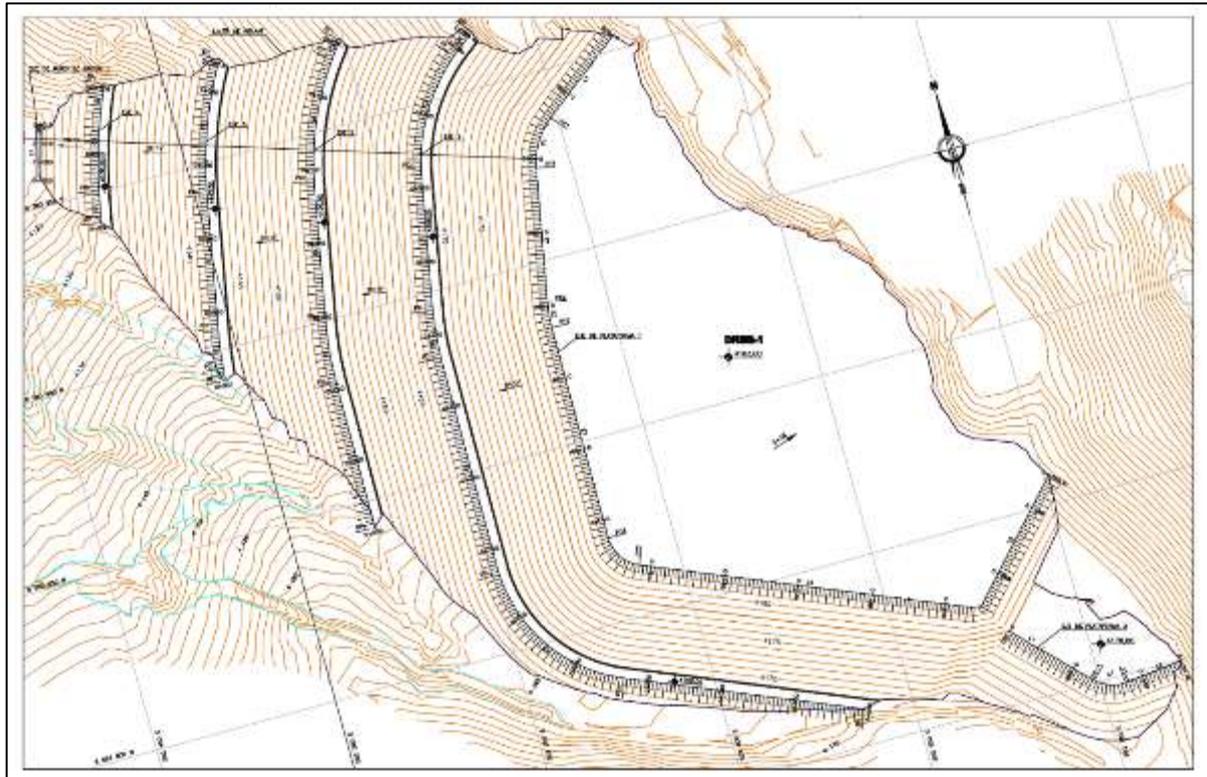
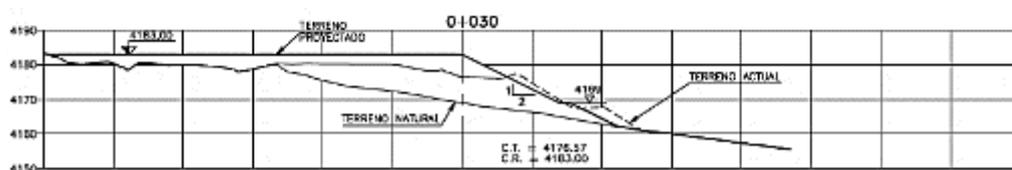
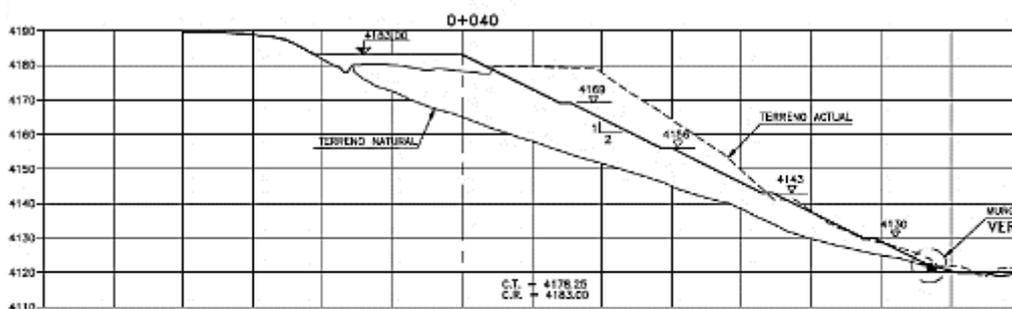
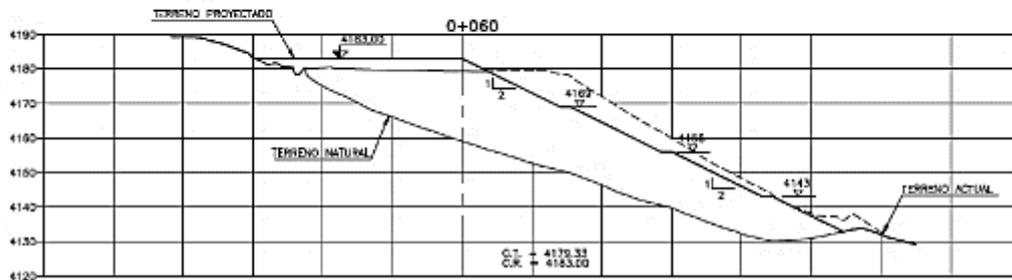
