

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

“EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD DE TALUDES PARA LA PROPUESTA DE DISEÑO DE LOS BOTADEROS HUAMUYO ALTO Y BAJO EN UNA MINA SUBTERRÁNEA, HUAROCHIRÍ 2023”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Jose Gaspar Chilon Pompa

Asesor:

M. Sc. Daniel Alejandro Alva Huamán
<https://orcid.org/0000-0002-1053-9347>

Cajamarca - Perú

JURADO EVALUADOR

| | | |
|---------------------------|--|-----------------|
| Jurado 1 Presidente(a) | Miguel Ricardo Portilla Castañeda | 45209190 |
| | Nombre y Apellidos | Nº DNI |

| | | |
|----------|-----------------------------------|-----------------|
| Jurado 2 | Rafael Napoleón Ocas Boñon | 41837947 |
| | Nombre y Apellidos | Nº DNI |

| | | |
|----------|-------------------------------------|-----------------|
| Jurado 3 | Oscar Arturo Vásquez Mendoza | 46795074 |
| | Nombre y Apellidos | Nº DNI |

INFORME DE SIMILITUD

TESIS_GASPAR_CHILON_POMPA.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante | 2% |
| 2 | www.yumpu.com Fuente de Internet | 2% |
| 3 | repositorio.uchile.cl Fuente de Internet | 2% |
| 4 | repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 5 | repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 6 | repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 7 | dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet | 1% |
| 8 | SNC LAVALIN PERU S.A.. "Modificación del Plan de Cierre de Minas de la Unidad Minera Pozo Rico-IGA0005184", R.D. N° 199-2019/MINEM-DGAAM, 2020 Publicación | 1% |

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado la vida, salud y diversas bendiciones; a mi familia quien me brindo su apoyado para poder llegar a esta instancia de mis estudios, ya que siempre ha estado presente por su apoyo y valores inculcados en mi formación; por su motivación a seguir adelante para alcanzar mis metas trazadas.

También la dedico mi tesis a mi hijo quien ha sido mi mayor motivación para nunca rendirme en los estudios y poder llegar a ser un gran ejemplo para él.

Gaspar Chilon.

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser parte fundamental en nuestras vidas, en la manera de guiarnos por un buen camino, en el logro de nuestro proyecto de tesis con mucho éxito.

A mi familia y a la vez que nos brindaron su confianza, apoyo y enseñanzas para lograr la superación en el ámbito académico.

A la **Universidad Privada Del Norte**, por permitirnos cursar sus aulas con el apoyo de sus docentes con alta experiencia para formarnos como buenos profesionales sin perder los valores mediante una enseñanza de calidad.

Gaspar Chilón.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| JURADO EVALUADOR | 2 |
| INFORME DE SIMILITUD | 3 |
| DEDICATORIA | 4 |
| AGRADECIMIENTO | 5 |
| TABLA DE CONTENIDO | 6 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 7 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 8 |
| RESUMEN | 9 |
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN | 10 |
| 1.1. Realidad problemática | 10 |
| 1.2. Formulación del problema | 22 |
| 1.3. Objetivos | 22 |
| 1.3.1. Objetivo General | 22 |
| 1.3.2. Objetivos específicos | 22 |
| 1.4. Hipótesis | 23 |
| CAPÍTULO II: METODOLOGÍA | 24 |
| CAPÍTULO III: RESULTADOS | 35 |
| CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES | 43 |
| REFERENCIAS | 49 |
| ANEXOS | 52 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Síntesis de propiedades físicas para la matriz rocosa del sitio..... | 28 |
| Tabla 2: Parámetros geotécnicos - Huamuyo bajo..... | 35 |
| Tabla 3: Análisis de estabilidad de las botaderos de desmonte..... | 42 |
| Tabla 4: Generación de desmonte 2022..... | 42 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Modelo de un talud natural | 16 |
| Figura 2: Método de equilibrio límite. (a) Criterio de falla. (b) Descomposición de fuerzas. | 18 |
| Figura 3: Esquema estático – Método Morgenstern-Price | 19 |
| Figura 4: Factores de seguridad recomendados para taludes nuevos, considerando una lluvia con período de retorno de diez años | 20 |
| Figura 5: Coeficientes de seguridad según normativa | 22 |
| Figura 6: Ubicación de los botaderos de desmonte – Huamuyo | 25 |
| Figura 7: Ubicación de desmonteras - Nivel 190 | 26 |
| Figura 8: Clasificación GSI adaptado para mina | 29 |
| Figura 9: Formato de recolección de datos | 30 |
| Figura 10: Software Geotécnico GEO5 | 32 |
| Figura 11: Modelo genético Huarochirí columna estratigráfica | 33 |
| Figura 12: Análisis de estabilidad estático Huamuyo Bajo - Método Morgenstern-Price..... | 36 |
| Figura 13: Análisis de estabilidad pseudo estático Huamuyo Bajo - Método Morgenstern-Price .. | 37 |
| Figura 14: Parámetros geotécnicos - Huamuyo alto..... | 38 |
| Figura 15: Análisis de estabilidad pseudo-estático Huamuyo Alto - Método Morgenstern-Price... | 38 |
| Figura 16: Sistema Erdox..... | 40 |
| Figura 17: Estructura del sistema Erdox | 41 |

RESUMEN

La presente tesis tiene por finalidad Analizar las condiciones de estabilidad de taludes para los diseños propuestos de los botaderos Huamuyo alto y bajo en una mina subterránea ubicada en Huarochirí. El depósito de desmonte Huamuyo bajo N° 190 este cimentado sobre afloramientos de rocas volcánicas constituidas por andesitas; depósitos aluviales, constituidos por sedimentos que cubren parcialmente al basamento rocoso; y detritos de escombros de origen coluvial, los cuales presentan condiciones geotécnicas favorables.

Concluyendo que, en el diseño de la desmontera Huamuyo Bajo con la finalidad de verificar el factor de seguridad (FS) en condición estático y pseudo-estático, se realizó el análisis de estabilidad considerando los 03 elementos de diseño (talud del depósito de desmonte, muro de suelo reforzado y el suelo reforzado con geomallas), Para el caso estático el factor de seguridad mínimo (FS_{min}), para la superficie de falla más crítica es 1.697, y para el caso pseudo-estático con coeficiente sísmico 0.19 g., el FS_{min} es 1.348. Ambos resultados son satisfactorios porque son mayores a los valores permisibles 1.50 y 1.0 respectivamente. Para la desmontera Humuyo Alto con la finalidad de verificar el factor de seguridad (FS) en condición estático y pseudo-estático, se realizó el análisis de estabilidad considerando los 03 elementos de diseño (talud del depósito de desmonte, muro de suelo reforzado y el suelo reforzado con geomallas), Para el caso estático el factor de seguridad mínimo (FS_{min}), para la superficie de falla más crítica es 1.68, y para el caso pseudo-estático con coeficiente sísmico 0.19 g., el FS_{min} es 1.15. Ambos resultados son satisfactorios porque son mayores a los valores permisibles 1.50 y 1.0 respectivamente.

PALABRAS CLAVES: Estabilidad, taludes, botaderos, desmonte F.S.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Peligros geológicos tales como desprendimientos, deslizamientos de tierra, derrumbes de rocas y erosión de laderas ocurren en la mayoría de las 106 cuencas hidrográficas de Perú. Su ocurrencia se encuentra principalmente en laderas y escarpes, valles costeros y bosques altos, así como en acantilados costeros y tramos de caminos, para los cuales las condiciones litológicas, precipitaciones, disponibilidad de agua y los propios rieles son favorables. En el caso de los deslizamientos de tierra, los factores que conducen a los deslizamientos de tierra incluyen el debilitamiento de una pendiente inferior, la alteración o el ajuste de una pendiente natural, la presencia de puntos débiles como fallas y fracturas, la precipitación y la infiltración de agua. , movimientos sísmicos y uso excesivo de explosivos (Carrión, 2019).

Uno de los problemas asociados a las montañas son los procesos geotécnicos activos de las laderas y taludes, que corresponden principalmente al movimiento hacia abajo y hacia afuera de los materiales que componen el talud de la roca, suelo natural o cubierta rocosa, o una combinación de estos. Los movimientos típicamente ocurren a lo largo de las superficies de las fallas debido a la caída libre, el movimiento de masas, la erosión o el flujo (Carrión, 2019).

Este distrito minero pertenece a la jurisdicción política del distrito de San Mateo, provincia de Huarochiri y departamento de Lima. Ocupa un área aproximada de 60 km². Los desmontes son provenientes de interior mina y son transportados hacia los botaderos de desmonte de la siguiente manera: los carros mineros, Scooptram acarrear el desmonte hacia el echadero principal (ORE WASTE), de este echadero mediante una tolva se realiza el

carguío del desmonte al volquete y/o dumper. También se cuenta con cámaras de almacenamiento de material, de igual forma el scooptram realiza el carguío del desmonte al volquete y/o dumper. Los volquetes, dumper transportan y descargan el desmonte en los lugares establecidos como depósitos de desmontes. Una vez acumulada el desmonte en la plataforma del botadero, se realiza el extendido del material considerando el diseño de Ingeniería, para no afectar la estabilidad de la desmontera.

En el presente trabajo de investigación se consideraron algunos antecedentes de estudios previos que permitan realizar una comparación con los resultados encontrados. A nivel internacional, Domínguez (2018) en su tesis "Análisis de taludes por el método Bishop", tuvo el objetivo principal es facilitar y agilizar el cálculo del factor de seguridad de taludes heterogéneos, y esto se realiza mediante un programa digitalizador programado en Excel. Para obtener este valor se utilizará el método de Bishop para suelos cohesivos. Concluyendo que, es posible construir un programa de análisis de taludes con suelo friccional; también pueden ser heterogéneos (hasta 4 clases diferentes), lo cual es más común cuando se diseña un centro de práctica profesional. Además, este programa ha sido desarrollado en un software muy popular entre los principales programas que suelen descargarse en la computadora, como "Excel", por lo que este programa puede considerarse fácil de usar y práctico. Durante la programación de prueba y error realizada con este programa, se pudieron observar algunos errores menores en los cálculos de Bishop, principalmente evidentes en forma de geometría de gradiente, que es muy difícil de programar. sin embargo, como se mencionó, este error es mínimo y pertenece al aspecto de seguridad, por lo que puede comprender que no hay riesgo al usar este programa.

Según Hernández (2019), en su trabajo de investigación "Hacia la automatización del análisis de estabilidad de taludes mineros", siendo el objetivo principal obtener un procedimiento automatizado, que permita evaluar la estabilidad mecánica de taludes mineros y que pueda ser acoplado con los resultados tradicionales obtenidos en la etapa de planificación minera. Esto permite disminuir los tiempos de procesamiento y avanzar en la futura integración completa de los tres procedimientos: diseño, planificación y análisis de estabilidad. Para alcanzar este objetivo, este trabajo utiliza e integra los softwares: Whittle y Surpac de GEOVIA, Abaqus y Isight de SIMULIA y Python de código abierto. Tras la integración de estos softwares, se presenta un procedimiento de evaluación de estabilidad de taludes mineros automatizado. Este proceso toma como entrada el modelo de bloques de la fase de planeamiento de la mina y las propiedades del macizo rocoso. Nótese que no existe una tendencia clara en los resultados en cuanto al comportamiento del factor de seguridad al variar el valor del ángulo de expansión. Los datos muestran un comportamiento errático y muy voluble. Ajustar la curva al comportamiento exponencial, que es el mejor ajuste, conduce a un coeficiente de determinación bajo, especialmente para suelos, por lo que no se considera un buen ajuste.

