

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Comportamiento hidráulico y el análisis del riesgo geotécnico  
para la adaptación y optimización del depósito de relaves  
Ocroyoc en la Unidad Minera Paragsha, 2024**

Jose Milder Huaman Leiva  
Jean Pierre Barrios Yllanes

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** : Yovana Torres Gonzales  
Asesor de trabajo de investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 27 de Junio de 2025

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

**Título:**  
**COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO Y EL ANÁLISIS DEL RIESGO GEOTÉCNICO PARA LA ADAPTACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL DEPÓSITO DE RELAVES OCROYOC DE LA UNIDAD MINERA PARAGSHA, 2024**

**Autores:**

1. Jose Milder HUAMAN LEIVA – EAP. Ingeniería de Minas
2. Jean Pierre BARRIOS YLLANES – 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 17 % 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  
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): 1 SI  NO
- 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,

**La firma del asesor obra en el archivo original  
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)**

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos expresar nuestro más sincero y profundo agradecimiento a la Universidad Continental, por bríndanos la oportunidad de formarnos en un entorno académico de excelencia, que ha sido fundamental para nuestro crecimiento profesional. A lo largo de nuestra carrera, los docentes nos han transmitido sus vastos conocimientos con pasión, dedicación y compromiso, haciéndonos comprender la importancia de la educación y el aprendizaje continuo. Cada uno de ellos ha sido clave en nuestra formación, aportando no solo conocimiento teórico, sino también valores que marcarán mi camino profesional.

Nuestro especial reconocimiento a nuestro asesor, por su incansable apoyo, paciencia y dedicación durante todo el proceso de investigación. Su orientación, sabiduría y conocimiento nos han permitido superar los desafíos presentados, guiándome con su experiencia en cada paso. Gracias por brindarme las herramientas necesarias para llevar a cabo este proyecto con éxito y por estar siempre disponible para resolver mis inquietudes.

Finalmente, queremos agradecer a quienes nos acompañaron en este recorrido académico. Su apoyo, amistad y la oportunidad de compartir juntos este proceso enriquecedor han sido una fuente de motivación constante, convirtiendo esta etapa en una experiencia memorable y gratificante.

Los autores

A mis padres, quienes, con su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante me han permitido alcanzar mis metas y sueños. Esta dedicación es para ustedes, que siempre creyeron en mí incluso cuando las dudas se presentaron.

Finalmente, dedico este logro a todos aquellos que, de alguna manera, contribuyeron a mi formación, ya sea con una palabra de aliento, una enseñanza o un gesto que, sin saberlo, me impulsaron a seguir adelante.

Bach. José Milder Huamán Leiva

A mi familia, por su apoyo incondicional, paciencia y por ser mi principal fuente de motivación. A mis padres, por enseñarme que el esfuerzo y la perseverancia son los pilares fundamentales para lograr cualquier objetivo.

Este logro también es para aquellos que, de alguna forma, me inspiraron a seguir adelante, tanto en los momentos de calma como en los de dificultad. Con este trabajo, retribuyo, de alguna manera, todo lo que he recibido.

Bach. Jean Pierre Barrios Yllanes

## Índice

Índice de Tablas .....	6
Índice de Figuras.....	7
Introducción .....	10
CAPITULO I .....	11
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	11
1.1. Planteamiento y Formulación del Problema .....	11
1.1.1. Planteamiento del problema.....	11
1.1.2 Formulación del Problema .....	12
1.2 Objetivo de la Investigación .....	13
1.2.1 Objetivo General.....	13
1.3 Justificación e Importancia de la Investigación .....	13
1.3.1 Justificación Teórica.....	13
1.3.2 Justificación Práctica: .....	13
1.3.3 Importancia de a Investigación .....	13
1.4 Delimitación del proyecto.....	14
1.5 Hipótesis de la Investigación .....	15
1.5.1 Hipótesis General.....	15
1.5.2 Hipótesis Específicas .....	15
1.6 Variables de la Investigación.....	15
1.6.1 Variable Independiente.....	15
1.6.2 Variable Dependiente .....	15
1.6.3 Matriz de Operacionalización de Variables.....	16
CAPITULO II.....	17
MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 Antecedentes de la Investigación .....	17
2.1.1 Antecedentes Internacionales .....	17
2.1.2. Antecedentes Nacionales: .....	20

2.1.3. Antecedentes Locales:.....	22
2.2. Bases Teóricas:.....	23
2.2.1. Ubicación de la investigación .....	23
2.2.2. Presa de relave .....	25
2.2.3. Componentes de una presa.....	25
2.2.4. Componentes de una presa.....	26
Presas Flexibles:.....	29
2.2.5. Simulación Computacional del Desempeño de una Presa. ....	30
CAPITULO III.....	44
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	44
3.1 Método y alcance de la Investigación .....	44
3.1.1 Método de Investigación.....	44
3.1.2 Alcances de Investigación.....	45
3.2 Diseño de Investigación:.....	45
3.3 Población y Muestra. ....	45
3.3.1 Población.....	45
3.3.2 Muestra. ....	45
3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos. ....	45
3.4.1 Técnicas de Recolección de Datos .....	45
3.4.2 Instrumentos De Recolección De Datos .....	46
3.5 Procesamiento de la Información.....	46
3.6 Técnicas de análisis de datos .....	46
CAPÍTULO IV:.....	47
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	47
4.1 Presentación de resultados .....	47
4.1.1 Características físico-mecánicas de los relaves.....	47
4.1.2 Resultados del análisis del comportamiento hidráulico .....	52
4.1.3 Monitoreo De Instrumentación .....	58
4.2. Contrastación de Hipótesis .....	66

4.Discusion de resultados.....	68
CAPÍTULO V .....	70
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	70
5.1 Conclusiones .....	70
5.2 Recomendaciones .....	70
Referencias.....	71

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> operacionalizacion de variables.....	16
<b>Tabla 2.</b> Relación entre la proporción de sólidos presentes y la cantidad de agua utilizada por tonelada.....	35
<b>Tabla 3.</b> Característica del Depósito en Pasta .....	42
<b>Tabla 4.</b> Plan de Minado.....	47
<b>Tabla 5.</b> Coordenadas UTM de los Puntos de Monitoreo de los Piezómetros de la Relavera Ocroyoc (Estabilidad Física).....	48
<b>Tabla 6.</b> Reporte de los Resultados de la Estabilidad química de la relavera Ocroyoc.....	50
<b>Tabla 7.</b> Valor de caudal pico correspondiente a un escenario de día sin lluvias en los puntos de estudio .....	52
<b>Tabla 8.</b> Ensayo de conductividad hidráulica.....	54
<b>Tabla 9.</b> Compression triaxial consolidado no drenado (CU) .....	55
<b>Tabla 10.</b> Resultados obtenidos de las pruebas de resistencia al corte mediante ensayo directo. ....	56
<b>Tabla 11.</b> Resumen de resultados de ensayos estándar – Calicatas y sondajes .....	58
<b>Tabla 12.</b> Propiedades de resistencia al esfuerzo cortante.....	60
<b>Tabla 13</b> Resumen de datos registrados .....	62
<b>Tabla 14.</b> Análisis de la estabilidad en condición actual .....	63
<b>Tabla 15.</b> Análisis de estabilidad en condición Final .....	64

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Ubicación de la zona de Ocroyoc de la Unidad Minera Paragsha.....	24
<b>Figura 2.</b> Componentes fundamentales de una presa de material suelto o de tierra. ....	25
<b>Figura 3.</b> Presa de tipo arco .....	27
<b>Figura 4.</b> Presa de gravedad.....	28
<b>Figura 5.</b> Presas Mixtas.....	28
<b>Figura 6.</b> Presas de terraplén.....	29
<b>Figura 7.</b> Presas mixtas de roca-tierra.....	29
<b>Figura 8</b> Modelos 1D, 2D y 3D. ....	30
<b>Figura 9.</b> Ejemplos de modelaciones en una dimensión utilizando HEC-RAS. ....	31
<b>Figura 10.</b> Modelos Tridimensionales.....	32
<b>Figura 11.</b> Esquema del Proceso de Tratamiento de Minerales. ....	35
<b>Figura 12.</b> Clasificación de los métodos de disposición de relaves según su nivel de humedad. .....	36
<b>Figura 13.</b> Clasificación De Relaves utilizando Hidrociclón.....	38
<b>Figura 14.</b> El Método de aguas arriba.....	39
<b>Figura 15.</b> El Método de aguas abajo.....	40
<b>Figura 16.</b> Método del eje central o línea centra.....	40
<b>Figura 17.</b> Relaves espesados .....	41
<b>Figura 18.</b> Relaves en pasta. ....	42
<b>Figura 19.</b> Depósito de relave filtrado .....	43
<b>Figura 20.</b> Relave Ocroyoc .....	48
<b>Figura 21</b> Disposicion de relave en la Relavera Ocroyoc.....	49
<b>Figura 22.</b> configuración del relave de la relavera Ocroyoc .....	50
<b>Figura 23.</b> variación de pH de la relavera Ocroyoc .....	51
<b>Figura 24.</b> Variación de pH de la relavera Ocroyoc.....	51
<b>Figura 25.</b> Valor de caudal pico correspondiente a un escenario de día sin lluvias en los puntos de estudio .....	53
<b>Figura 26.</b> Ensayo de conductividad hidráulica.....	54
<b>Figura 27.</b> Resultados de compresión triaxial consolidado no drenado (CU).....	56
<b>Figura 28.</b> Resultados de ensayo de corte directo.....	57
<b>Figura 29.</b> Resultados de ensayos estándar – Calicatas y sondajes .....	59
<b>Figura 30.</b> Resistencia al esfuerzo cortante.....	61
<b>Figura 31.</b> Comportamiento de la velocidad de desplazamiento. ....	62
<b>Figura 32.</b> Análisis de la estabilidad en condición actual .....	64
<b>Figura 33.</b> Análisis de la estabilidad en condición Final .....	65
<b>Figura 34</b> Secuencia de depósito en la Relavera Ocroyoc .....	89

## Resumen

El estudio tiene como objetivo determinar el comportamiento hidráulico, el tipo de relave y el análisis del riesgo geotécnico para la adaptación y optimización del tiempo de vida útil del depósito de relaves Ocroyoc en la Unidad Minera Paragsha para el año 2024. Para lograr este objetivo, se empleó el método científico, asegurando la objetividad y rigor en la recolección y análisis de datos. La investigación se llevó a cabo en varias fases, comenzando con una revisión bibliográfica, seguida de un estudio de campo y pruebas de laboratorio para evaluar las propiedades físicas y químicas de los materiales involucrados en el depósito. Además, se realizaron análisis de estabilidad de los taludes y vertederos, abordando el comportamiento hidráulico y geotécnico interrelacionado. Los resultados mostraron que el área de drenaje no tiene una relación significativa con el caudal pico, y que la humedad no influye considerablemente en la profundidad del depósito. Sin embargo, se observó que la velocidad del flujo está estrechamente relacionada con el desplazamiento de los relaves. Un hallazgo clave fue que el riesgo geotécnico afecta de manera significativa al comportamiento hidráulico del depósito, con una correlación estadísticamente significativa entre ambas variables. En conclusión, el análisis de riesgos geotécnicos y las condiciones hidráulicas son fundamentales para la adaptación y optimización del depósito de relaves, por lo que se recomienda ajustar los modelos hidrogeológicos y geotécnicos para mejorar la predictibilidad y contribuir a una gestión más eficiente y segura del depósito.

**Palabras clave.** Relave, geotecnia, comportamiento hidráulico, desplazamiento.

## **Abstract**

The study aims to determine the hydraulic behavior, the type of tailings, and the geotechnical risk analysis for the adaptation and optimization of the useful life of the Ocroyoc tailings deposit at the Paragsha Mining Unit for the year 2024. To achieve this objective, the scientific method was employed, ensuring objectivity and rigor in data collection and analysis. The research was conducted in several phases, starting with a bibliographic review, followed by a field study and laboratory tests to evaluate the physical and chemical properties of the materials involved in the deposit. Additionally, stability analyses of the slopes and spillways were carried out, addressing the interrelated hydraulic and geotechnical behavior. The results showed that the drainage area does not have a significant relationship with the peak flow, and that moisture does not significantly affect the depth of the deposit. However, it was observed that the flow velocity is strongly related to the displacement of the tailings. A key finding was that geotechnical risk significantly impacts the hydraulic behavior of the deposit, with a statistically significant correlation between both variables. In conclusion, the analysis of geotechnical risks and hydraulic conditions are essential for the adaptation and optimization of the tailings deposit, so it is recommended to adjust the hydrogeological and geotechnical models to improve predictability and contribute to more efficient and safe management of the deposit.

*Keywords:* Tailings, Geotechnics, Hydraulic Behavior, Displacement.

## **Introducción**

Esta investigación es determinar el comportamiento hidráulico, el tipo de relave y el análisis del riesgo geotécnico para la adaptación y optimización del tiempo de vida útil del depósito de relaves Ocroyoc de la unidad minera Paragsha en 2024. Esta investigación sigue el método científico para asegurar que la recolección y análisis de datos sea objetiva y rigurosa, garantizando resultados sin manipulaciones ni sesgos, los aspectos técnicos y la interrelación de las variables que afectan el comportamiento del depósito de relaves.