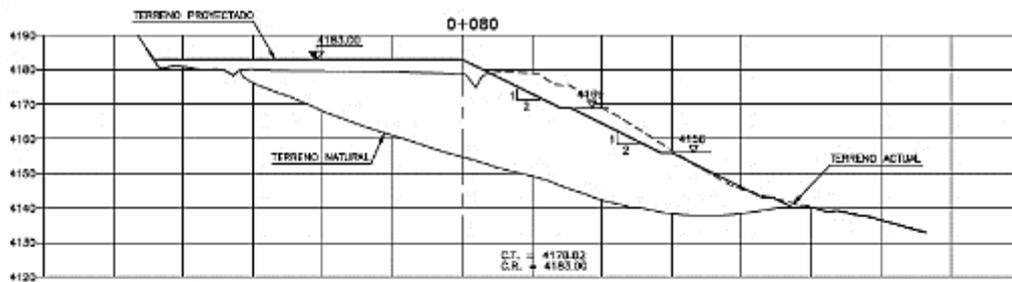
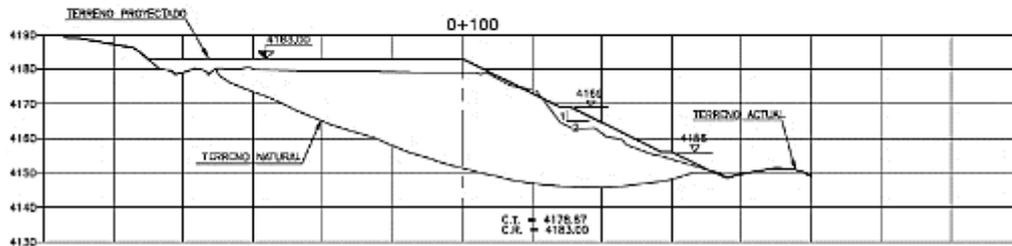
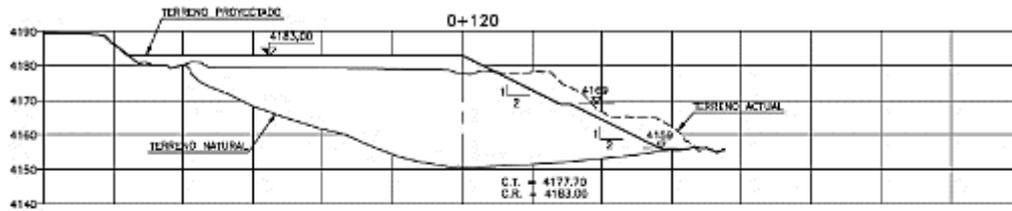
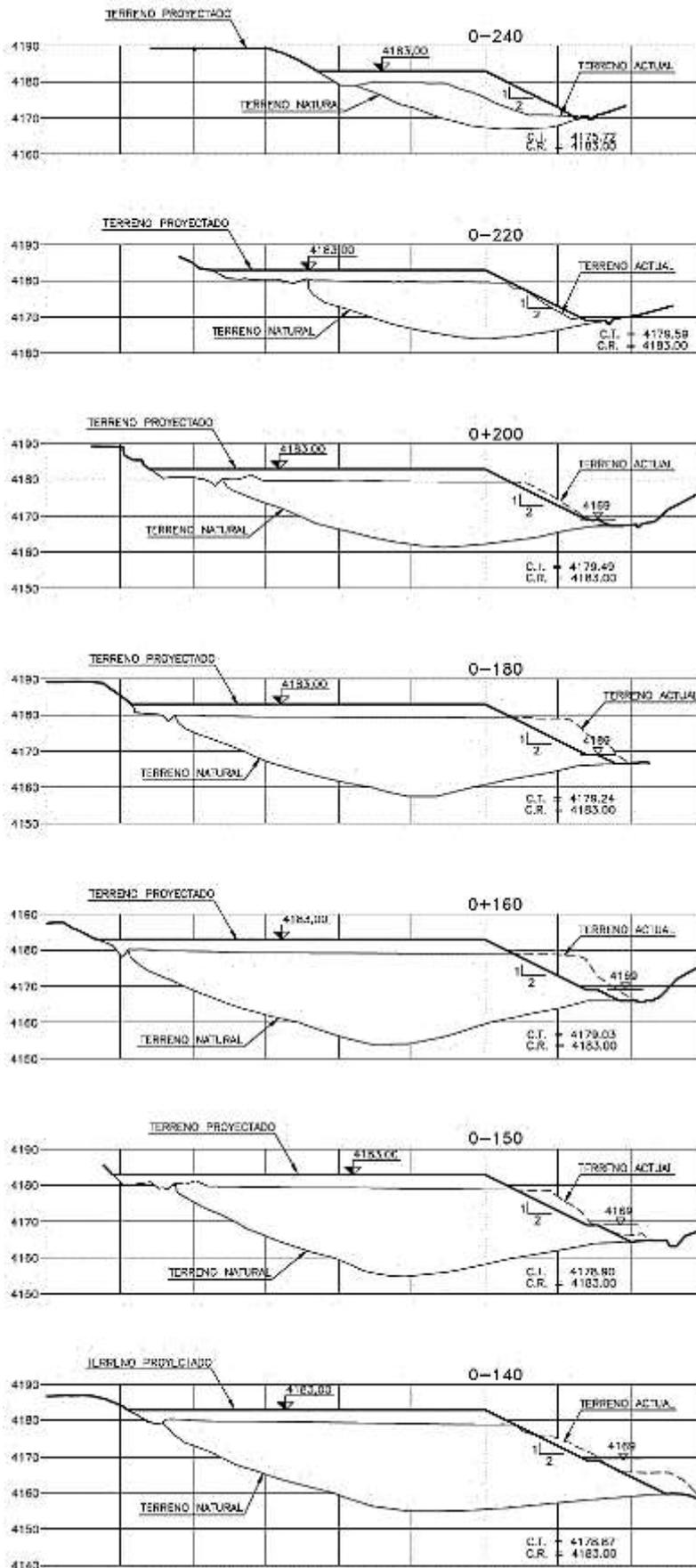


