

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la
relavera Rosaura para el control de taludes en la Unidad
Minera Yauliyacu - 2024**

Addier Mario Ramos Solorzano
Jordy Alexander Fabian Reyna

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN**

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Nelida Tantavilca Martinez
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 12 de Mayo de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE LA RELAVERA ROSAURA PARA EL CONTROL DE TALUD UNIDAD MINERA YAULIYACU - 2024

Autor:

Bach. ADDIER MARIO RAMOS SOLORZANO – EAP. Ingeniería de Minas
Bach. JORDY ALEXANDER FABIAN REYNA – EAP. Ingeniería de Minas

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores SI NO
Nº 20 de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"):
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,




Asesor de trabajo de investigación

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a la Universidad Continental por brindarnos la oportunidad de desarrollar este proyecto de investigación y por el respaldo académico y logístico proporcionado a lo largo de todo el proceso.

Un agradecimiento especial a nuestra asesora, la Ing. Nelida Tantavilca Martínez., por su invaluable guía, sus valiosos consejos y su constante motivación durante la elaboración de este trabajo. Sus amplios conocimientos, su dedicación y su compromiso fueron fundamentales para poder culminar esta investigación de manera satisfactoria.

Asimismo, nuestra gratitud a los miembros del jurado evaluador, [Nombres de los Miembros del Jurado], por sus aportes, observaciones y sugerencias que enriquecieron y fortalecieron el contenido de esta tesis.

También a los docentes que, a lo largo de nuestra formación académica, nos brindaron las herramientas y los conocimientos necesarios para poder desarrollar este proyecto de investigación.

Del mismo modo, expresamos nuestro agradecimiento a la Empresa Minera Yauliyacu, por facilitar el acceso a la información y a los recursos necesarios para la realización de este estudio.

Finalmente, agradecemos de manera especial a nuestros familiares y amigos, quienes me brindaron su apoyo incondicional, su comprensión y su aliento durante todo este proceso. Ellos fueron un pilar fundamental para poder culminar con éxito esta etapa académica.

Los autores

DEDICATORIA

**A nuestros padres, Mario Ramos, Blanca Solorsano
y Andrés Fabian, Luz Reyna,
quienes con su amor, esfuerzo y sacrificio
me han brindado las oportunidades y las herramientas
necesarias para poder alcanzar esta meta.
Gracias por creer en mí
y por ser mi mayor motivación
para seguir creciendo y superándome.
Este logro también es de ustedes.**

**A nuestras familias,
por ser el pilar fundamental de nuestras vidas,
por su amor incondicional, comprensión y sacrificios.
A ustedes, que nos alentaron en cada paso del camino,
que creyeron en nosotros incluso en los momentos de duda,
y que con su ejemplo nos enseñaron el valor del esfuerzo,
la perseverancia y la humildad.**

**Esta meta alcanzada es tanto nuestra como suya.
Con profundo agradecimiento y cariño,
les dedicamos este logro.**

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| CARÁTULA..... | 1 |
| AGRADECIMIENTOS | 4 |
| DEDICATORIA | 5 |
| RESUMEN | 11 |
| ABSTRACT..... | 12 |
| INTRODUCCIÓN | 13 |
| CAPÍTULO I | 14 |
| PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO..... | 14 |
| 1.1. Planteamiento del problema..... | 14 |
| 1.2. Formulación del problema | 15 |
| 1.2.1. Problema general: | 15 |
| 1.2.2. Problemas específicos:..... | 15 |
| 1.3. Objetivos de la investigación | 15 |
| 1.3.1. Objetivo general..... | 15 |
| 1.3.2. Objetivos específicos | 15 |
| 1.4. Justificación e importancia de la investigación | 16 |
| 1.4.1. Justificación de la investigación | 16 |
| 1.4.2 Importancia de la investigación | 17 |
| 1.5. Limitaciones de la investigación..... | 17 |
| 1.6. Hipótesis de investigación | 18 |
| 1.6.1. Hipótesis general..... | 18 |
| 1.6.2. Hipótesis específicos..... | 18 |
| 1.7. Variables de investigación | 18 |
| 1.7.1. Variable independiente: | 18 |
| 1.7.2. Variable dependiente: | 18 |

| | |
|--|----|
| 1.8. Operacionalización de variables de investigación | 19 |
| CAPÍTULO II..... | 20 |
| MARCO TEÓRICO..... | 20 |
| 2.1. Antecedentes | 20 |
| 2.1.1 Antecedentes internacionales:..... | 20 |
| 2.1.2. Antecedentes nacionales: | 23 |
| 2.2. Bases teóricas..... | 27 |
| 2.2.1. Taludes | 27 |
| 2.2.2. Estabilidad de taludes | 28 |
| 2.2.3. Técnicas para examinar la estabilidad de pendientes | 29 |
| 2.2.4. Relaves mineros | 30 |
| 2.2.3. Tipos de relaves | 31 |
| 2.2.4. Presa de relave: | 33 |
| 2.2.5. Fallas en las relaveras | 36 |
| 2.2.6. Fallas por deslizamiento | 37 |
| 2.2.7. Estudios geotécnicos..... | 40 |
| 2.2.8. Resistencia cortante del suelo. | 42 |
| 2.2.9. Examen de estabilidad. | 43 |
| CAPÍTULO III..... | 48 |
| METODOLOGIA..... | 48 |
| 3.1. Método de la investigación | 48 |
| 3.2. Tipo de investigación:..... | 48 |
| 3.3. Diseño de investigación: | 48 |
| 3.4. Nivel de investigación..... | 49 |
| 3.5. Población y muestra..... | 49 |
| 3.5.1. Población: | 49 |
| 3.5.2. Muestra: | 49 |

| | |
|---|-----------|
| 3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos: | 49 |
| 3.6.1. Técnica de procesamiento de datos..... | 49 |
| 3.6.2. Técnica de procesamiento de datos..... | 50 |
| 4.1 Presentación de resultados | 51 |
| 4.1.3 Análisis geotécnico | 60 |
| 4.1.3.1. Caracterización geotécnica | 60 |
| 4.1.4. Cálculo del coeficiente sísmico | 60 |
| 4.1.5 Análisis de estabilidad de taludes | 61 |
| 4.2. Discusión de resultados | 68 |
| CAPÍTULO V:..... | 72 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 72 |
| 4.1 Conclusiones..... | 72 |
| 4.2 Recomendaciones | 73 |
| REFERENCIAS..... | 74 |
| MATRIZ DE CONSISTENCIA | 78 |
| Variable independiente: | 78 |
| Variable dependiente: | 78 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Matriz de operacionalización de variables | 19 |
| Tabla 2. Características generales del depósito de relaves Rosaura..... | 53 |
| Tabla 3. Distribución granulométrica en la relavera Rosaura | 55 |
| Tabla 4. Rango del tamaño de partículas de la relavera Rosaura | 56 |
| Tabla 5. Distribución de tamaños de partículas y la porosidad del material de relaves..... | 56 |
| Tabla 6. Distribución de tamaños de partículas y la porosidad del material de relaves | 56 |

| | |
|--|----|
| Tabla 7. Falla críticos identificadas | 58 |
| Tabla 8. Sinopsis de piezómetros de tubo abierto..... | 59 |
| Tabla 9. Sinopsis de piezómetros de cuerda vibrante | 60 |
| Tabla 10. Resumen de parámetros de resistencia cortante..... | 60 |
| Tabla 11. Resumen del cálculo de coeficiente sísmico..... | 62 |
| Tabla 12. Factores de seguridad mínimos para el análisis de estabilidad de taludes 2D | 62 |
| Tabla 13. Resultados en términos de factores de seguridad | 67 |
| Tabla 14. Resumen de piezómetros tipo tubo abierto..... | 67 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Características que determinan la forma y estructura. | 28 |
| Figura 2. Configuración de un talud | 29 |
| Figura 3. Categorización global de los enfoques para el cálculo de estabilidad | 30 |
| Figura 4. Método de construcción aguas arriba..... | 35 |
| Figura 5. Método de construcción aguas abajo..... | 35 |
| Figura 6. Método de construcción línea central..... | 36 |
| Figura 7. Tubificación total | 37 |
| Figura 8. Incidencia durante el proceso constructivo | 38 |
| Figura 9. Incidencia durante la actividad operativa..... | 39 |
| Figura 10. Representación de la presión de poros | 44 |
| Figura 11. Representación de un sistema convencional de análisis mediante segmentos o bloques | 45 |
| Figura 12. Ubicación unidad minera Yauliyacu | 51 |
| Figura 13. Disposición de la relavera Rosaura | 53 |
| Figura 14. Operación de los depósitos de relaves Rosaura..... | 54 |
| Figura 15. Espectros de respuesta con valores de periodo degradado de las posibles fallas y ajustado al espectro de peligro uniforme en suelo tipo C | 61 |
| Figura 16. Análisis de estabilidad del depósito de desmonte D4 Sección geotécnica 1-1 - Falla circular global - Análisis estático - F.S. = 1,31 | 62 |

| | |
|---|----|
| Figura 17. Análisis de estabilidad del depósito de desmonte D4 donde la sección geotécnica 1-1 - Falla circular global - Análisis pseudoestático (Tr = 100 años - Ks = 0,09) - F.S. = 1,13. | 64 |
| Figura 18. Análisis de estabilidad del depósito de desmonte D5 con Sección geotécnica 1-1 - Falla circular global - Análisis estático - F.S. = 1,30 | 64 |
| Figura 19. Análisis de estabilidad del depósito de desmonte D5 Sección geotécnica 1-1 - Falla circular global - Análisis pseudoestático | 64 |
| Figura 20. Análisis de estabilidad del depósito de desmonte D6 Sección geotécnica 1-1 - Falla circular global - Análisis estático - F.S. = 1,31. | 65 |
| Figura 21. Análisis de estabilidad del depósito de desmonte D6 Sección geotécnica 1-1 - Falla circular global - Análisis pseudoestático (Tr = 100 años - Ks = 0,09) - F.S. = 1,09..... | 65 |
| Figura 22. Análisis de estabilidad del depósito de desmonte NV2700 Sección geotécnica 1-1 - Falla circular global - Análisis estático - F.S. = 1,72..... | 66 |
| Figura 23. Análisis de estabilidad del depósito de desmonte NV2700 con Sección geotécnica 1-1 - Falla circular global - Análisis pseudoestático (Tr = 100 años - Ks = 0,09) - F.S. = 1,40. | 66 |

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar cómo afectan las propiedades granulométricas del material de relaves de la unidad minera Yauliyacu a la estabilidad de los taludes de la relavera Rosaura en el año 2024, y cómo pueden mitigarse los riesgos de colapso y deslizamiento para garantizar la seguridad de la infraestructura minera. Los resultados muestran que la distribución granulométrica de los relaves analizados presenta un amplio rango de tamaños de partículas, entre 179 micrómetros y 44 micrómetros, con pesos que oscilan entre 74.20 gramos y 15.20 gramos. Esta heterogeneidad en la composición granulométrica del material de relaves tiene una influencia significativa en la estabilidad de los taludes.

Las partículas más finas, en el rango de 44 micrómetros, contribuyen a una mayor cohesión del material, mejorando la resistencia a la compresión. Sin embargo, la presencia de partículas más gruesas, en el rango de 179 micrómetros, genera una estructura más heterogénea, disminuyendo la resistencia al corte y aumentando el riesgo de deslizamiento. Además, la porosidad del material de relaves también juega un papel crucial, ya que una mayor porosidad puede disminuir la compactación y la cohesión, incrementando tanto el riesgo de colapso como el riesgo de deslizamiento.

Para mitigar estos riesgos y garantizar la seguridad de la infraestructura minera, se recomienda implementar estrategias de manejo y control de los relaves, como la optimización de la composición granulométrica, el diseño y construcción adecuados de los sistemas de contención, y un programa de monitoreo y mantenimiento regular de los taludes. Además, se deben desarrollar planes de respuesta ante emergencias y fortalecer las capacidades técnicas del personal a cargo de la gestión de la relavera.

La implementación de estas medidas permitirá asegurar la estabilidad a largo plazo de la relavera Rosaura y proteger la integridad de la infraestructura minera de la unidad Yauliyacu.

Palabras clave: Relave, granulometría, dique, sísmico.

ABSTRACT

The present study aimed to determine how the granulometric properties of tailings material from the Yauliyacu mining unit affect the stability of the slopes of the Rosaura tailings dam in the year 2024, and how the risks of collapse and landslides can be mitigated to ensure the safety of the mining infrastructure.

The results show that the particle size distribution of the tailings analyzed presents a wide range of particle sizes, between 179 micrometers and 44 micrometers, with weights ranging from 74.20 grams to 15.20 grams. This heterogeneity in the particle size composition of the tailing's material has a significant influence on slope stability.

Finer particles, in the range of 44 micrometers, contribute to greater cohesion of the material, improving compressive strength. However, the presence of coarser particles, in the 179-micrometer range, generates a more heterogeneous structure, decreasing shear strength and increasing the risk of sliding. In addition, the porosity of the tailings material also plays a crucial role, as higher porosity can decrease compaction and cohesion, increasing both the risk of collapse and the risk of slippage.

To mitigate these risks and ensure the safety of the mining infrastructure, it is recommended that tailings management and control strategies be implemented, such as optimizing grain size composition, proper design and construction of containment systems, and a regular slope monitoring and maintenance program. In addition, emergency response plans should be developed and the technical capabilities of the personnel in charge of tailings management should be strengthened.

The implementation of these measures will ensure the long-term stability of the Rosaura tailings dam and protect the integrity of the mining infrastructure of the Yauliyacu unit.

Key words: Tailings, granulometry, dam, seismic.

INTRODUCCIÓN

En el contexto de la actividad minera en la unidad minera Yauliyacu, con especial enfoque en la relavera Rosaura, se hace imperativo realizar una evaluación exhaustiva de las propiedades físicas y mecánicas de los taludes. Estas estructuras juegan un papel crucial en la retención y disposición apropiada de los relaves mineros. Es en el año 2024 cuando la relavera Rosario alcanza una etapa crítica, lo que demanda un análisis detallado sobre cómo las características de las cargas granulométricas provenientes de la unidad minera Yauliyacu inciden en la estabilidad y seguridad de dichos taludes.

Ante este panorama, surge la necesidad de llevar a cabo una investigación exhaustiva que examine de manera profunda cómo la granulometría y otras propiedades de los relaves impactan en la resistencia de los taludes. Este estudio se revela como un aspecto crucial para identificar posibles riesgos de colapso o deslizamiento en los taludes de la relavera Rosaura. Más aún, permite proponer medidas de mitigación necesarias para asegurar la integridad y estabilidad de esta infraestructura minera.

En síntesis, la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los taludes en la relavera Rosaura considerando las características específicas de las cargas granulométricas provenientes de la unidad minera Yauliyacu en el año 2024, se erige como un elemento fundamental para salvaguardar la continuidad operativa y la seguridad en esta área minera.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento del problema

La evaluación de las propiedades físicas y mecánicas en taludes de relavera en la unidad minera Casapalca en 2024 implica un análisis exhaustivo de las características geotécnicas del material de relaves y su comportamiento bajo carga. La relavera de la mina Yauliyacu, ubicada en la unidad minera Casapalca, probablemente esté compuesta por una mezcla de desechos mineros y agua, lo que la hace susceptible a procesos de erosión, colapso y deslizamiento.

Para evaluar las propiedades físicas, se pueden realizar pruebas de laboratorio para determinar la granulometría del material, su densidad, porosidad, humedad, permeabilidad, entre otros parámetros relevantes. Esto permite comprender la composición del material y su capacidad para soportar cargas.

En cuanto a las propiedades mecánicas, se pueden llevar a cabo pruebas de resistencia a la compresión, resistencia al corte, coeficiente de fricción interna, entre otras pruebas, tanto en muestras de laboratorio como in situ en el talud de la relavera. Estas pruebas ayudan a determinar la estabilidad del talud y su capacidad para resistir fuerzas externas, como la gravedad o cargas adicionales.

Es esencial tener en cuenta las propiedades granulométricas del material minero, ya que estas influyen en su comportamiento mecánico y en su respuesta ante las fuerzas aplicadas. La distribución de tamaño de partículas, la forma y la angularidad de las partículas pueden afectar significativamente la estabilidad del talud.

La evaluación de las propiedades físicas y mecánicas en los taludes de la relavera Rosaura en la unidad minera Casapalca en 2024 implica un enfoque integral que considera tanto la composición del material como su respuesta ante cargas y condiciones ambientales específicas.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general:

¿Cómo es la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas en taludes de relavera Rosaura considerando las propiedades de cargas granulométricas de la unidad minera Yauliyacu – 2024?

1.2.2. Problemas específicos:

- a. ¿Cómo influyen las características de granulometría y forma de las partículas presentes en los relaves de la unidad minera Casapalca en la estabilidad de los taludes de la relavera Rosaura en el año 2024?
- b. ¿Cuál es la influencia de la distribución de tamaños de partículas y la porosidad del material de relaves de Yauliyacu en la resistencia a la compresión y al corte de los taludes de la relavera Rosaura?
- c. ¿Cómo afectan las propiedades granulométricas del material de relaves de Yauliyacu al riesgo de colapso y deslizamiento en los taludes de la relavera Rosaura en 2024, y cómo pueden mitigarse estos riesgos para garantizar la seguridad de la infraestructura minera?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar las propiedades físicas y mecánicas en taludes de relavera Rosaura considerando las propiedades de cargas granulométricas de la unidad minera Yauliyacu – 2024.

1.3.2. Objetivos específicos

- a. Determinar cómo influyen las características de granulometría y forma de las partículas presentes en los relaves de la unidad minera Yauliyacu en la estabilidad de los taludes de la relavera Rosaura en el año 2024.
- b. Establecer la influencia de la distribución de tamaños de partículas y la porosidad del material de relaves de Yauliyacu en la resistencia a la compresión y al corte de los taludes de la relavera Rosaura.

- c. Determinar cómo afectan las propiedades granulométricas del material de relaves de Yauliyacu al riesgo de colapso y deslizamiento en los taludes de la relavera Rosaura en 2024, y cómo pueden mitigarse estos riesgos para garantizar la seguridad de la infraestructura minera.

1.4. Justificación e importancia de la investigación

1.4.1. Justificación de la investigación

El conocimiento detallado de las propiedades físicas y mecánicas de los taludes de la relavera es esencial para salvaguardar la seguridad de las operaciones mineras en la unidad minera Yauliyacu. Al entender cómo las características granulométricas del material de relaves influyen en la estabilidad del talud, se pueden prevenir riesgos como colapsos, deslizamientos y otros eventos catastróficos que podrían comprometer tanto la seguridad de los trabajadores como la integridad de la infraestructura minera.

Una evaluación precisa de estas propiedades permitirá optimizar las operaciones mineras en la relavera. Al conocer la resistencia del material a diferentes tipos de cargas y su capacidad para soportar estructuras, se pueden diseñar y gestionar eficientemente la disposición de los relaves. Este enfoque puede resultar en una mayor productividad y rentabilidad para la unidad minera Yauliyacu en el año 2024, al garantizar una utilización óptima de los recursos y una reducción de los riesgos operativos.

Además, una adecuada evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los taludes de la relavera también tendrá un impacto positivo en la sostenibilidad ambiental de la operación minera. Al comprender cómo las propiedades granulométricas del material de relaves afectan la estabilidad del talud, se pueden implementar medidas de mitigación adecuadas para reducir el riesgo de contaminación de suelos y aguas subterráneas. Asimismo, se pueden minimizar la erosión y el desplazamiento de los

relaves hacia áreas sensibles, promoviendo así prácticas mineras más responsables desde el punto de vista ambiental.

1.4.2 Importancia de la investigación

La revisión exhaustiva de las características físicas y mecánicas de los taludes es esencial para asegurar la seguridad en las operaciones mineras. Entender cómo estas propiedades influyen en la estabilidad del terreno ayuda a evitar eventos graves como derrumbes o deslizamientos, los cuales representan un peligro tanto para los trabajadores como para la infraestructura minera.

El conocimiento de las características granulométricas del material de relaves es clave para mejorar la gestión en la relavera. Esto implica la disposición adecuada de los relaves y la aplicación de medidas para estabilizar los taludes, reduciendo así los riesgos de fallas. Una administración efectiva de los relaves no solo beneficia la seguridad, sino que también puede aumentar la eficiencia operativa y la rentabilidad de la unidad minera.

Asimismo, la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los taludes desempeña un papel fundamental en la mitigación de los impactos ambientales negativos de la actividad minera. Comprender cómo estas propiedades afectan la estabilidad del terreno que permite implementar medidas apropiadas para prevenir la contaminación del suelo y del agua, así como para reducir la erosión y el desplazamiento de los relaves hacia áreas sensibles. Esto fomenta una minería más sustentable y responsable en términos ambientales.

1.5. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones más resaltantes es el momento del muestreo puesto que la relavera se encuentra en operación.

1.6. Hipótesis de investigación

1.6.1. Hipótesis general

Hi: Las propiedades físicas y mecánicas en taludes de relavera Rosaura influyen significativamente en las propiedades de cargas granulométricas de la unidad minera Yauliyacu – 2024.