Por otro lado, a nivel nacional Jacobo y Mamani (2020) en su tesis "Evaluación geotécnica del botadero número 5 para prevenir riesgos de deslizamientos en la concesión minera "San Francisco 2011" de la Provincia de Caravelí del Departamento de Arequipa", siendo el objetivo general realizar una evaluación geotécnica del talud del botadero 5 de desmonte de la concesión minera "San Francisco 2011", en el cual no se realizó estudios de estabildades de taludes, determinadas las características geotécnicas se procedió a realizar una evaluación y análisis mediante el método de Bishop y Jambú para un caso estático y

pseudoestático. Se afirma que el talud en su estado actual es inestable con alta probabilidad de derrumbes en las vías de comunicación de la empresa y puede provocar inundaciones de estructuras inferiores ubicadas cerca del talud. En la situación actual el material del talud representa un peligro pudiendo ocurrir un deslizamiento afectando a las labores y estructuras aguas abajo; el FS analizado por la formulación de Jambú en el caso estático fue de 1.99 y pseudoestático fue de 0.78; mediante el método de Bishop en el caso estático fue de 2.06 y pseudoestático fue de 0.81; estos valores no cumplían la normativa legal para que un talud sea estable por lo cual se consideró la aplicación de soportes para aumentar el factor de seguridad, los soportes a utilizar fueron pernos split set y mallas electrosoldadas, posteriormente se volvió a realizar el análisis del FS mediante la formulación de Jambú en el caso estático con soportes Split set y mallas electrosoldadas cumpliendo así la normativa actual.

También Sacachipana y Yerva (2021), en su tesis "Estudio geotécnico para el diseño y estabilidad del botadero de desmonte en el distrito de Chala provincia de Caravelí - Región Arequipa", su finalidad es realizar análisis geotécnicos de áreas donde se ha producido suficiente acumulación de residuos y así lograr la estabilidad de taludes, por lo que su diseño debe poder soportar el marco legal y ambiental. Concluyendo que la pendiente actual es insostenible debido al potencial de derrumbes a corto plazo que afectan los caminos de acceso en varios pilotes, actualmente no existen medidas de control apropiadas en el área. realizar la recogida de residuos. Por otro lado, las muestras tomadas en campo se pudieron analizar en laboratorio en la que nos permitieron poder caracterizar geotécnicamente la evaluación del talud de desmonte en la cual tiene una humedad de 1.3%

con una densidad máxima de 2.201 g/cm³ y una densidad mínima de 1.961 g/cm³ en la que esta no presenta una cohesión en la cual está sometido a diferentes procesos de fragmentación por la voladura realizada en interior mina.

Según Vilca (2019) en su tesis "Estudio geotécnico para la estabilidad del talud del depósito de desmonte santa rosa del proyecto santa rosa - Arequipa", su objetivo principal fue determinar las características geotécnicas de los materiales y sitio para la construcción del relleno sanitario del proyecto Santa Rosa – Arequipa. La metodología aplicada fue con enfoque cuantitativo no experimental porque se usará datos cuantitativos en los cuales usaremos datos ya existentes (Ensayos triaxiales, estudios hidrogeológicos, ensayos de permeabilidad) los cuales no se podrán manipular o modificar, de nivel correlacional ya que las variables de tendrán relación entre sí. Los resultados del análisis estático y pseudoestático realizado con el Software Slide V. 6.0 han determinado factores de seguridad por encima de los mínimos permisibles recomendados (1.5 en condiciones estáticas y 1.3 en condiciones pseudoestáticas), además según el cálculo de la capacidad portante se ha inferido que las 422 500.00 ton de desmonte que se dispondrá, está por debajo de la máxima capacidad portante admisible total que es de 18 585 120.00 ton. Concluyendo que el depósito de desmonte Santa Rosa se encuentra físicamente estable y alcanzará una capacidad planificada de 416,400.00 toneladas de ganga durante los 10 años de vida esperados de la mina.

Así mismo, Mamani (2019), en su tesis "Estudio Geotécnico para el Diseño y Estabilidad del Botadero de Desmontes 3 del Proyecto Minero LAS ÁGUILAS", tuvo por objetivo general determinar los parámetros geotécnicos de los materiales del terreno de cimentación, las propiedades físico-mecánicas y químicas del material de desmonte;

evaluando la condición de la estabilidad física, química e hidrológica del Botadero, para luego proyectar obras de estabilización, y diseñar las obras de drenaje de aguas superficiales y sub-superficiales. El método asumido fue con enfoque Cuantitativo No Experimental, porque se usará datos cuantitativos ya existentes (Ensayos de resistencia) los cuales no se podrán manipular o modificar, de nivel correlacional ya que las variables de tendrán relación entre sí. Concluyendo que de la evaluación sísmica para el caso del análisis pseudo-estático de estabilidad del botadero de desmonte 3 se considera un valor de aceleración básica de diseño horizontal de 0,16 g. De acuerdo con los resultados del estudio geotécnico y los resultados del cálculo de estabilidad de taludes, el talud de diseño es estable con la condición de talud propuesta con un factor de seguridad de 3,494 calculado en condiciones estacionarias con coeficientes sísmicos, 0.00 g mayor a 1.5 es el mínimo permitido, y se calcula un factor de seguridad de 2.394 en condiciones pseudoestáticas teniendo en cuenta un factor sísmico de 0,16 g, que supera el mínimo aceptable es 1,3.

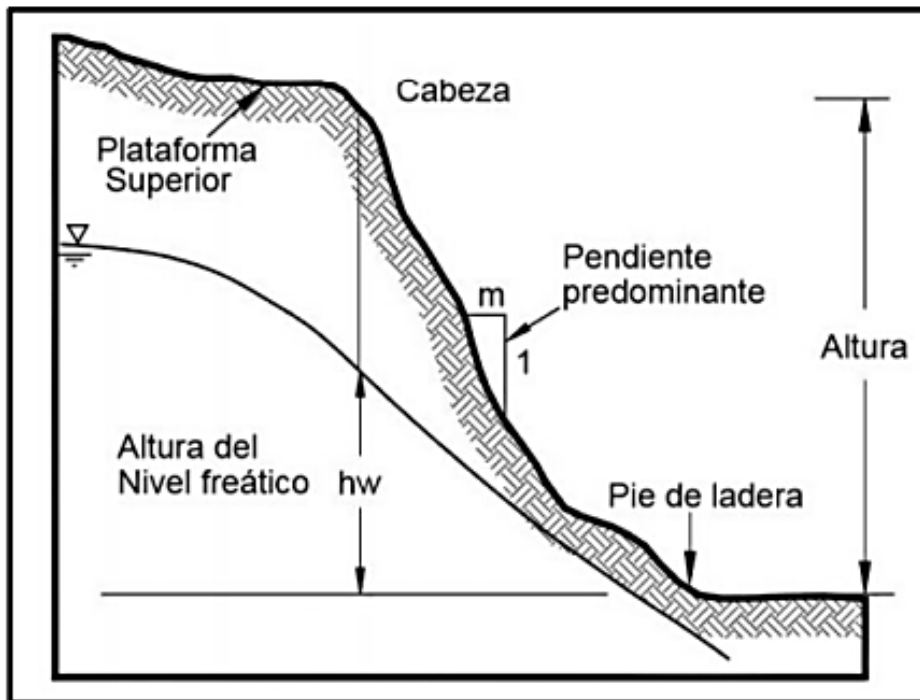
Según Urteaga (2017), en su tesis "Estabilización de talud con sistema erdox en taludes de carreteras", tuvo como objetivo general dar a conocer este nuevo tipo de sistema de estabilización de taludes con la finalidad de que sea más utilizado en nuestro país. El sistema ErdoX es un nuevo sistema de protección de taludes en Perú que tiene ventajas sobre la mayoría de los métodos existentes; en su naturaleza es similar al sistema Terramesh (uno de los sistemas más utilizados en el país para la protección de taludes). Tenga en cuenta que con el sistema Terramesh, al igual que con otros sistemas similares de protección de taludes, es fundamental transportar materiales de construcción con las mejores propiedades para garantizar el correcto funcionamiento del sistema; sin embargo, si está involucrado en un proyecto donde el envío de materiales de buena calidad no solo aumenta los costos, pero el

tiempo también se ve afectado por la lejanía de las canteras donde se encuentran los materiales con las propiedades deseadas. En este tipo de casos se resalta el beneficio del sistema ErdoX que no necesita transportar material de mejores características para la mayoría de los casos. Los costos por m² de cada tipo de elemento ErdoX no varían significativamente, por lo que, al analizar una inestabilidad de talud, es mejor optar por los modelos reforzados, para así poder colocar la menor cantidad de elementos posible para asegurar la estabilidad del talud.

Dentro del marco teórico de la presente investigación se han considerado algunas definiciones relacionadas directamente con las variables de estudio, las cuales se detallan a continuación.

Un talud es toda superficie del suelo que presenta cierta inclinación con respecto a la horizontal y puede ser natural o artificial. Algunas de estas superficies tienen tendencia a resbalar debido a diversos factores, como la gravedad, cambios en el contenido de agua o cambios en su geometría. La forma inclinada del techo, la resistencia al corte, la resistencia a la intemperie, el drenaje y la vegetación son solo algunos de los aspectos que contribuyen a su estabilidad. Durante la temporada de lluvias, los derrumbes en las laderas de las montañas son muy comunes. Las fallas en los taludes se pueden presentar de manera repentina, debido a la reducción rápida de la resistencia al esfuerzo cortante, provocada por el incremento en el contenido de agua del suelo durante un periodo de lluvias intensas (Mora, Gallegos, Leal y Rojas, 2012).

Figura 1: *Modelo de un talud natural*



Fuente: Sacachipana y Yerva (2021).

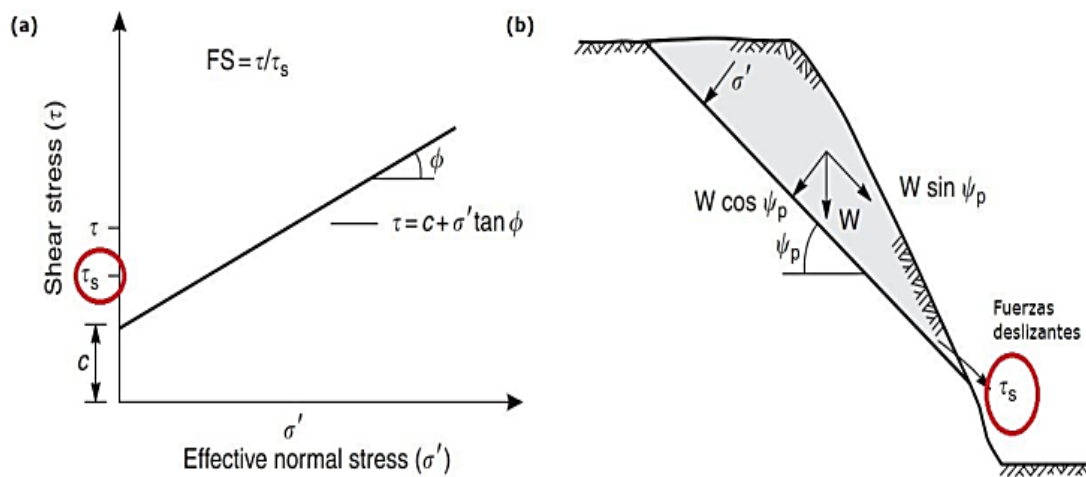
Los métodos de diseño para taludes de roca se dividen principalmente en dos grupos: método de equilibrio límite y análisis numérico. Esta sección trata del primer método cubierto, que incluye el cálculo del factor de seguridad y el análisis mediante diferentes procedimientos para investigar la posibilidad de deslizamiento debido a fracturas planas, en cuña o por volcamiento, así como otros mecanismos de falla. El tipo de daño depende de la condición geológica de la pendiente. Para expresar la estabilidad de un talud, el criterio más utilizado es el factor de seguridad (FS), el cual genera un cociente entre las fuerzas resistentes que impiden el deslizamiento de material y las fuerzas que promueven dicho deslizamiento (Monte, 2020).

$$F.S = \frac{\sum \text{Fuerzas de resistencia}}{\sum \text{Fuerzas deslizantes}}$$

El cociente resultante indica estabilidad cuando es superior a 1, mientras la inestabilidad se define para el caso contrario. Esta metodología se conoce como el método de equilibrio límite (MEL) (Monte, 2020).