Figura 13: Plano de diseño de estabilidad Física. Ver plano EF-DSR1

VER ANEXO 4 Y 5: Perfil de muro de gavión y detalle de muro de muro de gavión.





Características hidrogeológicas del sector

El sector está drenado principalmente por las quebradas Carnicería, Saccsamarca, Molinuyoc, Queulacocha y sus respectivos tributarios de tercer orden. Regionalmente la zona ha sido fuertemente plegada formándose sinclinales por donde se ha desarrollado el drenaje de las aguas de escorrentía superficial como la quebrada carnicería, que discurren hacia el Nor – Este, hasta desembocar en el río Ichu. El eje principal de drenaje lo constituye la quebrada Carnicería con orientación de Sur Oeste a Nor Este y la quebrada Queuliacocha de Sur - Oeste a Nor – Este.

La mineralización del mercurio, con asociación del cinabrio se encuentra diseminado en las fracturas y en las brechas de falla de la formación aflorantes Goyllarisquizga. La roca que ha sido “cocinada” y molida está depositada al pie de la quebrada Santa Bárbara lo que constituye el relave grueso y relave fino. El relave está depositado en una antigua terraza de la quebrada Sta. Bárbara, cuyo relieve original tiene pendientes de 20 a 25° y está apoyado en la ladera derecha constituido de roca arenisca, la misma que está cubierta por depósitos glaciares.

Los relaves gruesos están constituidos por una mezcla de rocas areniscas y calizas gravosas predominantemente sub angulosos con arenas y sedimentos finos de alta porosidad estimándose como valor medio 15 %. Los relaves finos presentan porosidades menores estimándose en 3% y se presentan niveles de almacenamiento de agua en su superficie y dentro del cuerpo del relave. La superficie del cuerpo del relave en la parte superior es llana y el encauzamiento de las aguas de lluvia erosiona el talud poco compacto originado cárcavas y derrumbes locales durante los periodos de lluvia y posteriormente se produce la remoción de los materiales en dirección de la pendiente hasta alcanzar el pie del talud. La quebrada esta canalizada desde aguas arriba del depósito de relave por donde drena sus aguas en forma permanente Los relaves están depositados sobre las areniscas cuarzosas y cretácicas de la

Formación Goyllarisquizga, cubiertas por depósitos fluvio glaciares de espesores variables y por donde se infiltra el agua de precipitación y las de escorrentía superficial.

Las aguas que circulan por la cobertura sedimentaria siguen la dirección de la pendiente del terreno pasando por debajo de los relaves. El sentido de escurrimiento presenta dos frentes principales en los depósitos sedimentarios de origen glaciar; el que baja de las laderas laterales de la quebrada y la que sigue la dirección de la quebrada. No se produce almacenamiento de agua en los relaves gruesos por su alta permeabilidad. Las estimaciones de la porosidad, expresada en porcentaje, del 15 % aseguran el paso del agua a través de su porosidad en dirección vertical hasta llegar al contacto con los depósitos glaciares en la base del relave y de menor permeabilidad, provocando el cambio de dirección de las aguas hacia aguas debajo de la quebrada y en sentido del eje de la quebrada. Las aguas infiltradas aparecen como pequeños ojos de agua en la base del relave grueso las que son captadas por el canal perimétrico existentes en él. Los valores de permeabilidad obtenidos en laboratorio de los relaves grueso es 2.5×10^{-4} cm/s valor que corresponde a arenas gruesas a finas.

En el relave fino las aguas de precipitación son retenidas en la superficie debido a su escasa permeabilidad, ingresando pequeñas cantidades de agua al cuerpo del relave. La escasa velocidad de circulación de las aguas y su alta porosidad sólo permiten el humedecimiento del relave que se evidencian efluentes en las laderas de los relaves. La circulación horizontal de las aguas subterráneas por los depósitos fluvio glaciares compactados que soportan el peso los depósitos de relave han sufrido modificaciones de su conductividad hidráulica propiciando la disminución de la velocidad de circulación generando niveles de saturación el suelo fluvio glaciar principalmente en el límite Sur del depósito de relave. Las aguas infiltradas que siguen la dirección vertical desde la superficie del relave al entrar en contacto con el depósito sedimentario compactado en la base, migran en dirección de la pendiente del terreno por la base del cuerpo del relave, desde el flanco derecho de la quebrada hacia su eje.

Estabilización hidrológica

Para el caso de desmontes y relaves, dado que estas labores cuentan con una extensión de área drenante ladera arriba, para ello se debe trazar un canal de coronación interceptor de la escorrentía, además de contar con un sistema de drenaje interno. Se instalará sobre la plataforma, líneas de subdrenaje que capturen las aguas las cuales evacuaran a los canales laterales y otros a las cajas colectoras.

La estabilización hidrológica está comprendida por 7 tramos de canal, los que se describen a continuación.

Tramo 1: Tiene la longitud total de 249,30 m, entre la progresiva 0+000 al 0+169,50 con sección tipo T1 de mampostería con pendiente 0,002 sobre la plataforma 4 183, continua 0+169,50 al 0+185,70 con sección tipo R1 de mampostería gran pendiente hasta llegar a descarga a la caja colectora ubicada en la plataforma 4 187 y continua 0+185,70 al 0+232,70 con sección tipo T2 de mampostería con pendiente 0,002 sobre la plataforma continua 0+232,70 al 0+249,30 con sección tipo R1 de mampostería con gran pendiente hasta llegar a descarga a la caja colectora y salir finalmente hacia el colchón de mampostería.

Tramo 2: Tiene la longitud total de 259,60 m, con una sección tipo T1 de mampostería con pendiente 0,002 sobre la plataforma 4 169 y descarga finalmente al colchón de mampostería.

Tramo 3: Tiene la longitud total de 130,10 m, con una sección tipo T1 de mampostería con pendiente con pendiente 0,002 sobre la plataforma 4 156 y descarga finalmente al colchón de mampostería.

Tramo 4: Tiene la longitud total de 85,62 ml con una sección tipo T1 de mampostería con pendiente con pendiente 0,002 sobre la plataforma 4 143 y descarga finalmente al colchón de mampostería.