1.6.2. Hipótesis específicos

H1: Las características de granulometría y forma de las partículas presentes en los relaves de la unidad minera Yauliyacu tienen una influencia significativa en la estabilidad de los taludes de la relavera Rosaura en el año 2024

H2: La distribución de tamaños de partículas y la porosidad del material de relaves de Yauliyacu tienen una influencia significativa en la resistencia a la compresión y al corte de los taludes de la relavera Rosaura

H3: Las propiedades granulométricas del material de relaves de Casapalca afectan significativamente el riesgo de colapso y deslizamiento en los taludes de la relavera Rosaura en 2024, y pueden ser mitigadas para garantizar la seguridad de la infraestructura minera.

1.7. Variables de investigación

1.7.1. Variable independiente:

X: Las propiedades de cargas granulométricas de la unidad minera Yauliyacu en el año 2024

1.7.2. Variable dependiente:

Y: Las propiedades físicas y mecánicas en los taludes de la relavera Rosaura.

1.8. Operacionalización de variables de investigación

Tabla 1: *Matriz de operacionalización de variables*

| VARIABLE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DIMENSIONES | INDICADORES |
|---|--|-----------------------------|---|
| VI: Las propiedades de cargas granulométricas del relave de la unidad minera Yauliyacu en el año 2024 | Tamaño, distribución, forma y porosidad. Comprender la granulometría es crucial para entender cómo afecta mecánicamente el material de relaves y su influencia en la estabilidad de los taludes y otras estructuras de gestión de relaves. | Tamaño de partículas | Micrómetros (μm) |
| | | Distribución de tamaños | Porcentaje (%) |
| | | Forma de las partículas | Medida cualitativa |
| | | Porosidad del material | Porcentaje (%) |
| | | Densidad aparente | Gramos por centímetro cúbico (g/cm^3) |
| VD: Las propiedades físicas y mecánicas en los taludes de la relavera Rosaura. | Las características y comportamientos del terreno en los taludes de la mencionada relavera. Estas propiedades físicas incluyen aspectos como la composición del suelo, la textura, la porosidad y la densidad, mientras que las propiedades mecánicas abarcan la resistencia a la compresión, la resistencia al corte, la cohesión y el ángulo de fricción del suelo | Resistencia a la compresión | Mega Pascal (MPa) |
| | | Resistencia al corte | Mega Pascal (MPa) |
| | | Cohesión | Mega Pascal (MPa) |
| | | Ángulo de fricción interna | Grados ($^\circ$) o radianes (rad) |
| | | Porosidad | Porcentaje (%) |
| | | Densidad | Gramos por centímetro cúbico (g/cm^3) |

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1 Antecedentes internacionales:

Leonardo y Sottile (5) en su artículo titulado: *“Caracterización geotécnica de un relave minero susceptible a licuar”*, cuyo objetivo consistió en evaluar la vulnerabilidad a licuar bajo acción de cargas estáticas o dinámicas en condiciones no drenada en situaciones donde no hay drenaje, existe la posibilidad de que los desechos se vuelvan líquidos bajo la influencia de cargas estáticas o dinámicas. En las estructuras de retención construidas utilizando el método de aguas arriba, la estabilidad generalmente depende en gran medida de los desechos. Por lo tanto, es esencial realizar una caracterización geotécnica adecuada para comprender cómo se comporta el material y asegurar la estabilidad de las estructuras frente a tales circunstancias. Este estudio detalla la caracterización geotécnica de un depósito de desechos de hierro a través de pruebas de laboratorio, que incluyen mediciones de densidad específica, límites de Atterberg, distribución de tamaños de partículas, relaciones de vacío mínimas y máximas, análisis de difracción de rayos X, ensayos de edómetro a velocidad de deformación controlada (CRS) y ensayos triaxiales consolidados drenados y no drenados (CIDC|CIUC) con mediciones de relaciones de vacío durante el congelamiento. Además, se presenta y analiza la calibración de los parámetros del modelo constitutivo NorSand.

Garrido (6) en su tesis: *“Estudio De Factibilidad Técnica De Aprovechamiento De Relave Abandonado De Cobre”*, cuyo objetivo es determinar las posibles aplicaciones comerciales, evaluar los costos asociados y calcular los beneficios económicos del depósito. Las pruebas realizadas incluyeron la medición del pH, análisis de tamaño de partículas, difracción de rayos X, determinación de humedad, cálculo de densidad, evaluación de consistencia, ensayos de flexión y compresión, y análisis de

impurezas orgánicas. Según los resultados, el depósito se clasifica como un suelo suelto con baja plasticidad, lo que sugiere su uso como sustituto de arena fina en construcción. Se enfatiza la necesidad de investigaciones adicionales sobre la presencia de plomo y arsénico. El depósito tiene aproximadamente 66,099 metros cúbicos y, si se vende al precio actual, podría generar \$268 millones en 419 días.

Saavedra (7) en su tesis: ***“Efecto de finos no plásticos en los parámetros dinámicos de arenas de relave”*** cuyo objetivo se enfoca en analizar las propiedades dinámicas de una arena de relave. Para alcanzar este propósito, se llevarán a cabo pruebas de columna resonante y bender element, considerando diversos porcentajes de finos, índice de vacío inicial y estados de carga. La metodología consistió en tres etapas: Caracterización geotécnica del material mediante análisis granulométricos, determinación de índices de vacíos máximos y mínimos, microscopía y gravedad específica. Pruebas de Bender Element bajo cargas y descargas para confinamientos entre 1 y 5 [kgf/cm²], con un índice de vacío inicial de confección entre 0,75 y 0,85 y contenido de finos entre 1% y 30%. Ensayos de Columna Resonante para una arena de relave con contenido de finos entre 1% y 20%, con el mismo estado de carga e índice de vacío de confección que los ensayos de Bender Element. Los resultados principales muestran la influencia de los parámetros dinámicos (G y D) según el estado de carga, el índice de vacío inicial y la deformación al corte, corroborando lo observado en la literatura. Además, se identificaron relaciones entre el contenido de finos y las propiedades dinámicas, estableciendo relaciones lineales y exponenciales.

León (8) en su tesis: ***“Efectos de la sobrecompactación en la permeabilidad de filtros granulares utilizados en drenajes para presas de residuos mineros”***, cuyo objetivo es investigar la capacidad de drenaje de las presas de relaves mineros y la importancia del diseño y la construcción de los materiales que las componen, especialmente durante

la fabricación y colocación en el terreno, actividades que pueden alterar su capacidad de infiltración y reducir su eficiencia. Se analiza cómo estas problemáticas afectan las presas, utilizando datos de un depósito de relaves de cobre y siguiendo normativas internacionales para crear materiales de filtro y transición. Estos materiales se someten a ensayos de densidad máxima y mínima para determinar el rango de densidades secas a estudiar en ensayos de carga constante, lo que proporciona información sobre su permeabilidad según su grado de compactación o densidad relativa. Se proponen modelos que sugieren una posible disminución en la permeabilidad a medida que aumenta la densidad relativa. Finalmente, se realizan simulaciones de infiltración de un sistema de drenaje utilizando el software SEEP/W de GeoStudio, observando reducciones en el caudal para diferentes configuraciones de sistemas de drenaje, con la expectativa de que las relaciones de permeabilidad descritas por ICOLD sean menores que los valores originales

Núñez, Burbano y Jácome (9) en el artículo: *“Plan del cierre de la relavera comunitaria “el tablón”, provincia del oro, Ecuador”*, cuyo objetivo fue evaluar las dificultades técnicas durante su operación relacionadas con la forma en que se depositaba el relave, lo que resultaba en plataformas inestables que sobrepasaban la altura del dique (aproximadamente $\pm 25\text{m}$), junto con daños en el sistema integral de drenaje del fondo y efectos visuales y paisajísticos adversos. Se abordan dos aspectos principales: primero, se elabora un modelo geológico-geotécnico de la relavera utilizando datos obtenidos de diversas fuentes, como 2085 m de líneas de tomografía eléctrica, 1390 m de líneas de sísmica de refracción, 100 m de sondeos eléctricos verticales y 150 m de sondeos con recuperación de núcleos, además de aproximadamente 20 m de calicatas y estudios in situ. En segundo lugar, se proponen acciones para mitigar los impactos derivados de la gestión deficiente de la relavera, como estabilizar las plataformas mediante rellenos hasta una cota de clausura de 696 m sobre el nivel del mar, aplicar técnicas de fitorremediación y reforestación, así como construir canales de desvío.

Por último, se resalta la necesidad de diseñar y construir una planta de tratamiento de agua que aborde la cuestión del lixiviado.

2.1.2. Antecedentes nacionales:

Alvarado y Vargas (10) en su tesis: *“Gestión de riesgos para el recrecimiento de un depósito de relaves”*, cuyo objetivo fue evaluar el riesgo de deslizamiento del crecimiento del depósito de relaves Ramahuayco con el fin de proponer acciones preventivas. Este estudio se fundamenta en la recopilación de información nacional e internacional, que permite realizar una evaluación de riesgos utilizando el manual del Cenepred para controlar y monitorear posibles fallas por deslizamiento en depósitos de relaves. El objetivo es obtener resultados que conduzcan a la implementación de medidas para mejorar la mitigación de los riesgos asociados con este tipo de falla. En el transcurso de esta investigación, se llevó a cabo un análisis de riesgo de deslizamiento para el depósito de relaves con el fin de determinar el nivel de riesgo que representaría en caso de un evento inesperado, como un deslizamiento. Dicha falla podría resultar en el desbordamiento del relave y afectar a cuerpos de agua cercanos y a comunidades habitadas, lo que causaría daños al medio ambiente y a las personas. Por consiguiente, se proponen medidas preventivas de acuerdo con estándares internacionales, como los boletines técnicos, las pautas de seguridad del CDA y las revisiones de seguridad de presas, para reducir el riesgo asociado con este tipo de fallo, se concluye que el depósito de relaves Ramahuayco presenta un alto riesgo, por lo que se recomienda la implementación de medidas durante la fase operativa de la mina para mitigar este riesgo.

Carazas y Rincón (11) en su tesis: *“Costos de calidad en la construcción de Relaveras, para la mitigación de impactos ambientales negativos, caso: Relavera Compañía Minera Kolpa - Huancavelica”* cuyo objetivo es identificar la causa raíz del desbordamiento del líquido tóxico almacenado en una Relavera, que puede afectar los ríos cercanos al

campamento minero, y luego proporcionar recomendaciones para mitigar esta contaminación, siempre y cuando se apliquen correctamente los costos de calidad. Esta investigación comenzó con un análisis teórico que proporcionó normas y metodologías de los filósofos que son pioneros en el campo de la calidad. Luego, se recopiló experiencia a través del juicio de expertos, ya que la información de especialistas en el área es fundamental. En el capítulo de investigación, se llevó a cabo un seguimiento y control de calidad para obtener resultados significativos. Se utilizó el juicio de expertos para evaluar la en calidad, con el fin de entender su influencia en los costos y, en última efectividad de los procesos del proyecto y las métricas establecidas por expertos instancia, mejorar las prácticas para reducir la contaminación ambiental.

Tasayco (12) en su tesis: *“Evaluación y tratamiento del relave en la planta concentradora de la minera aurífera 04 de enero s.a. (macdesa) – Arequipa 2020”* cuyo objetivo fue diseñar la mejora de la estabilidad física de los desechos minerales generados por todas las plantas de procesamiento de minerales que trabajan con minerales de nuestros recursos naturales. Este tema ambiental es a menudo subestimado por algunas empresas mineras, lo que resulta en un procesamiento inadecuado de los desechos mineros, causando licuefacción y debilitamiento de los muros de contención. Esto conlleva a la contaminación del suelo y de los ríos, generando conflictos sociales con las comunidades circundantes. Además, contamos con leyes y regulaciones ambientales destinadas a promover un entorno sustentable en las pequeñas y medianas empresas. El propósito de este documento es definir y explicar la evaluación de los desechos mineros en la planta de procesamiento de minerales MACDESA, respondiendo a una necesidad académica, social y económica del país, con el objetivo de invertir en el sector minero para lograr un desarrollo sostenible en la provincia de Caraveli - Arequipa, donde se encuentra el proyecto MACDESA y su planta de procesamiento. El estudio se realizó mediante un enfoque de campo exhaustivo. El objetivo principal es mejorar la estabilidad física de la presa de relaves N°

2, mediante modificaciones en el diseño, el sistema de tratamiento de relaves, la restauración del cuerpo de agua y los parámetros constructivos. Como resultado, se propone acumular los residuos aguas abajo utilizando los bordes de los materiales prestados y emplear ciclones líquidos para asegurar la estabilidad de los residuos frente a posibles terremotos. Se concluye que existe una relación directa entre la evaluación y el tratamiento de los desechos mineros, con una hipótesis específica que confirma esta relación, demostrando que los desechos mineros tienen un factor de seguridad de 1.71. Este valor supera el gradiente de residuos sólidos de la mina según las pautas de medio ambiente sostenible, garantizando así un depósito físicamente estable de Relaves N° 2.

Catro (13) en su tesis: “*Análisis de estabilidad de talud por el Método Bishop en depósitos de desmonte Minero Excelsior, Cerro de Pasco – 2021*”, cuyo objetivo fue analizar la estabilidad de los taludes cercanos a la ciudad de Cerro de Pasco utilizando el método Bishop. Este estudio se enfocó en evaluar el grado de estabilidad de los taludes de la desmontera bajo las condiciones mecánicas y de diseño actuales, mediante la determinación del factor de seguridad para posibles superficies de falla de talud. Los resultados mostraron factores de seguridad por debajo de los mínimos requeridos, lo que indica condiciones de estabilidad y diseño no deseables y un riesgo significativo de ruptura y accidentes. Por tanto, este trabajo se considera una investigación aplicada. Se realizaron manipulaciones y simulaciones para encontrar valores aceptables de factor de seguridad y proponer modificaciones en el diseño de los taludes, lo que también se cataloga como una investigación cuasi experimental. Se utilizó el método de análisis Bishop simplificado para responder a las preguntas sobre por qué y en qué condiciones ocurren estos eventos, lo que sitúa el nivel de estudio en un contexto explicativo. La población de estudio incluyó todos los taludes de la desmontera Excelsior, seleccionando aquellos más críticos en términos de estabilidad mediante un muestreo por conveniencia. Los resultados mostraron factores de seguridad por debajo de los óptimos, lo que sugiere la necesidad de revisar

y ajustar el diseño de los taludes para garantizar su estabilidad física, corroborando así la validez de la hipótesis de investigación.

Quispe (14), en su tesis: ***“Diseño e instalación de geomembrana para impermeabilización de depósito de relaves, Sina, Puno, 2021”*** cuyo objetivo es presentar el diseño de una geomembrana para impermeabilizar un depósito de relaves en el distrito de Sina, Puno, utilizando el software "Geosoft-Pavco 3.0". Se describe un procedimiento constructivo adecuado para la instalación de la geomembrana y sus componentes. Se seleccionó una geomembrana HDPE texturizada de 1.5 mm (60 mils) para la impermeabilización, contrastando con las especificaciones del "Manual de Designing with Geosynthetics" - 5ta Edición (Robert M. Koerner). Se recomienda el uso de un geotextil no tejido NT-1600 con resistencia a la tensión de 400 N y resistencia al punzonamiento de 1200 N para proteger la geomembrana. Se detalla el proceso constructivo, destacando el uso de aire caliente, termofusión con cuña caliente y soldadura por extrusión, junto con las pruebas y ensayos realizados. Se concluye que el diseño de la geomembrana es correcto, y el uso de herramientas digitales proporciona ventajas técnicas, velocidad y productividad. La instalación adecuada de la geomembrana, geotextil y componentes garantiza una impermeabilización efectiva del depósito de relaves, evitando la contaminación del entorno.

Angelino (15) en su tesis: ***“Reducción de parámetros de resistencia al corte para la evaluación de estabilidad de talud de una presa de relave”***, cuyo objetivo fue analizar la estabilidad de taludes utilizando el Método de Reducción a la Resistencia a la cortante, el cual se aplica para calcular los desplazamientos mediante métodos de elementos finitos. Se aplicó este método a una presa de relaves ubicada en los valles altoandinos de Perú. Para llevar a cabo las simulaciones y cálculos, se utilizará el programa computacional FLAC 2D, el cual emplea elementos finitos para determinar el factor de seguridad de la presa. Para verificar los resultados

obtenidos por este programa y metodología, se compararán con el programa SLIDE V. 6.0, que utiliza el método de equilibrio límite y es ampliamente utilizado en el campo de la geotecnia. La presa de relaves en estudio está compuesta por cuatro materiales y presenta un nivel freático. Se utilizaron las propiedades geotécnicas e hidráulicas de cada material obtenidas mediante la recopilación de datos. En el caso de FLAC, se realizó un análisis que consideró grandes deformaciones, refinamiento de la malla y condiciones de contorno. Ambos programas arrojaron un factor de seguridad adecuado, pero siempre se busca obtener el valor más preciso que minimice el riesgo de deslizamiento. Además, se determinaron los desplazamientos horizontales y verticales, así como los esfuerzos totales en ambas direcciones. La evaluación de la metodología y los resultados se detallará a lo largo de la investigación.

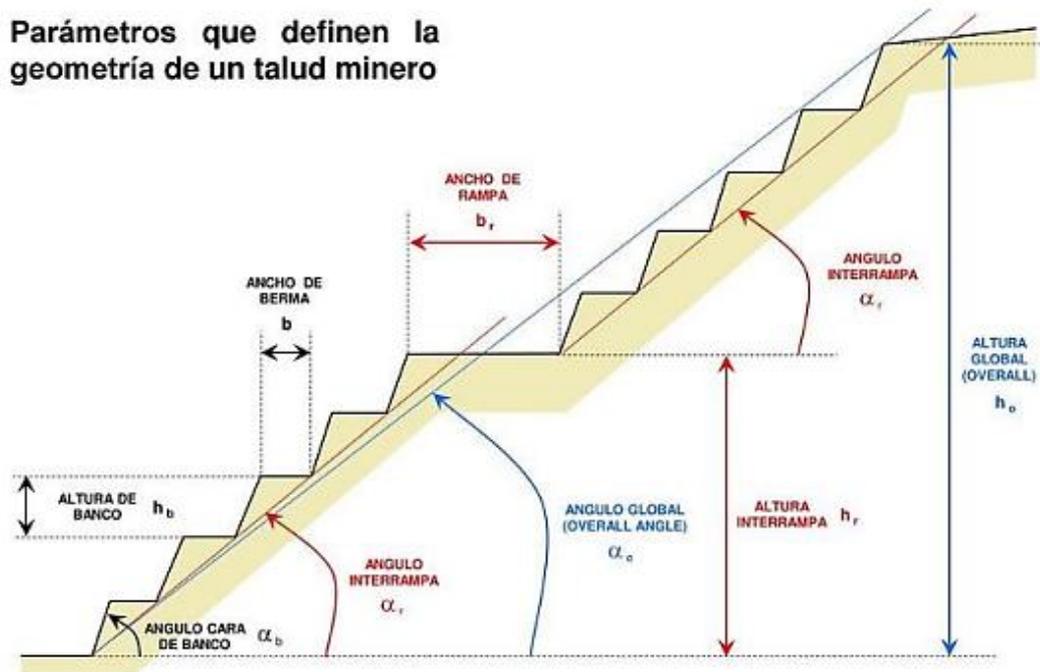
2.2. Bases teóricas

2.2.1. Taludes

Un talud es una superficie inclinada con respecto a la horizontal, la cual puede formarse de manera natural, como en el caso de las laderas, o ser creada por intervención humana en proyectos de ingeniería, como cortes y terraplenes (Figura 1), es común encontrar taludes con alturas que no exceden los 40 a 50 metros, aunque en la minería pueden existir casos que superen esta altura.

La inclinación de un talud, medida desde la base hasta la altura, se puede expresar en grados sexagesimales, porcentajes o como una relación entre la horizontal y la vertical (H:V).

Figura 1. Características que determinan la forma y estructura.

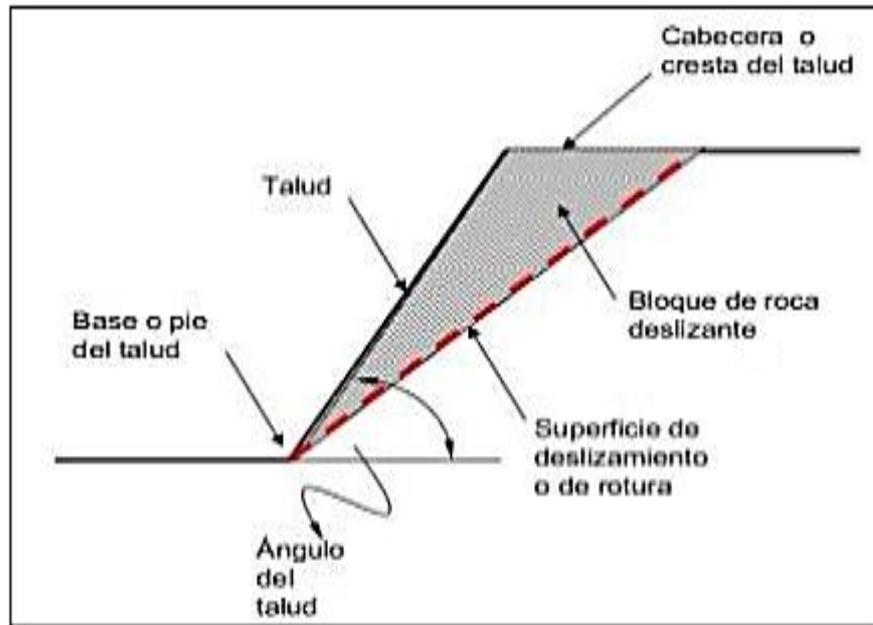


Nota: Tomado de "Problemas en operaciones mineras al aire libre", 2019.