El proceso de investigación se divide en varias fases. En primer lugar, se realizará una revisión bibliográfica que recopile estudios previos sobre la disposición de relaves y desmante, así como una evaluación de la normativa vigente y los avances tecnológicos sobre la estabilidad de las presas de relaves. Posteriormente, se llevará a cabo un estudio de campo en la Unidad Minera Paragsha, donde se tomarán muestras y se realizarán mediciones para evaluar el estado actual de los relaves y el desmante, en la siguiente fase, se realizarán pruebas de laboratorio para evaluar las propiedades físicas y químicas de los relaves y el desmante, así como la interacción entre ambos materiales para mejorar la estabilidad estructural del depósito con contenido de hierro y trazas de otros elementos como zinc, plomo y cobre.

Esta investigación proporciona valiosos insights sobre el comportamiento y la estabilidad del depósito de relaves Ocroyoc, ofreciendo una base para mejorar las estrategias de gestión de relaves que pueden aplicarse no solo en Paragsha, sino también en otras operaciones mineras.

## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

#### 1.1. Planteamiento y Formulación del Problema

##### 1.1.1. Planteamiento del problema

La actividad minera desempeña una función esencial en el progreso económico al suministrar materias primas fundamentales para diversas ramas industriales. No obstante, este sector se enfrenta a desafíos importantes en cuanto a la gestión medioambiental y la eficacia operativa (World Bank, 2021). Sin embargo, la gestión de residuos mineros, especialmente los relaves, representa un desafío creciente debido a sus impactos ambientales y riesgos asociados, como la contaminación de cuerpos de agua y el colapso de depósitos de relaves, lo que ha generado desastres ecológicos y sociales en diferentes partes del mundo (UNEP, 2020).

En América Latina, una región rica en recursos minerales, los problemas relacionados con la gestión de relaves han cobrado relevancia en las últimas décadas. La falta de regulaciones homogéneas y el escaso control de la minería informal han contribuido a la contaminación de ríos y suelos (Chambers, 2019). Casos emblemáticos, como el colapso de la represa de relaves en Brumadinho, Brasil, en 2019, evidencian la urgente necesidad de implementar medidas más estrictas y tecnologías innovadoras para mitigar el impacto ambiental de la actividad minera (IBAMA, 2020).

En el Perú, la minería constituye una de las principales actividades económicas, representando aproximadamente el 10% del PIB nacional (MINEM, 2023). Sin embargo, la gestión de relaves sigue siendo un reto significativo, especialmente en regiones con alta actividad extractiva como Cerro de Pasco. La Unidad Minera Paragsha y, en particular, el depósito de relaves Ocroycoc, se encuentran en una situación crítica debido a la acumulación de residuos y la falta de estrategias eficientes para su gestión sostenible (OEFA, 2023). A esto se suma la presión social y ambiental que demandan mejores prácticas en la disposición y tratamiento de los desechos mineros.

Las principales causas del problema incluyen la falta de tecnologías avanzadas para el tratamiento y reaprovechamiento de los relaves, lo que impide una gestión eficiente y sostenible de estos residuos. Asimismo, existen deficiencias en la planificación y monitoreo de la disposición de residuos mineros, lo que puede generar acumulaciones descontroladas y riesgos ambientales significativos. A esto se suma la existencia de regulaciones insuficientes o el incumplimiento de normativas ambientales, lo que agrava la situación y dificulta la implementación de prácticas adecuadas. Además, los impactos del cambio climático han

intensificado los riesgos de filtración y dispersión de contaminantes, afectando tanto a los ecosistemas naturales como a las comunidades cercanas.

La mala gestión de los relaves conlleva diversas consecuencias adversas. En primer lugar, se produce contaminación de cuerpos de agua y suelos, lo que repercute negativamente en la biodiversidad y en la salud de las comunidades aledañas (Hernández et al., 2022). Además, el riesgo de deslizamientos o colapsos de los depósitos de relaves es una amenaza latente que puede ocasionar daños humanos y materiales de gran magnitud. Asimismo, la ineficiencia en la gestión de estos residuos impacta directamente en la operatividad de la unidad minera, incrementando costos y reduciendo la rentabilidad del proyecto, lo que compromete su sostenibilidad a largo plazo.

Esta investigación contribuirá significativamente a la mejora en la gestión de los relaves y desmontes en el depósito Ocroyoc. En primer lugar, permitirá identificar las deficiencias en los procedimientos actuales, lo que facilitará la propuesta de soluciones basadas en tecnologías emergentes y estrategias sostenibles. Asimismo, fomentará el cumplimiento de normativas ambientales y la adopción de mejores prácticas operativas, promoviendo un enfoque más responsable en la gestión minera. Finalmente, proporcionará información valiosa para la toma de decisiones, con el objetivo de optimizar la gestión de residuos mineros en la Unidad Minera Paragsha y reducir su impacto ambiental y operativo.

## **1.1.2 Formulación del Problema**

### **1.1.2.1 Problema General**

¿Cuál es el comportamiento hidráulico y el análisis del riesgo geotécnico para la adaptación y optimización del depósito de relaves Ocroyoc de la Unidad Minera Paragsha, 2024?

### **1.1.2.2 Problemas Específicos**

1. ¿Cuál es el comportamiento hidráulico para la optimización del tiempo de vida útil del depósito de relaves Ocroyoc de la unidad minera Paragsha, 2024?
2. ¿Cuál es el análisis del riesgo geotécnico del depósito de relaves Ocroyoc de la Unidad Minera Paragsha, 2024?

## **1.2 Objetivo de la Investigación**

### **1.2.1 Objetivo General**

Determinar el comportamiento hidráulico, el tipo de relave y el análisis del riesgo geotécnico para la adaptación y optimización de tiempo de vida útil del depósito de relaves Ocroyoc de la unidad minera Paragsha – 2024

### **1.2.2 Objetivo Específicos**

1. Determinar el comportamiento hidráulico para la optimización del tiempo de vida útil del depósito de relaves Ocroyoc de la unidad minera Paragsha, 2024
2. Determinar el análisis del riesgo geotécnico del depósito de relaves Ocroyoc de la Unidad Minera Paragsha, 2024

## **1.3 Justificación e Importancia de la Investigación**

### **1.3.1 Justificación Teórica**

La minería enfrenta desafíos en la gestión del espacio y residuos, especialmente los relaves y desmonte, que requieren grandes áreas de almacenamiento y generan problemas ambientales y económicos. Una mala gestión de estos materiales puede causar contaminación y aumentar costos operativos. La co-disposición sostenible de relaves y desmonte es una posible solución, optimizando el uso del espacio y reduciendo el impacto ambiental. La estabilización de taludes es crucial para garantizar la seguridad a largo plazo. Esta investigación valida la viabilidad de esta técnica, analizando cómo los materiales pueden interactuar para mantener la estabilidad y mejorar la eficiencia en el uso del terreno, contribuyendo a una minería más sostenible.

### **1.3.2 Justificación Práctica:**

Esta investigación tiene un impacto práctico directo en la operación de la Unidad Minera Paragsha, al abordar la limitación de espacio para actividades mineras y disposición de residuos. La co-disposición sostenible optimiza el uso del espacio y mejora la estabilidad de las estructuras de almacenamiento, aumentando la eficiencia operativa. Económicamente, permite alargar la vida útil de las relaveras, reducir costos de recrecimientos e inversiones en infraestructura, lo que beneficia a la empresa a largo plazo. Socialmente, reduce riesgos como la rotura de presas de relaves, previene conflictos con comunidades cercanas y mejora la imagen de la empresa, generando mayor confianza en la población.

### **1.3.3 Importancia de a Investigación**

La investigación sobre la co-disposición de relave y desmonte es crucial en la minería, ya que mejora la estabilidad física y química de los vertederos y reduce los impactos ambientales. Al mezclar adecuadamente ambos materiales, se optimiza el espacio entre

partículas, lo que aumenta la cohesión y firmeza del desmonte, reforzando la estructura del depósito y minimizando el riesgo de colapsos. Además, al evitar el contacto entre las partículas y el agua, se previene la oxidación de minerales y la formación de aguas ácidas, protegiendo así los ecosistemas circundantes. En resumen, esta técnica mejora la estabilidad de los vertederos y previene impactos ambientales, contribuyendo al desarrollo sostenible de las operaciones mineras.

## **1.4 Delimitación del proyecto**

### **a. Delimitación territorial.**

La presente investigación se llevará a cabo en el centro del Perú, específicamente en el depósito de relaves Ocroyoc, ubicado dentro de la unidad minera Paragsha. Esta instalación minera se localiza en el centro poblado de Paragsha, distrito de Simón Bolívar, provincia y departamento de Pasco. Dicha zona se encuentra dentro de un área de influencia minera activa, caracterizada por una geografía montañosa y condiciones hidrogeológicas complejas que justifican el análisis técnico propuesto.

El área de estudio forma parte de la cuenca alta del río San Juan, donde se desarrollan actividades de disposición de relaves mineros y se registran condiciones críticas en términos de estabilidad geotécnica e interacción hidráulica. Esta delimitación territorial responde a la necesidad de analizar en detalle el comportamiento del flujo interno del depósito, evaluar el riesgo de fallas estructurales, y proponer estrategias de adaptación y optimización que garanticen la seguridad operativa y ambiental del depósito Ocroyoc.

### **b. Delimitación tiempo y espacio.**

Esta investigación se llevará a cabo en el depósito de relaves Ocroyoc, que forma parte de la unidad minera Paragsha, situada en el centro poblado de Paragsha, distrito de Simón Bolívar, en la provincia y departamento de Pasco. Se ha elegido este lugar no solo por su importancia en la actividad minera de la región, sino también por los retos que representa en cuanto a su estabilidad estructural y comportamiento hidráulico, aspectos clave para garantizar la seguridad de las personas y del entorno.

El estudio se desarrolló en los meses setiembre, octubre, noviembre y diciembre del año 2024 y enero, febrero del 2025e incluirá diversas etapas, desde la recopilación de información y el análisis técnico de las condiciones actuales del depósito, hasta la interpretación de resultados y la elaboración de propuestas concretas para su mejora.

## **1.5 Hipótesis de la Investigación**

### **1.5.1 Hipótesis General**

**Hi:** El comportamiento hidráulico, el tipo de relave y el análisis del riesgo geotécnico influyen significativamente en la adaptación y optimización de tiempo de vida útil del depósito de relaves Ocroyoc de la unidad minera Paragsha – 2024.

### **1.5.2 Hipótesis Específicas**

**H1:** El comportamiento hidráulico incide significativamente en la optimización del tiempo de vida útil del depósito de relaves Ocroyoc de la unidad minera Paragsha, 2024

**H2:** El análisis del riesgo geotécnico permitirá identificar las principales variables que afectan su estabilidad del depósito de relaves Ocroyoc de la Unidad Minera Paragsha, 2024

## **1.6 Variables de la Investigación**

### **1.6.1 Variable Independiente**

- El comportamiento hidráulico, el tipo de relave y el análisis del riesgo geotécnico.

### **1.6.2 Variable Dependiente**

- La adaptación y optimización de tiempo de vida útil del depósito de relaves Ocroyoc.

### 1.6.3 Matriz de Operacionalización de Variables

Tabla 1. operacionalizacion de variables

VARIABLE	Definición conceptual	Definición operativa	Dimensiones	indicadores
VI: comportamiento hidráulico, el tipo de relave y el análisis del riesgo geotécnico	Características físicas, químicas y mecánicas del relave que determinan su interacción con el agua y su estabilidad estructural (5).	Se mide mediante pruebas de permeabilidad, granulometría, contenido de humedad, presión de poros y estabilidad de taludes (7)	Comportamiento hidráulico	Conductividad hidráulica
			Tipo de relave	Granulometría, densidad seca.
			Riesgo geotécnico	Factor de seguridad
VD. Optimización del depósito de relaves Ocroyoc.	Proceso de mejora en la gestión y disposición de relaves para maximizar su estabilidad y funcionalidad en el tiempo, considerando factores geotécnicos, hidráulicos y ambientales (9)	Se evalúa mediante modelado de estabilidad del depósito, análisis de drenaje, compactación del relave y planificación de expansión (9)	Adaptación del depósito	Capacidad de almacenamiento (m <sup>3</sup> )
			Optimización del tiempo de vida útil	compactación del material.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la Investigación

##### 2.1.1 Antecedentes Internacionales

Figuroa (1) en el artículo titulado: *“Comportamiento sísmico de presas de relaves construidas aguas abajo y línea central”* El presente estudio tuvo como propósito analizar cómo el aumento sostenido en la velocidad de procesamiento de minerales en las últimas décadas ha llevado a una creciente demanda de capacidad en los depósitos de relaves. Esta situación ha obligado a diseñar presas de arena con dimensiones cada vez mayores tanto en altura como en volumen, lo que representa un gran desafío, especialmente frente a las restricciones ambientales impuestas por la normativa vigente. En este contexto, surge como alternativa el diseño de presas de arena con crecimiento según la línea central, una estrategia que permite reducir el volumen de arena necesario sin comprometer la estabilidad global de la estructura. El artículo presenta una modelación numérica bidimensional de presas de relaves de gran altura sometidas a un escenario sísmico severo. Se analizan dos casos: uno con una sección que crece hacia aguas abajo, y otro que transiciona a un crecimiento por línea central a partir de cierta elevación. Se comparan los resultados sísmicos entre ambas configuraciones, evaluando indicadores clave como las deformaciones posteriores al sismo, aceleraciones en el coronamiento, la amplificación respecto al terreno libre, y la pérdida de revancha operacional, entre otros factores críticos para la seguridad y eficiencia de estas estructuras.