El análisis de tipo determinístico se realiza asumiendo una superficie de deslizamiento lineal y utilizando comúnmente el criterio Mohr-Coulomb, como se muestra en la Figura 2. A partir de aquí se calculan las fuerzas totales de deslizamiento y tracción, teniendo en cuenta el peso del material, posibles efectos del agua, vibraciones, etc. Los principales parámetros de diseño son el ángulo y la altura del talud, donde se tienen en cuenta los factores que lo afectan, como la resistencia de la roca, el daño por presión del agua o el grado de meteorización de la superficie, y la presencia de estructuras geológicas o discontinuidades. (Monte, 2020).

Figura 2: Método de equilibrio límite. (a) Criterio de falla. (b) Descomposición de fuerzas.

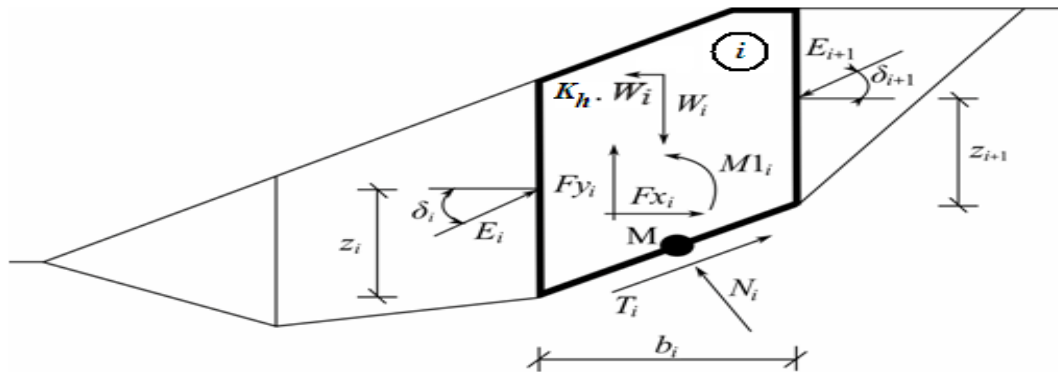


Fuente: Monte (2020).

El método Morgenstern-Price es un método general de cortes realizados en la base del equilibrio límite. Debe satisfacer el equilibrio de fuerzas y momentos actuando en

bloques individuales. Los bloques son creados dividiendo el suelo sobre la superficie terrestre dividiendo planos. Las fuerzas actuando en bloques individuales se muestran en la siguiente figura (Software Geotécnico GEO5, 2020).

Figura 3: Esquema estático – Método Morgenstern-Price



Fuente: Software Geotécnico GEO5 (2020).

Cada bloque se asume para contribuir a la misma fuerza como en el método Spencer. Los siguientes supuestos se introducen en el método Morgenstern-Price para calcular el equilibrio límite de las fuerzas y momento de los bloques individuales: los planos divididos entre bloques son siempre verticales, la línea de acción de peso del bloque W_i pasa por el centro del segmento i^{th} de la superficie de deslizamiento representada por el punto **M**, la fuerza normal N_i actúa en el centro del segmento i^{th} de la superficie de deslizamiento, en el punto **M**, la inclinación de las fuerzas E_i que actúan entre los bloques es diferente en cada bloque (δ_i) al punto extremo de la superficie de deslizamiento $\delta = 0$ (Software Geotécnico GEO5, 2020)

Cuando FS es igual a 1,00, el talud está en un estado de falla incipiente. Generalmente un valor de 1,40 como factor de seguridad con respecto a la resistencia es

aceptable para el diseño de un talud estable. El valor mínimo del factor de seguridad aceptable en una ladera depende de varias circunstancias, que se pueden asociar con el tipo de talud. A continuación, se incluyen algunas recomendaciones relacionadas con los taludes nuevos, los existentes, los naturales y los construidos en obras temporales (Escobar y Duque, 2017).

Un factor de seguridad de diseño contra la falla de un talud depende de la magnitud de las pérdidas económicas y de vidas que dicha falla pueda producir. En el “Geotechnical Manual of Slopes (1984)” se indican los factores de seguridad los factores de seguridad recomendados para taludes nuevos que se presentan en la figura 4. Dichos factores de seguridad son válidos para condiciones de aguas resultantes de una lluvia con período de retorno de 10 años. Hay tres categorías de riesgo en cada caso, despreciable, bajo y alto. La categoría “riesgo para vida” refleja la probabilidad de pérdidas de vida en el evento de falla (Escobar y Duque, 2017).

Figura 4: Factores de seguridad recomendados para taludes nuevos, considerando una lluvia con período de retorno de diez años

| Riesgo para Vida | | Factor de Seguridad recomendado contra pérdidas de vidas para una lluvia con período de retorno de diez años. | | |
|---|--------------|---|------|--------------------|
| | | Despreciable | Bajo | Alto |
| Riesgo económico | Despreciable | >1 | 1,2 | 1,4 ⁽¹⁾ |
| | Bajo | 1,2 | 1,2 | 1,4 ⁽¹⁾ |
| | Alto | 1,4 | 1,4 | 1,4 ⁽¹⁾ |
| Factor de seguridad recomendado contra pérdidas económicas para una lluvia con período de retorno de diez años. | | | | |

Fuente: Geotechnical Manual for Slopes (1984).

Un botadero es un área de almacenamiento de material estéril, que debe ubicarse en los lugares designados por las áreas encargadas de la recolección de este material y

desarrollando un diseño adecuado, el vertedero es una aplicación para la investigación y se ha avanzado. en estudios de suelos, donde proporcionan métodos para cuantificar el factor de seguridad y la probabilidad de falla, donde se requiere simplificación en la mayoría de los pilotes y siempre se recomendará para el análisis, sin embargo, se debe implementar el curso simple en el diseño (Sacachipana y Yerva, 2021). Uno de los peligros físicos en mina son los botaderos de desmonte los cuales debido a su geometría y composición podrían generar deslizamientos de material (Jacobo y Mamani, 2020).

Se define y clasifica los tipos de botaderos considerando lo siguiente, por sus dimensiones: podemos mencionar que se denomina botadero al material apilado que exceda los 25000 metros cúbicos, el cual podrá dividirse en: pequeños ($15 < \text{altura} < 20$), medianos ($20 < \text{altura} < 30$) y grandes ($30 < \text{altura}$). Por su riesgo: I. Clasificación por riesgo (Tipo A): se menciona 3 tipos en este ítem: tipo AI: "cero"; tipo All: "moderado"; tipo AIII: "alto" (Jacobo y Mamani, 2020).

El desmonte es el material extraído de mina como desmonte es el material ganga o mineral de baja ley, por lo que se debe proporcionar un sitio adecuado para que se acumule y se extraiga durante la voladura. en una operación realizada durante la extracción de un mineral u obtenida como material de sobrecarga para el acceso al mineral. Se debe determinar la vida útil de la pila, pero dependerá del tipo de proyecto que se esté implementando y la capacidad esperada del relleno sanitario., es por eso que las grandes empresas mineras detallan un riguroso diseño de un botadero de desmonte (Sacachipana y Yerva, 2021).

Se tiene en este caso el criterio en la se evalúa el (CS) en la que debe tener valores estándares nacionales e internacionales en la cual se muestran en el siguiente cuadro de coeficientes de seguridad (Sacachipana y Yerva, 2021).

Figura 5: *Coefficientes de seguridad según normativa*

| COEFICIENTES DE SEGURIDAD A EMPLEAR EN EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES | | | | |
|--|----------------|----------------|------------------|----------------|
| NORMATIVA | TALUD TEMPORAL | | TALUD PERMANENTE | |
| | ESTÁTICO | PSEUDOESTÁTICO | ESTÁTICO | PSEUDOESTÁTICO |
| AASHTO LRFD | 1.33-1.53 | 1.1 | 1.33-1.53 | 1.1 |
| NAVFAC-DM7 | 1.3-1.25 | 1.2-1.15 | 1.5 | 1.2-1.15 |
| FHWA-NHI-11-032 | - | 1.1 | - | 1.1 |
| CE.020 | - | - | 1.5 | 1.25 |

Fuente: Sacachipana y Yerva (2021).

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la evaluación para las condiciones de estabilidad de taludes para la propuesta de diseño de los botaderos Huamuyo alto y bajo en una mina subterránea, Huarochirí 2023?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Realizar la evaluación de las condiciones de estabilidad de taludes para la propuesta de diseño de los botaderos Huamuyo alto y bajo en una mina subterránea ubicada en Huarochirí 2023.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar el análisis de estabilidad estático y pseudoestático por el método Morgenstern-Price.
- Proponer un sistema de estabilización para los botaderos de desmonte.

1.4. Hipótesis

Con el análisis de las condiciones de estabilidad de taludes para los diseños propuestos de los botaderos Huamuyo alto y bajo, se determinará la estabilidad de los mismos en función al factor de seguridad estático y pseudoestático.

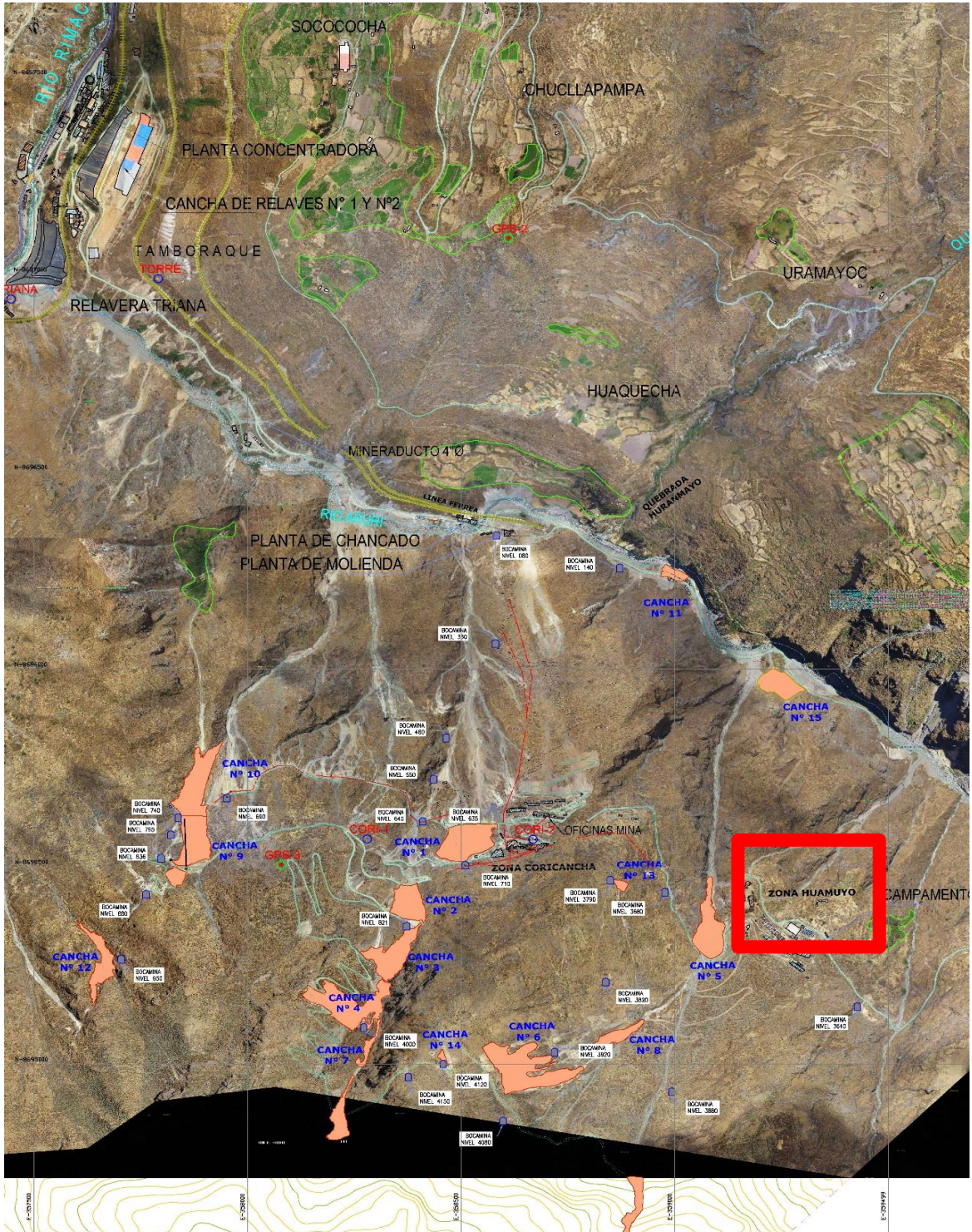
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