Tramo 5 : Tiene la longitud total de 118,40 m, entre la progresiva 0+000 al 0+043,50 con sección tipo R1 de mampostería con gran pendiente hasta llegar descarga a la caja colectora

ubicada en la banqueta 4 330 continua 0+043,50 al 0+085,40 con sección tipo T1 de mampostería con pendiente 0,002 en la banqueta, continua 0+085,40 al 0+103,70 con sección tipo R1 de mampostería con gran pendiente hasta llegar a descarga a la caja colectora ubicado en el muro de gavión continua 0+103,70 al 0+118,40 con sección R1 de mampostería con pendiente 0,002 hasta descarga finalmente al colchón de mampostería.

Tramo 6A: Tiene la longitud total de 61,64 m, con sección tipo R1 de mampostería con pendiente variable de acuerdo a la superficie de terreno natural descarga en la caja colectora y entrega finalmente al tramo 3.

Tramo 6B: Tiene la longitud total de 52,64 m, con sección tipo R1 de mampostería con pendiente variable de acuerdo a la superficie de terreno natural descarga en la caja colectora y entrega finalmente al tramo 4.

Los trazos de ejes de canal en planta se pueden ver en el plano EH-DSR1-2

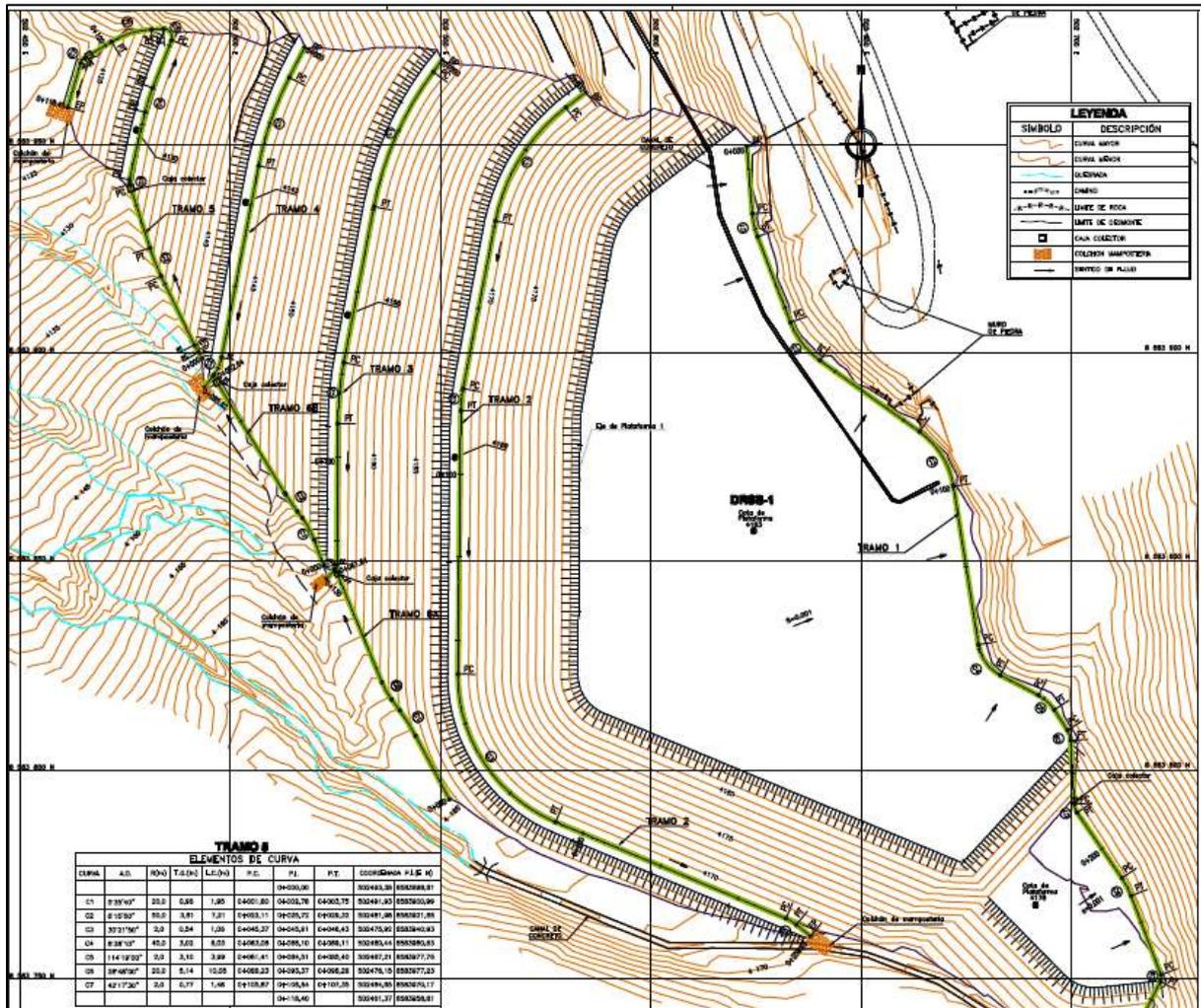


Figura 14: Diseño de estabilidad hidrológica. ver el plano EH-DSR1-2

VER ANEXO 6 Y 7: Canal de coronación y canal transversal, respectivamente.

Estabilidad Geoquímica

Los depósitos de relaves son generadores de acidez, por lo que para la estabilización geoquímica se está considerando el diseño de cobertura que permita impermeabilizarlos (ANEXO 8).