2.2.2. Estabilidad de taludes

Para evaluar la estabilidad de un talud, lo primero es identificar el tipo de material que lo compone, ya sea suelo, roca o relleno. Luego, se deben explorar diversas alternativas estructurales para determinar la inclinación adecuada y los métodos de contención del talud, asegurando tanto su estabilidad física como la integridad de la cobertura (16). Otro aspecto importante es realizar un análisis de la estabilidad física utilizando software de modelado matemático, que nos permita examinar diferentes factores de seguridad para la masa de tierra, tanto en condiciones estáticas como dinámicas (17).

Figura 2. Configuración de un talud



Nota: Mogologolo (2015)

En los análisis de estabilidad de laderas, juegan un papel fundamental las circunstancias relacionadas con la composición de los materiales y los factores desestabilizadores, los cuales pueden ser de origen geológico, hidrológico y geotécnico. Estas variables añaden un nivel adicional de complejidad, lo que proporciona amplias oportunidades de investigación para los expertos en estos campos (17).

El diseño apropiado de una estructura geotécnica implica la capacidad de resistir las fuerzas máximas que puedan ocurrir de manera plausible durante su vida útil, asegurando al mismo tiempo que la estructura cumpla eficazmente su propósito, todo ello dentro de un presupuesto adecuado. La evaluación de la estabilidad de la estructura se realiza mediante la utilización del "factor de seguridad global" o, simplemente, del "factor de seguridad" (18).

2.2.3. Técnicas para examinar la estabilidad de pendientes

Dentro de la categorización global de los enfoques para calcular la estabilidad, podemos realizar la siguiente distinción:

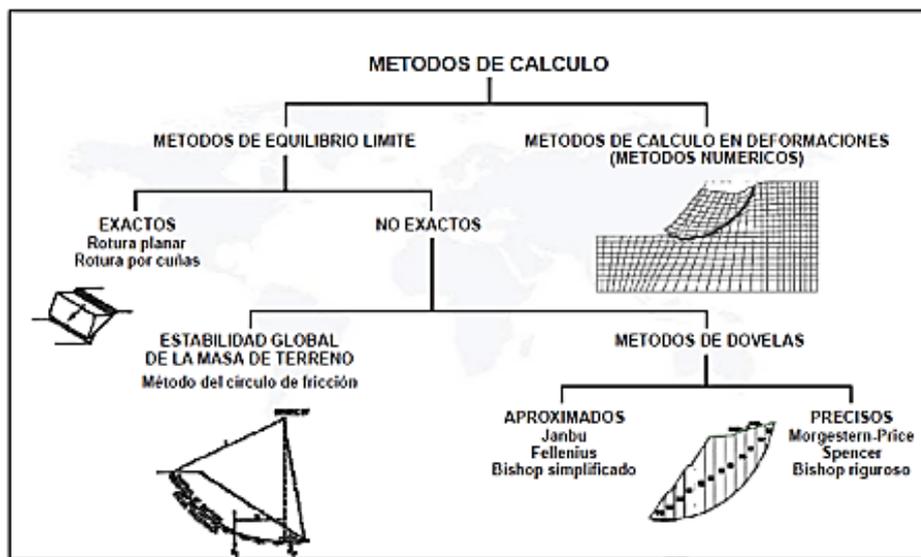
Fracturas en formaciones rocosas:

- ✓ Evaluación de fracturas planares
- ✓ Estudio de fracturación mediante cuñas y bloques
- ✓ Investigación de desprendimientos por vuelcos (toppling)
- ✓ Análisis de pandeo en formaciones rocosas

Fracturas en terrenos:

- ✓ Estudio de bloques y taludes de extensión infinita.
- ✓ Análisis de fracturación circular.

Figura 3. Categorización global de los enfoques para el cálculo de estabilidad



2.2.4. Relaves mineros

En la industria minera, la actividad de extraer minerales de la superficie terrestre implica la extracción de una gran cantidad de materiales para obtener solo una pequeña cantidad del mineral deseado. Esto conduce a la generación de una gran cantidad de desechos. Los relaves mineros son los desechos que quedan después de que se ha llevado a cabo un proceso de concentración de minerales. Estos desechos se presentan en forma de lodo, donde los minerales deseados se encuentran sedimentados en pequeñas fracciones entre rocas inertes e inofensivas, y suelen ocupar grandes volúmenes (16).

La formación del lodo se produce mediante la presencia de sustancias químicas que resultan del proceso de extracción minera. Inicialmente, no se considera como nocivo, pero esta percepción cambia con el tiempo

a medida que ciertos desechos mineros reaccionan con el agua, como es el caso del cianuro, zinc, arsénico, entre otros. Para prevenir la contaminación del entorno y proteger tanto a la población como al medio ambiente, es necesario almacenar estos desechos en instalaciones conocidas como depósitos de relaves, los cuales deben ser construidos cumpliendo con las regulaciones y leyes mineras pertinentes (17).

Además, Yanqui (17) refiere que el diseño de los depósitos de relaves debe tener en cuenta varios factores, como la densidad del material depositado, la vida útil de la mina, la posibilidad de expansiones futuras, la actividad sísmica, aspectos hidrológicos, estudios geotécnicos y la topografía del terreno.

2.2.3. Tipos de relaves

2.2.3.1. Relaves espesados.

Un sitio donde los residuos se someten a un proceso de sedimentación antes de su almacenamiento. A través de un dispositivo de espesamiento, se elimina una porción significativa del contenido de agua. Dado que no necesita una estructura de contención, el depósito de residuos espesados debe ser construido de manera que se evite que los residuos fluyan hacia áreas distintas al sitio designado. Además, debe incluir un sistema de estanques para recuperar el agua restante (19).

Por otro lado, de la Cruz (20) refiere que los residuos espesados contienen una mayor concentración de materiales sólidos en comparación con los residuos fluidos, debido al proceso de deshidratación. La proporción de sólidos en ellos varía entre el 45% y el 65% (rangos típicos para los desechos de la industria minera de metales) y pueden ser transportados mediante bombeo. Por lo general, los dispositivos de espesamiento por compresión son los responsables de llevar a cabo el proceso de deshidratación.

2.2.3.2. Relave fluido o pulpa

Los residuos de la minería, las suspensiones minerales o los residuos finales de la extracción de minerales son el resultado de

la combinación de agua y los restos luego del procesamiento de los minerales extraídos de la mina. Por lo general, contienen menos del 45% de sólidos en operaciones mineras que involucran roca dura y pueden ser transportados desde una planta de procesamiento de mineral hasta un depósito de relaves mediante bombas centrífugas. Comúnmente, se emplea un método de disposición en forma de espiga para estos residuos. A medida que se depositan, los residuos fluyen hacia afuera, lo que resulta en una separación natural y la formación de una pendiente inclinada entre el terraplén y el estanque sobrenadante. La magnitud de esta separación depende de factores como: la distribución del tamaño de las partículas en los residuos, la densidad de la suspensión y la gravedad específica de las partículas (20).

2.2.3.3. Relave filtrado

Se trata de un depósito en el que los desechos son sometidos a un proceso de filtrado antes de ser depositados. Esta tarea se lleva a cabo utilizando equipos de filtración especializados, cuya función es garantizar que la humedad de los desechos esté en un rango entre el 20% y el 30%. Los desechos filtrados son trasladados desde la planta de filtrado hasta el lugar de disposición final mediante maquinaria y/o cintas transportadoras (20).

2.2.3.4. Relave en pasta

Carvajal, (19) describe una situación intermedia entre los relaves espesados y los filtrados. Esta situación se caracteriza por una combinación homogénea de residuos sólidos y agua, con un contenido de agua que oscila entre el 10% y el 25%, y que contiene partículas finas con una concentración cercana al 15% en peso, resultado de un proceso de sedimentación al que se someten. La deposición de estos residuos se realiza sin la necesidad de compactación.

Por otro lado, De la Cruz, (20) señala que los relaves en pasta presentan un mayor contenido de sólidos en comparación con los

relaves espesados y los filtrados. Estos sólidos tienen un rango de entre el 65% y el 70% (valores típicos para los residuos de la minería de metales). La deshidratación de los residuos se lleva a cabo en espesadores de alta velocidad y cono profundo. Por lo general, se añaden aditivos como floculantes y coagulantes a los residuos para lograr densidades más altas. Aunque su consistencia es similar a la pasta de dientes y resulta difícil de transportar mediante bombas centrífugas, aún puede ser trasladada utilizando bombas de desplazamiento positivo.

2.2.4. Presa de relave:

Son depósitos de residuos principalmente se refieren a estructuras de retención de desechos, las cuales se pueden definir como construcciones sólidas utilizadas para almacenar desechos mineros y son construidas gradualmente a lo largo del período de explotación minera. Las dimensiones y técnicas utilizadas para su construcción dependerán de la categoría de los desechos, la ubicación geográfica y el horizonte de producción de la empresa minera encargada de la extracción de mineral. A diferencia de una represa de agua, las estructuras de retención de desechos representan un alto riesgo ambiental en caso de fuga, por lo que se requiere un mantenimiento estricto y una supervisión continua del aumento del volumen de desechos. Esto permite detectar de manera temprana la necesidad de un crecimiento gradual o una ampliación de la estructura (18).

2.2.4.1. Sistema de construcción

Para determinar el método de construcción adecuado para los depósitos de residuos mineros, se consideran tanto los tipos de materiales como los métodos que garanticen la estabilidad a un costo reducido. Estos materiales deben satisfacer ciertos criterios, como la permeabilidad, la compresibilidad y la resistencia a la cortante (20). Aunque los depósitos de residuos mineros ofrecen una ventaja económica, es importante tener en cuenta que pueden estar sujetos a problemas como daños en las tuberías internas,

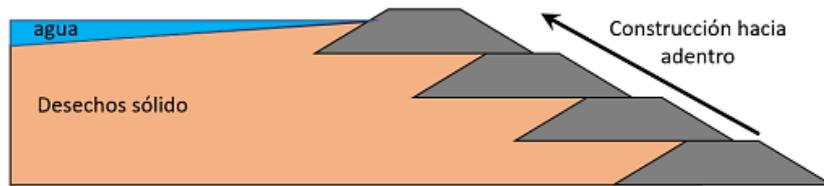
presencia de partículas erosionables, y susceptibilidad a congelamiento y licuefacción durante los terremotos (20).

A continuación, se examinarán los tres métodos de construcción de depósitos de residuos más comunes: el método aguas arriba, el método aguas abajo y el método de línea central.

a. Aguas arriba

Este enfoque, conocido como método "aguas arriba", implica la construcción de nuevos terraplenes sobre la "playa" dentro del embalse, lo que reduce los costos al minimizar el movimiento de tierras y permite alturas de hasta 25 metros. El diseño del dique inicial debe garantizar el flujo de filtración de agua y ser resistente al paso de tuberías, considerando la falta de medidas estructurales para controlar la superficie freática dentro del terraplén. Se deben gestionar factores como la permeabilidad, la segregación del tamaño de grano y la ubicación del agua acumulada en la presa durante la construcción. Los diques pueden construirse con material de préstamo o mediante excavación y colocación de material almacenado (20). En ambos casos, se requiere compactación antes de avanzar con la construcción. Los residuos se descargan desde la cresta del dique inicial utilizando espigas o ciclones, formando un dique y un pozo compuestos por material grueso que sirve de base para el siguiente nivel (21). La descarga debe contener al menos el 40 al 60% de arena. Este método, con una baja densidad relativa y alta saturación de agua, podría provocar licuefacción en caso de un sismo, por lo que no se recomienda en zonas altamente sísmicas como Perú.

Figura 4. *Método de construcción aguas arriba*

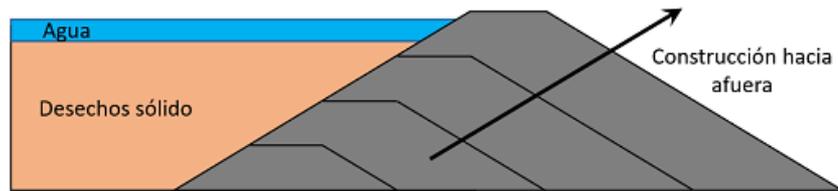


b. Aguas abajo

Debido a los riesgos asociados con el método aguas arriba y los deslizamientos documentados (ICOLD y UNEP 2001), se desarrolló el método aguas abajo. En este diseño, los nuevos terraplenes se construyen sobre las capas existentes y se extienden hacia fuera de la estructura, fortaleciendo las paredes (véase la Figura 5). Este método comienza con un dique inicial de material de préstamo compactado, al que se le añade un sistema de drenaje para prevenir la acumulación de presión de agua en los poros, lo que podría reducir la resistencia a la cortante (21).

A diferencia del método aguas arriba, este enfoque se emplea más en áreas sísmicas. Si la presa supera los 15 metros de altura, las capas deben compactarse más allá de la densidad relativa para prevenir problemas de licuación. Entre las ventajas del método se incluyen su facilidad de compactación, la posibilidad de instalar sistemas de drenaje, y la independencia de los depósitos de relaves para la resistencia de los cimientos. Sin embargo, la desventaja radica en que, al requerir una estructura más robusta, necesita más espacio y material para su construcción, lo que eleva los costos (21).

Figura 5. *Método de construcción aguas abajo*

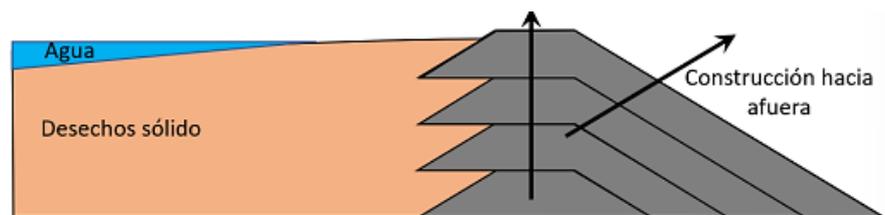


c. Línea central

Este enfoque combina los métodos aguas arriba y aguas abajo, proyectándose hacia el exterior. Su principal diferencia radica en la estabilidad, siendo más estable que el método aguas arriba y requiriendo menos material para expandir los diques que el método aguas abajo. El contenido de arena debe ser intermedio para garantizar la estabilidad del dique (20).

El proceso de construcción es similar a los métodos anteriores, comenzando con un dique inicial y la descarga del residuo desde la cresta utilizando ciclones. Cada dique formado debe estar alineado verticalmente y compactado para prevenir fallos por corte, además de contar con un sistema de drenaje interno que siga la línea de crecimiento para garantizar su resistencia ante sismos (21).

Figura 6. Método de construcción línea central

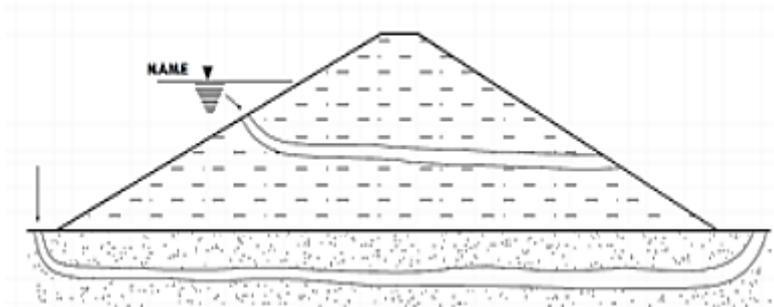


2.2.5. Fallas en las relaveras

Ocurre cuando el flujo de agua atraviesa el suelo de la presa, lo que resulta en la distribución de su carga hidráulica y la superposición de fuerzas viscosas y del flujo de los canales entre las partículas. Esto genera fuerzas erosivas que desplazan las partículas siguiendo el flujo, dando lugar al fenómeno conocido como sifonamiento del suelo. Se identifican áreas específicas donde el flujo y la velocidad del agua son más intensos, especialmente en el talud aguas abajo, donde el suelo no

está completamente confinado (22). Estas áreas críticas experimentan una mayor concentración de partículas removidas, lo que resulta en la formación de pequeños canales por donde el agua fluye a mayor velocidad, incrementando así el arrastre y ampliando progresivamente el diámetro de los canales formados (21). Finalmente, este proceso puede conducir al colapso parcial del dique, ya que la corriente de agua sigue su curso, erosionando la estructura a través de los agujeros generados.

Figura 7. *Tubificación total*



Fuente: Sulca (2018)

2.2.6. Fallas por deslizamiento

Estos movimientos, conocidos como fallas de desplazamiento de masas de suelo, ocurren cuando la resistencia a la cortante de las superficies de ruptura es superada, lo que resulta en la formación de dichas superficies. Las masas de suelo suelen desplazarse en conjunto, con un comportamiento unitario que suele estar relacionado con el volumen desplazado y la velocidad (22). Esta problemática es común en el suelo, por lo que es crucial garantizar la estabilidad de la presa a lo largo de su vida útil, incluso en condiciones desfavorables. Es esencial que los esfuerzos cortantes causados por el peso de la presa y las filtraciones no superen los esfuerzos cortantes del terraplén, manteniendo así un margen de seguridad adecuado (21).

Las fallas por deslizamiento de una masa de material fino o grueso desde un talud, causado por el hecho de que su peso propio supera la resistencia al corte en un plano propicio para el deslizamiento. En esta clase de falla, están implicadas diversas fuerzas, entre las que se encuentra la gravedad,

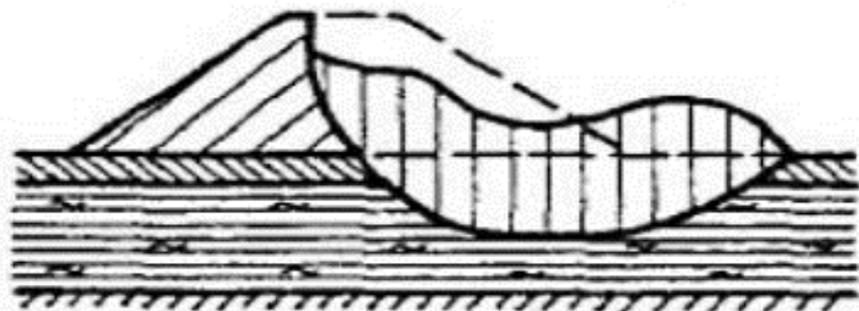
la cual, al superar a las fuerzas contrarias, provoca el deslizamiento. Este desplazamiento ocurre a lo largo de la superficie de ruptura, la cual suele tener una configuración curva (22).

Las deficiencias en las presas de residuos mineros pueden ocurrir en diferentes momentos durante su ciclo operativo, tales como los siguientes:

a. Incidencia durante el proceso constructivo

Este análisis resalta que las insuficiencias se manifiestan en los cimientos de los diques asentados sobre arcillas blandas, lo que conlleva a la creación de una superficie de falla en el talud debido a las características mecánicas de este tipo de suelo. La ocurrencia de estas deficiencias puede ser rápida o gradual, dependiendo de la uniformidad del suelo subyacente o la existencia de estratos que faciliten el movimiento. Por lo general, estas fallas no suelen tener consecuencias catastróficas ni de gran magnitud, dado que la presa aún no contiene relaves y las maquinarias en funcionamiento pueden contribuir a su corrección. Estos incidentes se han observado principalmente en diques erigidos sobre arcillas blandas, lo que propicia la formación de una amplia superficie de falla, donde los movimientos pueden ser tanto rápidos como lentos

Figura 8. *Incidencia durante el proceso constructivo*

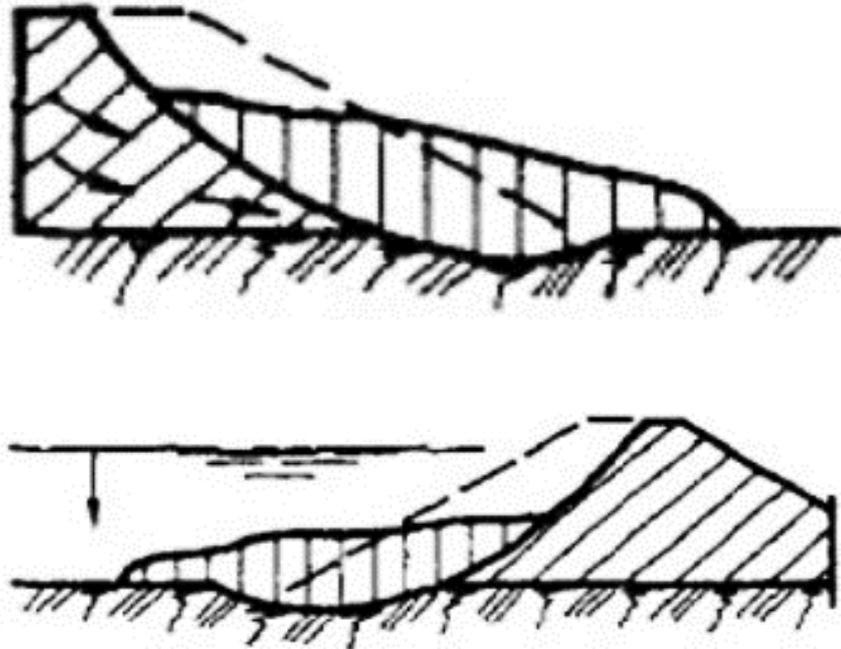


Fuente: Guedes, O., Glez, Y., y Rodríguez, S. (2017)

b. Incidencia durante la fase operativa

Estos señalamientos destacan que las deficiencias tienen un impacto mayormente en los métodos de construcción que utilizan la técnica de aguas abajo. Se clasifican en dos tipos: las fallas profundas, donde la superficie de ruptura penetra en el suelo de cimentación compuesto por arcillas; y las fallas superficiales, que afectan solo áreas pequeñas del talud. El movimiento del suelo afectado ocurre porque las presiones de poros del flujo afectan negativamente a las tensiones efectivas presentes en la superficie de ruptura, lo que resulta en una disminución de la resistencia al corte. Similar a las fallas durante la fase de construcción del dique, estos casos implican riesgos bajos (22).