El enfoque de la investigación es cuantitativo ya que se pretende relacionar y medir la fuerza de asociación entre las variables condiciones de estabilidad y diseño de los botaderos. Se clasifica como Aplicada, la cual se orienta a conseguir un nuevo conocimiento destinado que permita soluciones de problemas prácticos (Álvarez, 2021). Según la metodología de recolección de datos se considera como Retrospectivo. Según las mediciones realizadas es Transversal.

La investigación es no experimental, consiste en estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos (Hernández, Fernández y Baptista, 2010), ya que se empleará los datos de los ensayos realizados en laboratorio para establecer un análisis empleando el método Morgenstern-Price. Es con diseño descriptivo, la cual se efectúa cuando se desea describir, en todos sus componentes principales, una realidad. La investigación explicativa es aquella que tiene relación causal, no sólo persigue describir o acercarse a un problema, sino que intenta precisar las causas de este. Puede valerse de diseños experimentales y no experimentales (Guevara, Verdesoto y Castro, 2020).

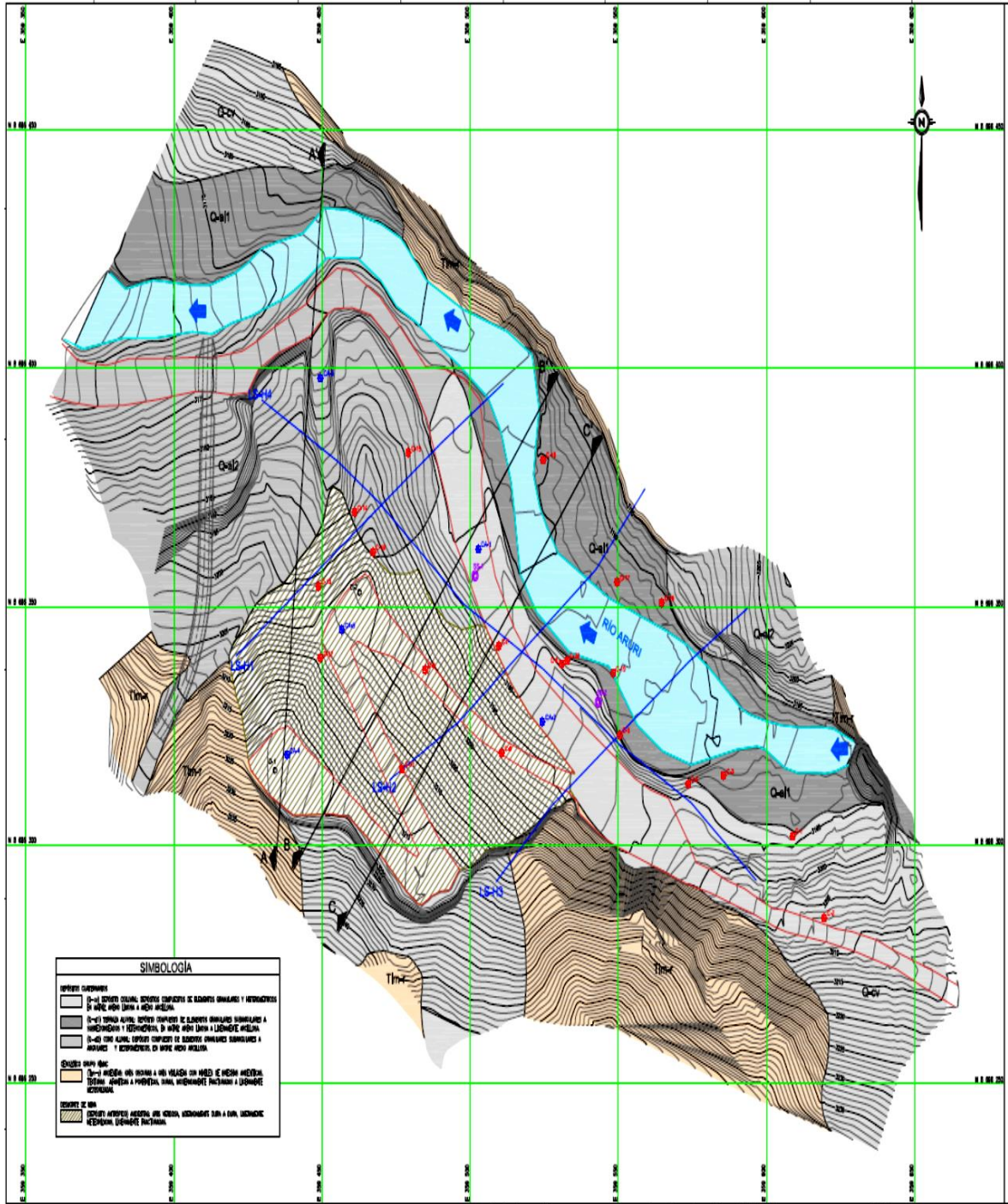
La población asumida en el trabajo de investigación son todos los botaderos de desmonte pertenecientes a la mina subterránea en estudio. La muestra asumida la conforma los 02 botaderos de desmonte Huamuyo alto y bajo N° 190, los cuales están cimentados sobre afloramientos de rocas volcánicas constituidas por andesitas; depósitos aluviales, constituidos por sedimentos que cubren parcialmente al basamento rocoso; y detritos de escombros de origen coluvial, los cuales presentan condiciones geotécnicas favorables.

Figura 6: Ubicación de los botaderos de desmote – Huamuyo



Fuente: Área de operaciones.

Figura 7: *Ubicación de desmonteras - Nivel 190*



Fuente: Área de operaciones.

Las técnicas empleadas en la investigación fueron el análisis documental y el procesamiento de resultados. Inicialmente se recopiló información detallada de los estudios

geotécnicos, para el desarrollo se requerirá la evaluación geológica, se recopilaron los datos estaciones geomecánicas en el cual se determinó cualitativamente y cuantitativamente el número de familias de fracturas (diaclasas conjugadas, familias aleatorias) por medio de la metodología descrita por Palmström (2005) para obtener el contenido volumétrico de discontinuidades (J_v) y el RQD. El índice RQD también se obtuvo con estaciones geomecánicas para determinar valores de variación de las clasificaciones RMR y Q.

Posteriormente en las mismas estaciones geomecánicas se realizó un inventario de fracturas, rellenos, alteraciones, rumbos e inclinaciones, para determinar el estado de las discontinuidades para las clasificaciones RMR y Q. Con el esclerómetro, se determinó el rebote de la matriz rocosa y de algunas discontinuidades, con el fin de estimar una función de correlación respecto al ángulo de aplicación, rebote y la resistencia a la compresión confinada o uniaxial (RCI).

En las estaciones, se estimaron las condiciones tensionales de la roca y presencia de agua freática en el macizo, finalmente se obtuvo la resistencia a la compresión confinada por métodos de estimación cualitativa de campo, y con esclerómetro. Finalmente, por medio de hojas de cálculo programadas y aplicaciones en Mecánica de Rocas y estimación de parámetros en la bibliografía disponible, se realizaron las clasificaciones geomecánicas **RMR** (Bieniawski, 1989) y **Q** (Barton, Lien & Lunde, 1974).

La información geológica local de la unidad está casi enteramente conformada por las rocas volcánicas andesíticas de la formación del grupo Rimac, la base de la secuencia está formada por rocas volcánicas brechadas y cubiertas por flujos andesíticos, aglomerados y tobas hacia la parte superior del cerro Huamanjune.

Adicionalmente la presencia de Fallas con rumbo NW-SE, con posibles movimientos normales la cual se encuentran cortados por diques dacíticos (Golder Associates, 2018).

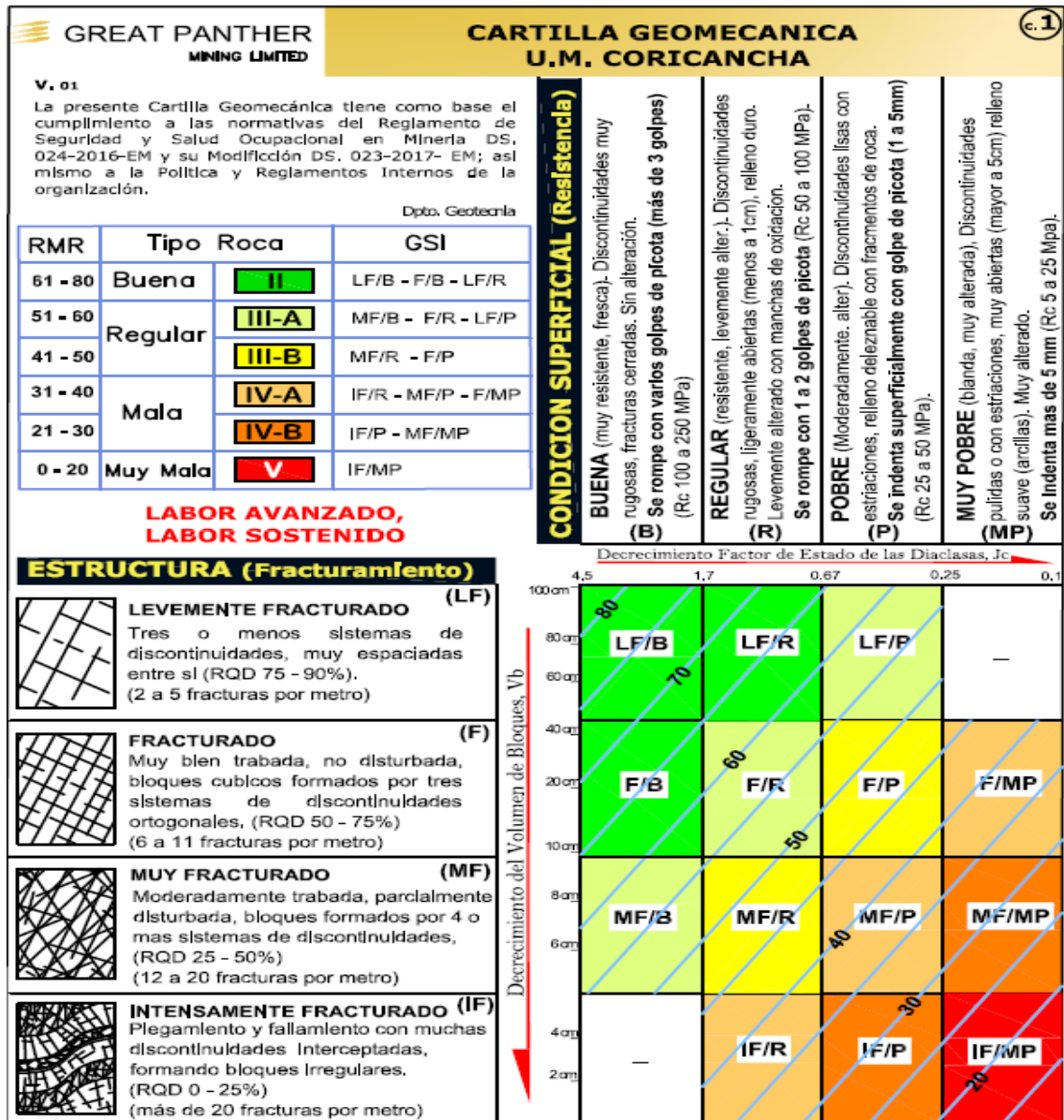
Geomecánicamente, el sitio en superficie se halla intensamente diaclasado.