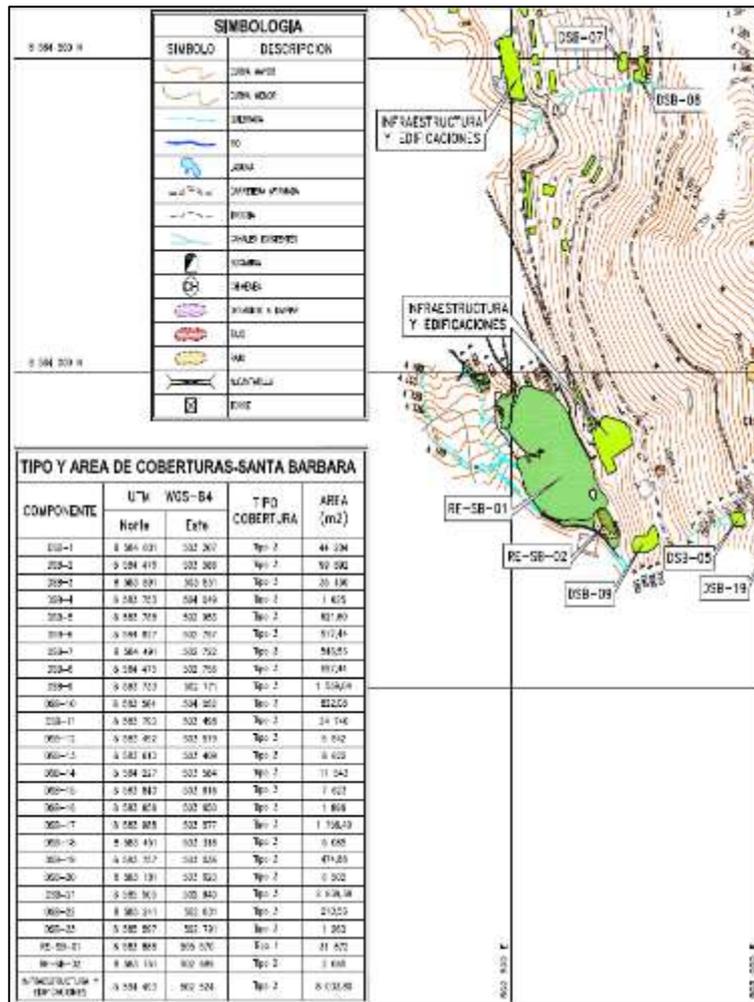


Figura 15: Simbología de los Depósitos de Relaves 1 – 2 y su Tipo de coberturas.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Tal y como menciona (Oldecop, Zabala, F., Pacheco, R. R. , & Libardi, L. G., 2008), la mayoría de los depósitos de relaves existentes en la actualidad se han construido mediante sistema de relleno hidráulico, que consiste en captar los relaves de la planta concentradora y transportarlas por tubería mezclados con agua. Los residuos del proceso de flotación, en esencia roca finamente molida mezclada con agua, con la consistencia de un lodo llamado pulpa, son bombeados a través de tuberías hacia el depósito.

La infiltración de aguas superficiales procedentes de relaveras, escombreras piritosas, pilas de lixiviación, áreas de beneficio y desechos humanos, causan serios daños en la calidad del agua subterránea (Tovar Pacheco, El agua subterránea en el medio ambiente minero y su importancia en los planes de cierre., 2015). Por tal motivo en la presente se propone un control físico, hidrológico y geoquímico que garantice la no contaminación del agua subterránea.

Se obtuvieron resultados de análisis de estabilidad física similar a los de (Avellaneda-Puri, 2020). Concluye que los resultados de los factores de seguridad para el depósito de relave de flotación son 1,7 en condiciones estáticas y 1,34 para condiciones pseudo-estáticas, mientras que para el depósito de relaves de cianuración los valores son de 1,79 en condiciones estáticas y 1, 29 para condiciones pseudo-estáticas, siendo valores en ambos casos, superiores a los factores de seguridad mínimos requeridos por la legislación vigente, por lo que ambas estructuras son físicamente estables, tanto en condiciones estáticas como pseudo-estáticas.

Es muy importante esta investigación porque beneficia a la población de la zona de influencia y principalmente a las autoridades para que puedan tomar cartas en el asunto y hacer el control adecuado de la etapa de cierre de minas.

4.2. Conclusiones

Del estudio para el diseño de estabilidad física e hidrológica del depósito de relave 1-2 se concluye que:

Para la estabilidad física, las actividades de movimiento de tierra del material suelto y relleno compactado con maquinaria se desarrollará in situ, hasta obtener el talud 2H:1V (26,5°), recomendado por el análisis de estabilidad.

El área que ocupará el depósito de desmonte luego de la estabilidad física es de 3,19 ha, con volúmenes de corte y relleno de 49 222 m³ y 49 222 m³ (ANEXO 9) conformado por: 01 plataformas, 04 banquetas intermedias de ancho mínimo de 3m y 01 muros de gaviones como obras complementarias.

Se ha determinado el factor de seguridad de los taludes actuales de los depósitos de relaves, estos análisis se han realizado en condiciones estáticas y pseudo estáticas. También se ha verificado la estabilidad de los taludes recomendados para la estabilización. De acuerdo a los análisis efectuados se concluye que:

El Depósito de relaves N1 resulta inestable en la condición pseudo estática esto confirma lo observado en campo donde se observa desplazamientos de masas de material de relave en el talud aguas abajo. Para estabilizar los taludes se recomienda realizar cortes con talud 2H: 1 V con muros en el pie.

Para el caso del Depósito de relaves N2 los resultados del análisis de estabilidad indican un talud estable tanto en condiciones estáticas sin embargo en condiciones de exposición sísmica resulta inestable con un factor de seguridad por debajo a 1, 0 por lo que se recomienda realizar cortes con talud 2. 5HIV.

REFERENCIAS

Aduvire, O., López Jimeno, C., & Aduvire, H. (2000). *Guía de Abandono y Clausura de Minas Subterráneas*. Madrid: ETSI Minas de Madrid.

Avellaneda y Avellaneda (2020). Evaluación de la estabilidad física del depósito integrado de relaves San Andrés (Perú). *Minería y Geología* / v.36 n.1 / enero-marzo / 2020 / p. 33-49.

Brady B. y Brown E. (2004) *Rock Mechanics for underground mining: Third edition*. DOI: 10.1007/978-1-4020-2116-9.

Chura, L. (2013). *Diseño Del Cierre En Pasivos Ambientales De Labores Mineras A Menor Costo y Minimización de Impactos De Mina Ishihuinca Caravelí, Arequipa Perú*.