Figura 9. Incidencia durante la actividad operativa



Fuente: Guedes, O., Glez, Y., y Rodríguez, S. (2017)

c. Incidente por desbordamiento

Este texto destaca la importancia de abordar el problema del desbordamiento en las represas, resaltando que este fenómeno presenta un riesgo significativo para las áreas aguas abajo. Se menciona que los materiales arrastrados por el desbordamiento son

los principales causantes del peligro (21). Para mitigar este riesgo, se sugiere la construcción de una estructura complementaria llamada vertedero, la cual debe estar fabricada con materiales resistentes a la erosión, como el hormigón, se enfatiza la necesidad de que el vertedero tenga una capacidad adecuada para manejar desbordamientos durante eventos extremos y permitir la liberación segura del exceso de agua (22). La prevención de este fenómeno es crucial para evitar daños en el talud aguas abajo, lo que podría conducir a la erosión de la estructura y representar un riesgo considerable con consecuencias negativas (21).

2.2.7. Estudios geotécnicos

Es fundamental llevar a cabo los análisis fundamentales requeridos antes de iniciar la construcción de los depósitos de desmonte de mina. Se enfatiza la importancia de realizar una campaña exhaustiva de investigaciones geotécnicas durante las actividades de campo. El objetivo principal es caracterizar tanto los materiales que conformarán la base del depósito como los materiales de desmonte que se utilizarán en la estructura planificada (23).

a. Evaluación geotécnica del material de préstamo para la formación

Reconoce que la evaluación de los aspectos geotécnicos y la descripción geológica del área donde se llevan a cabo las construcciones de rellenos controlados es crucial para el análisis de estabilidad y para comprender las propiedades físicas del material de desmonte. Se subraya que la caracterización geotécnica y geológica se adapta según la ubicación planificada del depósito de desmonte, teniendo en cuenta la geomorfología específica de la zona de proyecto (23).

b. Características físicas de los materiales

La clasificación de los materiales puede llevarse a cabo de diversas maneras y mediante varios ensayos, siendo los más comunes aquellos que se basan en la granulometría y la plasticidad de cada

tipo de material utilizado en el proceso de conformación y compactación de los rellenos (23).

Existen diferentes métodos para la clasificación de suelos, entre ellos:

- ✓ El Sistema de Clasificación Unificada de Suelos (USCS).
- ✓ El método Asociación de funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO).

La caracterización de los suelos se realiza a través de ensayos de laboratorio establecidos por la Sociedad Estadounidense para Ensayos y Materiales (ASTM) (23).

c. Angulo de fricción:

El ángulo de fricción se define como la expresión numérica del coeficiente de rozamiento, que es un principio fundamental en la física.

$$\text{Coeficiente de rozamiento} = \text{Tan } \phi$$

La magnitud del ángulo de fricción está influenciada por diversos factores (Bilz, 1995), entre los cuales destacan algunos de los más significativos.

- ✓ Tamaño de los granos
- ✓ Forma de los granos
- ✓ Distribución de los tamaños de granos
- ✓ Densidad

d. Cohesión

La cohesión se refiere a la fuerza de unión o la adhesión entre las partículas del suelo.

En ingeniería geotécnica, la cohesión se emplea para expresar la resistencia al corte producto de esta unión, mientras que en física se utiliza para denotar la fuerza de tensión (23).

En suelos predominantemente granulares donde no hay presencia de ningún aglutinante o material que pueda causar adhesión, se asume que la cohesión es nula, y a estos suelos se les denomina suelos no cohesivos

2.2.8. Resistencia cortante del suelo.

a. Modelo de falla de Mohr-Coulomb

Mohr (1900) propuso un modelo para la fractura en materiales. Según esta teoría, un material se fractura debido a una combinación crítica de esfuerzo normal y esfuerzo cortante, y no únicamente por un esfuerzo máximo normal o cortante individual. Por consiguiente, la relación funcional entre el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante en un plano de fractura puede ser expresada de la siguiente manera.

$$\tau_f = f(\sigma)$$

donde

τ_f = esfuerzo cortante en el plano de falla

σ = esfuerzo normal en el plano de falla

La curva que define la envolvente de falla, expresada como $\tau_f = f(\sigma)$, es una representación gráfica. En la mayoría de los casos en la mecánica de suelos, es aceptable aproximar el esfuerzo cortante en el plano de falla como una función lineal del esfuerzo normal (Coulomb, 1776). Esta correlación puede ser expresada de la siguiente manera (23).

$$\tau_f = c + \sigma \tan \Phi$$

donde

c = cohesión

ϕ = ángulo de fricción interna

2.2.9. Examen de estabilidad.

a. Significado del Índice de Seguridad (I.S.).

Los ingenieros utilizan el índice de seguridad para determinar el nivel de riesgo de que el talud falle bajo las condiciones más desfavorables previstas en el diseño. (23) introdujo el índice de seguridad como la proporción entre la resistencia real al corte, calculada del material del talud, y los esfuerzos críticos de corte que podrían provocar la falla a lo largo de una superficie hipotética de posible ruptura.

$$F. S. = \frac{\text{Resistencia al corte disponible}}{\text{Esfuerzo al corte actuante}}$$

En las superficies curvas donde hay un punto de rotación y momentos de resistencia y de fuerza operando:

$$F. S. = \frac{\text{Momento resistente disponible}}{\text{Momento actuante}}$$

Este fragmento aborda cómo la mayoría de los métodos de análisis se basan en el concepto de "equilibrio límite", donde se asegura que se cumpla el criterio de falla de Coulomb en una superficie específica. Se analiza un cuerpo en equilibrio, teniendo en cuenta tanto las fuerzas que actúan sobre él como las fuerzas de resistencia necesarias para mantener dicho equilibrio. Luego, al comparar esta fuerza de resistencia con la resistencia ofrecida por el suelo o la roca, se puede estimar el factor de seguridad.

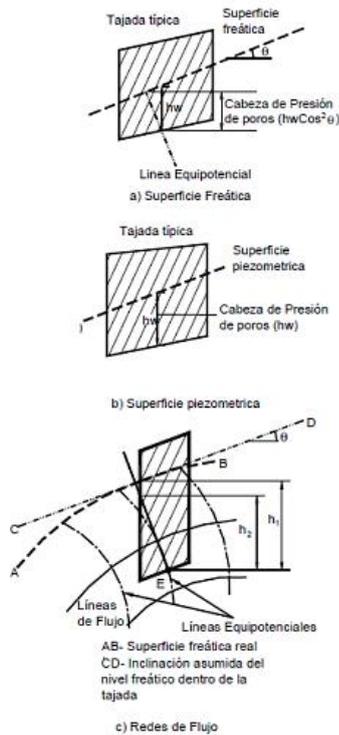
b. Superficie freática:

La superficie o línea que marca el nivel del agua subterránea se denomina nivel freático. En una superficie freática, la presión de poros se determina conforme a las condiciones de estado estacionario ("Steady-state"). Este principio se fundamenta en la premisa de que todas las líneas equipotenciales son perpendiculares entre sí. Por lo tanto, si la inclinación del segmento de la superficie freática es representada por θ y la distancia vertical entre el punto y la superficie

freática es hw , la presión de poros se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$u = \gamma_w (hw \cos^2 \theta)$$

Figura 10. Representación de la presión de poros



En situaciones donde las líneas freáticas presentan una pendiente pronunciada, el cálculo previo puede exagerarse, por lo que es necesario considerar que las líneas equipotenciales tienden a adoptar una forma curva (22).

c. Relación de presión de poros

Este método, ampliamente utilizado y de gran simplicidad, permite estandarizar el valor de la presión de poros en un talud, conforme a la definición establecida (23).

$$r_u = \frac{u}{\sigma_v}$$

Donde:

u = Presión de poros

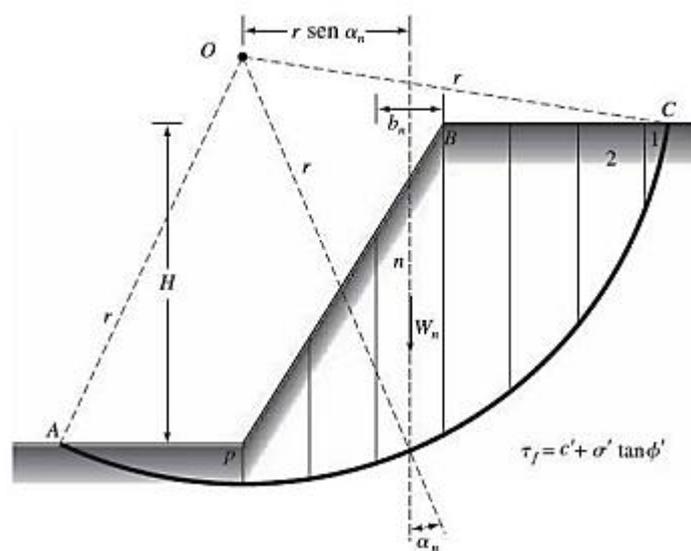
σ_v = Esfuerzo total vertical del suelo a una profundidad z .

Este coeficiente se aplica con relativa facilidad, si bien asignarlo adecuadamente en distintas secciones del talud puede plantear desafíos significativos. En algunas situaciones, es necesario dividir el talud en múltiples regiones con distintos valores de Γ_u .

d. Método de Dovelas

En la mayoría de los métodos que involucran fallas curvas o circulares, la masa ubicada en la parte superior de la superficie de falla se divide en una serie de segmentos verticales. El número de segmentos depende de la forma del talud y de la exactitud necesaria para el análisis. Se asume que cuanto mayor sea el número de segmentos, más precisos serán los resultados. En los procedimientos de análisis que emplean esta técnica, se suele aplicar el principio de equilibrio de momentos con respecto al centro del círculo para cada uno de los segmentos.

Figura 11. Representación de un sistema convencional de análisis mediante segmentos o bloques



Nota: (BRAJA M. DAS, Principios básicos de ingeniería geotécnica, 2013)

e. Método de Bishop

Bishop (1955) introdujo un enfoque empleando bloques y considerando la interacción entre ellos. Bishop supone que las fuerzas entre los bloques son exclusivamente horizontales, sin tomar en consideración fuerzas de corte. La solución detallada de Bishop es bastante complicada, por lo que se utiliza una versión simplificada de su método, según la fórmula:

$$F.S. = \frac{\sum \left[\frac{C' \Delta l \cos \alpha + (W' u \Delta l \cos \alpha) \tan \phi'}{\cos \alpha + (\sin \alpha \tan \phi') / FS} \right]}{\sum W \operatorname{sen} \alpha}$$

Dónde:

Δl = longitud de arco de la base de la dovela

W = Peso de cada dovela

C', ϕ = Parámetros de resistencia del suelo.

u = Presión de poros en la base de cada dovela = $\gamma_w \times h_w$

α = Ángulo del radio y la vertical en cada dovela.

Este fragmento señala que, en la ecuación presentada, el factor de seguridad (FS) está presente en ambos lados, lo que implica que su cálculo requiere un proceso interactivo para su determinación.

f. Análisis sísmico

✓ Evaluación pseudo-estática: El enfoque sigue el mismo procedimiento general que otros métodos de equilibrio límite, pero con la inclusión de fuerzas pseudoestáticas tanto horizontales como verticales, originadas por el terremoto. Se supone que estas fuerzas sísmicas son proporcionales al peso del deslizamiento potencial y a los coeficientes sísmicos K_h y k_v , expresados en términos de múltiplos de la aceleración “g” generada por el sismo (23).

Por lo general, se aconseja que el análisis con carga sísmica pseudoestática se realice únicamente en la superficie más crítica

identificada en el análisis estático. En la mayoría de los casos, solo se considera la fuerza sísmica horizontal, y se supone que “ K_v ” es igual a cero. La magnitud del coeficiente sísmico debe reflejar la naturaleza de la fuerza del evento, la cual depende de la intensidad o aceleración del sismo, la duración del movimiento y la frecuencia. Para un enfoque extremadamente cauteloso, se puede considerar que el coeficiente sísmico “ k_h ” es igual a la máxima aceleración pico esperada de un evento sísmico en el lugar (23).

g. Principios fundamentales de la licuefacción

La licuefacción del suelo bajo la acción de vibraciones sísmicas, cuando un suelo saturado y carente de cohesión se ve expuesto a este tipo de vibraciones, experimenta una contracción y genera presiones de poros positivas, a menos que el drenaje sea rápido. Si la presión de poros alcanza niveles comparables a la presión geoestática vertical, la presión efectiva se anula, lo que hace que el suelo pierda toda su resistencia y se comporte como un fluido, experimentando deformaciones importantes. Después de que cesa el movimiento sísmico, persiste una presión de poros residual, que tiende a desplazarse lateralmente a medida que se disipa, pudiendo afectar a las capas circundantes. La mayoría de los daños causados por la licuefacción suelen evidenciarse poco después de que el terremoto ha terminado, como ocurrió en el caso de la presa de San Fernando en 1971 (23).

CAPÍTULO III

METODOLOGIA

3.1. Método de la investigación

El enfoque utilizado corresponde al método de investigación científica, siendo descriptivo y no experimental. Este método implica el estudio de las principales características y aspectos relevantes de la investigación y caracterización Geotécnica con el fin de evaluar las propiedades físicas y mecánicas en taludes de relavera Chinchán considerando las propiedades de cargas granulométricas de la unidad minera Casapalca.

El enfoque de investigación es de naturaleza aplicada, según mencionan Quispe y Zúñiga (24). Se distingue por su objetivo de aplicar o poner en práctica los conocimientos adquiridos, específicamente en el ámbito de la investigación y caracterización Geotécnica, con el propósito de evaluar las propiedades físicas y mecánicas en taludes de relavera Chinchán considerando las propiedades de cargas granulométricas de la unidad minera Casapalca.

3.2. Tipo de investigación:

El tipo de investigación es de naturaleza aplicada, según mencionan Quispe y Zúñiga (24). Se distingue por su objetivo de aplicar los conocimientos adquiridos, específicamente en el ámbito de la investigación y caracterización Geotécnica, con el propósito de evaluar las propiedades físicas y mecánicas en taludes de relavera Chinchán considerando las propiedades de cargas granulométricas de la unidad minera Casapalca.

3.3. Diseño de investigación:

De acuerdo con Hernández Sampieri (25), el enfoque transeccional o transversal implica la recopilación de datos en un único instante, en un momento temporal específico. Su objetivo radica en la descripción de variables y el análisis de su influencia en un punto determinado en el tiempo.

El diseño muestral se describe como la selección de elementos según criterios predefinidos por el investigador. Por lo tanto, en nuestro caso, hemos adoptado

un enfoque de diseño muestral no probabilístico intencional, ya que la selección de la muestra se basa en criterios específicos establecidos por nosotros, lo que lo convierte en un diseño personalizado.

3.4. Nivel de investigación

“Los análisis descriptivos evalúan las variables de manera individual, y aunque no plantean hipótesis, estas variables están incluidas en los objetivos de la investigación” (25).

Por lo que esta investigación es descriptiva donde el propósito es evaluar las propiedades físicas y mecánicas en taludes de relavera Chinchán considerando las propiedades de cargas granulométricas de la unidad minera Casapalca.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población:

La población para el presente trabajo de investigación relavera Chinchán de la unidad minera Casapalca.

3.5.2. Muestra:

El depósito de relaves Chinchán, situado específicamente en el distrito de Chicla, dentro de la provincia de Huarochirí, en el departamento de Lima. La altitud del área fluctúa entre los 4400 y 4499 metros sobre el nivel del mar, y su distancia respecto a Lima es de aproximadamente 120 kilómetros.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

3.6.1. Técnica de procesamiento de datos

Algunos de los datos utilizados para la presente investigación serán obtenidos de manera virtual. Dado el carácter teórico e investigativo de la tesis, se recopilarán datos de investigaciones de campo, que incluyen el mapeo geológico-geotécnico, los ensayos de laboratorio y la información obtenida de diversos informes y tesis relacionadas con el tema. Además, se obtuvo información topográfica de Google Earth para generar curvas de nivel cada metro en áreas específicas del depósito de relaves, así como datos hidrológicos del SENAMHI.

Para complementar la investigación, se consultaron libros y artículos científicos tanto nacionales como internacionales, además de recopilar datos de instituciones estatales como la ANA, el MINEM y el SENAHMI, así como de instituciones internacionales como la Canadian Dam Association (CDA) y el SERNAGEOMIN. Este enfoque permitió diseñar de manera óptima y realizar una comparación exhaustiva de los tres métodos de recrecimiento.

La inspección directa en terreno y el monitoreo continuo de las operaciones en sí mismas fueron empleados para recabar la información necesaria destinada a la elaboración del plan minero. Además, se llevó a cabo un análisis documental en el cual se aplicaron teorías y estándares para respaldar de forma teórica los resultados obtenidos

3.6.2. Técnica de procesamiento de datos

El diseño de la presa de relaves se llevará a cabo utilizando diversas herramientas y software especializados. Se empleará el software AUTOCAD y CIVIL 3D de Autodesk para la planificación general de la presa. Para el análisis de la estabilidad y las infiltraciones, se utilizará el software Slide v. 6.0 de Rocscience Inc. Las deformaciones serán calculadas mediante el programa QUAKE/W v. 2018 de Geostudio y PLAXIS 2D v.20. Además, se aprovechará la información topográfica proporcionada por Google Earth y Global Mapper. Para el estudio hidrológico, se recurrirá al programa HEC – HMS v. 4.6.1 del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU., así como a los softwares libres HIDROESTA 2.0 y HCANALES versión 3.0.

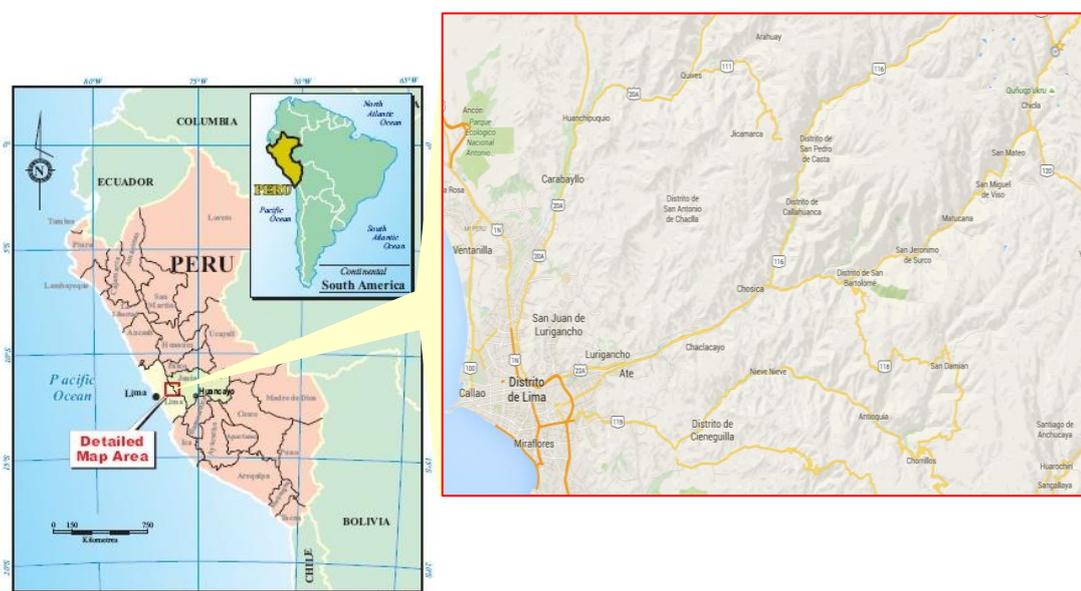
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Presentación de resultados

4.1.1. Ubicación de la Unidad Minera Yauliyacu:

La mina subterránea Yauliyacu se ubica en el flanco oeste de la Cordillera Occidental de los Andes del Perú, en el distrito de Chicla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima, a una altitud promedio de 4,250 msnm y a 115 km al NEE de la ciudad de Lima por la vía de la carretera central.