Joaquín (2) en el artículo *“Propuesta de modelo de optimización de tiempo de vida útil de depósito de relaves espesados”*, El propósito de este estudio fue mejorar la duración operativa de los depósitos de relaves espesados, enfocándose particularmente en el depósito de la Minera Centinela, perteneciente a Antofagasta Minerals. Para ello, se aplicaron principios metalúrgicos, técnicas heurísticas, algoritmos de programación entera y herramientas de diseño asistido por computadora (CAD), con el fin de realizar una modelación tridimensional de los relaves.

En una primera fase, se llevó a cabo una descripción geométrica del depósito, estimando principalmente las pendientes de la superficie y calculando las distintas capacidades volumétricas aún disponibles. Luego, se procedió a caracterizar la pulpa de relaves, analizando sus propiedades reológicas para vincularlas con un ángulo específico de disposición. Esta etapa se sustentó en datos obtenidos de medidores de flujo y en la interpretación de resultados

provenientes de ensayos de laboratorio. Como producto de este análisis, se desarrolló una herramienta que permite estimar la vida útil del depósito, ofreciendo la posibilidad de ingresar distintos escenarios (valores estimados, conservadores o favorables). Asimismo, la herramienta facilita el control operativo al registrar un historial de los relaves descargados. Los hallazgos permitieron definir la máxima capacidad alcanzable del depósito, lo que orienta la planificación hacia mejoras en la topografía superficial. En síntesis, se ha propuesto una metodología flexible de planificación, que se adapta a condiciones variables y permite determinar los volúmenes óptimos de relaves espesados a almacenar. Esta planificación considera tanto las pendientes como la capacidad remanente del depósito y el comportamiento reológico de los relaves, con el objetivo de aprovechar eficientemente cada sector del depósito.

Díaz y Quintero (3) en la tesis: ***“Identificación de alternativas de almacenamiento de relaves generados en la minería aurífera en Colombia”*** El objetivo del estudio fue explorar opciones para optimizar el almacenamiento definitivo de los relaves generados por la actividad minera, mediante el análisis de cuatro sistemas empleados tanto en Colombia como en otros países con experiencia en minería. Se planteó seleccionar las dos alternativas más adecuadas para su implementación en el sector aurífero colombiano. Entre las tecnologías evaluadas se encuentran los espesadores, el uso de filtro-prensa, los geotubos y el retrolenado, todos ellos aplicados en operaciones de mediana y gran escala. Estas soluciones emergentes ofrecen ventajas significativas al permitir una gestión más eficiente, segura y sostenible de los residuos mineros. Sin embargo, recomendar únicamente dos métodos resulta complejo, ya que cada uno posee características particulares y, en muchos casos, pueden ser utilizados de manera complementaria. La decisión final sobre cuál implementar dependerá de variables como el tamaño de la operación, la localización geográfica del proyecto, la disponibilidad de espacio, las normativas ambientales vigentes, los costos asociados y los requisitos fiscales específicos de cada contexto.

Muñoz (4) en su tesis cuyo objetivo fue ***“Modelo fenomenológico de pérdidas de agua en depósitos de relave convencionales”*** Este trabajo presenta un modelo fenomenológico simplificado para calcular las pérdidas de agua por atrapamiento durante el escurrimiento en la zona de playa de un depósito de relaves convencional, abarcando desde el punto de vertido hasta una distancia de 800 metros en dirección aguas abajo. El modelo se compone de cinco ecuaciones clave que permiten describir el comportamiento hidráulico del flujo de relaves, considerando aspectos como la conservación del volumen de la fase sólida y de la mezcla, criterios de sedimentación, la distribución volumétrica de sólidos y la ecuación de cantidad de movimiento de la mezcla. Tras la formulación y deducción de estas expresiones, que conforman un sistema de ecuaciones diferenciales parciales, se introduce la hipótesis cuasiestática para

convertirlo en un conjunto de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) resolubles espacial y temporalmente. Para la resolución del sistema en estado estacionario, se emplea el método numérico de Runge-Kutta de cuarto orden, con actualizaciones iterativas de la morfología del canal. Se destaca la relevancia de definir adecuadamente las condiciones de contorno, ya que una elección incorrecta puede conducir a soluciones matemáticas sin sentido físico. Al redefinir estas condiciones, se obtiene una solución coherente con el comportamiento real, evidenciando un espesor de escurrimiento que disminuye de forma continua debido a la pérdida de masa por separación de fases. Las soluciones alcanzadas muestran una evolución morfológica del canal con una tendencia creciente al peralte con el paso del tiempo, lo que implica un incremento en la velocidad media de la mezcla y, como consecuencia, una reducción progresiva de la sedimentación en tramos más lejanos. Finalmente, al estimar las pérdidas acumuladas por atrapamiento, se concluye que aproximadamente el 24 % del agua vertida equivalente a 128 litros por segundo queda retenida en los poros del lecho sedimentado.

Quintana (5) en su tesis *“Modelamiento fluidodinámico de turbina en base a tornillo de Arquímedes en relaves mineros”* Este trabajo tuvo como propósito llevar a cabo una simulación de dinámica de fluidos aplicada a una turbina inspirada en el tornillo de Arquímedes, con la finalidad de identificar la mayor potencia generada en función de las revoluciones por minuto (RPM), considerando un flujo de relaves dentro de un canal rectangular. Entre las metas específicas se encuentran: el desarrollo de un modelo fundamentado en un volumen de control para estimar la potencia generada, el análisis de cómo esta varía según la velocidad de giro, la creación de un modelo CFD que permita examinar los esfuerzos actuantes sobre los álabes, la carcasa y el eje, el cálculo del par de giro utilizando agua como fluido, la determinación de las RPM óptimas para mejorar el rendimiento y la representación del comportamiento del relave entre los álabes. La metodología inició con la recopilación y evaluación de diseños existentes de turbinas basadas en el tornillo de Arquímedes, así como con la revisión de experiencias previas sobre su uso con agua, dimensiones relevantes y condiciones operativas. A partir de ello, se desarrolló un modelo computacional mediante la técnica de volúmenes finitos usando el software Ansys, para simular el comportamiento hidráulico tanto con agua como con relaves, obteniendo así valores adecuados de RPM. Los resultados más relevantes incluyen la identificación de esfuerzos de presión y cizalla en todas las superficies del modelo, observándose una reducción del momento total a medida que aumentan las RPM. La mayor transmisión de momento hacia el eje ocurre a través del álabe inferior, debido principalmente al peso del fluido, mientras que los esfuerzos de cizalladura, que se oponen al giro, se incrementan con la velocidad. En conclusión, se determinó que, para alcanzar el máximo rendimiento, las revoluciones tienen un papel más determinante que los efectos viscosos

contrarios al movimiento, estableciéndose que el valor óptimo de giro para el caudal del canal es de 10 RPM.

Muñoz (6) en su tesis *“Análisis del comportamiento cíclico de arenas de relaves bajo diferentes condiciones iniciales de carga”* El propósito de esta investigación fue evaluar el comportamiento mecánico de los suelos sometidos a cargas repetitivas, similares a las inducidas por movimientos sísmicos. La etapa experimental comprendió ensayos preliminares como análisis granulométrico, determinación de vacíos extremos, observación microscópica y cálculo de la gravedad específica. Posteriormente, se realizaron pruebas triaxiales cíclicas bajo condiciones iniciales isotrópicas y anisotrópicas. A partir de estos ensayos, se centró el análisis en el incremento de la presión intersticial y la deformación axial que se presentan cuando los suelos enfrentan cargas cíclicas. En cuanto a la deformación axial, se estudió su evolución frente a distintos niveles de corte estático, amplitudes de carga repetitiva y presiones de confinamiento, con la finalidad de identificar posibles vínculos entre estos factores. Los resultados obtenidos evidencian diferencias significativas en la generación de presión intersticial entre arenas naturales y relaves, una variable que no contemplan algunos modelos existentes. Este enfoque aporta elementos clave para alimentar simulaciones numéricas en la evaluación del riesgo de licuefacción en un sitio determinado. Finalmente, se concluye que múltiples factores afectan la deformación observada, lo que resalta la importancia de continuar investigando para precisar mejor dichas relaciones.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales:**

Meza (7) en su tesis *“Aumento de la vida útil de relavera mediante la evaluación de costos unitarios en el sistema de relleno hidráulico en la Mina Animón – Compañía Minera Chungar S.A.C.”* El propósito de esta investigación fue extender el periodo funcional de la relavera a fin de evitar posibles inconvenientes futuros en la “Mina Animón – Compañía Minera Chungar S.A.C.”. Se trata de un estudio de tipo aplicado, con un enfoque descriptivo-explicativo, sustentado en el método científico, así como en enfoques inductivo y analítico. La investigación adoptó un diseño no experimental de tipo transversal. Para estimar la duración proyectada de la relavera en relación con la técnica de relleno hidráulico, se realizaron diversas evaluaciones que permitieron conocer las condiciones del entorno, incluyendo factores físicos, topográficos, fisiográficos, geológicos, geomorfológicos, sísmicos, características naturales y climáticas del lugar. La decisión de implementar un recrecimiento de la estructura se fundamentó en criterios relacionados con la disponibilidad de espacio y la configuración topográfica, con el fin de evitar afectaciones a las zonas aledañas. Esta estrategia posibilita prolongar la operatividad de la relavera al aprovechar el relleno hidráulico para ocupar áreas no utilizadas. La inversión requerida para este recrecimiento ascendió a 15 millones de dólares

en construcción, mientras que los costos operativos se estimaron en 9,736 dólares por metro cúbico.

Huallpa y Medina (8) en su tesis *“Análisis comparativo entre los métodos de recrecimiento en un depósito de relaves tipo pulpa en Cajamarca”* El propósito de este estudio fue realizar una comparación basada en el cálculo de variaciones porcentuales, evaluando información equivalente alineada con los objetivos específicos. Se abordó la estabilidad física mediante evaluaciones estáticas y pseudoestáticas, así como las deformaciones bajo condiciones sin actividad sísmica; adicionalmente, se efectuó un análisis dinámico para estudiar el comportamiento durante un evento sísmico. También se desarrolló un estudio de filtraciones con el objetivo de determinar la técnica más eficaz para disminuirlas. Para estos análisis se utilizaron parámetros geotécnicos validados, obtenidos a partir de fuentes bibliográficas confiables con características similares a las de la presa analizada. Los hallazgos revelaron diferencias dentro del rango aceptable para los análisis de estabilidad física y las deformaciones dinámicas según los métodos empleados; sin embargo, en el caso de las filtraciones, se identificó una diferencia considerable. En síntesis, la comparación mostró escasas variaciones en los análisis estático y pseudoestático, destacando al enfoque de crecimiento aguas abajo como el más eficiente, mientras que, en el análisis dinámico de deformaciones, el diseño por línea central ofreció mejores resultados. Por último, en cuanto a las filtraciones, se detectó una desviación más allá del umbral aceptado, subrayando una mayor estabilidad en la opción de aguas abajo.

Alcántara (9) en su tesis *“Comportamiento hidráulico del subsistema de disposición de relaves: Rougher Scavenger Tailings, tramo: planta concentradora – relavera lado norte, del proyecto Cerro Corona”* El propósito de este trabajo es abordar la problemática asociada con la gestión ineficiente de los relaves en el Proyecto Cerro Corona, enfocándose en particular en el Subsistema Rougher Scavenger Tailings, el cual presenta dificultades operativas que han llevado a definir lineamientos técnicos para evaluar su desempeño. La intención es proponer soluciones que puedan adaptarse a distintos contextos operativos en el corto, mediano y largo plazo, teniendo en cuenta los requerimientos diarios de producción mínima, estándar y máxima de toneladas secas de relaves. Estas cantidades están vinculadas a diversas etapas del procesamiento y extracción de minerales, influyendo de manera directa en el desarrollo estructural de la presa de relaves. La estrategia metodológica planteada también tiene potencial de aplicación en la revisión hidráulica del Subsistema Cleaner Scavenger Tailings, así como en los Sistemas de Descarga Directa Auxiliar y de Recuperación de Agua, constituyendo un referente útil para estudios técnicos posteriores.