Equipo Programa Tranque, Fundación Chile. 2018: *Avances y Retos para la Gestión de los Depósitos de Relaves en Chile*. ISBN: 978-956-8200-46-6. Consulta: 19/07/2019. Disponible en: <https://fch.cl/wp-content/uploads/2018/11/TRANQUE-2018-1.pdf>

Gómez P. (2013). *Cierre De Bocaminas y Chimeneas de la zona De San Rafael – Puno*. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO.

<https://www.sernageomin.cl/preguntas-frecuentes-sobre-relaves/>

Ministerio de Energía y Minas. 2018: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. D.S. N° 024-2016-EM. Lima, Perú. Consulta: 10/08/2019. Disponible en: <https://es.slideshare.net/JoseildeDuque/reglamento-de-seguridad-y-salud-ocupacional-en-minera>.

Oldecop, L. y Rodríguez, R. 2007: Mecanismos de fallas de las presas de residuos mineros. Ingeniería Civil, 9: 148-181. Consulta: 17/08/2019. Disponible en: http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_articulo/Ingcivil/2007_148_181.pdf

Oldecop, L.; Zabala, F.; Pacheco, R. R. y Libardi, L. G. 2008: Funcionamiento hidráulico, estabilidad y mecanismos de rotura de presas de relaves mineros. In: V Congreso Argentino de Presas y Aprovechamientos Hidroeléctricos. At Tucumán, Argentina.

Peters, G.; Verdugo, R.; Echevarría, J. y Caro, G. 2014: Estudio geotécnico para el emplazamiento de un depósito de relaves espesados sobre uno convencional existente. En: VIII Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica. 26-28 noviembre, Chile. Consulta: 18/08/2019. Disponible en: <http://cmgi.cl/publicacionesweb/peters/estudio%20geotecnico%20para%20el%20emplazamiento%20de%20un%20deposito%20de%20relaves%20espesados%20sobre%20uno%20convencional%20existente.pdf>

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. 2018: Guía Metodológica para Evaluación de la Estabilidad Física de Instalaciones Mineras Remanentes. Valparaíso. Consulta:

22/08/2019. Disponible en: <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2019/06/GUIA-METODOLOGICA.pdf>

Rennat, E. A. 1997: Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Depósitos de Desechos Sólidos de Mina. Lima: Ministerio de Energía y Minas. Consulta: 10/08/2019.

Disponible en: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/guiaestabilidad.pdf>

SVS Ingenieros S.A.C. 2009: Evaluación de la Estabilidad Física del Dique Principal y de los Depósitos de Relaves de Cianuración San Andrés. Lima.

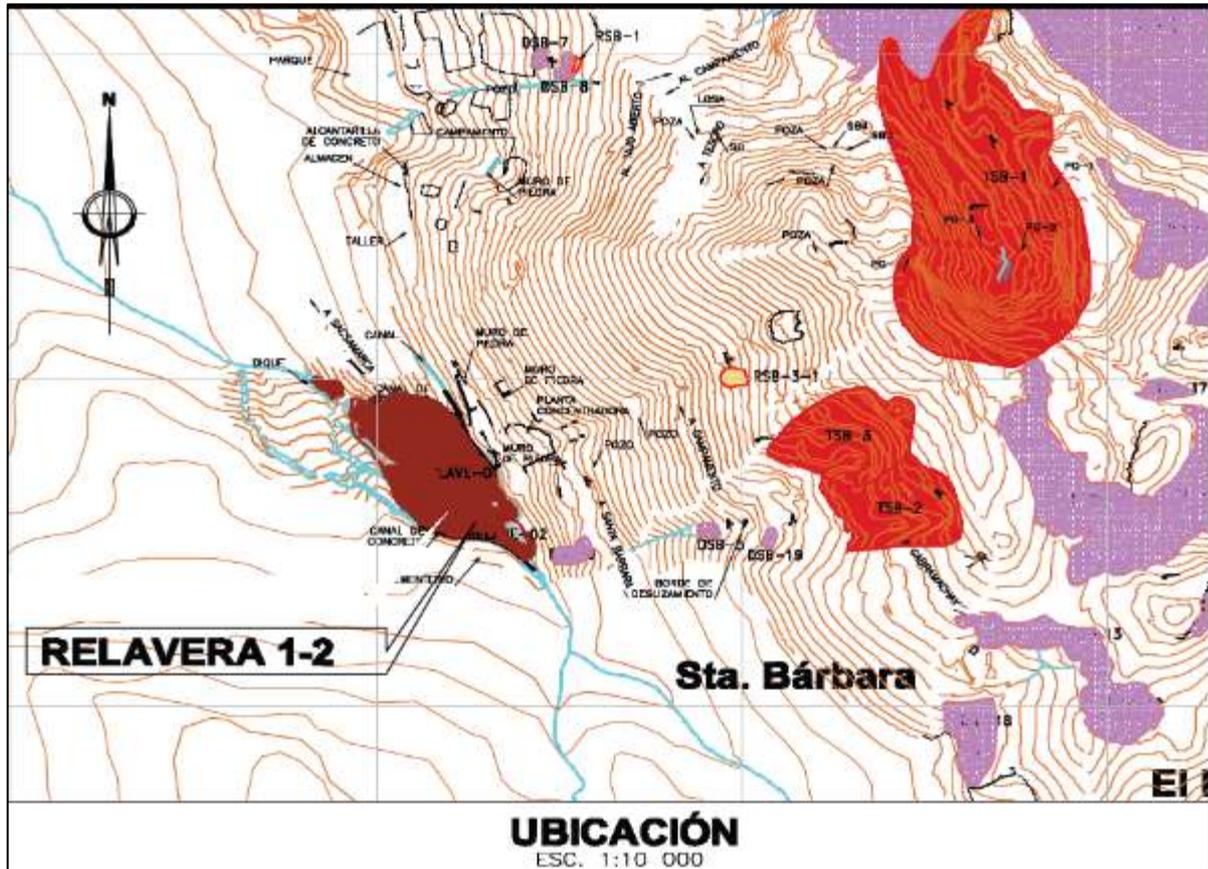
Tecnología XXI S.A. 2011: Evaluación de la Estabilidad Física y Química de los Depósitos Operativos UEA Retamas. Lima.