Figura 12. Ubicación unidad minera Yauliyacu



4.1.2 Manejo de los depósitos de relaves

Hoy en día, se ha descubierto que los colapsos de los depósitos de relaves que han ocurrido en los últimos años a nivel mundial, no son necesariamente resultado de desconocer el proceso de construcción o de fallas en el diseño propiamente dicho, sino que, en muchas ocasiones, se deben a una gestión inadecuada en la operación, el mantenimiento y la supervisión. Por esta razón, tanto la industria minera como las normas internacionales actuales sugieren la implementación de un sistema de gestión que no solo involucre al personal especializado en ingeniería geotécnica, medio ambiente y otras áreas técnicas, sino también a los profesionales en los niveles superiores de la gestión, quienes tienen la capacidad

de tomar decisiones clave. De este modo, se asegura que el manejo y la operación de estas estructuras, así como de los sistemas de bombeo asociados, sean adecuados y se minimice el riesgo de daños a las personas y al medio ambiente en caso de accidentes o incidentes.

4.1.3 Materiales de construcción y fundación

Los materiales utilizados en la construcción de los depósitos de relaves incluyen:

- ✓ Relave grueso Rosaura: Este material forma el dique de la presa Rosaura y se clasifica como arena limosa (SM) según SUCS, con un contenido de arena del 75-80% y finos del 20-25%. Sus parámetros de resistencia drenada son 5 kPa de cohesión y un ángulo de fricción de 33°.
- ✓ Relave fino Rosaura: Este material se encuentra en el vaso de Rosaura y también se clasifica como arena limosa (SM) con un contenido promedio de arena del 80% y finos del 20%, además de lentes de arcilla (CL) a profundidades menores de 7 metros. El sondaje SCPTu indica que no hay exceso de presión de poros en este material. Sus parámetros de resistencia cortante drenada son 0 kPa de cohesión y un ángulo de fricción de 32°.
- ✓ Desmonte de mina: Este material compone el dique de arranque del depósito de relave Rosaura y se clasifica como grava pobremente gradada con limo y arena (GP-GM). Las gravas son subangulosas. Sus parámetros de resistencia cortante son 5 kPa de cohesión y un ángulo de fricción de 35°.
- ✓ Depósito morrénico: Similar al desmonte de mina, este material también compone el dique de arranque y se clasifica como grava pobremente gradada con limo y arena (GP-GM). Sus parámetros de resistencia cortante son 10 kPa de cohesión y un ángulo de fricción de 36°.
- ✓ Depósito aluvial: Este material se origina de la acción del agua en cauces antiguos y se clasifica como grava pobremente gradada con arena (GP) y grava pobremente gradada con limo y arena (GP-GM), con plasticidad nula y una consistencia de suelta a muy suelta. Sus parámetros de resistencia cortante son 10 kPa de cohesión y un ángulo de fricción de 36°.
- ✓ Basamento rocoso: Compuesto por roca andesita y brecha volcánica

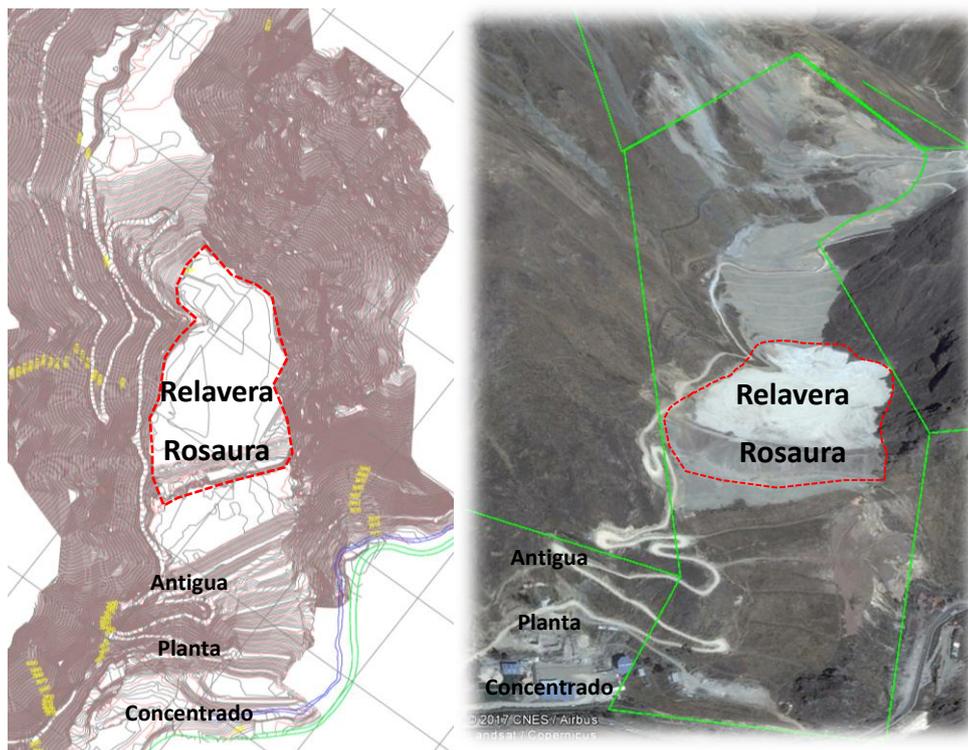
4.1.4 Geometría

Tabla 2. Características generales del depósito de relaves Rosaura

| Descripción | Unidad | Medida |
|---|--------------|--------------------------|
| Características generales - Relavera Rosaura | | |
| Talud aguas abajo | Adimensional | 2,5H:1V |
| Talud aguas arriba | Adimensional | 2,0H:1V |
| Altura del dique | m | 22,5 |
| Longitud de la corona | m | 280 (aprox.) |
| Ancho de corona | m | 4 |
| Longitud de playa actual | m | 330 |
| Pendiente de playa | % | 1,5 |
| Cota de cresta | msnm | 4016 |
| Cota de espejo de agua | msnm | No presenta (ver nota 1) |
| Borde libre | m | 4 |
| Consecuencia de falla (CDA) (ver nota 2) | - | Extrema |
| Estabilidad física | | |
| Periodo de retorno | Años | 475 |
| Coefficiente sísmico | Adimensional | 0,16 |
| Características hidrológicas | | |
| Precipitación total mensual | mm | 833 |
| Evaporación total mensual | mm | 1400 |
| Precipitación máxima probable (100) | mm | 38 |
| Precipitación máxima probable (500) | mm | 42 |

Notas. El depósito no tiene una superficie de agua visible, aunque durante la temporada de lluvias se acumula agua.

Figura 13. Disposición de la relavera Rosaura

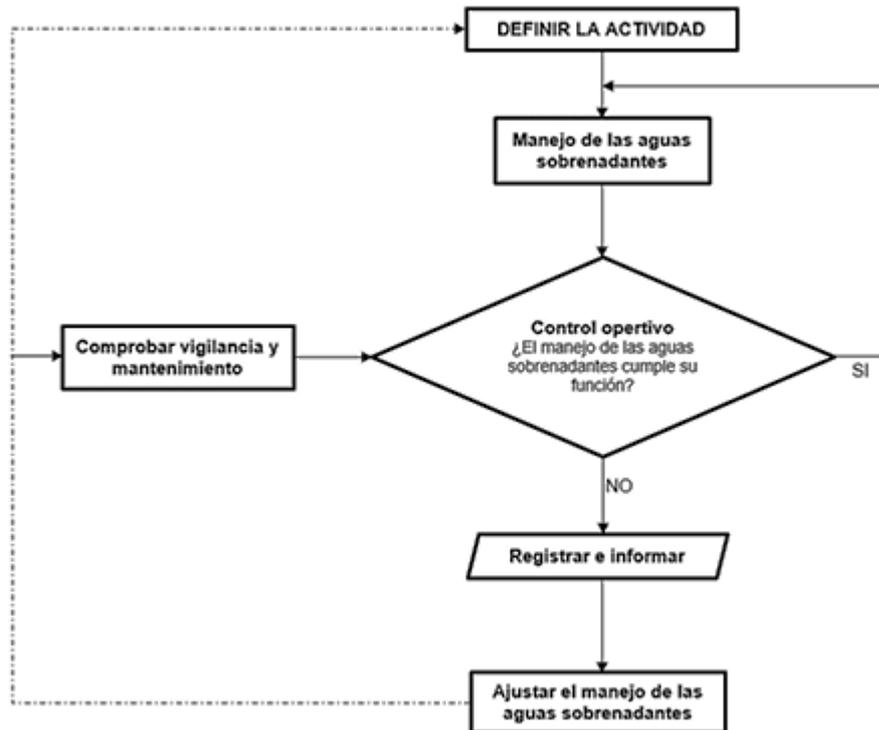


4.1.6. Componentes de los depósitos de relaves de Rosaura

Los depósitos de relaves incluyen los siguientes elementos:

- ✓ Dique inicial de Rosaura
 - ✓ Diques principales en Yauliyacu Antiguo, Yauliyacu Nuevo y Rosaura
 - ✓ Sistema de impermeabilización para Rosaura
 - ✓ Sistema de recolección de subdrenaje
 - ✓ Rampas de acceso
 - ✓ Túneles de desvío en Yauliyacu Antiguo
 - ✓ Pozos de inspección 2 y 3
- a. Infraestructura para Manejo de Aguas:
- ✓ Estructura de captación en la quebrada Santa Rosa
 - ✓ Sistema de bombeo para aguas pluviales en Rosaura
 - ✓ Pozo de inspección (manhole) 4 en Rosaura
 - ✓ Tuberías para conducir el agua al sedimentador principal
 - ✓ Cunetas
- b. Equipo de Monitoreo Geotécnico:
- ✓ Piezómetros de tubo abierto
 - ✓ Piezómetros de cuerda vibrante
 - ✓ Puntos de control topográfico
 - ✓ Inclínómetros verticales

Figura 14. *Operación de los depósitos de relaves Rosaura*



Los parámetros de funcionamiento del depósito de residuos Rosaura en su estado actual se condensan en los criterios operativos. El agua que se acumula en la parte superior de los residuos depositados (espejo) se retira mediante una bomba automática y a través de un tubo de HDPE de 4 pulgadas de aproximadamente 115 metros de longitud, que desecha el agua acumulada (agua de contacto) en el Manhole 4 (Manhole Rosaura). Este último se une al antiguo túnel de Yauliyacu y al salir de él, se conecta con dos tuberías de HDPE de 6 pulgadas que conducen el agua hacia abajo por gravedad hasta la piscina de sedimentación donde se procesa en el sistema de tratamiento existente, para finalmente ser liberada al medio ambiente en el punto M2. Para situaciones de crisis, se dispone de un generador de energía para poner en funcionamiento la bomba.

4.1.7 Análisis granulométrico

Según la evaluación del tamizado de muestra de relave considerando las siguientes mallas, a continuación, se presenta los rangos de los diferentes tamaños en que varían las partículas del relave:

Tabla 3. *Distribución granulométrica en la relavera Rosaura*

| Malla | Abertura (µm) | Peso (gr) | % Peso | % Acumulado Retenido | % Acumulado Pasante |
|-------|---------------|-----------|--------|----------------------|---------------------|
| 70 | 179 | 74.20 | 37.44 | 37.44 | 62.56 |
| 150 | 106 | 66.20 | 33.40 | 70.84 | 29.16 |
| 200 | 74 | 29.20 | 14.73 | 85.57 | 14.43 |
| 325 | 44 | 13.40 | 6.76 | 92.33 | 7.67 |
| -325 | 44 | 15.20 | 7.67 | 100.00 | 0.00 |
| | | 198.20 | 100.00 | | |

Tabla 4. Rango del tamaño de partículas de la relavera Rosaura

| Malla | Abertura |
|-------|----------|
| 70 | 0.2100 |
| 150 | 0.1050 |
| 200 | 0.0740 |

Tabla 5. Distribución de tamaños de partículas y la porosidad del material de relaves

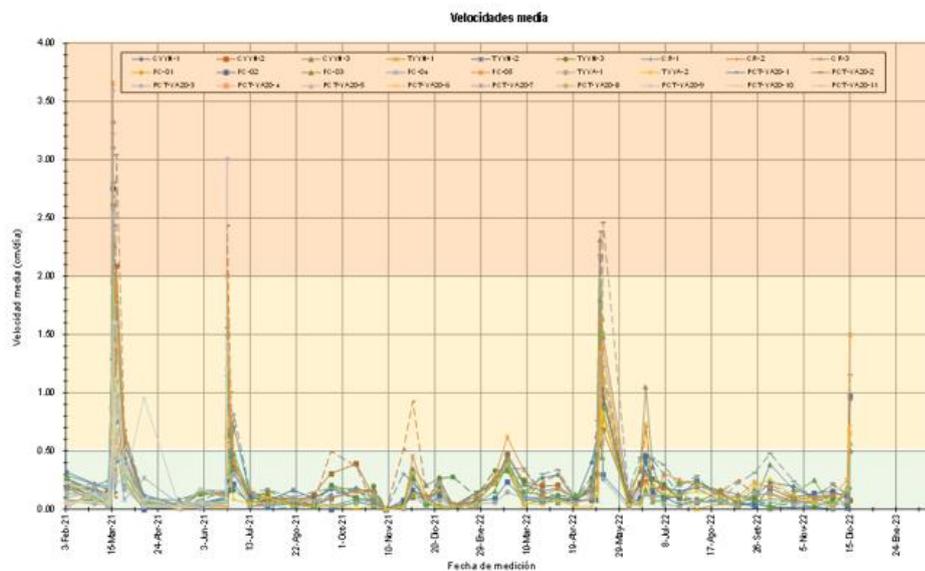
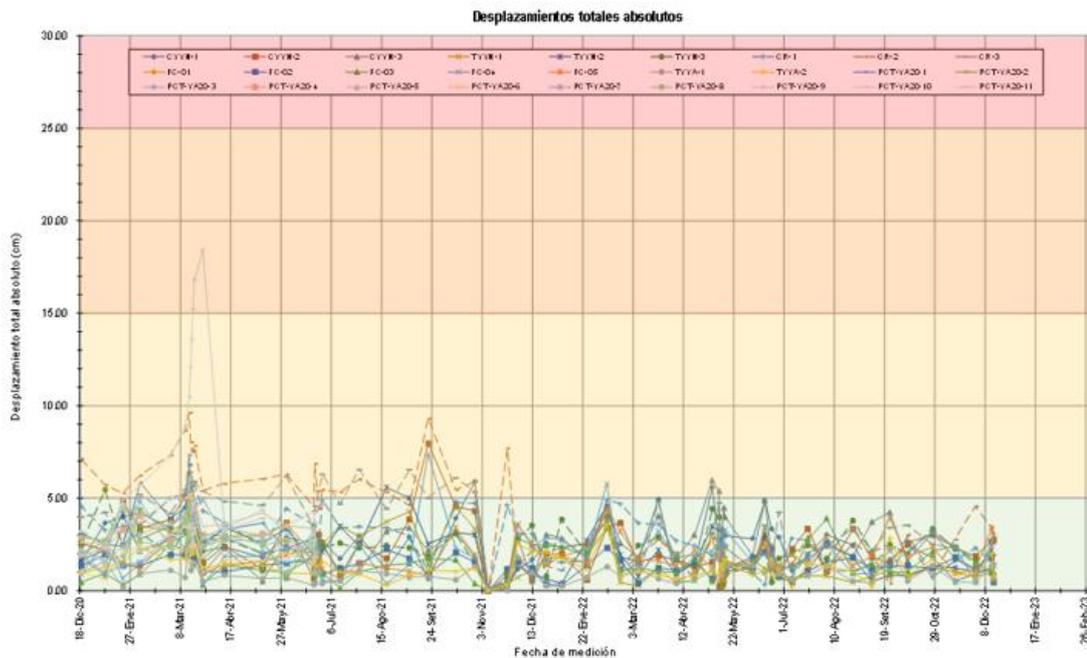


Tabla 6. Distribución de tamaños de partículas y la porosidad del material de relaves



4.1.8. Fallas potenciales: Evaluación y gestión

Los posibles modos de falla se evalúan mediante un enfoque basado en riesgos. Generalmente, una evaluación de riesgos busca responder a las siguientes preguntas esenciales:

- ✓ ¿Qué puede suceder (evento no deseado) y de qué manera (modo de falla)?
- ✓ Si el evento ocurre, ¿cuáles serían las consecuencias?
- ✓ ¿Cuál es la probabilidad de que ocurra este evento no deseado?
- ✓ ¿Es posible eliminar el riesgo por completo?
- ✓ ¿Qué se puede hacer para disminuir la probabilidad de que ocurra?
- ✓ ¿Qué se puede hacer para mitigar las consecuencias?
- ✓ ¿Es el nivel de riesgo tolerable o aceptable, y requiere un tratamiento adicional?

Mediante la implementación de estrategias de gestión de riesgos, las organizaciones toman las medidas necesarias para reducir los riesgos identificados a niveles aceptables, conocidos como As Low As Reasonably Practicable (ALARP). ALARP es el punto en el que el costo (en términos de tiempo, dinero y esfuerzo) de una reducción adicional del riesgo es

significativamente desproporcionado en comparación con los beneficios obtenidos

Tabla 7. Falla críticos identificadas

| Ítem | Modo de falla | Causa potencial | Ocurr. | Sev. | Detect. | NPR | Indicador / Control |
|------|-----------------------------------|--|---------------|-------------------|---------------------|-------------|---|
| 1 | Colapso del dique principal | Sismo mayor al del diseño | Rara (2) | Peligroso (9) | Casi imposible (10) | Medio (180) | Intensidad de aceleraciones. Control piezométrico. Control de movimiento del dique (PCTs) |
| 2 | Rebose (<i>overtopping</i>) | Precipitación extrema | Rara (2) | Catastrófico (10) | Casi imposible (10) | Alto (200) | Longitud de playa |
| 3 | Erosión interna (<i>piping</i>) | Colapso de las tuberías de subdrenaje | Baja (3) | Catastrófico (10) | Alto (3) | Medio (90) | Sumidero / Cavidad |
| 4 | Erosión externa | Precipitación alta que incremente el nivel del río Rímac | Ocasional (5) | Catastrófico (9) | Alta (3) | Medio (135) | Monitoreo del nivel de agua del Río Rímac |

Abreviaturas:

Ocurr.: Ocurrencia, variable entre 1 (remota) y 10 (casi siempre).

Sev.: Severidad, variable entre 1 (insignificante) y 10 (catastrófico).

Detect.: Detectabilidad, variable entre 1 (casi seguro) y 10 (casi imposible).

NPR: Nivel de prioridad del riesgo.

Nota:

En este cuadro se presentan solo modos de falla con niveles de riesgo de medio a alto

4.1.9. Sinopsis de instrumentación y seguimiento

La instrumentación geotécnica puede ser añadida, retirada o reubicada según las necesidades de la presa para un mejor control, el monitoreo de la calidad del agua superficial y subterránea se realiza regularmente, y su detalle se incluye en la siguiente tabla.

Tabla 8. Sinopsis de piezómetros de tubo abierto

| Zona | Código | Coordenadas UTM | | Cota de superficie (msnm) | Condición actual |
|---------|--------------|-----------------|-----------|---------------------------|------------------|
| | | Este | Norte | | |
| Rosaura | PB-YA-12 | 362 613 | 8 708 691 | 4016 | Operativo |
| | PB-YA-13 | 362 612 | 8 708 689 | 4016 | Operativo |
| | PB-YA-14 | 362 570 | 8 708 633 | 4015 | Operativo |
| | PB-YA-15 | 362 568 | 8 708 630 | 4017 | Operativo |
| | PB-YA-16 | 362 517 | 8 708 568 | 4017 | Operativo |
| | PB-YA-17 | 362 519 | 8 708 570 | 4017 | Operativo |
| | PTA-YA20-104 | 362 591 | 8 708 579 | 3996 | Operativo |

| | | | | | |
|--|--------------|---------|-----------|------|-----------|
| | PTA-YA20-105 | 362 560 | 8 708 622 | 4016 | Operativo |
|--|--------------|---------|-----------|------|-----------|

Tabla 9. Sinopsis de piezómetros de cuerda vibrante

| Zona | | Código | Coordenadas UTM | | Cota de superficie (msnm) | Condición actual |
|---------|--|------------------|-----------------|-----------|---------------------------|------------------|
| | | | Este | Norte | | |
| Rosaura | | PCV-YA20-104 (1) | 362 593 | 8 708 581 | 3996 | Operativo |
| | | PCV-YA20-105 (1) | 362 548 | 8 708 607 | 4016 | Operativo |
| | | PCV-YA20-105 (2) | | | | Operativo |

Nota: Las coordenadas UTM corresponden a la zona 18L del elipsoide de referencia WGS-84

4.1.10. Calidad geoquímica de los relaves

Es necesario llevar a cabo un monitoreo geoquímico de los relaves depositados y de los materiales de las fuentes de préstamo identificadas para el aumento de altura del dique de retención en sus diferentes fases.

En este contexto, los ensayos de balance ácido-base (ABA) y SPLP en muestras de relave (fino y grueso) y en muestras recogidas de las canteras ubicadas en las zonas adyacentes al depósito de relaves (como relleno estructural, grava de drenaje y suelo de baja permeabilidad) dentro de los límites de la mina Yauliyacu.