López (10) en su tesis *“Diseño Hidráulico de un Sistema Gravimétrico para Relaves Mineros con un Caudal de 202 m<sup>3</sup>/h y 220 m de Desnivel”* El objetivo principal de este estudio fue organizar el traslado de 202 m<sup>3</sup>/h de relaves provenientes de la planta concentradora hacia la presa, aprovechando un desnivel topográfico de 226 metros. El esquema hidráulico planteado comprende las fases de recepción, acondicionamiento, conducción y descarga del material. La recepción y el acondicionamiento se realizan mediante un sistema específico, mientras que el traslado del relave se lleva a cabo a través de una tubería completamente llena y sometida a presión. La descarga se efectúa en el sistema correspondiente de la presa, garantizando que se mantenga la presión operativa adecuada. El relave tratado corresponde a una mezcla uniforme con una densidad relativa de 1.5, una concentración en masa del 52.5 % y una concentración volumétrica del 29 %. Esta mezcla presenta un comportamiento reológico del tipo Bingham y contiene partículas en suspensión con un tamaño promedio de 27 micrómetros y una densidad relativa de sólidos secos de 2.7. La red de transporte está dividida en dos segmentos con distintos diámetros: el primero, de 190 metros, cuenta con un diámetro nominal de 8 pulgadas y una velocidad promedio de 1.9 m/s; el segundo, de 970 metros, tiene un diámetro de 6 pulgadas y una velocidad media de 3.5 m/s. Al tratarse de una mezcla con sólidos suspendidos, se analizó la velocidad mínima de transporte para evitar sedimentación, utilizando el modelo propuesto por Turian y Oroskar, lo que arrojó valores de 1.14 m/s y 0.95 m/s en los tramos primero y segundo, respectivamente. Para calcular la pérdida de presión, se recurrió al modelo de Darby, específico para fluidos Bingham, obteniéndose un valor de 976.6 kPa (66.3 m.c.a.), lo cual representa el 29 % del desnivel disponible. Como parte del sistema, se incluyó una estación disipadora al final del recorrido, destinada a reducir la presión antes del ingreso del relave al sistema de descarga, asegurando una presión de entrada de 55 PSIG.

### **2.1.3. Antecedentes Locales:**

Bermudez y Giron (11) en su tesis *“Análisis de riesgo geotécnico para prevenir futuras fallas en una presa de relaves aguas abajo en el departamento de Junín”* El propósito de este estudio fue identificar el nivel de riesgo geotécnico con el fin de evitar posibles fallas en una presa de relaves con crecimiento hacia aguas abajo, ubicada en el departamento de Junín. La investigación se desarrolló bajo un enfoque deductivo, con metodología mixta, nivel descriptivo y un diseño no experimental de tipo prospectivo. Para la evaluación del riesgo, se aplicó el método FMEA, que consiste en construir una matriz de riesgos identificando posibles modos de falla y controles mínimos, en función de su probabilidad de ocurrencia y sus consecuencias. Se integraron valores ajustados para reducir la posibilidad de incidentes, siguiendo los lineamientos de seguridad establecidos por los estándares internacionales del MAC y el CDA. El análisis se centró en el dique principal de la presa, considerando la estabilidad física, posibles filtraciones y desplazamientos simplificados. Con base en estos

estudios, se definieron los modos críticos de falla y se elaboró la matriz correspondiente. Los resultados evidenciaron la existencia de cuatro escenarios de falla potencial, respaldando las hipótesis iniciales y determinando un riesgo clasificado como catastrófico e improbable. Posteriormente, se implementaron las directrices de seguridad propuestas por el MAC y el CDA, logrando reducir el nivel de riesgo a la categoría de catastrófico pero raro.

## **2.2. Bases Teóricas:**

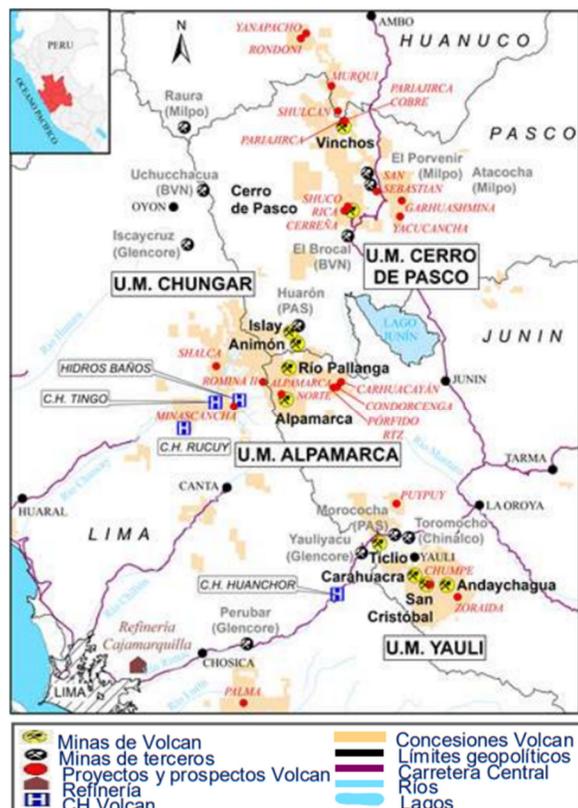
### **2.2.1. Ubicación de la investigación**

La zona de Ocroyoc está situada dentro de la Unidad Minera Paragsha, en el departamento de Pasco, Perú. Localizada en el centro de la sierra central, forma parte de la provincia de Pasco, específicamente en el distrito de Simón Bolívar. Es una región asentada a gran altitud, con elevaciones que oscilan entre los 4,300 y 4,500 metros sobre el nivel del mar, caracterizada por un clima frío propio de zonas altoandinas y un terreno irregular típico de los Andes centrales.

Este territorio es ampliamente reconocido por su abundancia en yacimientos minerales, lo que lo posiciona como un área clave para el desarrollo de la industria minera en el país. El depósito de relaves Ocroyoc representa una infraestructura fundamental dentro de las operaciones de la Compañía Minera Volcan S.A.A., una de las compañías más destacadas del sector minero peruano. Desde este emplazamiento, se realiza la gestión de los residuos generados por la extracción de minerales polimetálicos como el zinc, plomo y plata, aportando significativamente al crecimiento económico y a la actividad productiva de la zona.

**Figura 1.**

*Ubicación de la zona de Ocroyoc de la Unidad Minera Paragsha*



La planta concentradora Paragsha comenzó sus operaciones en 1943, con una capacidad inicial de 635 toneladas métricas por día (TMD), procesando minerales de cobre, plomo y zinc. Sin embargo, el 30 de septiembre de 1963, se dejó de tratar el mineral de cobre, lo que permitió aumentar la capacidad de procesamiento de plomo y zinc a 3,900 TMD. A lo largo de los años, esta capacidad continuó en expansión, alcanzando 8,500 TMD en 2005 y, en la actualidad, opera con una capacidad de 11,200 TMD mediante un sistema convencional de flotación para sulfuros de plomo y zinc.

En la planta se procesan minerales complejos de sulfuros de plomo (Pb), zinc (Zn) y plata (Ag), con pirita como ganga. La composición mineralógica varía según la zona del tajo, siendo los principales minerales de interés la galena, que contiene plomo, y la esfalerita, rica en zinc. La plata, por su parte, se encuentra principalmente asociada a la galena y la pirita, aunque su proporción varía significativamente.

El mineral tratado en la planta es una combinación de materiales extraídos directamente de la mina y de un tajo cerrado, con una proporción aproximada del 30% y 70%, respectivamente

### 2.2.2. Presa de relave

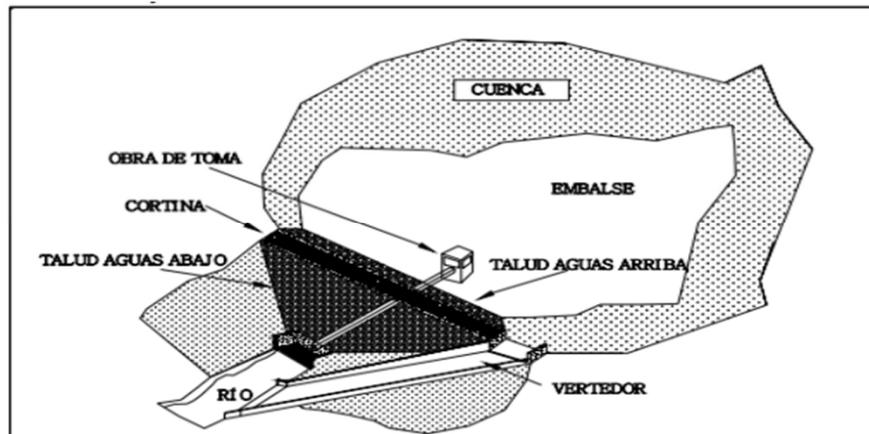
Las presas se definen como estructuras originadas de forma natural o edificadas por el ser humano con múltiples fines provechosos. A lo largo del tiempo, se han desarrollado distintos enfoques para su diseño y edificación, adaptándose según los usos para los cuales son destinadas. Hoy en día, el empleo de programas informáticos ha simplificado notablemente los procedimientos de análisis y planificación de presas. Gracias a ello, actividades que anteriormente se fundamentaban en criterios empíricos pueden ahora realizarse mediante evaluaciones analíticas de forma ágil y precisa. Como consecuencia, estas infraestructuras se construyen actualmente con altos estándares de seguridad y confianza (12).

### 2.2.3. Componentes de una presa.

Según (12), una represa está conformada por distintos elementos que permiten asegurar tanto su estabilidad como su correcto funcionamiento. La forma y características de algunos de estos componentes pueden diferir dependiendo del tipo de estructura; sin embargo, de manera general, las represas incluyen partes fundamentales como la cortina, el vertedero, el embalse, la obra de toma y la cuenca.

**Figura 2.**

Componentes fundamentales de una presa de material suelto o de tierra.



Las características de la cortina se entienden como las de una estructura construida intencionalmente para interrumpir el paso del agua en un cauce natural. Su finalidad principal es asegurar una reserva de agua que pueda ser utilizada por las personas. Para definir su ubicación, se elige una parte angosta del cauce del río, comúnmente llamada boquilla. Es en este punto donde se levanta la cortina, la cual puede diferir en los materiales utilizados y en su forma, según las condiciones del terreno y los requerimientos del proyecto (12).

En términos generales, las presas están conformadas por los siguientes elementos:

- Reservorio: Representa el volumen de agua que la presa está diseñada para contener.

- **Cuerpo:** Es la estructura física donde se almacena el agua retenida.
- **Punto de Cierre:** Corresponde al sitio específico donde se construye la estructura que sella el paso del agua.
- **Barrera:** Es una construcción sólida y resistente, capaz de soportar las fuerzas ejercidas por el empuje hidrostático y de impedir filtraciones.
- **Superficies, Pendientes o Lados:** Son las áreas inclinadas o verticales que delimitan el cuerpo de la presa; la cara en contacto con el agua se denomina "aguas arriba", mientras que la contraria se llama "aguas abajo".
- **Soportes:** Son las zonas de anclaje lateral que brindan estabilidad a la estructura de la presa.
- **Coronamiento:** Se refiere a la parte superior y plana de la presa, que actúa como remate de la estructura.
- **Fundamento:** Es la base del terreno sobre la que descansa toda la estructura y donde se transfiere su peso.
- **Canal de Desbordamiento:** Tiene como función evacuar el exceso de agua o las crecidas que exceden la capacidad de almacenamiento del reservorio.
- **Estructuras de Captación:** Son instalaciones complementarias diseñadas para extraer agua del embalse según su finalidad, como puede ser la generación hidroeléctrica.
- **Salida de Fondo:** Mecanismo que permite liberar una cantidad mínima de agua con el fin de mantener el equilibrio ecológico aguas abajo y facilitar la descarga de sedimentos.

#### **2.2.4. Componentes de una presa.**

Según lo expuesto en la obra de (13), dentro del campo de la Ingeniería Civil, una represa o presa se entiende como una infraestructura diseñada para contener agua, permitiendo su almacenamiento y control en cuanto a su distribución. En la antigüedad, las construcciones con materiales de tierra probablemente fueron las más comunes para cumplir esta función. Se estima que las primeras presas comenzaron a construirse entre los años 4500 a.C. y 4000 a.C. Estas estructuras, en sus inicios, fueron mayormente de tierra debido a la disponibilidad de materiales y al conocimiento técnico de la época. Actualmente, las presas se clasifican en distintas categorías según sus características y métodos constructivos:

##### **a. Según su finalidad o uso, se distinguen las siguientes subcategorías:**

Conforme a la clasificación propuesta por (13), se pueden identificar las siguientes subcategorías basadas en el uso de las presas:

- **Presas de almacenamiento:** Están diseñadas para acumular agua durante periodos de baja disponibilidad hídrica.

- **Presas de derivación:** Este tipo de presas se emplea para redirigir el flujo de agua desde un canal principal hacia tuberías, zanjas u otros conductos. También son conocidas como bocatomas.
  - **Presas de regulación:** También llamadas presas de inundación, tienen la función de retardar el escurrimiento y, por ende, reducir los efectos de las inundaciones al modular el correspondiente hidrograma
- b. De acuerdo con el diseño hidráulico, se presentan las siguientes subdivisiones:**
- **Presas de liberación:** Se caracterizan por poseer vertederos fijos ubicados por encima de su parte superior, destinados a gestionar el exceso de agua durante períodos de crecida.
  - **Presas sin vertedero:** Se refieren a aquellas diseñadas de manera que el agua no alcance ni sobrepase su parte superior.
- c. De acuerdo con la configuración, se presentan las siguientes subdivisiones:**

**PRESAS RÍGIDAS:**

- **Presas de arco:** Esta clase de estructura es ideal para valles angostos con laderas formadas por roca. Gracias a su diseño curvo, ofrece una solución rentable y una notable capacidad para soportar presiones y cargas generadas por el agua.

**Figura 3.**

Presas de tipo arco



- **Presas de gravedad:** Estas construcciones se distinguen por utilizar su propio peso como principal medio para mantenerse estables, siendo habitual que su base tenga una dimensión similar a su altura.