Tovar Pacheco, J. A. 2015: El agua subterránea en el medio ambiente minero y su importancia en los planes de cierre. Consulta: 26/07/2019. Disponible en: http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/dgaam/publicaciones/curso_cierreminas/02_T%C3%A9cnico/02_Hidrolog%C3%ADa/TecHidro-L2_Aguas%20Subterr%C3%A1neas.pdf

U.S. Army Corps of Engineers-USACE. 2003: Slope Stability, EM 110-2-1902, Engineering Manual. Washington, DC. Consulta: 10/08/2019. Disponible en: https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-2-1902.pdf?ver=2014-05-07-083439-823

ANEXOS

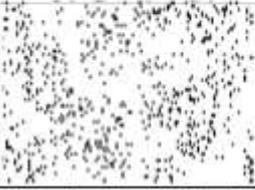
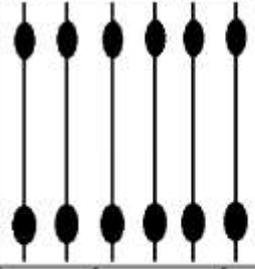
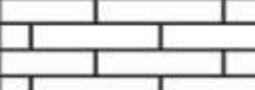
Anexo 1: Ubicación del depósito de relave N° 01.

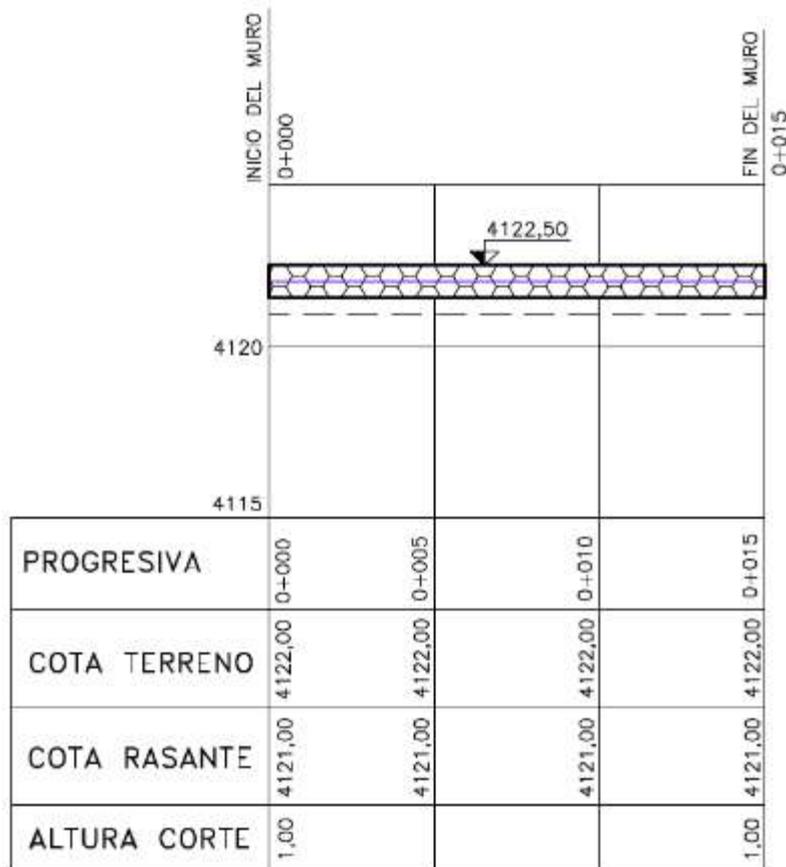


Anexo 2: Perfil estratigráfico del depósito de relave N° 01.

Prof. (m)	Capa	Descripción	Clasificación		Contenido de humedad (%)	Límites de consistencia	
			Símbolo	Símbolo gráfico		LL(%)	IP(%)
1.50	1	Grava mal gradada con limo y arena (Relave suelto)	GP		3,17	-	NP
2.00	2	Grava mal gradada con limo y arena (Relave) en estado medianamente compacto	GP		3,17	-	NP
2.00	3	macizo rocoso.			-	-	-

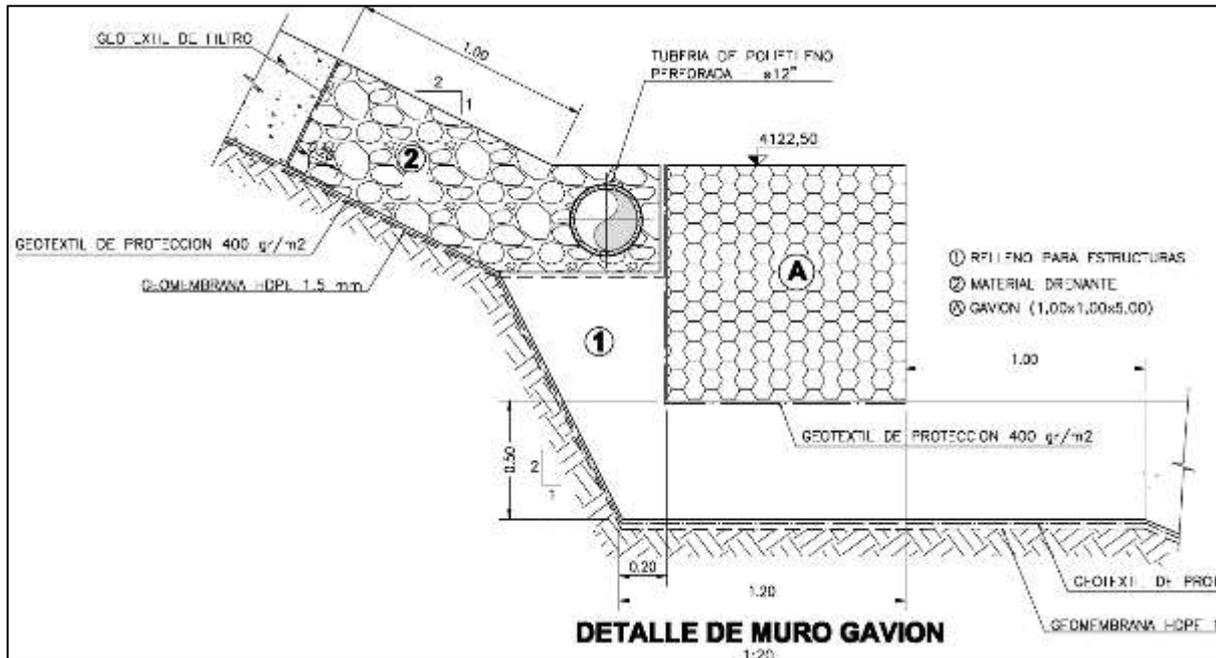
Anexo 3: Perfil estratigráfico del depósito de relave N° 01.