4.1.11. Prueba estática para evaluar el potencial de generación de acidez

Es fundamental empezar con un análisis de los minerales presentes y un estudio detallado de la composición química de las muestras que se van a evaluar. En cuanto al ensayo de balance ácido-base (ABA), es esencial considerar los datos sobre la acidez potencial (PA) basada en la cantidad de sulfuros, los resultados de neutralización (PN) y el pH de la muestra. Estos análisis se consideran estáticos ya que reflejan la composición total de los materiales en el momento del ensayo. Sin embargo, dada la complejidad de los procesos de oxidación de los sulfuros en los minerales, estos resultados no nos proporcionan información sobre cómo ocurre la reacción con el tiempo, ni sobre la posible liberación de elementos como los metales pesados que podrían estar presentes en la estructura de los minerales.

En este análisis se realizan las siguientes mediciones:

- ✓ En este análisis, la prueba de pH es 5.3 y nos señala si la muestra es ácida por lo que se requiere de algunos carbonatos comunes que pueden elevar el pH hasta alrededor de 8 a 10, por lo que los valores por encima de 10 son excepcionalmente alcalinos.

4.1.3 Análisis geotécnico

4.1.3.1. Caracterización geotécnica

Las propiedades físicas - mecánicas de los diferentes materiales que conforman la relavera Rosaura se obtuvieron de acuerdo a los parámetros que se describen a continuación:

Tabla 10. Resumen de parámetros de resistencia cortante

| Material | Peso específico | | Criterio de Falla Mohr - Coulomb | | | | Su | Ru |
|--------------------------------|--|--|----------------------------------|----------------|-------------------|---------------|----|------|
| | γ_{total} (kN/m ³) | γ_{sat} (kN/m ³) | Esfuerzos efectivos | | Esfuerzos totales | | | |
| | | | c' (kPa) | ϕ' (°) | c (kPa) | ϕ (°) | | |
| Desmante de mina 1 (D5 y D6) | 19 | 20 | 5 | 39 | - | - | - | 0,05 |
| Desmante de mina 3 (D4, N2700) | 19 | 20 | 10 | 38 | - | - | - | 0,05 |
| Depósito coluvial | 17 | 18 | 5 | 33 | - | - | - | - |
| Depósito aluvial | 19 | 20 | 0 | 34 | - | - | - | - |
| Suelo orgánico | 16 | 17 | 5 | 25 | 10 | 10 | 28 | - |
| Suelo residual (GP,SC) | 18 | 19 | 5 | 36 | - | - | - | - |
| Relleno no controlado | 20 | 21 | 0 | 33 | - | - | - | - |
| Relleno controlado | 20 | 21 | 0 | 35 | - | - | - | - |
| Basamento rocoso | 24 | 25 | Ver nota 1 | | - | - | - | - |

Abreviaturas: γ_{total} : Peso específico total del suelo. γ_{sat} : Peso específico saturado del suelo. c: Cohesión.

ϕ : Ángulo de fricción interna.

Nota: Material infinitamente rígido, con fines de modelamiento de estabilidad física por el método de equilibrio límite.

4.1.4. Cálculo del coeficiente sísmico

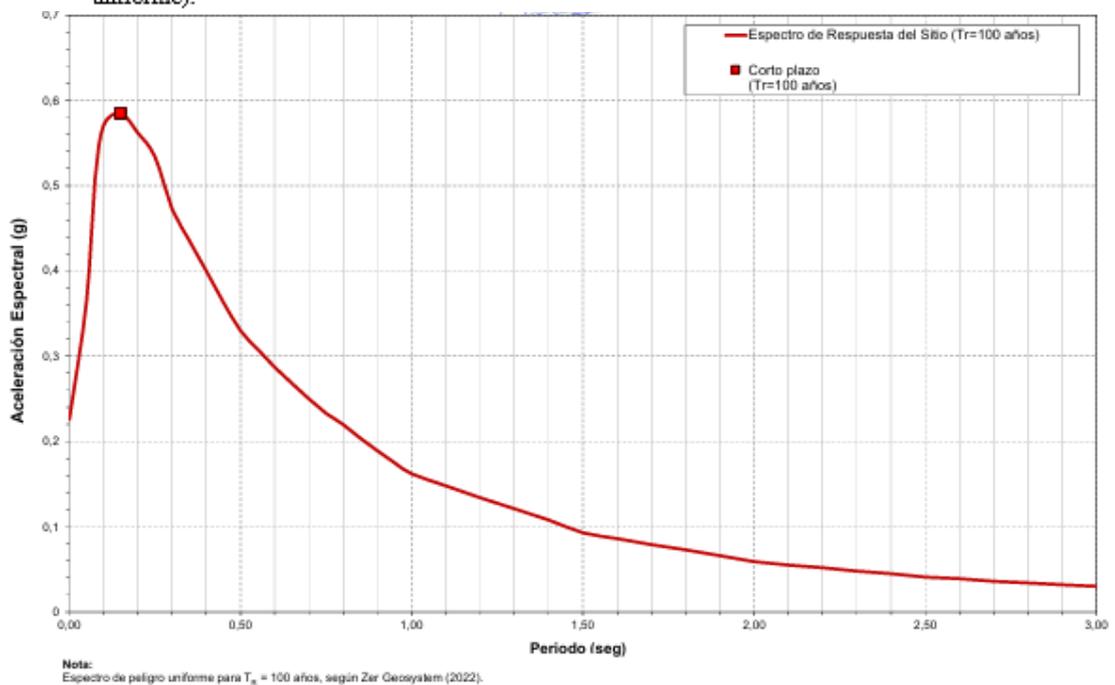
El cálculo realizado para estimar el coeficiente sísmico en el depósito Rosaura se encuentran cimentadas sobre suelo tipo C. Asimismo, la figura 15, presenta los espectros de respuesta con valores de periodo degradado de las posibles fallas y ajustado al espectro de peligro uniforme en suelo tipo C. En Tabla 5.2 se presenta un resumen del cálculo de coeficiente sísmico.

Tabla 11. Resumen del cálculo de coeficiente sísmico

| Estructura | Periodo de retorno (años) | Servicialidad (m) | Coficiente sísmico (ver nota 1) |
|-----------------------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------------|
| Depósitos de desmonte - Yauliyacu | 100 | 0,25 | 0,09 |

Figura 15. Espectros de respuesta con valores de periodo degradado de las posibles fallas y ajustado al espectro de peligro uniforme en suelo tipo C

Nota. Coeficiente sísmico calculado considerando que el periodo fundamental del bloque deslizando correspondiente a la mayor aceleración del espectro de peligro uniforme (campana del espectro de peligro uniforme).



4.1.5 Análisis de estabilidad de taludes

En este caso se mencionan los criterios de análisis, metodología, consideraciones y los resultados de la estabilidad de taludes de los depósitos de desmonte D4, D5, D6 y N2700.

- a. Criterios de análisis: Los criterios de análisis o mínimos factores de seguridad considerados en los análisis de estabilidad 2D cumplen con los parámetros descritos en la US Army Corps of Engineers (2003). En la Tabla 8 se presentan los factores de seguridad mínimos aceptables para el análisis de estabilidad bidimensional y que son

coherentes con la condición actual de los depósitos de relaves Rosaura.

Tabla 12. Factores de seguridad mínimos para el análisis de estabilidad de taludes 2D.

| Condición de análisis | Factor de seguridad mínimo requerido |
|--|--------------------------------------|
| Estabilidad para estabilidad global (corto plazo o temporal) | 1,3 |
| Estabilidad pseudoestática | 1,0 |

Resultados obtenidos

En la Tabla 12 se presenta el resumen de los resultados obtenidos del análisis de estabilidad de taludes de los depósitos de la relavera Rosaura.

Tabla 13. Resultados en términos de factores de seguridad

| Estructura | Tipo de falla | Factor de seguridad | |
|------------|---------------|---------------------|--------------------------------|
| | | Estático | Pseudoestático (Tr = 100 años) |
| D4 | Global | 1,31 | 1,13 |
| D5 | Global | 1,30 | 1,07 |
| D6 | Global | 1,31 | 1,09 |
| N2700 | Global | 1,72 | 1,40 |

Abreviatura: Tr: Periodo de retorno.

A continuación, se detalla el análisis y descripción de los resultados en la Tabla 9.

- ✓ Se observa que los factores de seguridad en condiciones estáticas y pseudoestáticas a corto plazo obtenidos en los depósitos de desmonte cumplen los requisitos mínimos, por lo tanto, sus condiciones son estables para una condición temporal.
- ✓ Por otro lado, las desmonteras D4, D5 y D6 cumplen con los mínimos factores de seguridad en la condición pseudoestática, sin embargo, para la condición estática, los valores de factores de seguridad están cercanos al mínimo requerido. Por lo tanto, se recomienda trabajos de perfilado y reconfiguración en los taludes de las desmonteras a fin de mejorar la condición de estabilidad.

Figura 16. Análisis de estabilidad del depósito de desmonte D4 Sección geotécnica 1-1 - Falla circular global - Análisis estático - F.S. = 1,31

| Materiales | | γ_{total} (kN/m ³) | γ_{sat} (kN/m ³) | c (kN/m ²) | ϕ (°) | Ru |
|-----------------------|---|--|--|----------------------------------|---------------|-----------|
| Desmonte de mina |  | 19 | 20 | 10 | 38 | 0,05 |
| Depósito coluvial |  | 17 | 18 | 5 | 33 | - |
| Suelo residual |  | 18 | 19 | 5 | 36 | - |
| Relleno controlado |  | 20 | 21 | 0 | 35 | - |
| Relleno no controlado |  | 20 | 21 | 0 | 33 | - |
| Basamento rocoso |  | 24 | 25 | * | * | - |

Nota:

*) Material infinitamente rígido.

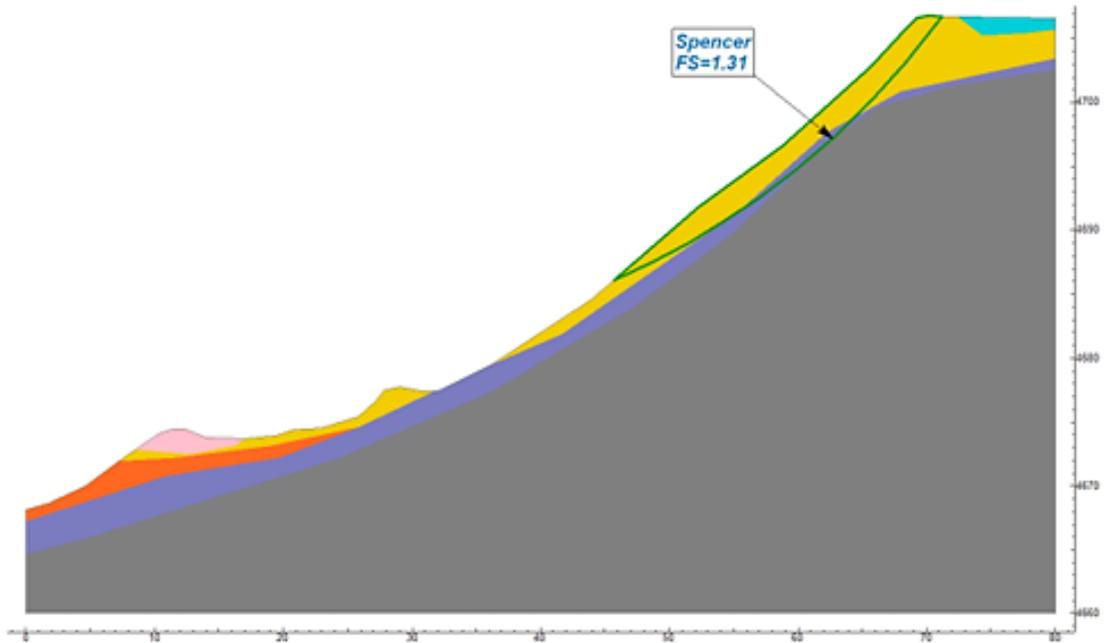


Figura 17. Análisis de estabilidad del depósito de desmonte D4 donde la sección geotécnica 1-1 - Falla circular global - Análisis pseudoestático ($T_r = 100$ años - $K_s = 0,09$) - $F.S. = 1,13$.

| Materiales | γ_{total} (kN/m^3) | γ_{sat} (kN/m^3) | C (kN/m^2) | ϕ ($^\circ$) | R_u |
|-----------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------|------------------------|-------|
| Desmonte de mina | 19 | 20 | 10 | 38 | 0,05 |
| Depósito coluvial | 17 | 18 | 5 | 33 | - |
| Suelo residual | 18 | 19 | 5 | 36 | - |
| Relleno controlado | 20 | 21 | 0 | 35 | - |
| Relleno no controlado | 20 | 21 | 0 | 33 | - |
| Basamento rocoso | 24 | 25 | * | * | - |

Nota:
(*) Material infinitamente rígido.

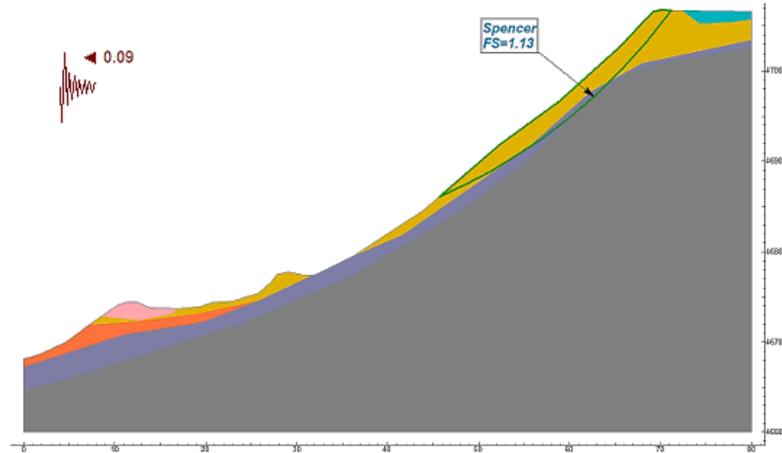


Figura 18. Análisis de estabilidad del depósito de desmonte D5 con Sección geotécnica 1-1 - Falla circular global - Análisis estático - $F.S. = 1,30$

| Materiales | γ_{total} (kN/m^3) | γ_{sat} (kN/m^3) | C (kN/m^2) | ϕ ($^\circ$) | R_u |
|-------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------|------------------------|-------|
| Desmonte de mina | 19 | 20 | 5 | 39 | 0,05 |
| Depósito coluvial | 17 | 18 | 5 | 33 | - |
| Suelo residual | 18 | 19 | 5 | 36 | - |
| Basamento rocoso | 24 | 25 | * | * | - |

Nota:
(*) Material infinitamente rígido.

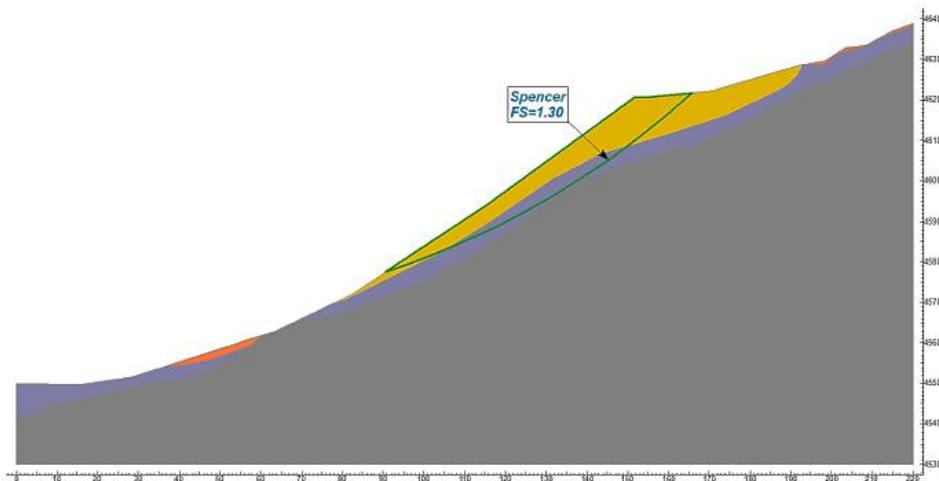


Figura 19. Análisis de estabilidad del depósito de desmonte D5 Sección geotécnica 1-1 - Falla circular global - Análisis pseudoestático ($T_r = 100$ años - $K_s = 0,09$) - $F.S. = 1,07$

| Materiales | γ_{total} (kN/m ³) | γ_{sat} (kN/m ³) | c (kN/m ²) | ϕ (°) | Ru |
|-------------------|--|--|-----------------------------|---------------|------|
| Desmante de mina | 19 | 20 | 5 | 39 | 0,05 |
| Depósito coluvial | 17 | 18 | 5 | 33 | - |
| Suelo residual | 18 | 19 | 5 | 36 | - |
| Basamento rocoso | 24 | 25 | * | * | - |

Nota:
(*) Material infinitamente rígido.

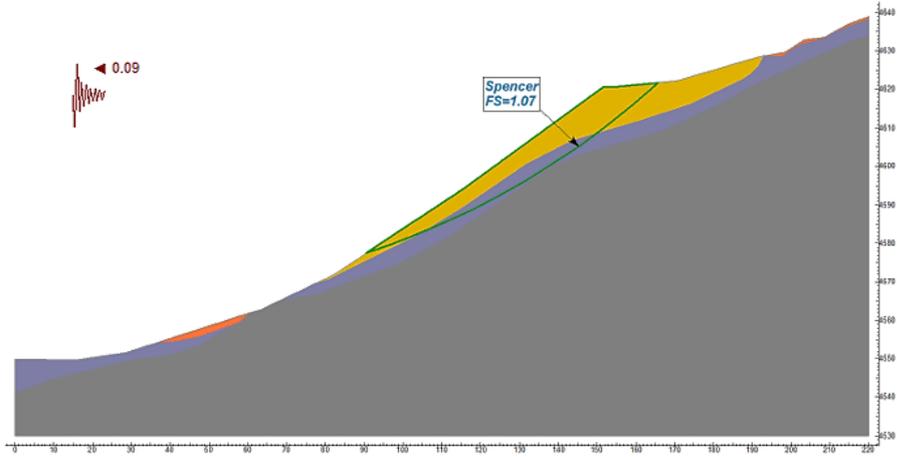


Figura 20. Análisis de estabilidad del depósito de desmante D6 Sección geotécnica 1-1 - Falla circular global - Análisis estático - F.S. = 1,31

| Materiales | γ_{total} (kN/m ³) | γ_{sat} (kN/m ³) | c (kN/m ²) | ϕ (°) | Ru |
|--------------------|--|--|-----------------------------|---------------|------|
| Desmante de mina | 19 | 20 | 5 | 39 | 0,05 |
| Depósito coluvial | 17 | 18 | 5 | 33 | - |
| Suelo residual | 18 | 19 | 5 | 36 | - |
| Relleno controlado | 20 | 21 | 0 | 35 | - |
| Basamento rocoso | 24 | 25 | * | * | - |

Nota:
(*) Material infinitamente rígido.

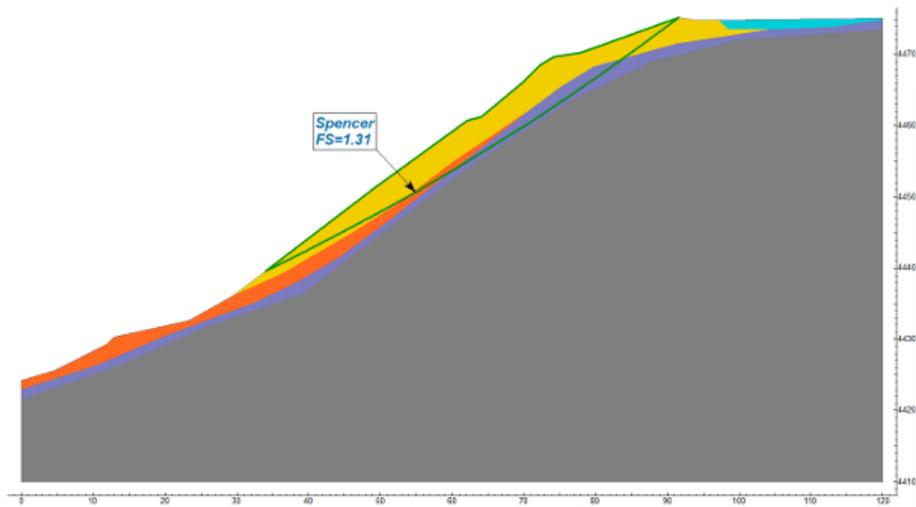


Figura 21. Análisis de estabilidad del depósito de desmante D6 Sección geotécnica 1-1 - Falla circular global - Análisis pseudoestático ($T_r = 100$ años - $K_s = 0,09$) - F.S. = 1,09

| Materiales | γ_{total} (kN/m ³) | γ_{sat} (kN/m ³) | c (kN/m ²) | ϕ (°) | Ru |
|--------------------|--|--|---------------------------|---------------|------|
| Desmonte de mina | 19 | 20 | 5 | 39 | 0,05 |
| Depósito coluvial | 17 | 18 | 5 | 33 | - |
| Suelo residual | 18 | 19 | 5 | 36 | - |
| Relleno controlado | 20 | 21 | 0 | 35 | - |
| Basamento rocoso | 24 | 25 | * | * | - |

Nota:
 (*) Material infinitamente rígido.