#### Figura 4.

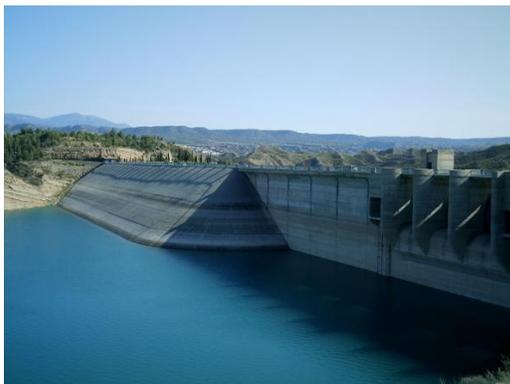
Presas de gravedad



- **Represas de Contrafuertes:** Estas representan la primera evolución en la retención, especialmente en áreas con escasez de materiales, buscando economizar en la construcción. Este tipo de presas demanda aproximadamente la mitad del concreto necesario en comparación con una presa de gravedad de dimensiones similares. Pueden adoptar configuraciones como losas rectas, arcos semicirculares o incluir varios contrafuertes con curvatura.
- **Presas Mixtas:** Este tipo de estructuras surge de la integración de conceptos estructurales propios de las presas de arco, de gravedad y de contrafuertes.

#### Figura 5.

Presas Mixtas



### Presas Flexibles:

- **Presas de terraplén:** En este tipo de presas, la mayor parte del volumen de la estructura está conformada por suelos que pueden ser arcillosos, arenosos o areno - granillosos.

**Figura 6.**

Presas de terraplén



- **Presas mixtas de roca-tierra:** En este tipo de diseño, la mayor parte del cuerpo de la presa está conformado por materiales de gran tamaño, mientras que los componentes destinados a evitar filtraciones son de espesor reducido.

**Figura 7.**

Presas mixtas de roca-tierra



- **Presas de enrocado:** En este tipo de presas, la estructura principal está constituida por fragmentos de roca, incorporando un componente impermeable elaborado con distintos materiales para evitar el paso del agua.

### 2.2.5. Simulación Computacional del Desempeño de una Presa.

Según lo indicado por (14), se desarrollan modelos numéricos empleando distintos enfoques computacionales. En palabras sencillas, esto implica construir una representación matemática a través de programas o softwares que aplican métodos numéricos para calcular diversos parámetros dentro de un modelo dividido en pequeñas partes. Algunos de estos modelos están diseñados para cumplir funciones concretas y, a su vez, se integran con herramientas modernas de uso extendido, enriqueciendo y complementando los ensayos físicos tradicionales.

#### a) Tipos de modelos numéricos

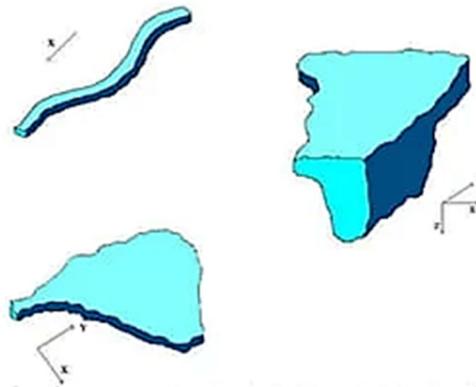
Algunos modelos numéricos fueron inicialmente creados con el propósito de resolver el problema principal, centrado principalmente en el comportamiento del flujo de agua. Con el tiempo, su uso se ha ampliado, y hoy en día estos modelos cuentan con una aplicación más amplia, permitiendo analizar diferentes situaciones vinculadas al movimiento del agua. Además, se les han incorporado módulos adicionales que permiten simular otros fenómenos relevantes, como el transporte de sedimentos, la calidad del agua (considerando aspectos como el hábitat de peces) y la dispersión de sustancias contaminantes (14).

#### b) Dimensionalidad

Los valores obtenidos a través de una simulación numérica resultan clave para definir el alcance del modelo analizado. Por esta razón, se emplean representaciones de una, dos y tres dimensiones, lo cual es un aspecto crucial al momento de establecer la escala y nivel de detalle de un modelo determinado (14).

#### Figura 8

Modelos 1D, 2D y 3D.



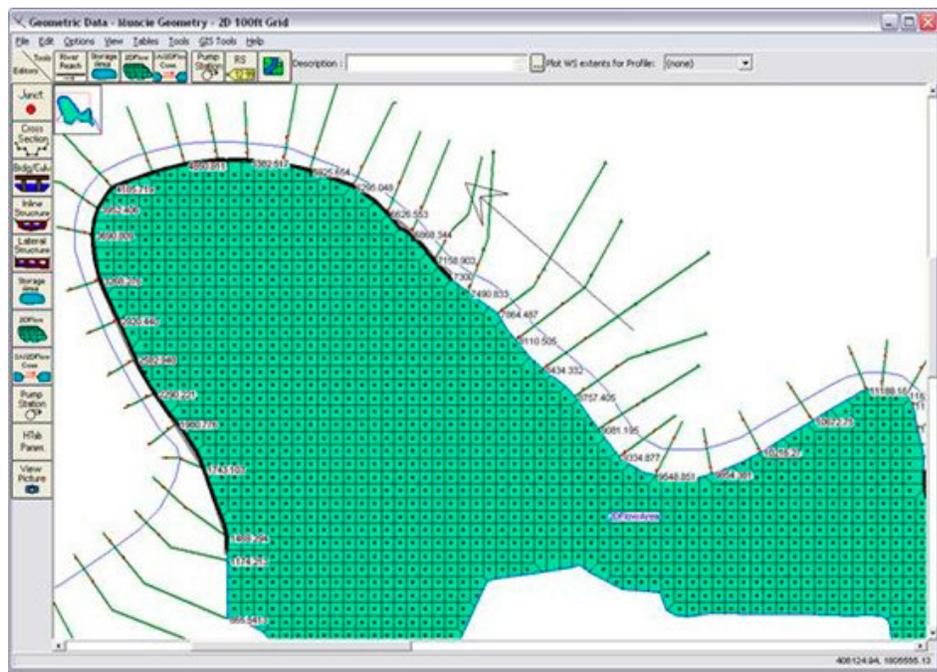
*Nota.* Vásquez (2003) aborda la aplicación de métodos numéricos en la disciplina de hidráulica para llevar a cabo procesos de modelación.

## MODELOS UNIDIMENSIONALES

Estos modelos unidimensionales se caracterizan por tener una dimensión que predomina sobre las otras dos, representando el eje del río o canal durante un tiempo específico. Esta dimensión, que es fundamental en tamaño y se aproxima al flujo normal, proporciona datos hidráulicos o topográficos obtenidos mediante cortes transversales. Se calculan la profundidad del flujo y la velocidad promedio a lo largo de todo el segmento, sin detallar perfiles de velocidad horizontal y vertical, sino un valor primordial de velocidad. Este enfoque implica que el flujo es perpendicular a la sección.

Las limitaciones de estos modelos incluyen la predeterminación de que el flujo es perpendicular a la sección, lo que limita su uso en ríos y arroyos muy grandes. Aunque son rápidos y comúnmente utilizados en diseños de estructuras mínimas como alcantarillas, presentan dificultades al lidiar con lechos rígidos en flujos unidireccionales. Se aplican con precaución en ríos aluviales erosionables o muy meándricos. Actualmente, herramientas como HEC-RAS se utilizan previamente para conocer niveles con curvas de remanso o agua, pero no proporcionan una visión completa del comportamiento de un río o estructura.

**Figura 9.**  
Ejemplos de modelaciones en una dimensión utilizando HEC-RAS.



## MODELOS BIDIMENSIONALES

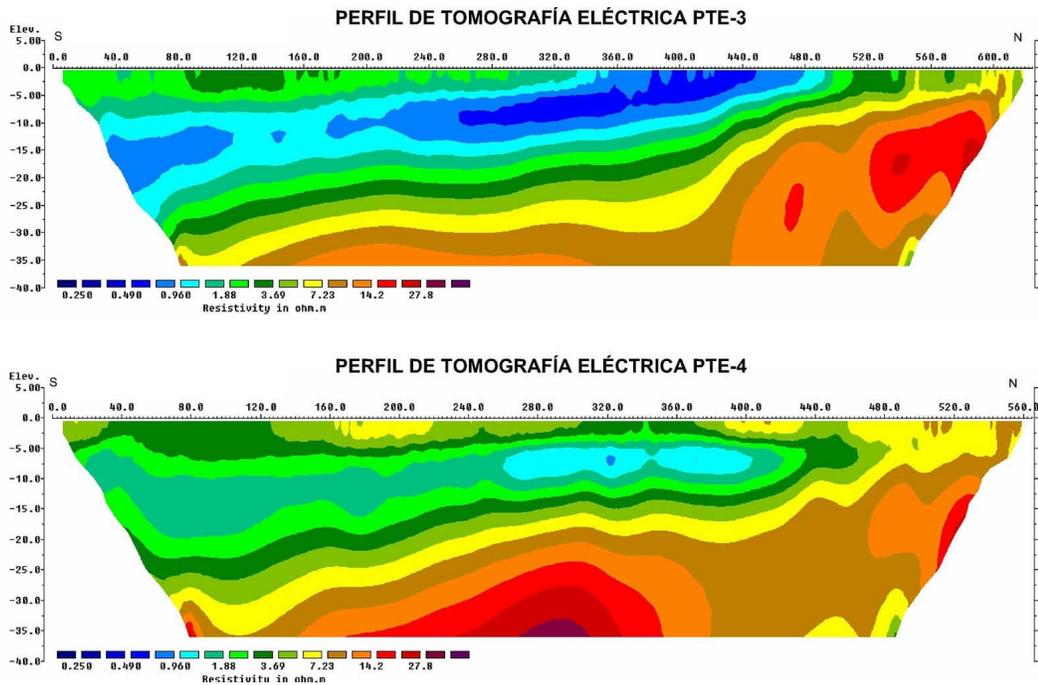
Estos modelos en dos dimensiones consideran cambios en ambas direcciones del plano horizontal, simplificando las variaciones de parámetros como la velocidad o la profundidad en la columna de agua vertical al asignarles un valor representativo. Son especialmente útiles en cuerpos de agua amplios, como lagos o embalses con comportamiento similar, donde las diferencias verticales en velocidad son poco relevantes. Se les conoce comúnmente como modelos de aguas poco profundas. No obstante, su aplicación resulta limitada en escenarios donde la variación vertical de la velocidad es importante o cuando el flujo atraviesa estructuras como orificios sumergidos o vertederos. Aun así, es posible adaptar el modelo a estas condiciones especiales mediante el uso de fórmulas empíricas u otras técnicas complementarias.

## MODELOS TRIDIMENSIONALES

Estos modelos tridimensionales representan el nivel más avanzado de la modelación, ya que algunos de ellos pueden determinar las tres componentes espaciales de la velocidad. Estos modelos tridimensionales son aplicables a una variedad de casos prácticos y proporcionan una cantidad significativa de información y datos en comparación con modelos de menor dimensión.

**Figura 10.**

Modelos Tridimensionales



### **2.2.6. Relave Minero.**

Los relaves son el resultado residual de un proceso donde se extrae el mineral utilizando técnicas como la trituración. Durante esta etapa, se realiza una separación basada en el tamaño del material, y aquellos componentes que no son útiles, considerados como residuos, son almacenados en una estructura específica destinada para su disposición. En la actividad minera, se movilizan volúmenes considerables de material, aunque solo una pequeña porción corresponde al recurso valioso que se desea obtener (15).

#### **a. Principios Fundamentales sobre las Acumulaciones de Desechos de Minería:**

Las actividades mineras generan volúmenes significativos de desechos, predominantemente residuos externos y minerales. La planta de procesamiento de minerales utiliza minerales apropiados, combinándolos con minerales de desecho. Durante el procesamiento, los minerales se trituran para liberar los minerales beneficiosos, separándolos de los minerales no deseados mediante procesos físicos y fisicoquímicos. La fracción sólida compuesta por los minerales de desecho y las partículas de roca conforma la composición de los relaves mineros (16).

#### **b. Consecuencias ambientales de los desechos mineros:**

Los desechos mineros, sin lugar a dudas, conllevan impactos perjudiciales para la vida en su conjunto. Por lo tanto, su gestión y disposición deben alinearse con soluciones tecnológicas sostenibles, que ofrezcan enfoques para el control ambiental. De esta manera, se busca abordar de manera óptima la preservación de los espacios geográficos, en particular aquellos utilizados para la ganadería, la agricultura y la diversidad biológica.

La mezcla de sólidos y agua, conocida como pasta, presenta una concentración elevada de sólidos que ayuda a reducir los riesgos de fallas geomecánicas asociadas con los depósitos tradicionales. Por esta razón, es crucial utilizar el agua de manera eficiente para lograr la consistencia adecuada de la pasta y los relaves, los cuales ya no se encuentran en estado saturado. Además, se deben tener en cuenta los eventos sísmicos, ya que pueden desencadenar el fenómeno de licuefacción de manera poco probable.

#### **c. Etapas del ciclo de vida de un depósito de relaves.**

- **Origen y generación de residuos provenientes de instalaciones de concentración.**

La evaluación de la concentración comienza con la fragmentación del material extraído en la operación minera, reduciéndolo a tamaños cercanos a uno o pocos milímetros. Luego, este material se somete a una etapa de molienda, utilizando molinos de barras y semiautógenos, en

la cual se incorpora agua para formar una mezcla o pulpa que facilite la separación del mineral. A continuación, se ejecuta el proceso de flotación, que aprovecha la adhesión selectiva de diminutas burbujas de aire a las partículas útiles, elevándolas hasta la superficie de un tanque agitado. Las espumas generadas, que contienen los minerales de interés, son recolectadas, tratadas y secadas para obtener el concentrado final. Este producto pasa luego por etapas adicionales de purificación.