Prof. (m)	Capa	Descripción	Clasificación		Contenido de humedad (%)	Límites de consistencia	
			Símbolo	Símbolo gráfico		LL(%)	IP(%)
2.00	1	Material de limo de baja plasticidad con arena (Relave) en estado suelto	SP		6,16	-	NP
5.00	2	Limo de baja plasticidad con arena en estado medianamente compacto (Relave consolidado)	SM		12,26	-	NP
5.00	3	macizo rocoso.			-	-	-

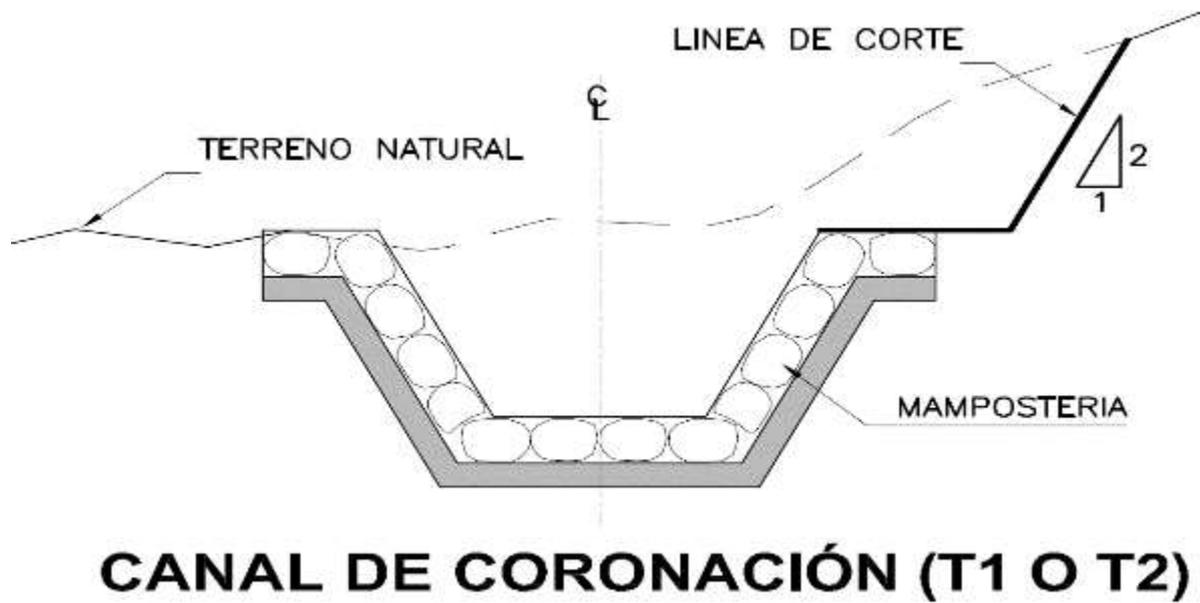
Anexo 4: Perfil del muro de gavión 1.

PERFIL DEL MURO DE GAVION 1

ESC. 1:200

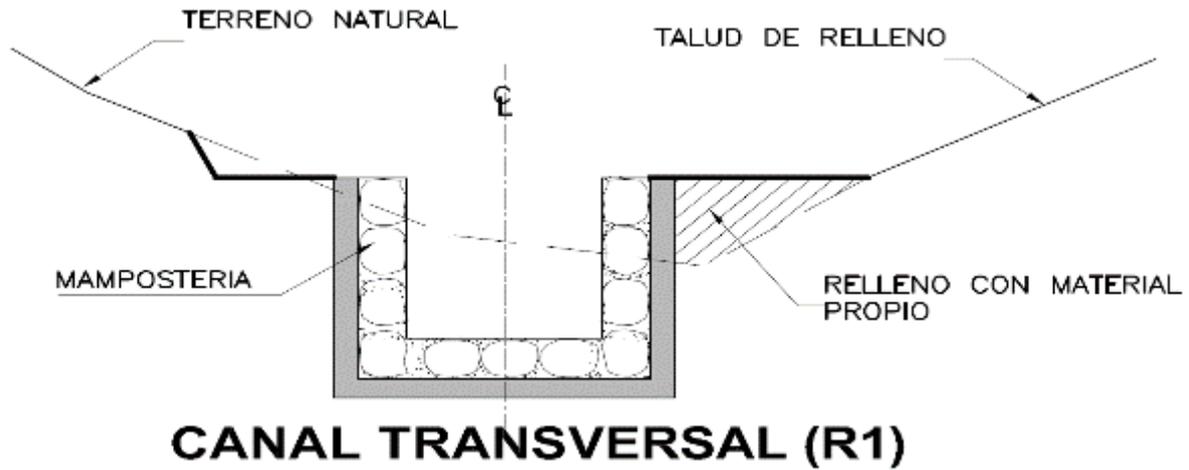
Anexo 5: Detalle de muro de gavión.



Anexo 6: Canal de coronación (T1 O T2).



Anexo 7: Canal transversal (R1).



Anexo 8: Leyenda de coberturas, según su tipo.



Anexo 9: Movimiento de tierra.

MOVIMIENTO DE TIERRA			
ITEM	VOLÚMEN (m³)		
	CORTE	RELLENO	NETO
DRSB-1,2	49 222	49 222	0