Tabla 1: *Síntesis de propiedades físicas para la matriz rocosa del sitio*

| Parámetro | Valor | Parámetro | Valor |
|--------------------------------------|--------------|--------------------------------|--------------|
| Peso específico (kN/m ³) | 26.28 | Rresistencia Traccion | 5.71 |
| Ángulo fricción básico (°) | 37.03 | Módulo deformación | 14.39 |
| Ángulo fricción residual (°) | 33.12 | Coefficiente de Poisson | 0.33 |
| Rresis. compresion uniaxial (Mpa) | 87.4 | Constante roca intacta (mi) | 7.17 |

Fuente: Área de Geomecánica.

Figura 8: Clasificación GSI adaptado para mina



Fuente: Área de Geomecánica.

En términos generales la matriz rocosa puede clasificarse como de calidad media a buena, ya que con estimaciones de campo y de laboratorio presenta una resistencia a la compresión uniaxial 89 MPa, con ángulos de fricción interna de 40.3 a 43.9° y cohesiones

variables entre 3.21 a 5.06 MPa, debido a variaciones del RQD desde 19 a 79 y valores de GSI entre 28 y 72.

Respecto a las discontinuidades, se identificaron 4 familias principales, con espaciamentos variables y que inciden de forma directa en el valor de JCS y JRC, ya que, con una corrección por factor de escala, se estima un ángulo de fricción interna global del macizo de 45.7° y una cohesión de 1.55 MPa. Es preferible realizar, análisis cinemáticos de discontinuidades para identificar preferencias de falla en términos probabilísticos.

Figura 9: *Formato de recolección de datos*

| Material | Peso específico (KN/m ³) | Cohesión (KN/m ²) | Fricción (°) | Resistencia a la tracción (KN/m) |
|----------|--------------------------------------|-------------------------------|--------------|----------------------------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

La técnica de procesamiento de resultados permitió el análisis de las condiciones de estabilidad para los diseños propuestos de los botaderos de desmonte Huamuyo alto y bajo, esto en condiciones Estáticas y pseudoestáticas, empleando como instrumento el programa de equilibrio límite Morgenstern-Price.

El problema de estabilidad de taludes se resuelve en un cuerpo de suelo bidimensional. El suelo se puede describir utilizando el criterio de resistencia de Mohr-Coulomb o Hoek-Brown. La pendiente se puede encontrar debajo del nivel freático, el agua

también puede exceder el suelo de la pendiente, que puede estar parcial o completamente inundado. El talud puede ser cargado por una sobrecarga de forma general ya sea al nivel del suelo o dentro del cuerpo del suelo. El análisis permite incluir el efecto de anclajes, esperando que soporten el talud o para introducir elementos de refuerzos horizontales - georefuerzos o elementos verticales - pilotes anti-deslizantes. También se puede incluir en el análisis la presencia de un sismo (Software Geotécnico GEO5, 2020).

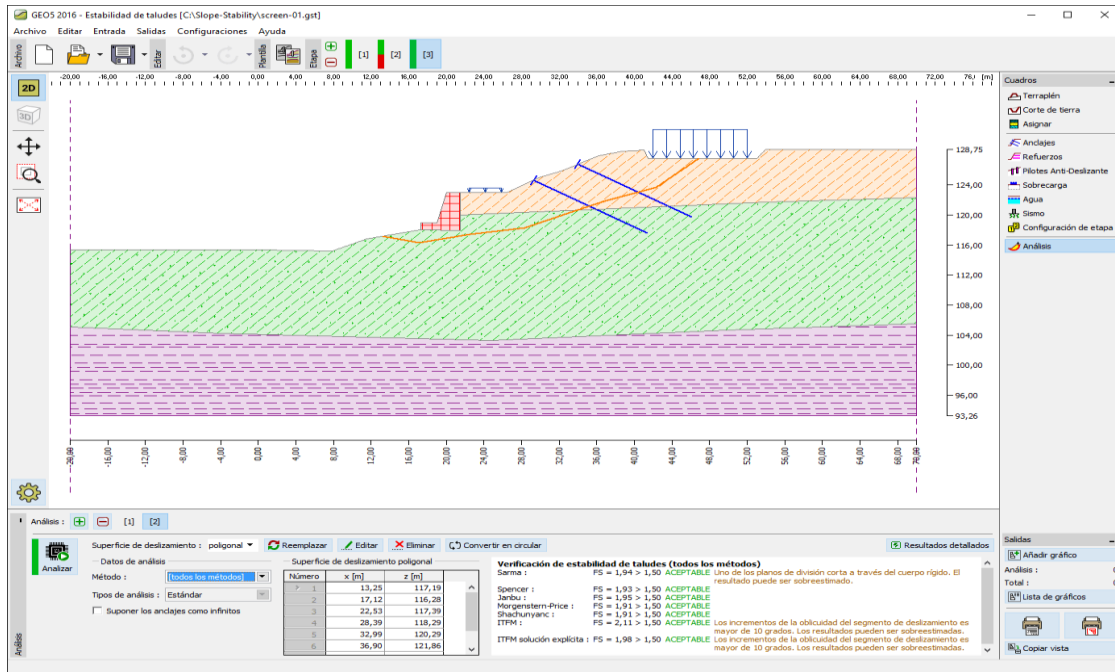
Dos tipos de enfoques para el análisis de estabilidad se implementan en el programa. El método clásico de acuerdo con el factor de seguridad o el análisis según la teoría de los estados límites.

La superficie de deslizamiento se puede modelar de dos formas diferentes:

- Circular: para la cual el usuario debe elegir entre los métodos de Fellenius/Petterson, Bishop o Spencer o Janbu o Morgenstern-Price, Shahunyants, ITF.
- Poligonal: en cuyo caso el programa varía entre: Sarma o Spencer o Janbu o Morgenstern-Price, Shahunyants, ITF.

El software geotécnico GEO5 es un poderoso paquete de software para resolver tareas geotécnicas basado en métodos analíticos tradicionales y en el método de elementos finitos (Software Geotécnico GEO5, 2020).

Figura 10: Software Geotécnico GEO5



Fuente: Fine Software (2020).

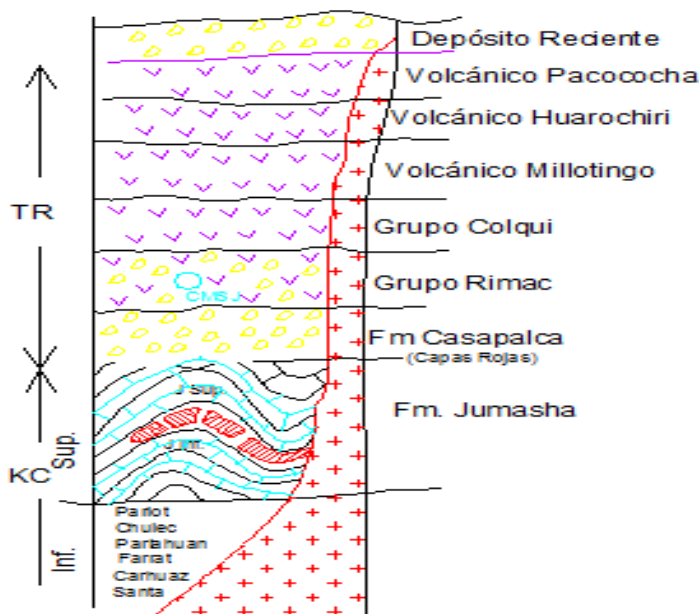
El procedimiento constó de 02 etapas, etapa I – Gabinete, en la cual se recopiló toda la información referente al tipo de desmonte y características litológicas del área que abarca las desmonteras en Huamuyo.

La topografía es muy accidentada, producto de la erosión fluvial formando desniveles desde los 2,800 hasta los 4,500 m.s.n.m. El acceso desde Lima es por la Carretera Central pavimentada hasta la altura del km. 90 y por el Ferrocarril Central cuya estación de Tamboraque dista 120 km. del puerto del Callao. La población de San Mateo con 10,000 habitantes.

La secuencia volcánica terciaria (1,500 ms) consiste en apilamientos de andesitas, de textura porfírica y con fenocristales de plagioclasa, de colores gris a gris-verdoso-violáceo, en bancos masivos y gruesos (10 ms a 40 ms); están constituidas por derrames de lavas,

brechas hacia la parte inferior de la secuencia, y lavas piroclásticas en las zonas altas, con algunos horizontes ligeramente alterados. Los horizontes volcánicos presentan una orientación subhorizontal buzamientos de 10° a 15° SW. A esta secuencia volcánica se la conoce como Grupo Rímac y se la considera de edad Mioceno-Medio del Terciario.

Figura 11: Modelo genético Huarochiri columna estratigráfica



Fuente: Área de Geomecánica.

En la etapa II – Procesamiento de resultados, para lo cual se emplearon el software Geotécnico GEO5 y el software Slide aplicando el método Morgenstern- Price.

El software Slide es validado por la empresa Rocscience líder mundial en el desarrollo de software 2D y 3D para ingenieros civiles, mineros y geotécnicos. **Slide2** es un programa de estabilidad de taludes de equilibrio límite 2D para evaluar el factor de seguridad o la probabilidad de falla, de superficies de falla circulares o no circulares en taludes de suelo o roca. Slide2 analiza la estabilidad de las superficies de deslizamiento utilizando métodos de equilibrio límite de corte vertical o corte no vertical (Rocscience, 2020).

Los aspectos éticos tomados en cuenta están relacionados con los lineamientos propuestos por la Universidad Privada del Norte, siempre respetando los derechos de autor y siguiendo la normativa Apa al momento de revelar las fuentes y hallazgos informativos considerados para el presente trabajo.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

1.1. Realizar el análisis de estabilidad estático y pseudoestático por el método Morgenstern-Price








1.1.1. Desmontera Huamuyo Bajo – Nv 190

El depósito de desmonte Huamuyo bajo N° 190 esta cimentado sobre afloramientos de rocas volcánicas constituidas por andesitas; depósitos aluviales, constituidos por sedimentos que cubren parcialmente al basamento rocoso; y detritos de escombros de origen coluvial, los cuales presentan condiciones geotécnicas favorables.

El material de desmonte está constituido por grava arenosa mal gradada (GP), suelta a medianamente densa, con presencia de bolones subangulares a angulares de hasta 11” de tamaño máximo y con una granulometría que consta de: 70 a 75% de grava, 20 a 25% de arena y 5% de finos de baja plasticidad.