Los desechos generados, que no forman parte del concentrado, son conocidos como relaves y están compuestos principalmente por fragmentos de roca sin valor comercial, agua con residuos de reactivos utilizados en flotación y minerales que no lograron ser recuperados. Posteriormente, tras recuperar parte del agua utilizada mediante tanques llamados espesadores, los relaves se transportan por bombeo hasta la zona asignada para su disposición.

#### **d. Característica de relaves mineros.**

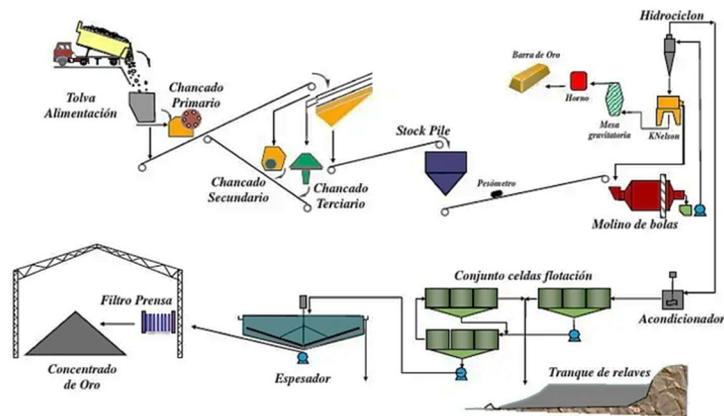
- **Relaves.**

Se denomina a este material como residuo mineral sólido, con un tamaño que varía entre partículas similares a la arena y al limo, generado durante el proceso de concentración. Este residuo se produce, se transporta y se deposita en forma de lodo, conformando lo que se conoce como una "suspensión fina de sólidos en un medio líquido". Su composición principal proviene del mismo material original del yacimiento, al cual ya se le ha extraído la parte que contiene los minerales de valor económico, dando lugar a una mezcla conocida como pulpa. Esta pulpa se origina en las plantas concentradoras y ha pasado por una o varias fases dentro de un circuito de molienda fina. El "lodo o pulpa de relaves" generalmente presenta una relación agua/sólidos que, en la práctica, oscila entre 1:1 y 2:1. Las propiedades y el comportamiento de esta mezcla dependerán tanto de dicha proporción como de las características físicas de las partículas sólidas presentes.

Esto puede ilustrarse considerando, por ejemplo, que un depósito de relaves con bajo contenido de agua (como ocurre con los relaves filtrados) no tendrá capacidad de desplazamiento por acción de la gravedad.

**Figura 11.**

*Esquema del Proceso de Tratamiento de Minerales.*



- Cuando las partículas sólidas son muy pequeñas, requieren un largo tiempo para asentarse, lo que hace que permanezcan suspendidas y se desplacen considerablemente desde el lugar donde fueron descargadas antes de depositarse.
- En cambio, si las partículas tienen mayor tamaño, tienden a asentarse más rápido y se acumulan cerca del punto de descarga.

Las alternativas utilizadas para disponer los relaves dependerán de las características específicas de los residuos generados en la planta, así como de los costos asociados y las condiciones geográficas del área donde se localiza el depósito. Para lograr estructuras estables con este material, es fundamental conocer sus propiedades físicas, similares a las que se evalúan en suelos, como el análisis granulométrico, la densidad relativa, la razón de vacíos y las relaciones de fase, entre otras.

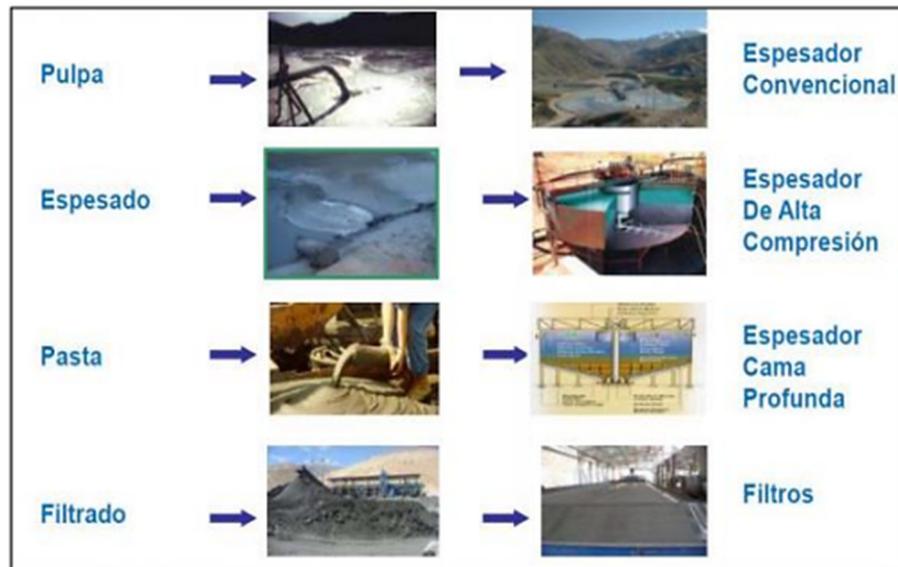
**Tabla 2.**

Relación entre la proporción de sólidos presentes y la cantidad de agua utilizada por tonelada.

<b>PORCENTAJE % de Sólidos</b>	<b>Volumen de agua por Tonelada de relaves (m<sup>3</sup> /ton)</b>	<b>Consistencia del Relave</b>
30	2.3	Pulpa
65	0.5	Espesado
75	0.3	Pasta
85	0.2	Filtrado

**Figura 12.**

Clasificación de los métodos de disposición de relaves según su nivel de humedad.



**e. Opciones para la descarga de los relaves**

- **Descarga del Relave Completo**

Se requiere disponer de un área con dimensiones adecuadas que posibilite contener la totalidad de los residuos producidos a lo largo del tiempo de funcionamiento de la planta. Para ello, pueden aprovecharse espacios ya formados previamente, como tajos mineros fuera de operación, depresiones naturales del terreno, cavidades geológicas, o antiguas galerías subterráneas que ya no están en uso, entre otras alternativas (16)

Sin embargo, en la actualidad, debido a la normativa ambiental en vigor, es complicado que estos métodos sean aceptados debido a su marcado impacto ambiental. Se necesitan estudios completos y detallados para demostrar que no habrá efectos adversos en el entorno. Por lo tanto, para la disposición de relaves completos, resulta más aceptable desde el punto de vista técnico y ambiental construir un muro perimetral con un talud interno impermeabilizado, elaborado con material grueso tomado prestado, creando así una zona de depósito. Este tipo de depósito de relaves es conocido como "Depósito de Relaves" y ha sido reconocido como una opción viable para la disposición de relaves en nuestro país (16).

- **Edificación del muro de contención utilizando una fracción de los desechos mineros.**

- Esta alternativa contempla el tratamiento de los residuos generados en el proceso de concentración de la planta, con el objetivo de separar las partículas gruesas de las finas. Esta separación permite aprovechar la

fracción gruesa, conocida como “arena de relaves”, como insumo para levantar el muro de contención o presa, mientras que la fracción más fina se deposita dentro de la cuenca del depósito de relaves. Al utilizar la porción más gruesa para la construcción del muro, es posible aplicar tres enfoques diferentes para su crecimiento:

- Extensión del muro en dirección “aguas arriba”.
- Extensión del muro en dirección “aguas abajo”.
- Desarrollo del muro siguiendo el método denominado “eje central o mixto”.

- **Material de relaves equivalente a un suelo húmedo (Relaves filtrados).**

Esta opción consiste en tratar los residuos generados durante la etapa de concentración con la finalidad de extraer la mayor cantidad posible de agua, utilizando técnicas como espesadores de lecho profundo o sistemas de filtración. Como resultado, los desechos adquieren una consistencia similar a la de un suelo húmedo, lo que en algunos casos permite su disposición sin requerir necesariamente una estructura de contención como un muro (6). Para alcanzar este objetivo, se aplican distintos métodos, entre los cuales se encuentra el “Filtrado de Relaves”, y como alternativa más reciente, se ha desarrollado el uso de la denominada “Pasta de Relaves”.

**f. Las estrategias principales para aumentar la altura o capacidad de los depósitos de relaves incluyen los siguientes métodos de recrecimiento.**

Durante la construcción y el crecimiento progresivo de una estructura de contención, existen diversas alternativas de materiales que pueden emplearse, tales como residuos provenientes de la actividad minera, materiales acondicionados o previamente seleccionados, así como la fracción más gruesa de los relaves generados. En los casos en que la pulpa de relaves contiene una proporción arenosa, esta puede ser utilizada como insumo para levantar las presas.

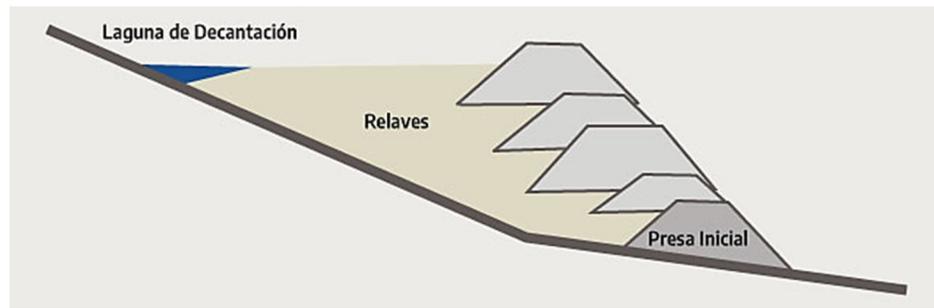


Cuando el depósito de relaves está cerca de alcanzar su capacidad máxima, se opta por aumentar el tamaño del dique de contención, llevando los hidrociclones aguas arriba. En este punto, los hidrociclones son significativamente más grandes que en la ubicación inicial. Se repite el proceso de descarga de las arenas, y este método es especialmente eficaz en operaciones a grandes profundidades, pudiendo llegar hasta 25 metros. A pesar de ser un método que utiliza menos material arenoso y ser beneficioso en espacios reducidos, estos diques no presentan un buen comportamiento frente a posibles oscilaciones sísmicas. Se requiere una investigación adicional para comprender mejor los diques con hidrociclón.

Además, este método permite optimizar al máximo el uso del espacio disponible; sin embargo, presenta como desventaja una estabilidad altamente dependiente de la ubicación del nivel freático. A pesar de ello, continúa siendo empleado en zonas áridas del planeta, donde es posible mantener niveles de agua bajos dentro de la estructura de la presa.

**Figura 14.**

El Método de aguas arriba



- **El Método de aguas abajo**

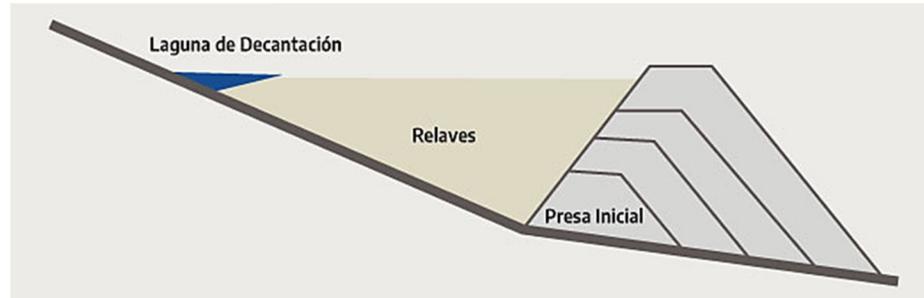
Para ejecutar este procedimiento, se comienza compactando material de granulometría gruesa o, en su defecto, material de préstamo disponible. Esta etapa tiene como finalidad construir un muro inicial, desde el cual se realiza la descarga del relave grueso utilizando un hidrociclón. Por la naturaleza de su funcionamiento, este equipo permite que la fracción fina del relave, conocida como lamas, se deposite en dirección aguas arriba.

De manera general, se instala una barrera impermeabilizante en la cara del muro que está en contacto directo con el embalse. Asimismo, se diseña un sistema de drenaje interno que permita alejar el nivel freático de la pendiente ubicada hacia el lado de entrada del agua. Como consecuencia, la base de la presa incrementa su espesor, lo que conlleva una mayor demanda de materiales. Además, el espacio ocupado por esta estructura es considerablemente más amplio

en comparación con el método anterior, debido al avance de la construcción conforme se incrementa la altura.