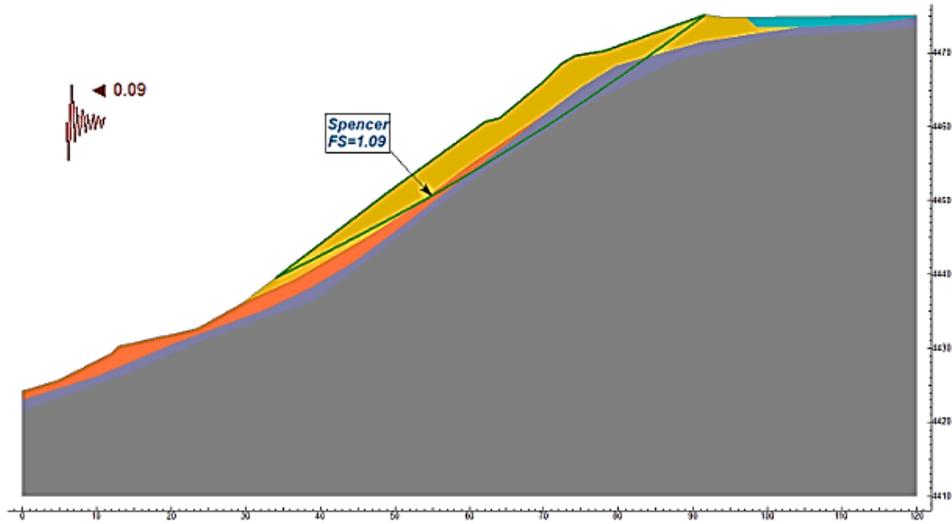


Figura 22. Análisis de estabilidad del depósito de desmonte NV2700 Sección geotécnica 1-1 - Falla circular global - Análisis estático - F.S. = 1,72

| Materiales | γ_{total} (kN/m ³) | γ_{sat} (kN/m ³) | c (kN/m ²) | ϕ (°) | Ru |
|--------------------|--|--|---------------------------|---------------|------|
| Desmonte de mina | 19 | 20 | 10 | 38 | 0,05 |
| Depósito coluvial | 17 | 18 | 5 | 33 | - |
| Depósito aluvial | 19 | 20 | 0 | 34 | - |
| Relleno controlado | 20 | 21 | 0 | 35 | - |
| Basamento rocoso | 24 | 25 | * | * | - |

Nota:
 (*) Material infinitamente rígido.

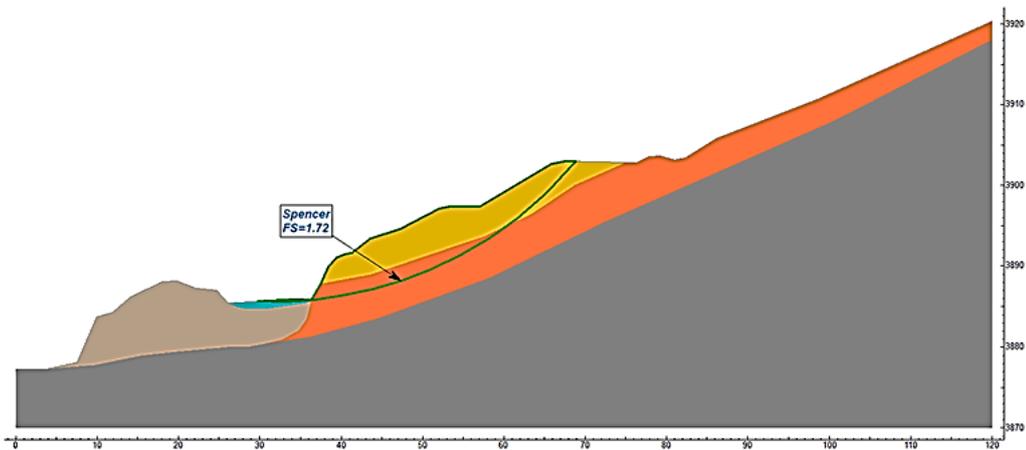


Figura 23. Análisis de estabilidad del depósito de desmonte NV2700 con Sección geotécnica 1-1 - Falla circular global - Análisis pseudoestático ($T_r = 100$ años - $K_s = 0,09$) - F.S. = 1,40.

| Materiales | γ_{total} (kN/m ³) | γ_{sat} (kN/m ³) | c (kN/m ²) | ϕ (°) | Ru |
|--------------------|--|--|---------------------------|---------------|------|
| Desmante de mina | 19 | 20 | 10 | 38 | 0,05 |
| Depósito coluvial | 17 | 18 | 5 | 33 | - |
| Depósito aluvial | 19 | 20 | 0 | 34 | - |
| Relleno controlado | 20 | 21 | 0 | 35 | - |
| Basamento rocoso | 24 | 25 | * | * | - |

Nota:
(*) Material infinitamente rígido.

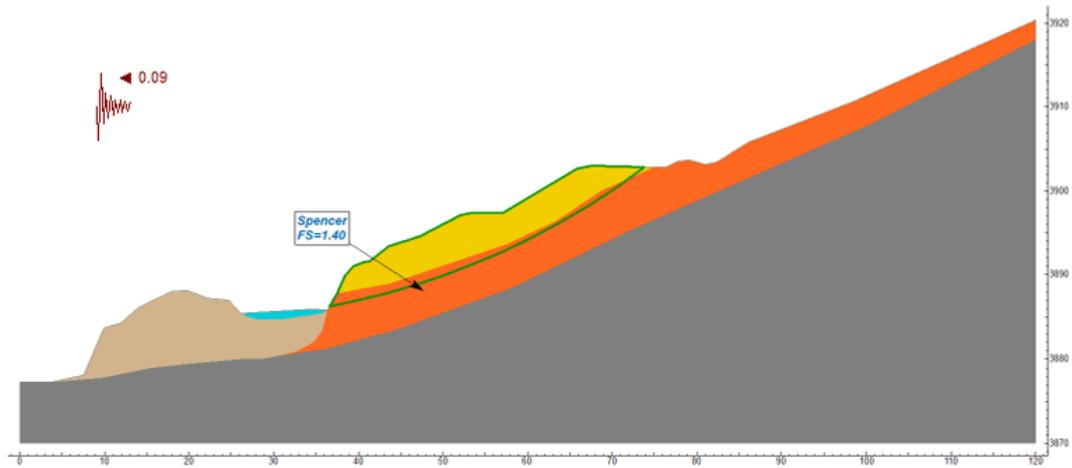


Tabla 14. Resumen de piezómetros tipo tubo abierto

| Código | Coordenadas (m) | | Cota actual de terreno (msnm) | Cota fondo de pozo (msnm) | Profundidad del pozo (msnm) |
|----------|-----------------|--------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| | Este | Norte | | | |
| PB-YA-01 | 362.854,19 | 8.708.403,11 | 3.899,56 | 3.854,00 | 45,56 |
| PB-YA-02 | 362.851,79 | 8.708.401,43 | 3.899,62 | 3.886,00 | 13,62 |
| PB-YA-03 | 362.746,05 | 8.708.531,63 | 3.957,02 | 3.907,00 | 50,02 |
| PB-YA-04 | 362.747,59 | 8.708.534,03 | 3.956,78 | 3.879,00 | 77,78 |
| PB-YA-06 | 362.700,38 | 8.708.443,01 | 3.953,76 | 3.915,00 | 38,75 |
| PB-YA-07 | 362.701,84 | 8.708.445,84 | 3.953,77 | 3.903,00 | 50,76 |
| PB-YA-08 | 362.665,29 | 8.708.610,80 | 3.991,18 | 3.947,00 | 44,18 |
| PB-YA-09 | 362.663,83 | 8.708.608,12 | 3.991,12 | 3.931,85 | 59,27 |
| PB-YA-10 | 362.592,00 | 8.708.478,39 | 3.989,13 | 3.933,00 | 56,13 |
| PB-YA-11 | 362.593,49 | 8.708.481,01 | 3.989,25 | 3.922,00 | 67,25 |
| PB-YA-12 | 362.613,27 | 8.708.691,08 | 4.016,23 | 3.966,00 | 50,23 |
| PB-YA-13 | 362.611,60 | 8.708.688,51 | 4.016,21 | 3.950,90 | 65,31 |
| PB-YA-14 | 362.570,00 | 8.708.632,76 | 4.016,39 | 3.889,00 | 127,39 |

| | | | | | |
|-----------------------|------------|--------------|----------|----------|--------|
| PB-YA-15 | 362.568,10 | 8.708.630,46 | 4.016,43 | 3.876,00 | 140,43 |
| PB-YA-16 | 362.516,64 | 8.708.567,86 | 4.017,30 | 3.945,00 | 72,30 |
| PB-YA-17 | 362.518,94 | 8.708.569,69 | 4.016,91 | 3.913,00 | 103,91 |
| PB-YA-18 | 362.625,59 | 8.708.539,18 | 3.988,49 | 3.917,00 | 71,49 |
| PB-YA-19 | 362.627,13 | 8.708.542,03 | 3.988,41 | 3.887,55 | 100,86 |
| PB-YA-01 (Antiguo) | 362.617,85 | 8.708.560,35 | 3.988,94 | 3.911,50 | 77,43 |
| PB-YA-02 (Antiguo) | 362.724,54 | 8.708.496,69 | 3.956,39 | 3.903,00 | 53,39 |
| SR_YN-01 | 362.072,40 | 8.709.068,64 | 4.079,85 | 4.029,50 | 50,35 |
| SR_YN-02 | 362.017,48 | 8.709.003,24 | 4.079,59 | 4.045,00 | 34,59 |
| SR_YN-03 (1) | 362.006,08 | 8.709.089,58 | 4.079,58 | 4.029,00 | 50,58 |
| SR_YN-03 (2) | 362.006,08 | 8.709.089,58 | 4.079,58 | 4.044,00 | 35,58 |
| SR_YN-04 (1) | 361.985,02 | 8.709.138,73 | 4.079,82 | 4.027,00 | 52,82 |
| SR_YN-04 (2) | 361.985,02 | 8.709.138,73 | 4.079,82 | 4.047,00 | 32,82 |
| SR_YN-05 | 361.988,84 | 8.709.195,08 | 4.079,56 | 4.049,00 | 30,56 |
| SR_YN-06 | 361.993,60 | 8.709.239,93 | 4.080,21 | 4.054,00 | 26,21 |

Tabla 15. Niveles de alerta para precipitaciones - Relavera Rosaura

| Indicador / Control | Operación Normal (situación aceptable) | Nivel de alerta 1 (situación de riesgo bajo) | Nivel de alerta 2 (situación de riesgo moderado) | Nivel de alerta 3 (situación de riesgo alto) |
|---|--|--|--|--|
| Precipitaciones extremas pronosticadas de 24 horas (mm) | <= 44,2 | >44,2 | >50,1 | > 77,5 |
| Nivel de agua | <=4008,0 | >4008,0 | >4010,0 | >4011,8 |
| Nivel de agua pronosticado | <=4008,0 | >4011,8 | >4012,0 | >4016,0 |

4.2. Discusión de resultados

- i. Los resultados obtenidos en las tablas 3 y 4 del estudio realizado en la relavera Rosaura de la unidad minera Yauliyacu en el año 2024 permiten evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los taludes, considerando las características granulométricas de los relaves. Se observa que la distribución granulométrica

de las muestras analizadas presenta un rango de tamaños que oscila entre 179 micrómetros y 44 micrómetros, con pesos que van desde 74.20 gramos hasta 15.20 gramos. Esta variabilidad en la composición granulométrica de los relaves puede tener implicaciones importantes en el comportamiento físico y mecánico de los taludes, influyendo aspectos como la estabilidad, la permeabilidad y la resistencia del material. El análisis de estos datos granulométricos es fundamental para comprender el desempeño de los taludes de la relavera Rosaura y poder establecer estrategias adecuadas de manejo y control, en línea con el objetivo general del estudio. Estos resultados proporcionan información valiosa para la toma de decisiones en la gestión y monitoreo de la estabilidad de los taludes, considerando las características específicas de los residuos mineros presentes en esta relavera.

- ii. El objetivo de este estudio fue determinar cómo influyen las características de granulometría y forma de las partículas presentes en los relaves de la unidad minera Yauliyacu en la estabilidad de los taludes de la relavera Rosaura en el año 2024. Los resultados obtenidos muestran que la distribución granulométrica de los relaves analizados presenta un amplio rango de tamaños de partículas, que van desde 179 micrómetros hasta 44 micrómetros, con pesos que oscilan entre 74.20 gramos y 15.20 gramos. Esta variabilidad en la composición granulométrica de los relaves puede tener un impacto significativo en la estabilidad de los taludes de la relavera Rosaura. Las partículas de menor tamaño, en el rango de 44 micrómetros, pueden contribuir a una mayor cohesión del material, mejorando la estabilidad de los taludes. Sin embargo, la presencia de partículas más gruesas, en el rango de 179 micrómetros, puede generar una estructura más heterogénea, afectando la resistencia del material y, por lo tanto, la estabilidad de los taludes. Además, la forma de las partículas es también un factor relevante a considerar, ya que puede influir en el empaquetamiento y la interacción entre las partículas, lo que a su vez afecta las propiedades mecánicas del material y, en consecuencia, la estabilidad de los taludes. Estos resultados destacan la importancia de comprender las características granulométricas y de forma de las partículas en los relaves, ya que son factores clave que pueden determinar la estabilidad de los taludes de la relavera Rosaura. Esta información es fundamental para el diseño y la gestión adecuada de los sistemas de

deposición y contención de relaves, con el fin de asegurar la estabilidad a largo plazo de la relavera.

- iii. El presente estudio tuvo como objetivo establecer la influencia de la distribución de tamaños de partículas y la porosidad del material de relaves de Yauliyacu en la resistencia a la compresión y al corte de los taludes de la relavera Rosaura. Los resultados obtenidos muestran que la distribución granulométrica de los relaves analizados presenta una amplia variación, con tamaños de partículas que oscilan entre 179 micrómetros y 44 micrómetros, y pesos que van desde 74.20 gramos hasta 15.20 granos. Esta heterogeneidad en la composición granulométrica de los relaves puede tener un impacto importante en las propiedades mecánicas del material, específicamente en la resistencia a la compresión y al corte de los taludes de la relavera Rosaura. Por un lado, la presencia de partículas más finas, en el rango de 44 micrómetros, puede contribuir a una mayor cohesión del material, mejorando la resistencia a la compresión. Por el contrario, la existencia de partículas más gruesas, en el rango de 179 micrómetros, puede generar una estructura más heterogénea, reduciendo la resistencia al corte debido a la menor interacción entre las partículas. Además, la porosidad del material de relaves también juega un papel fundamental en la resistencia mecánica de los taludes. Una mayor porosidad puede disminuir la compactación y la cohesión del material, lo que a su vez afecta negativamente tanto la resistencia a la compresión como la resistencia al corte. Estos resultados evidencian la importancia de considerar la distribución de tamaños de partículas y la porosidad del material de relaves como factores clave para determinar la resistencia mecánica de los taludes de la relavera Rosaura. Comprender estas características del material es esencial para el diseño y la gestión adecuada de los sistemas de contención de relaves, con el fin de asegurar la estabilidad a largo plazo de la relavera

El objetivo de este estudio fue determinar cómo afectan las propiedades granulométricas del material de relaves de Yauliyacu al riesgo de colapso y deslizamiento en los taludes de la relavera Rosaura en 2024, y cómo pueden mitigarse estos riesgos para garantizar la seguridad de la infraestructura minera. La heterogeneidad en la composición granulométrica del material de relaves puede

tener un impacto significativo en la estabilidad de los taludes de la relavera Rosaura, afectando tanto el riesgo de colapso como el riesgo de deslizamiento. Por un lado, la presencia de partículas más finas, en el rango de 44 micrómetros, puede contribuir a una mayor cohesión del material, lo que ayuda a mantener la integridad de los taludes y reduce el riesgo de colapso. Sin embargo, la existencia de partículas más gruesas, en el rango de 179 micrómetros, puede generar una estructura más heterogénea, disminuyendo la resistencia al corte y, por lo tanto, aumentando el riesgo de deslizamiento. Además, la porosidad del material de relaves también juega un papel crucial en la estabilidad de los taludes. Una mayor porosidad puede disminuir la compactación y la cohesión del material, lo que puede aumentar tanto el riesgo de colapso como el riesgo de deslizamiento. Para mitigar estos riesgos y garantizar la seguridad de la infraestructura minera, es fundamental implementar estrategias de manejo y control de los relaves, como:

- ✓ Optimizar la composición granulométrica mediante procesos de clasificación y homogeneización de los relaves, para lograr una distribución más uniforme de los tamaños de partículas.
- ✓ Realizar un adecuado diseño y construcción de los sistemas de contención de relaves, considerando las características granulométricas y la porosidad del material.
- ✓ Implementar un programa de monitoreo y mantenimiento regular de los taludes de la relavera, para detectar y corregir a tiempo cualquier indicio de inestabilidad.

Estas medidas, junto con un riguroso control y seguimiento de las condiciones de los taludes, permitirán mitigar los riesgos de colapso y deslizamiento, y garantizar la seguridad de la relavera Rosaura y la infraestructura minera en general.

CAPÍTULO V:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

1. Se determinó que la distribución granulométrica de los relaves de la unidad minera Yauliyacu presenta un amplio rango de tamaños de partículas, que oscilan entre 179 micrómetros y 44 micrómetros, con pesos que van desde 74.20 gramos hasta 15.20 gramos. Esta heterogeneidad en la composición granulométrica de los relaves tiene una influencia significativa en la estabilidad de los taludes de la relavera Rosaura. Las partículas más finas, en el rango de 44 micrómetros, contribuyen a una mayor cohesión del material, mejorando la resistencia a la compresión. Por el contrario, la presencia de partículas más gruesas, en el rango de 179 micrómetros, genera una estructura más heterogénea, reduciendo la resistencia al corte y aumentando el riesgo de deslizamiento.
2. La porosidad del material de relaves también es un factor clave que afecta la estabilidad de los taludes. Una mayor porosidad disminuye la compactación y la cohesión del material, lo que se traduce en una reducción de la resistencia a la compresión y al corte, aumentando tanto el riesgo de colapso como el riesgo de deslizamiento.
3. Para mitigar los riesgos de colapso y deslizamiento en los taludes de la relavera Rosaura y garantizar la seguridad de la infraestructura minera, se recomienda implementar estrategias de manejo y control de los relaves, como la optimización de la composición granulométrica, el diseño y construcción adecuados de los sistemas de contención, y un programa de monitoreo y mantenimiento regular de los taludes.
4. La implementación de estas medidas, junto con un seguimiento riguroso de las condiciones de los taludes, permitirá asegurar la estabilidad a largo plazo de la relavera Rosaura y proteger la integridad de la infraestructura minera de la unidad Yauliyacu

4.2 Recomendaciones

1. Optimizar la composición granulométrica de los relaves de la unidad minera Yauliyacu mediante procesos de clasificación y homogeneización, con el objetivo de lograr una distribución más uniforme de los tamaños de partículas. Esto permitirá mejorar las propiedades mecánicas del material y aumentar la estabilidad de los taludes de la relavera Rosaura.
2. Realizar un diseño y construcción adecuados de los sistemas de contención de relaves, considerando las características granulométricas y de porosidad del material. Esto incluye el dimensionamiento apropiado de las estructuras, la selección de materiales y técnicas constructivas que optimicen la estabilidad a largo plazo.
3. Implementar un programa de monitoreo y mantenimiento regular de los taludes de la relavera Rosaura, que permita detectar y corregir a tiempo cualquier indicio de inestabilidad. Esto debe incluir la realización periódica de inspecciones visuales, así como la implementación de instrumentación y sistemas de alerta temprana.
4. Desarrollar e implementar protocolos de respuesta y planes de acción ante situaciones de emergencia, que permitan una rápida y efectiva respuesta en caso de presentarse eventos de colapso o deslizamiento en los taludes. Esto contribuirá a minimizar los impactos y garantizar la seguridad de los trabajadores y las comunidades aledañas.
5. Fortalecer las capacidades técnicas y de gestión del personal a cargo del manejo y control de la relavera, a través de programas de capacitación y actualización en temas relacionados con la estabilidad de taludes, manejo de relaves y gestión de riesgos.
6. Realizar estudios complementarios que profundicen en la comprensión de la influencia de otros factores, como las condiciones climáticas y ambientales, en la estabilidad de los taludes de la relavera Rosaura, con el fin de implementar medidas de mitigación más integrales.
7. La implementación de estas recomendaciones permitirá mejorar la gestión de los relaves, minimizar los riesgos de colapso y deslizamiento, y garantizar la seguridad y sostenibilidad de la relavera Rosaura y la infraestructura minera de la unidad Yauliyacu.