Para el análisis de estabilidad se ha considerado los siguientes parámetros:

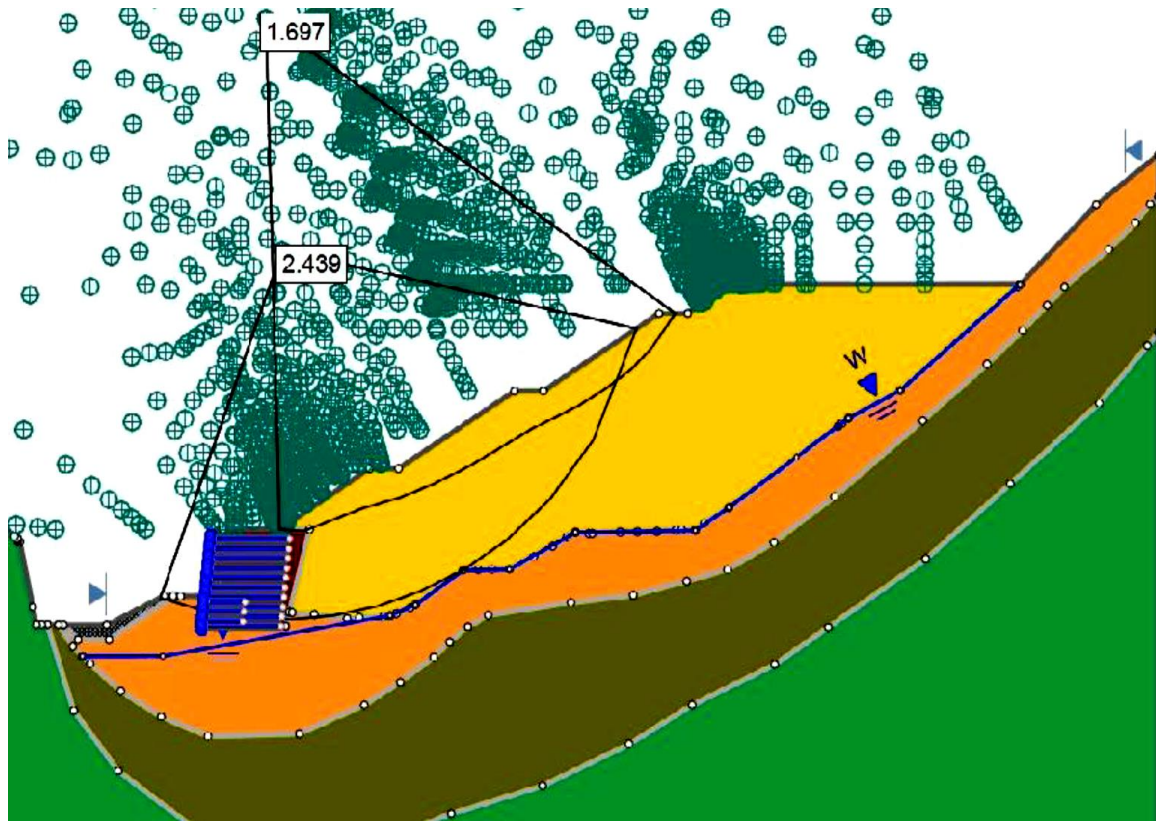
Tabla 2: *Parámetros geotécnicos - Huamuyo bajo*

| Material | | Peso específico (KN/m ³) | Cohesión (KN/m ²) | Fricción (°) | Resistencia a la tracción (KN/m) |
|---------------------|---|--------------------------------------|-------------------------------|--------------|----------------------------------|
| Grava compacta |  | 19 | 24 | 39 | - |
| Grava muy compacta |  | 20 | 34 | 43 | - |
| Roca andesita |  | 25 | 360 | 68 | - |
| Relleno |  | 19 | 5 | 38 | - |
| Relleno estructural |  | 19 | 10 | 35 | - |
| Gavión |  | 19 | 40 | 40 | - |
| Geomalla uniaxial |  | - | 5 | 35 | 134 |

Fuente: Datos de laboratorio.

El análisis de estabilidad del talud actual en condiciones estáticas, donde el factor de seguridad es mayor a 1.50, es decir, el talud propuesto con el muro de suelo reforzado es estable para una condición de largo plazo.

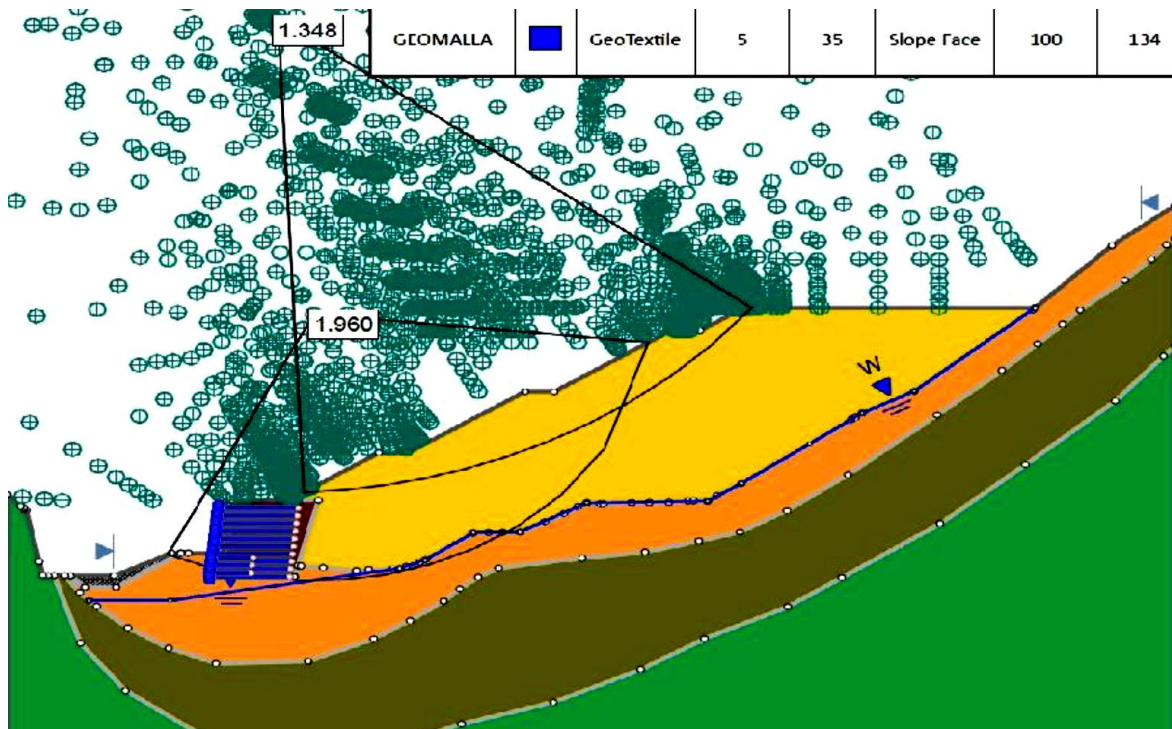
Figura 12: *Análisis de estabilidad estático Huamuyo Bajo - Método Morgenstern-Price*



Fuente: Elaboración propia.

Se muestra el análisis de estabilidad pseudo-estático (coeficiente sísmico 0.19 g) donde se observa que los factores de seguridad son mayores a la unidad, por lo tanto, el talud es estable para una condición de sismo.

Figura 13: *Análisis de estabilidad pseudo estático Huamuyo Bajo - Método Morgenstern-Price*










Fuente: Elaboración propia.

El Volumen proyectado del depósito de desmonte (Huamuyo Bajo) es 140 568 m³. En el diseño de la desmontera Huamuyo Bajo con la finalidad de verificar el factor de seguridad (FS) en condición estático y pseudo-estático, se realizó el análisis de estabilidad considerando los 03 elementos de diseño (talud del depósito de desmonte, muro de suelo reforzado y el suelo reforzado con geomallas), Para el caso estático el factor de seguridad mínimo (FS_{min}), para la superficie de falla más crítica es 1.697, y para el caso pseudo-estático con coeficiente sísmico 0.19 g., el FS_{min} es 1.348. Ambos resultados son satisfactorios porque son mayores a los valores permisibles 1.50 y 1.0 respectivamente.

1.1.2. Desmontera Huamuyo Alto

Para el análisis de estabilidad se ha considerado los siguientes parámetros :

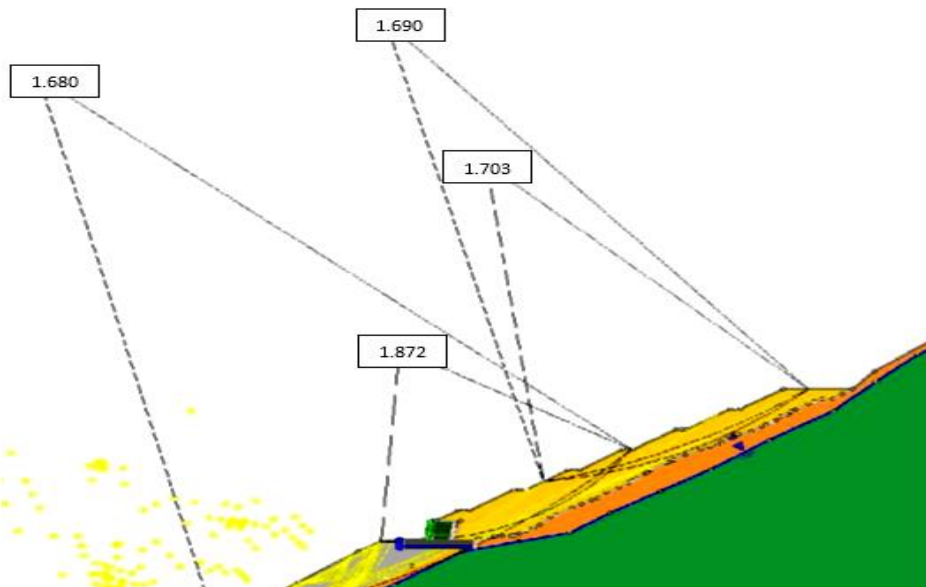
Figura 14: *Parámetros geotécnicos - Huamuyo alto*

| Material | | Peso específico (KN/m ³) | Cohesión (KN/m ²) | Fricción (°) | Resistencia a la tracción (KN/m) |
|---------------------|---|--------------------------------------|-------------------------------|--------------|----------------------------------|
| Grava compacta |  | 19 | 23 | 39 | - |
| Roca andesita |  | 25 | 500 | 68 | - |
| Relleno |  | 19 | 5 | 38 | - |
| Relleno estructural |  | 19 | 10 | 35 | - |
| Gavión |  | 19 | 40 | 40 | - |
| Relleno existente |  | - | - | - | - |
| Geomalla uniaxial |  | - | 5 | 35 | 134 |

Fuente: Datos de laboratorio.

Se muestra el análisis de estabilidad del talud actual en condiciones estáticas, donde el factor de seguridad es mayor a 1.50, es decir, el talud propuesto con el muro de suelo reforzado es estable para una condición de largo plazo.

Figura 15: *Análisis de estabilidad pseudo-estático Huamuyo Alto - Método Morgenstern-Price*



Fuente: Elaboración propia.

Se muestra el análisis pseudo-estático, donde se observa que los factores de seguridad son mayores a la unidad, por lo tanto, el talud es estable para una condición de sismo.