**Figura 15.**

El Método de aguas abajo

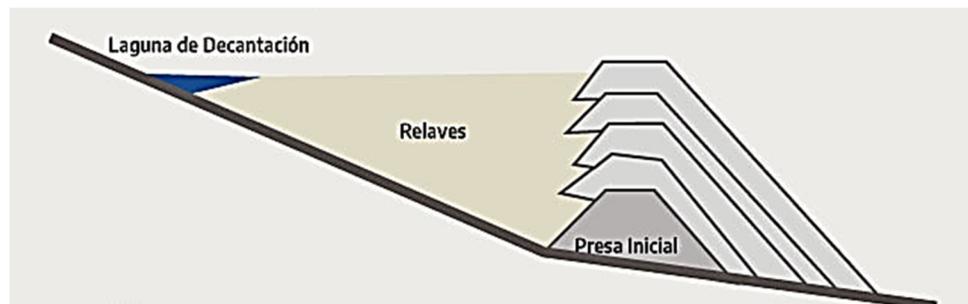


- **Método del eje central o línea central.**

En este método específico, se aplica una combinación de los dos enfoques anteriormente descritos. El procedimiento se inicia con la edificación de un muro base, el cual debe estar debidamente compactado y construido utilizando material de préstamo. Esta estructura se localiza en el eje central del dique. Luego, se realiza la descarga de las partículas finas hacia el lado de aguas arriba y de las arenas hacia el lado de aguas abajo. Conforme se completa la disposición del material, se eleva progresivamente la línea de alimentación tanto de las lamas como de las arenas, siguiendo una guía vertical hasta llegar a la berma de coronamiento del muro inicial. La particularidad de este método radica en la pendiente del talud: en el lado de aguas arriba se conserva una inclinación casi vertical, mientras que en el lado de aguas abajo se ajusta según los criterios técnicos establecidos en el diseño (13).

**Figura 16.**

Método del eje central o línea centra



## 2.2.6. Tipos de relaves.

### a. Relaves espesados

Posee un contenido aproximado de sólidos que varía entre el 50 % y el 60 %, y su proporción de agua se reduce mediante un proceso de espesamiento que se lleva a cabo en la planta concentradora. El material es conducido a los espesadores con un porcentaje inicial de sólidos que oscila entre el 20 % y el 30 %, alcanzando finalmente un 60 % al concluir el proceso. El uso de maquinaria especializada para realizar esta etapa de espesamiento representa una inversión que puede afectar la rentabilidad de la operación de la presa. Además, se requiere una superficie amplia y nivelada para el manejo adecuado del material, lo cual presenta desafíos adicionales cuando se trata de zonas con topografía montañosa.

**Figura 17.**

Relaves espesados



### b. Relaves en pasta.

Este tipo de residuo se presenta como una mezcla de agua y partículas sólidas, donde es esencial que predominen las partículas finas junto con el líquido, dando lugar a una pasta de consistencia densa. Para que esta pasta sea considerada de buena calidad, debe contener al menos un 15 % de partículas en peso.

Su textura espesa permite que pueda ser transportada fácilmente mediante camiones desde el área operativa hasta el lugar destinado para su secado y posterior almacenamiento. Una de las principales ventajas de este tipo de disposición es la buena aceptación social, ya que, una vez concluidas las actividades, estos residuos pueden permanecer en el sitio sin

necesidad de tratamientos complejos, lo que facilita el proceso de revegetación del terreno. Además, estos depósitos ayudan a minimizar la formación de aguas ácidas y la liberación de metales, generando impactos positivos adicionales para el entorno natural.

**Figura 18.**

Relaves en pasta.



**Tabla 3.**

Característica del Depósito en Pasta

Depósito en pasta incrementa:	Depósito en pasta reduce:
Recuperación de Agua	Tamaño de depósitos
Posibilidad de co-depositar	Volumen de materiales
Flexibilidad Operacional	Riesgos de falla geomecánica
Actividades de Vegetación	Pérdidas de agua por infiltraciones
Aceptación ambiental	Optimización de uso de suelo

**c. Relaves filtrados.**

Este tipo de residuo guarda similitud con los desechos espesados, pero se distingue por la inclusión del filtrado del proceso. La filtración se realiza mediante el uso de filtros con el objetivo de obtener un resultado de mayor calidad. El producto resultante de este procedimiento presenta un contenido de sólidos que oscila entre el 80% y el 88%, y debe ser transportado por camiones hasta el lugar de almacenamiento. Es imperativo que el transporte por camión se lleve

a cabo de manera que evite licuaciones y derrames que puedan representar riesgos para el medio ambiente.

Para garantizar una mayor estabilidad del material, es necesario someterlo a un proceso de compactación que alcance entre el 85 % y el 95 % del valor estándar, aplicándolo en capas de 30 a 35 centímetros de espesor. La identificación de sus propiedades mineralógicas y geotécnicas está relacionada con el contenido de humedad durante la compactación, un aspecto clave que debe tomarse en cuenta especialmente en temporadas de lluvias. Este mismo factor influye directamente en el tiempo requerido para lograr el secado completo del residuo.

**Figura 19.**

Depósito de relave filtrado



## CAPITULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Método y alcance de la Investigación

##### 3.1.1 Método de Investigación

En esta investigación se utilizará el método científico para asegurar que los resultados sean objetivos y fieles, sin manipulaciones. Los hallazgos se presentarán con rigurosidad, buscando que el estudio sirva como base para futuras investigaciones sobre las presas de relaves mineros (17).

##### a. Método general

En esta investigación, se utilizará el método científico, que permitirá la recolección y análisis de datos de manera sistemática y objetiva, garantizando resultados precisos y fieles, sin distorsionar los hallazgos. La investigación se clasifica como aplicada, ya que tiene como objetivo resolver problemas prácticos y generar cambios para mejorar la sociedad. Con un enfoque descriptivo, se detallarán los eventos y condiciones del diseño evaluado, considerando aspectos técnicos y la interrelación de variables, cuya modificación afecta a las demás. A lo largo de cada etapa del proceso, desde la formulación del problema hasta la interpretación de los datos, se asegurará la imparcialidad y la ausencia de prejuicios, con el fin de que el estudio sirva como una base sólida para futuras investigaciones sobre las presas de relaves mineros.

##### b. Método específico

El método específico se diseñará para abordar de manera detallada los objetivos de la investigación relacionados con la estabilidad y gestión de los relaves mineros. El proceso se desarrollará en varias fases:

**Revisión bibliográfica y recopilación de datos:** En esta fase se investigarán estudios previos sobre la co-disposición de relaves y desmonte, además de revisar la normativa vigente y los avances tecnológicos sobre la estabilidad de presas de relaves.

**Estudio de campo:** Se llevarán a cabo visitas a la Unidad Minera Paragsha, donde se observará la disposición actual de los relaves y el desmonte. Durante este estudio, se tomarán muestras y se realizarán mediciones en el terreno para evaluar las condiciones de los vertederos y taludes.

**Pruebas de laboratorio:** En esta etapa, se realizarán pruebas de laboratorio para evaluar cómo interactúan el relave y el desmonte, analizando sus propiedades físicas y químicas, y cómo esta co-disposición puede mejorar la estabilidad estructural de los depósitos.

**Análisis de resultados:** Los datos recolectados se analizarán utilizando los parámetros técnicos previamente establecidos, como la cohesión de los materiales y su resistencia, con el fin de determinar la viabilidad de la co-disposición sostenible.

**Conclusiones y recomendaciones:** Finalmente, se emitirán las conclusiones basadas en los resultados obtenidos, destacando las ventajas de esta técnica para mejorar la estabilidad de las presas de relaves y reducir su impacto ambiental

### **3.1.2 Alcances de Investigación**

El alcance de esta investigación es evaluar la viabilidad y los beneficios de la co-disposición de relaves y desmonte en la Unidad Minera Paragsha, enfocándose en su impacto técnico y ambiental. Se analizarán las propiedades físico-químicas de los materiales, la estabilidad de los taludes y vertederos, y los efectos ambientales, especialmente en la prevención de aguas ácidas. Además, se realizarán estudios de campo y laboratorio para validar las hipótesis y generar propuestas para mejorar la gestión de los residuos mineros. El estudio se centrará en la Unidad Minera Paragsha, aunque los resultados podrían aplicarse a otras operaciones mineras

### **3.2 Diseño de Investigación:**

El enfoque de diseño empleado es de tipo no experimental, debido a que se basa en la descripción detallada de las características de los diferentes componentes y su relación con los comportamientos particulares que presentan en situaciones reales (17).

### **3.3 Población y Muestra.**

#### **3.3.1 Población**

En este estudio, el objeto de análisis es el depósito de relaves Ocroyoc, situado dentro de la Unidad Minera Paragsha. Esta unidad se localiza en el centro poblado de Paragsha, correspondiente al distrito de Simón Bolívar, en la provincia y departamento de Pasco, Perú. Las evaluaciones se realizaron a una altitud aproximada de 4,232 metros sobre el nivel del mar, en una región que se distingue por su clima frío propio de zonas altoandinas y por su proximidad a destacadas actividades mineras centradas en la explotación de minerales polimetálicos.

#### **3.3.2 Muestra.**

Debido a las particularidades de este estudio, se ha tomado una muestra que guarda similitud con la población, siendo esta muestra conformada por la presa de relaves Ocroyoc ubicada en la unidad minera Paragsha.

### **3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.**

#### **3.4.1 Técnicas de Recolección de Datos**

Con la finalidad de recopilar información para el análisis, se realizarán recorridos de campo en la zona específica vinculada al estudio, utilizando fichas o resúmenes como herramienta para estructurar el marco teórico y desarrollar la conceptualización del trabajo.

- ✓ Fuentes bibliográficas (bibliotecas e internet)
- ✓ Análisis de datos, informes previos de la mina, geología, geomecánica y planificación
- ✓ Observación de campo durante el proceso de perforación y voladura programada y realizada

### 3.4.2 Instrumentos De Recolección De Datos

- a. **Observación Directa:** Esta técnica será utilizada con el objetivo de identificar, contrastar y cuantificar las propiedades propias de las presas de relaves en lo que respecta al fenómeno de la infiltración.
- b. **Revisión Documental:** Se consultaron diversos documentos desde las fases iniciales del estudio para respaldarlo de manera sólida, en particular en lo referente al manejo y comprensión de conceptos ya establecidos.
- c. **Revisión de Bibliografía:** La revisión bibliográfica se llevó a cabo para profundizar en el conocimiento del investigador sobre el problema de investigación, proporcionando un respaldo sólido para el tema investigado.

### 3.5 Procesamiento de la Información.

Después de recopilar la información, se analizarán las diversas respuestas estructurales del depósito de relaves ante las influencias externas en la muestra objeto de estudio.

### 3.6 Técnicas de análisis de datos

- ✓ **Fase preliminar:**  
Recopilación de datos sobre la descripción del rendimiento estructural.
- ✓ **Fase de campo:**  
Obtención de información, incluyendo temperatura, presión y ubicación geográfica.
- ✓ **Fase de análisis:**  
Procesamiento de la información recolectada.  
Exposición de los hallazgos obtenidos a partir de los diagnósticos realizados.

## CAPÍTULO IV:

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Presentación de resultados

Las reestructuraciones que incluyen en el recrecimientos y mejoras en las infraestructuras principal en la presa de relaves y los botaderos se desarrollan siguiendo cronogramas específicos establecidos por la ingeniería básica de diseño, y en este momento se encuentran en sus etapas finales. El Proyecto de Ampliación contempla un aumento en la producción de mineral, lo que a su vez genera un mayor volumen de desmonte y relaves. Esta información está detallada en el plan de minado, que proyecta las operaciones hasta el año 2027, considerando ese horizonte como el periodo en el que se garantiza el manejo y almacenamiento seguro de los residuos mineros en la presa de relaves de Ocroyoc y el botadero de desmonte de Rumiallana.

**Tabla 4.**

*Plan de Minado*

Ítem	Valores
Total Mineral	9684080
Total Desmonte	25223362,08
Total Mineral + Desmonte	34907442,08
Total Roca	34907442,08
Prom. Mens.	798327,04
Stripping Rate 2024	2,91
Stripping Rate 2025	2,13
Stripping Rate 2026	3,36
Stripping Rate 2027	3,36
Concentradora Paragsha TMS/DIA	10640

#### 4.1.1 Características físico-mecánicas de los relaves

La relavera Ocroyoc se encuentra operando actualmente en su quinta etapa, alcanzando una altitud de 4256.85 m.s.n.m. Esta infraestructura cuenta con quenas y drenes que permiten un manejo adecuado de las aguas, así como con piezómetros que monitorean constantemente su estabilidad física y química, garantizando un funcionamiento seguro y controlado.