REFERENCIAS

1. **GALINDO YAIR, A.** *ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA RELAVERA N°1 Y N°2 EN LA UNIDAD MINERA SHILA PAULA DISTRITO DE CHACHAS-2021.* HUACHO – PERU : UNIVERSIDAD NACIONAL JOSE FAUSTINO SANCHEZ CARRION, 2021.
2. **MALDONADO, F.** *Variación de la resistencia cortante del material de relave por causas meteorológicas y su influencia en la estabilidad física de la presa de relaves N.º 3 Mahr Túnel.* [ed.] Facultad de Ingeniería Industrial - UNMSM. 1, Lima, Perú: s.n., 2019, Revista Industrial Data, Vol. 22, págs. 39-60.
3. **SOLIS, R. y VEGA, N.** *Evaluación Geotécnica del depósito de desmonte Excélsior de Cerro de Pasco, 2020.* Cerro de Pasco – Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN, 2020.
4. **VARGAS, J. y TOMATEO, L.** *Evaluación de los criterios de diseño para garantizar la estabilidad física para el cierre del depósito de relave Huaybillo de la Unidad Minera el Cofre.* AYACUCHO - PERÚ : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA, 2023 .
5. **CARRIZO, L. TASSO, N. Y SOTTILE, M.** *Caracterización geotécnica de un relave minero susceptible a licuar.* Argentino: Memorias del XXVI Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, Comodoro Rivadavia 2023, 2023.
6. **ORTEGA, C. y GARRIDO, A.** *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA DE APROVECHAMIENTO DE RELAVE ABANDONADO DE COBRE.* Santiago de Chile : UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO, 2019.
7. **SALAZAR, F. y SAAVEDRA, A.** *EFEECTO DE FINOS NO PLÁSTICOS EN LOS PARÁMETROS DINÁMICOS DE ARENAS DE RELAVE.* SANTIAGO DE CHILE : UNIVERSIDAD DE CHILE, 2021.
8. **LEÓN HERRERA, A.** *Efectos de la sobrecompactación en la permeabilidad de filtros granulares utilizados en drenajes para presas de residuos mineros.* Santiago - Chile. s.l.: Universidad de Talca (Chile). Facultad de Ingeniería, 2020. p. 176.

9. **NÚÑEZ ROMERO J. et al.** *PLAN DEL CIERRE DE LA RELAVERA COMUNITARIA “EL TABLÓN”, PROVINCIA DEL ORO, ECUADOR.* 27, Perfiles, Vol. 1.
10. **ALVARADO LAVADO, M. Y VARGAS CORIMANYA, A.** *Gestión de riesgos para el recrecimiento de un depósito de relaves.* Lima, Perú : Universidad Ricardo Palma - Facultad de Ingeniería , 2023.
11. **CARAZAS, J. et al.** *Costos de calidad en la construcción de Relaveras, para la mitigación de impactos ambientales negativos, caso: Relavera Compañía Minera Kolpa - Huancavelica.* Lima, Perú : Universidad Ricardo Palma - FACULTAD DE INGENIERÍA, 2022.
12. **GONZALES, E. y TASAYCO, M.** *“EVALUACIÓN Y TRATAMIENTO DEL RELAVE EN LA PLANTA CONCENTRADORA DE LA MINERA AURIFERA 04 DE ENERO S.A. (MACDESA) – AREQUIPA 2020”.* Huacho - Perú : Universidad Nacional “José Faustino Sánchez Carrión” - FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA Y METALURGICA, 2020.
13. **CONDE, L. Y CASTRO, M.** *Análisis de estabilidad de talud por el Método Bishop en depósitos de desmonte Minero Excelsior, Cerro de Pasco – 2021 .* Cerro de Pasco – Perú : UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN - FACULTAD DE INGENIERÍA, 2022.
14. **QUISPE APAZA, W.** *Diseño e instalación de geomembrana para impermeabilización de depósito de relaves, Sina, Puno, 2021 .* LIMA – PERÚ : Universidad César Vallejo - FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA, 2021.
15. **LEIA, A. y CALDERÓN W.** *REDUCCIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE PARA LA EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUD DE UNA PRESA DE RELAVE.* Lima – Perú : Universidad San Ignacio de Loyola - Facultad de Ingeniería, 2020.
16. **FARFÁN, R. Y MORENO, A.** *Restauración geomorfológica sobre depósitos de relaves: caso de estudio aplicado a la concesión minera Río Blanco, Ecuador.* 1, la Granja: s.n., 2023, Vol. 37.

17. **YANQUI MURILLO, C.** *La mecánica granular y su aplicación al análisis de la estabilidad de las presas de relaves.* Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2023.
18. **BUENDIA, R. et al.** “*Construcción e implementación del recrecimiento de la presa de relaves en mina de cobre y zinc del distrito de San Marcos para la empresa Minera S.A*” . Lima : Programa de la Maestría en Project Management Weekends, 2020. Universidad ESAN.
19. **CARVAJAL ARROYO, M.I.** *Desarrollo de una Metodología para Análisis de Estabilidad Física de Depósitos de Relaves.* Santiago de Chile : Universidad de Chile, 2018. Tesis de Pregrado, Universidad.
20. **FERNÁNDEZ, D.** *Evaluación del fallo de presas de relaves con el método del árbol de fallos.* España : Universidad Politecnica de Madrid, 2018. <https://oa.upm.es/46944/>.
21. **CALDERÓN, WHITNEY L.** *Reducción de parametros de resistencia al corte para la evaluacion de estabilidad de talud de una presa de relave.* Lima – Perú : Universidad San Ignacio de Loyola - Facultad de Ingenieria, 2020.
22. **SULCA CHATE, J.** *Estabilidad de Taludes para Determinar Fallas en la Presa de Tantar, Distrito de Concepción – Vilcashuaman - Ayacucho.* Ayacucho : Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, 2018.
23. **VILCA ARREDONDO, A. C.** *Estudio geotécnico para la estabilidad del talud del depósito de desmonte Santa Rosa del Proyecto Santa Rosa – Arequipa.* Cuzco : Universidad Nacional de san Antonio Abad del Cusco, 2019.
24. **QUISPE, T. D. Y ZÚÑIGA, E. Á.** *Análisis sísmico pseudo estático y pseudo dinámico de la estabilidad de la Presa N° 9 Acchilla – Ccochaccasa - Angaraes Huancavelica.* Huancavelica, Perú: Universidad Nacional de Huancavelica, 2019.
25. **SAMPIERI, R. et al.** *Metodología de la Investigación.* Mexico : McGRAW - HILL INTERAMERICANA DE MÉXICO, S.A., 2001. p. 497.

ANEXO

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO: EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS DE LA RELAVERA ROSAURA PARA EL CONTROL DE TALUD UNIDAD MINERA YAULIYACU - 2024

| PROBLEMAS | OBJETIVOS | HIPÓTESIS | VARIABLES | METODOLOGÍA |
|--|---|---|--|---|
| <p>General: ¿Cómo es la Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas en taludes de relavera Rosaura considerando las propiedades de cargas granulométricas de la unidad minera Yauliyacu – 2024?</p> | <p>General Evaluar las propiedades físicas y mecánicas en taludes de relavera Rosaura considerando las propiedades de cargas granulométricas de la unidad minera Yauliyacu – 2024.</p> | <p>General Las propiedades físicas y mecánicas en taludes de relavera Rosaura influyen significativamente en las propiedades de cargas granulométricas de la unidad minera Yauliyacu – 2024.</p> | <p>Variable independiente: Las propiedades de cargas granulométricas de la unidad minera Yauliyacu en el año 2024</p> | <p>TIPO: aplicada NIVEL: nivel investigación es descriptiva MÉTODO: método de investigación científica. DISEÑO: diseño muestral se describe como la selección de elementos según criterios predefinidos por el investigador POBLACIÓN: La población para el presente trabajo de investigación relavera Rosaura de la unidad minera Yauliyacu. MUESTRA: El depósito de relaves Rosaura</p> |
| <p>Específicos 1. ¿Cómo influyen las características de granulometría y forma de las partículas presentes en los relaves de la unidad minera Yauliyacu en la estabilidad de los taludes de la relavera Rosaura en el año 2024? 2. ¿Cuál es la influencia de la distribución de tamaños de partículas y la porosidad del material de relaves de Yauliyacu en la resistencia a la compresión y al corte de los taludes de la relavera Rosaura? 3. ¿Cómo afectan las propiedades granulométricas del material de relaves de Yauliyacu al riesgo de colapso y</p> | <p>Específicos 1. Determinar cómo influyen las características de granulometría y forma de las partículas presentes en los relaves de la unidad minera Yauliyacu en la estabilidad de los taludes de la relavera Rosaura en el año 2024. 2. Establecer la influencia de la distribución de tamaños de partículas y la porosidad del material de relaves de Yauliyacu en la resistencia a la compresión y al corte de los taludes de la relavera Rosaura 3. Determinar cómo afectan las propiedades granulométricas del material de relaves de Yauliyacu al riesgo de colapso</p> | <p>Específicos H1: Las características de granulometría y forma de las partículas presentes en los relaves de la unidad minera Yauliyacu tienen una influencia significativa en la estabilidad de los taludes de la relavera Rosaura en el año 2024 H2: La distribución de tamaños de partículas y la porosidad del material de relaves de Yauliyacu tienen una influencia significativa en la resistencia a la compresión y al corte de los taludes de la relavera Rosaura H3: Las propiedades granulométricas del material de relaves de Casapalca afectan significativamente el riesgo de</p> | <p>Variable dependiente: Las propiedades físicas y mecánicas en los taludes de la relavera Rosaura</p> | |

| | | | | |
|---|---|---|--|--|
| deslizamiento en los taludes de la relavera Rosaura en 2024, y cómo pueden mitigarse estos riesgos para garantizar la seguridad de la infraestructura minera? | y deslizamiento en los taludes de la relavera Rosaura en 2024, y cómo pueden mitigarse estos riesgos para garantizar la seguridad de la infraestructura minera. | colapso y deslizamiento en los taludes de la relavera Rosaura en 2024, y pueden ser mitigadas para garantizar la seguridad de la infraestructura minera | | |
|---|---|---|--|--|

Parámetros de entrada: σ (Desv. est.): 0,84
 g (cm/seg²): 981

| Estructura en análisis | | Coeficiente pseudoestático en el área comprendida del proyecto | | | |
|--------------------------------------|------------------------------|--|-----------|-----------|-----------|
| | | Corto plazo (Tr=100 años) | - | - | - |
| Datos de entrada | Dperm (cm) | 25,0 | - | - | - |
| | Vs (m/seg) | - | - | - | - |
| | H (m) | - | - | - | - |
| | Ts (seg) | 0,100 | - | - | - |
| Espectro de respuesta del sitio | Magnitud (Mw) | 7,5 | - | - | - |
| | Sa ₂ (Ts deg) (g) | 0,585 | - | - | - |
| | k ₂ (cm) | 0,088 | No aplica | No aplica | No aplica |
| Coeficiente pseudo estático promedio | | 0,09 | No aplica | No aplica | No aplica |

Abreviaturas : Dperm: Deformación permisible
Vs: Velocidad de onda de corte promedio del suelo
H: Altura bloque deslizando
Ts: Periodo de la estructura de suelo
Ts deg: Periodo degradado de la estructura de suelo
Sa_y: Aceleración espectral para ley de atenuación "I"
K₁: Coeficiente pseudoestático obtenido por la ley de atenuación/espectro "I"
Tr: Tiempo de retorno

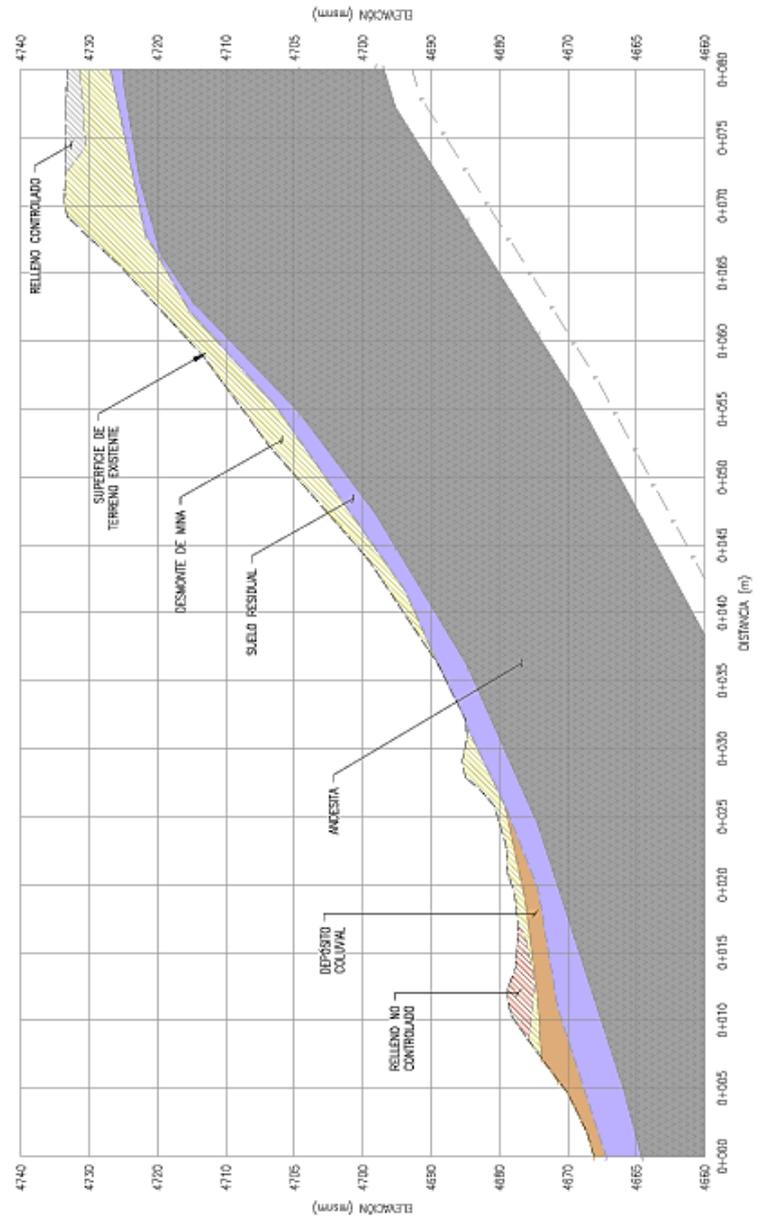
Parámetros de estabilidad a corto plazo

| DATOS DE MONITOREO DE HITOS DESMONTERA D5 | | | | | | | | | |
|---|-----------------------------|---------------|----------|------------|-------------|------------|------------|-------------|--------|
| EMQSA | | | | | | | | | |
| MINA YALLIYACU | | | | | | | | | |
| DEPARTAMENTO DE PROYECTOS Y TOPOGRAFIA | | | | | | | | | |
| TOPOGRAFIA: Z. ASTO | | | | | | | | | |
| EQUIPAMIENTO TS96 plus 3" | | | | | | | | | |
| Punto de Control: (D5 - 01) | | | | | | | | | |
| COORDENADAS | | | | | | | | | |
| Reg. N° | Fecha dd/mm/aa | Tiempo (días) | Este (m) | Norte (m) | cota (msnm) | dif. E (m) | dif. N (m) | dif. Co (m) | |
| 1 | Línea base | 9:30am | 0 | 369838.669 | 8711969.114 | 4635.980 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | huras, 3 de Enero de 2022 | 2:30 pm | | 369838.677 | 8711969.132 | 4635.982 | -0,028 | -0,018 | -0,002 |
| 3 | huras, 7 de Febrero de 2022 | 3:00pm | | 369838.637 | 8711969.122 | 4635.984 | 0,012 | -0,008 | -0,004 |
| 4 | huras, 8 de Marzo de 2022 | 9:30 am | | 369838.694 | 8711969.132 | 4635.981 | -0,025 | -0,018 | -0,001 |
| 5 | huras, 5 de Abril de 2022 | 11:25 am | | 369838.692 | 8711969.119 | 4635.979 | -0,023 | -0,005 | 0,001 |
| 6 | huras, 3 de Mayo de 2022 | 10:14 am | | 369838.698 | 8711969.130 | 4635.982 | -0,019 | -0,016 | -0,002 |
| 7 | huras, 7 de Junio de 2022 | 8:25 am | | 369838.678 | 8711969.128 | 4635.983 | -0,029 | -0,014 | -0,003 |
| Punto de Control: (D5 - 02) | | | | | | | | | |
| COORDENADAS | | | | | | | | | |
| Reg. N° | Fecha dd/mm/aa | Tiempo (días) | Este (m) | Norte (m) | cota (msnm) | dif. E (m) | dif. N (m) | dif. Co (m) | |
| 1 | Línea base | 9:30am | 0 | 369835.462 | 8711961.824 | 4638.212 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | huras, 3 de Enero de 2022 | 2:30 pm | | 369835.454 | 8711961.806 | 4638.211 | 0,008 | 0,018 | 0,001 |
| 3 | huras, 7 de Febrero de 2022 | 3:00pm | | 369835.414 | 8711961.812 | 4638.218 | 0,048 | 0,012 | -0,006 |
| 4 | huras, 8 de Marzo de 2022 | 9:30 am | | 369835.465 | 8711961.817 | 4638.222 | -0,023 | 0,007 | -0,010 |
| 5 | huras, 5 de Abril de 2022 | 11:25 am | | 369835.425 | 8711961.811 | 4638.215 | 0,027 | 0,013 | -0,003 |
| 6 | huras, 3 de Mayo de 2022 | 10:14 am | | 369835.435 | 8711961.809 | 4638.211 | 0,007 | 0,015 | 0,001 |
| 7 | huras, 7 de Junio de 2022 | 8:25 am | | 369835.463 | 8711961.814 | 4638.200 | -0,001 | 0,010 | 0,012 |
| Punto de Control: (D5 - 03) | | | | | | | | | |
| COORDENADAS | | | | | | | | | |
| Reg. N° | Fecha dd/mm/aa | Tiempo (días) | Este (m) | Norte (m) | cota (msnm) | dif. E (m) | dif. N (m) | dif. Co (m) | |
| 1 | Línea base | 9:30am | 0 | 369593.509 | 8711993.395 | 4623.588 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | huras, 3 de Enero de 2022 | 2:30 pm | | 369593.502 | 8711993.359 | 4623.595 | 0,007 | 0,006 | 0,003 |
| 3 | huras, 7 de Febrero de 2022 | 3:00pm | | 369593.507 | 8711993.389 | 4623.590 | 0,002 | 0,006 | 0,008 |
| 4 | huras, 8 de Marzo de 2022 | 9:30 am | | 369593.530 | 8711993.349 | 4623.580 | -0,011 | 0,046 | 0,018 |
| 5 | huras, 5 de Abril de 2022 | 11:25 am | | 369593.515 | 8711993.359 | 4623.585 | -0,006 | 0,006 | 0,013 |
| 6 | huras, 3 de Mayo de 2022 | 10:14 am | | 369593.516 | 8711993.348 | 4623.597 | -0,007 | -0,003 | 0,001 |
| 7 | huras, 7 de Junio de 2022 | 8:25 am | | 369593.517 | 8711993.398 | 4623.589 | -0,008 | -0,003 | 0,009 |
| Punto de Control: (D5 - 04) | | | | | | | | | |
| COORDENADAS | | | | | | | | | |
| Reg. N° | Fecha dd/mm/aa | Tiempo (días) | Este (m) | Norte (m) | cota (msnm) | dif. E (m) | dif. N (m) | dif. Co (m) | |
| 1 | Línea base | 9:30am | 0 | 369578.407 | 8712013.265 | 4620.581 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | huras, 3 de Enero de 2022 | 2:30 pm | | 369578.394 | 8712013.008 | 4620.582 | 0,003 | 0,257 | -0,001 |
| 3 | huras, 7 de Febrero de 2022 | 3:00pm | | 369578.414 | 8712013.208 | 4620.570 | -0,007 | 0,037 | 0,011 |
| 4 | huras, 8 de Marzo de 2022 | 9:30 am | | 369578.315 | 8712013.207 | 4620.578 | 0,002 | 0,058 | 0,003 |
| 5 | huras, 5 de Abril de 2022 | 11:25 am | | 369578.311 | 8712013.210 | 4620.572 | 0,006 | 0,035 | 0,009 |
| 6 | huras, 3 de Mayo de 2022 | 10:14 am | | 369578.401 | 8712013.201 | 4620.582 | 0,006 | 0,064 | -0,001 |
| 7 | huras, 7 de Junio de 2022 | 8:25 am | | 369578.398 | 8712013.197 | 4620.585 | 0,029 | 0,066 | -0,004 |

✓

| LEYENDA | |
|---------|---------------------------------|
| | SUPERFICIE DE TERRENO EXISTENTE |
| | CONTACTO LITOLÓGICO INTERIO |
| | LINEA DE PRESUNCIÓN |
| | RELLENO CONTROLADO |
| | RELLENO NO CONTROLADO |
| | DESMONTE DE MINA |
| | ANEXISTIA |
| | SUELO RESIDUAL |
| | DEPOSITO COLUVIAL |

NOTA:
1. LA BASE TOPOGRAFICA FUE PROPORCIONADA POR EL CUENTE EN SEPTIEMBRE DE 2022.



ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES DEO DEPOSITO ROSAURA



Relavera Rosaura



Dique de la relavera Rosaura



Lado Norte de la relavera Rosaura



Lado Este de la relavera Rosaura.