El Volumen proyectado del depósito de desmonte (Huamuyo Alto) es 113 952 m³. Para la desmontera Humuyo Alto con la finalidad de verificar el factor de seguridad (FS) en condición estático y pseudo-estático, se realizó el análisis de estabilidad considerando los 03 elementos de diseño (talud del depósito de desmonte, muro de suelo reforzado y el suelo reforzado con geomallas), Para el caso estático el factor de seguridad mínimo (FS_{min}), para la superficie de falla más crítica es 1.68, y para el caso pseudo-estático con coeficiente sísmico 0.19 g., el FS_{min} es 1.15. Ambos resultados son satisfactorios porque son mayores a los valores permisibles 1.50 y 1.0 respectivamente.

1.2. Proponer un sistema de estabilización para los botaderos de desmonte

Con la finalidad de maximizar el volumen del depósito de desmonte en Huamuyo Alto, se propone el diseño de 03 elementos: Un muro de suelo reforzado con paramento de gavión que funcione como un dique de apoyo del depósito de desmonte; Mejoramiento de suelo con geomalla para la cimentación de dicho muro; y el diseño de la geometría del depósito de desmonte. Es importante aclarar que se está incluyendo unos trabajos de estabilización de la desmontera existente en Huamuyo Alto, que consiste en colocación de anclajes e instalación de un sistema Erdox.

Figura 16: *Sistema Erdox*



Fuente: Elaboración propia.

Este trabajo de estabilización se encuentra en el talud al pie del recrecimiento de la desmontera.

El Sistema ErdoX consiste en un muro de contención que cuenta con un monoanclaje, el que se realiza mediante una estructura de metal con forma de pirámide, y tiene como

principales ventajas una rápida instalación, poco peso, estabilidad inmediata y además se puede armar previamente en un lugar cercano al proyecto a realizar. Cuando se necesita intervenir de manera inmediata en una estabilización de taludes, este sistema es muy conveniente ya que presenta muy buen dinamismo y versatilidad (Betonform®, 2014).

Cada elemento ErdoX viene en un kit de montaje, el cual se encuentra premontado y con las instrucciones necesarias para poder finalizar el montaje de manera sencilla; este kit contiene lo siguiente: grilletes para conectar los elementos adyacentes, grilletes adicionales, pernos, tuercas y todos los elementos que son necesarios para que la estructura sea armada correctamente. Todos los elementos metálicos de cada ErdoX se encuentran galvanizados para que se garantice que el sistema tenga una adecuada vida útil (Betonform®, 2014).

Figura 17: *Estructura del sistema Erdox*



Fuente: Betonform® (2014).

Tabla 3: *Análisis de estabilidad de las botaderas de desmante*

| Desmontera | Factor de seguridad | |
|--------------|---------------------|-----------------|
| | Estático | Pseudo-estático |
| Huamuyo bajo | 1.69 | 1.34 |
| Huamuyo alto | 1.68 | 1.15 |

Fuente: Elaboración propia.

El desmante actual en condiciones pseudo estáticas resulta inestable; motivo por el cual se ha añadido en la base del muro de suelo reforzado un mejoramiento con refuerzo de geomalla, para que no comprometa la estabilidad del desmante propuesto.

Tabla 4: *Generación de desmante 2022*

| FASE | MATERIAL | REF_L | SECCION | (m) | Desmante (t) |
|-----------------------|-----------------|--------|-----------|--------------|----------------|
| Desarrollo | DESMONTE | BP | 3.0 x 3.5 | 1,703 | 37,551 |
| | | CAM | 2.7 x 2.7 | 20 | 306 |
| | | | 3.0 x 3.0 | 395 | 7,466 |
| | | | CH | 2.0 x 2.0 | 535 |
| | | CX | 2.7 x 2.7 | 60 | 919 |
| | | | 3.0 x 3.5 | 466 | 10,275 |
| | | GAL | 3.0 x 3.5 | 146 | 3,330 |
| | | RFG | 1.8 x 2.1 | 99 | 786 |
| | | RP (-) | 3.0 x 3.5 | 972 | 21,433 |
| | | RP (+) | 3.0 x 3.5 | 801 | 17,662 |
| Preparación | DESMONTE | VTN | 3.5 x 3.0 | 168 | 3,704 |
| Rehabilitación | DESMONTE | CH | 2.4 x 1.5 | 150 | 113 |
| | | GAL | 2.7 x 2.7 | 3,210 | 16,687 |
| | | SN | 0.9 x 2.4 | 300 | 272 |
| Total | | | | 9,025 | 124,998 |

Fuente: Área de Operaciones.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados del análisis de estabilidad del talud actual en condiciones estáticas, donde el factor de seguridad es mayor a 1.50, es decir, el talud propuesto con el muro de suelo reforzado es estable para una condición de largo plazo. El análisis de estabilidad pseudo-estático (coeficiente sísmico 0.19 g) donde se observa que los factores de seguridad son mayores a la unidad, por lo tanto, el talud es estable para una condición de sismo.

El Volumen proyectado del depósito de desmonte (Huamuyo Bajo) es 140 568 m³. En el diseño de la desmontera Huamuyo Bajo con la finalidad de verificar el factor de seguridad (FS) en condición estático y pseudo-estático, se realizó el análisis de estabilidad considerando los 03 elementos de diseño (talud del depósito de desmonte, muro de suelo reforzado y el suelo reforzado con geomallas), Para el caso estático el factor de seguridad mínimo (FS_{min}), para la superficie de falla más crítica es 1.697, y para el caso pseudo-estático con coeficiente sísmico 0.19 g., el FS_{min} es 1.348. Ambos resultados son satisfactorios porque son mayores a los valores permisibles 1.50 y 1.0 respectivamente.

Estos valores permiten establecer una comparación con los hallazgos de Jacobo y Mamani (2020) en su tesis "Evaluación geotécnica del botadero número 5 para prevenir riesgos de deslizamientos en la concesión minera "San Francisco 2011" de la Provincia de Caravelí del Departamento de Arequipa". Los cuales concluyeron que, al realizarse el estudio geotécnico el talud en su situación actual es inestable con una alta probabilidad de ocurrir un deslizamiento afectando las vías de comunicación propias de la empresa y pudiendo sepultar labores aguas abajo que se encuentran cercanas al talud. En la situación actual el material del talud representa un peligro pudiendo ocurrir un deslizamiento

afectando a las labores y estructuras aguas abajo; el FS analizado por la formulación de Jambú en el caso estático fue de 1.99 y pseudoestático fue de 0.78; mediante el método de Bishop en el caso estático fue de 2.06 y pseudoestático fue de 0.81; estos valores no cumplían la normativa legal para que un talud sea estable por lo cual se consideró la aplicación de soportes para aumentar el factor de seguridad, los soportes a utilizar fueron pernos split set y mallas electrosoldadas, posteriormente se volvió a realizar el análisis del FS mediante la formulación de Jambú en el caso estático con soportes Split set y mallas electrosoldadas cumpliendo así la normativa actual.

Por otro lado, el análisis de estabilidad del talud Huamuyo alto actual en condiciones estáticas, donde el factor de seguridad es mayor a 1.50, es decir, el talud propuesto con el muro de suelo reforzado es estable para una condición de largo plazo. El análisis pseudoestático, donde se observa que los factores de seguridad son mayores a la unidad, por lo tanto, el talud es estable para una condición de sismo. El Volumen proyectado del depósito de desmonte (Huamuyo Alto) es 113 952 m³. Para la desmontera Humuyo Alto con la finalidad de verificar el factor de seguridad (FS) en condición estático y pseudo-estático, se realizó el análisis de estabilidad considerando los 03 elementos de diseño (talud del depósito de desmonte, muro de suelo reforzado y el suelo reforzado con geomallas), Para el caso estático el factor de seguridad mínimo (FS_{min}), para la superficie de falla más crítica es 1.68, y para el caso pseudo-estático con coeficiente sísmico 0.19 g., el FS_{min} es 1.15. Ambos resultados son satisfactorios porque son mayores a los valores permisibles 1.50 y 1.0 respectivamente.

Estos resultados permiten establecer una comparación con los datos obtenidos por Mamani (2019), en su tesis "Estudio Geotécnico para el Diseño y Estabilidad del Botadero

de Desmontes 3 del Proyecto Minero LAS ÁGUILAS". Concluyendo que de la evaluación sísmica para el caso del análisis pseudo-estático de estabilidad del botadero de desmonte 3 se considera un valor de aceleración básica de diseño horizontal de 0,16g. De acuerdo a la investigación geotécnica y según los resultados de los cálculos de estabilidad de taludes, la inclinación del talud proyectado es estable para la condición propuesta en el talud con un factor de seguridad de 3,494 calculado en condiciones estáticas considerando un coeficiente sísmico de 0,00g superior a 1,5 el cual es el mínimo aceptable, y un factor de seguridad de 2,394 calculado en condiciones pseudo-estáticas considerando un coeficiente sísmico de 0,16g superior a 1,3 el cual es el mínimo aceptable.

Con la finalidad de maximizar el volumen del depósito de desmonte en Huamuyo Alto, se propone el diseño de 03 elementos: Un muro de suelo reforzado con paramento de gavión que funcione como un dique de apoyo del depósito de desmonte; Mejoramiento de suelo con geomalla para la cimentación de dicho muro; y el diseño de la geometría del depósito de desmonte. Es importante aclarar que se está incluyendo unos trabajos de estabilización de la desmontera existente en Huamuyo Alto, que consiste en colocación de anclajes e instalación de un sistema Erdox. El desmonte actual en condiciones pseudo estáticas resulta inestable; motivo por el cual se ha añadido en la base del muro de suelo reforzado un mejoramiento con refuerzo de geomalla, para que no comprometa la estabilidad del desmonte propuesto.

Estos hallazgos permiten establecer una comparación con los datos obtenidos por Urteaga (2017), en su tesis "Estabilización de talud con sistema erdox en taludes de carreteras". El sistema ErdoX es un sistema nuevo en Perú para la contención de taludes, el

cual presenta ventajas sobre la mayoría de los métodos usados; por sus características, presenta similitudes con el sistema Terramesh (uno de los más usados en el país para la contención de taludes). Concluyendo que, el caso del sistema Terramesh, como en el de otros sistemas de contención de taludes similares, es necesario transportar material estructural de mejores características para garantizar el correcto funcionamiento del sistema; sin embargo, si se encuentra en un proyecto en el cual transportar material de buena calidad implica no solo elevar los costos, sino que también se ven afectados los plazos por la lejanía de canteras que cuenten con material de las características necesarias. En este tipo de casos se resalta el beneficio del sistema ErdoX que no necesita transportar material de mejores características para la mayoría de los casos. Los costos por m² de cada tipo de elemento ErdoX no varían significativamente, por lo que, al analizar una inestabilidad de talud, es mejor optar por los modelos reforzados, para así poder colocar la menor cantidad de elementos posible para asegurar la estabilidad del talud.

Conclusiones

- El Volumen proyectado del depósito de desmonte (Huamuyo Bajo) es 140 568 m³, en el diseño de la desmontera Huamuyo Bajo con la finalidad de verificar el factor de seguridad (FS) en condición estático y pseudo-estático, se realizó el análisis de estabilidad considerando los 03 elementos de diseño (talud del depósito de desmonte, muro de suelo reforzado y el suelo reforzado con geomallas), Para el caso estático el factor de seguridad mínimo (FS_{min}), para la superficie de falla más crítica es 1.697, y para el caso pseudo-estático con coeficiente sísmico 0.19 g., el FS_{min} es 1.348. Ambos resultados son satisfactorios porque son mayores a los valores permisibles 1.50 y 1.0 respectivamente.
- El Volumen proyectado del depósito de desmonte (Huamuyo Alto) es 113 952 m³, para la desmontera Humuyo Alto con la finalidad de verificar el factor de seguridad (FS) en condición estático y pseudo-estático, se realizó el análisis de estabilidad considerando los 03 elementos de diseño (talud del depósito de desmonte, muro de suelo reforzado y el suelo reforzado con geomallas), Para el caso estático el factor de seguridad mínimo (FS_{min}), para la superficie de falla más crítica es 1.68, y para el caso pseudo-estático con coeficiente sísmico 0.19 g., el FS_{min} es 1.15. Ambos resultados son satisfactorios porque son mayores a los valores permisibles 1.50 y 1.0 respectivamente.
- Con la finalidad de maximizar el volumen del depósito de desmonte en Huamuyo Alto, se propone el diseño de 03 elementos: Un muro de suelo reforzado con paramento de gavión que funcione como un dique de apoyo del

depósito de desmonte; Mejoramiento de suelo con geomalla para la cimentación de dicho muro; y el diseño de la geometría del depósito de desmonte.

- Se considera incluir unos trabajos de estabilización de la desmontera existente en Huamuyo Alto, que consiste en colocación de anclajes e instalación de un sistema Erdox. Este trabajo de estabilización se encuentra en el talud al pie del recrecimiento de la desmontera.

REFERENCIAS

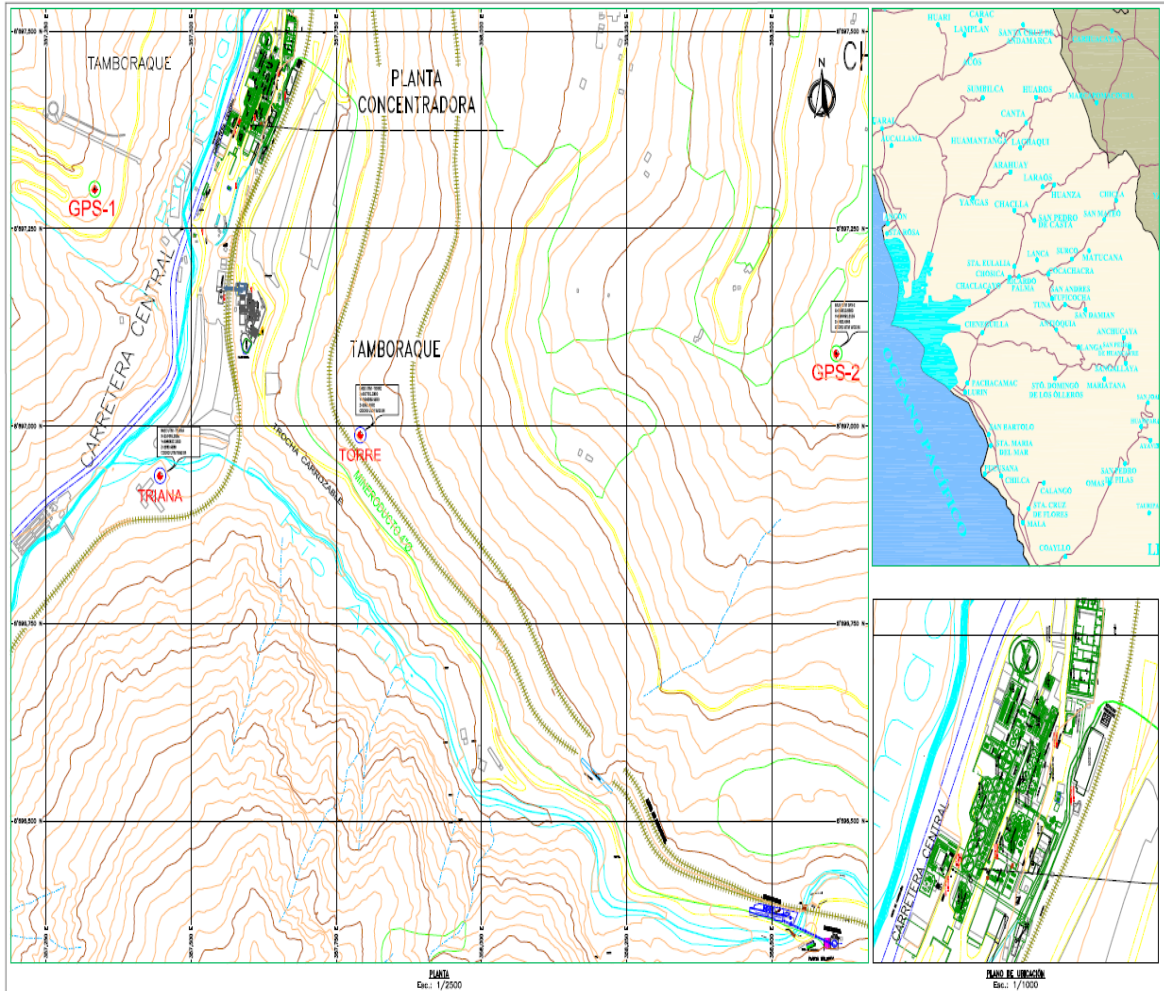
- Álvarez, A. (2021). "*Clasificación de las investigaciones*". Recuperado de:
<https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/10818/Nota%20Acad%C3%A9mica%2020202818.04.2021%29%20-%20Clasificaci%C3%B3n%20de%20Investigaciones.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- BETONFORM®. 2014. "*Especificaciones Técnicas Estructura ErdoX*". Recuperado de:
<http://www.betonform.com/en/products/system-erdox.html>
- Carrión, C. (2019). "*Análisis y diseño de la estabilidad de talud en el sector Sausacocha – Pallar km. 8+000 al 9+000 provincia de Sánchez Carrión, departamento de La Libertad, 2017*". (TESIS PRE GRADO). Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Chiclayo, Perú.
- Domínguez, M. (2018). "*Análisis de taludes por el método Bishop*". (TESIS PRE GRADO). Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.
- Escobar, C y Duque, G. (2017). "*Geotecnia para el trópico andino*". Universidad Nacional de Colombia.
- Hernández, F. (2019). "*Hacia la automatización del análisis de estabilidad de taludes mineros*". (TESIS PRE GRADO). Universidad de Chile.
- Hernández, Fernández y Baptista. 2010. "*Metodología de la investigación*". Recuperado de:
<http://virtual.urbe.edu/tesispub/0105003/cap03.pdf>

- Guevara, G., Verdesoto, A., & Castro, N. (2020). "*Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción)*". RECIMUNDO, 4(3), 163-173. doi:10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173
- Jacobo, C. y Mamani, E. (2020). "*Evaluación geotécnica del botadero número 5 para prevenir riesgos de deslizamientos en la concesión minera "San Francisco 2011" de la Provincia de Caravelí del Departamento de Arequipa*". (TESIS PRE GRADO). Universidad Tecnológica del Perú. Arequipa, Perú.
- Mamani, M. (2019). "*Estudio geotécnico para el diseño y estabilidad del botadero de desmontes 3 del proyecto minero Las águilas*". (Tesis pre grado). Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Monte, I. (2020). "*Análisis de estabilidad de taludes de roca mediante el método de elementos finitos*". (Tesis pre grado). Universidad de Concepción.
- Sacachipana, D. y Yerva, P (2021). "*Estudio geotécnico para el diseño y estabilidad del botadero de desmonte en el distrito de Chala provincia de Caravelí - Región Arequipa*" (TESIS PRE GRADO). Universidad Tecnológica del Perú. Arequipa, Perú.
- Software Geotécnico GEO5. (2020). "*Estabilidad de taludes - Morgenstern-Price*". Recuperado de: <https://www.finesoftware.es/ayuda-en-linea/geo5/es/morgenstern-price-01/>
- Urteaga, C. 2017. "*Estabilización de talud con sistema Erdox en taludes de carreteras*". (Tesis pre grado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

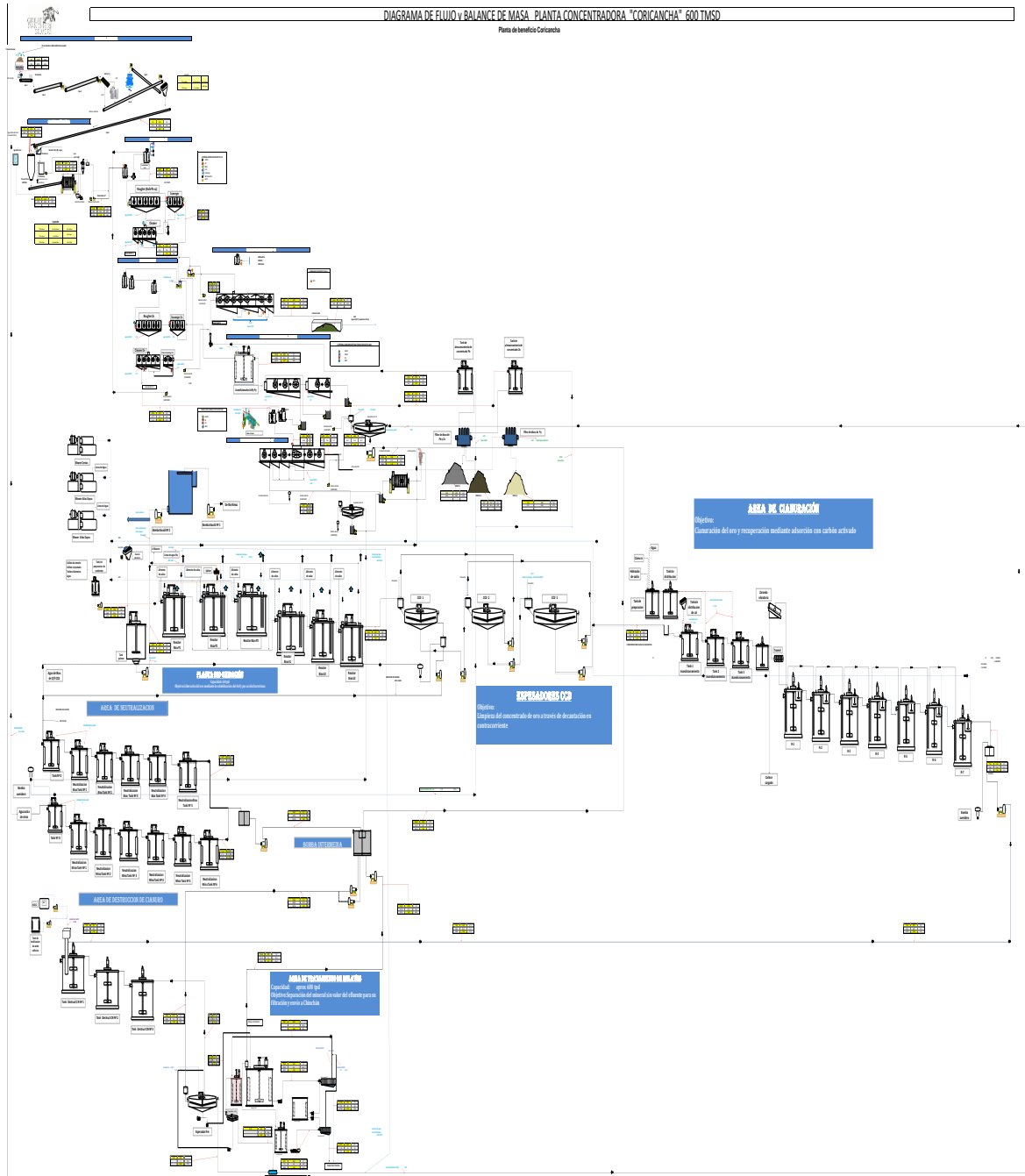
Vilca, A. (2019). *"Estudio geotécnico para la estabilidad del talud del depósito de desmonte Santa Rosa - Arequipa"*. (Tesis pre grado). Universidad Nacional de San Antonio Abad. Cusco, Perú.

ANEXOS

ANEXO 01: Plano de ubicación de instalaciones en superficie



ANEXO N° 02: Flowsheet Planta Beneficio UP



ANEXO N° 03: Mapa Geológico