**Tabla 5.**

*Coordenadas UTM de los Puntos de Monitoreo de los Piezómetros de la Relavera Ocroyoc (Estabilidad Física)*

Puntos	Coordenadas (UTM)		Cotas
	N	E	
Piezómetro S-1	8817479.3753	358415.5597	4221.0
Piezómetro S-2	8817538.4653	358467.5197	4238.20
Piezómetro S-3	8817523.2253	358366.7497	4255.75
Piezómetro S-4	8817516.4153	358568.9597	4272.36

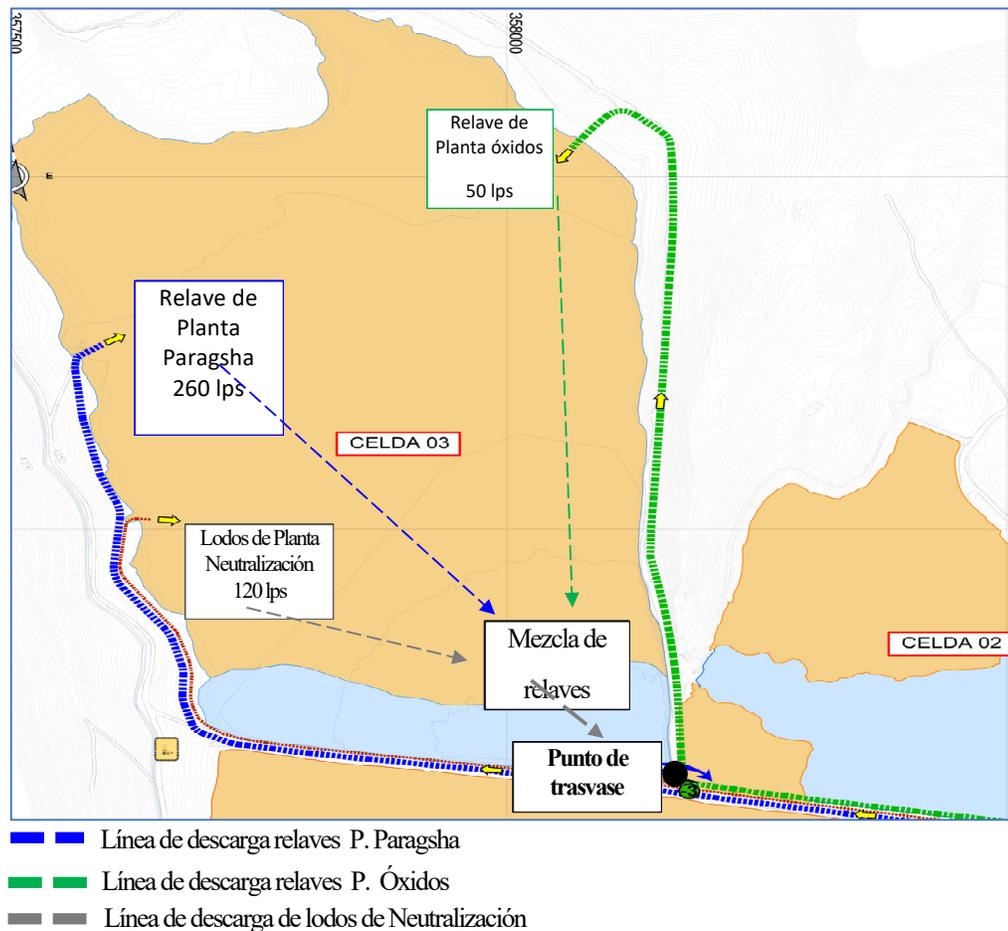
**Figura 20.**

*Relave Ocroyoc*



**Figura 21**

*Disposicion de relave en la Relavera Ocroyoc.*



La evaluación del balance químico de la mezcla de relaves vertidos en la Celda 3, provenientes de la planta Paragsha, Óxidos y lodos de Neutralización. Durante este periodo, se efectuarán controles químicos diarios del agua según el plan establecido y se verificará el nivel de agua para mantener el borde libre. La operación incluye reubicación de descargas y líneas de trasvase, empalmes de tuberías y monitoreos constantes (dos veces al día) de las descargas y puntos de mezcla. En el punto ROX-3, el cianuro total no debe superar 1 ppm, y si se excede los 2 ppm, se activará una contingencia con dosificación de peróxido. Además, se controló el pH (8 en ROX-3 y 7 en lodos) y se registrarán diariamente los niveles de las celdas y horas de bombeo.

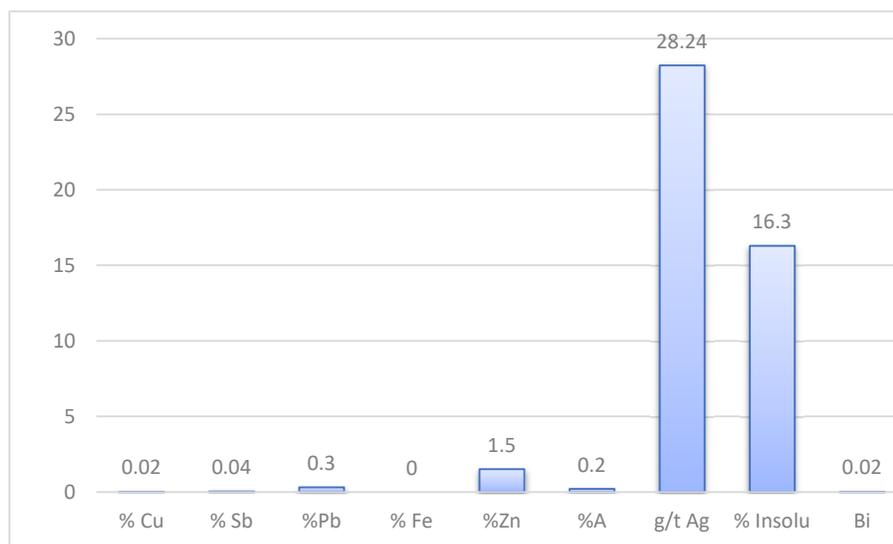
**Tabla 6.***Reporte de los Resultados de la Estabilidad química de la relavera Ocroyoc*

% Cu	% Sb	%Pb	% Fe	%Zn	%A	g/t Ag	% Insolu	Bi
0.02	0.04	0.3	22-27	1.5	0.20	28.24	16.3	0.02

Gravedad específica: 3,0

Gravedad aparente: 2,5

**Interpretación:** El análisis químico del mineral revela un contenido elevado de hierro (22–27 %) y una ley interesante de plata (28.24 g/t), lo cual sugiere un potencial económico principalmente asociado a estos elementos. El zinc presenta una ley moderada (1.5 %), mientras que el plomo (0.3 %), el cobre (0.02 %) y el antimonio (0.04 %) se encuentran en niveles bajos. El azufre (0.20 %) es escaso, lo que indica una baja presencia de sulfuros. La fracción de insolubles es significativa (16.3 %), lo que podría afectar la eficiencia de los procesos metalúrgicos. El bismuto se encuentra en trazas (0.02 %). Físicamente, el mineral posee una gravedad específica de 3.0 y una gravedad aparente de 2.5, características propias de minerales metálicos con cierta porosidad.

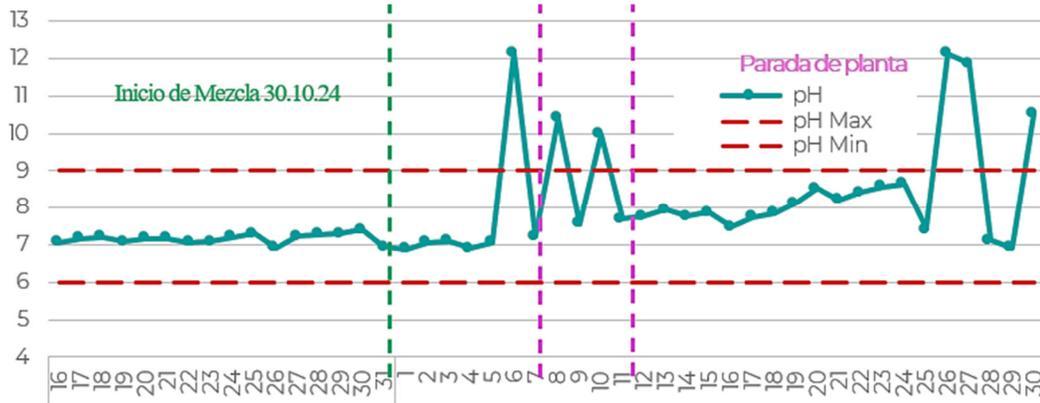
**Figura 22.***configuración del relave de la relavera Ocroyoc*

**Interpretación:** El mineral presenta un alto contenido de hierro (22–27 %) y plata (28.24 g/t). El zinc es moderado (1.5 %) y los niveles de plomo, cobre, antimonio y bismuto son bajos. La baja presencia de azufre (0.20 %) indica pocos sulfuros, mientras que el alto contenido de

insolubles (16.3 %) podría dificultar el procesamiento. Las densidades (3.0 y 2.5) son típicas de minerales metálicos con porosidad.

**Figura 23.**

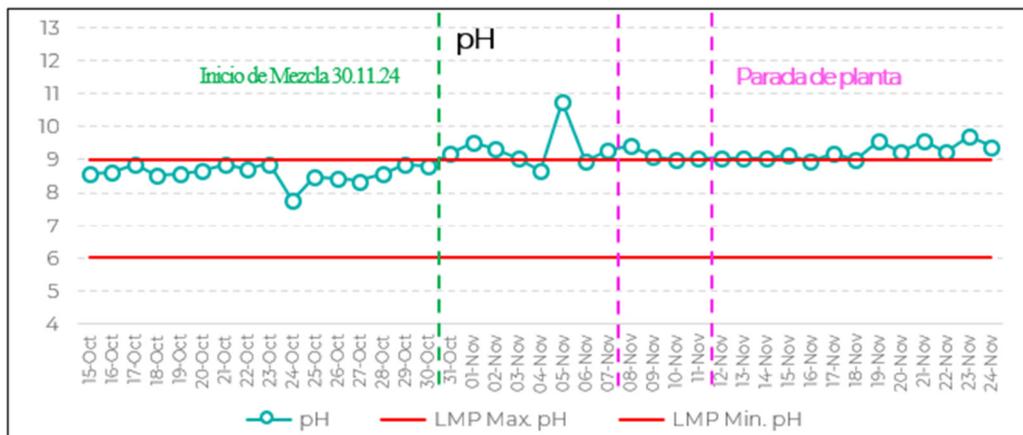
*variación de pH de la relavera Ocroyoc*



**Interpretación:** La gráfica del pH en la celda de relaves entre el 16 de noviembre y el 30 de diciembre de 2024 revela una estabilidad inicial, seguida de una fuerte inestabilidad tras el inicio de la mezcla de relaves el 30 de octubre, con picos que superaron el valor límite de 12. Esta variabilidad refleja la complejidad de la interacción entre los diferentes tipos de relaves. Luego de la parada de planta el 28 de noviembre, el pH se estabilizó parcialmente, aunque hacia finales de noviembre volvió a incrementarse, lo que resalta la necesidad de un control más estricto en la gestión de mezclas de relaves.

**Figura 24.**

*Variación de pH de la relavera Ocroyoc*



**Interpretación:** A partir del 24 de noviembre de 2024, se observó un incremento en los valores de metales en la Celda 3, atribuido a la elevación del pH en los lodos provenientes de la planta de Neutralización, lo que generó una tendencia al alza en la concentración metálica. Esta situación fue revertida a partir del 28 de diciembre mediante la implementación de controles operativos en dicha planta, enfocándose principalmente en la regulación del pH como parámetro clave para estabilizar el sistema y minimizar la movilidad de metales en el depósito de relaves.

#### 4.1.2 Resultados del análisis del comportamiento hidráulico

**Tabla 7.**

*Valor de caudal pico correspondiente a un escenario de día sin lluvias en los puntos de estudio*

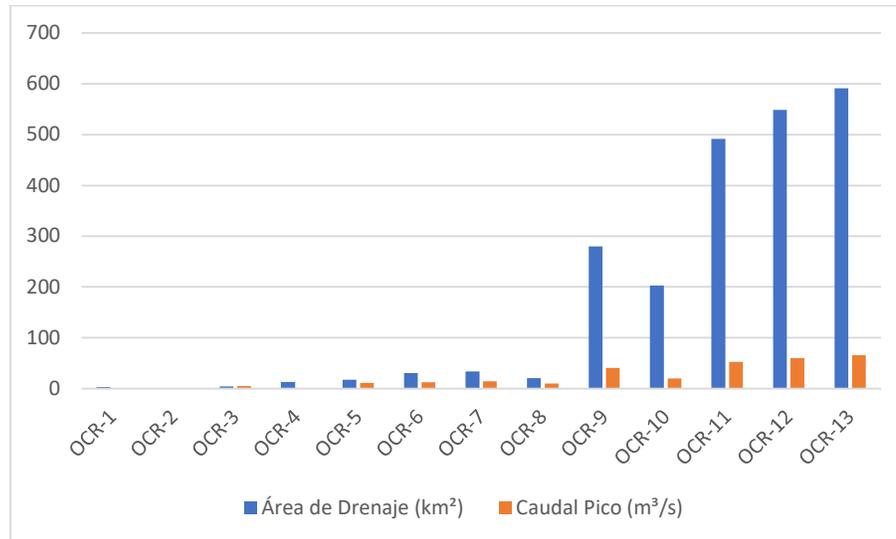
Punto	Área de Drenaje (km <sup>2</sup> )	Caudal Pico (m <sup>3</sup> /s)
OCR-1	3.1	1.4
OCR-2	1.5	1.3
OCR-3	4.0	5.1
OCR-4	13.2	1.1
OCR-5	17.6	11.4
OCR-6	30.8	12.4
OCR-7	33.8	14.0
OCR-8	20.9	9.8
OCR-9	280.5	40.8
OCR-10	203.1	20.3
OCR-11	491.9	52.2
OCR-12	548.9	60.0
OCR-13	590.9	66.2

**Interpretación:** Los datos muestran que, en general, a mayor área de drenaje, mayor es el caudal pico registrado, aunque con excepciones como OCR-3 (4.0 km<sup>2</sup>, 5.1 m<sup>3</sup>/s) y OCR-5 (17.6 km<sup>2</sup>, 11.4 m<sup>3</sup>/s), que presentan altos caudales respecto a su área, posiblemente por factores como pendiente o tipo de suelo. OCR-1, OCR-2 y OCR-4, con áreas menores a 5 km<sup>2</sup>, presentan caudales bajos (entre 1.1 y 1.4 m<sup>3</sup>/s). A partir de OCR-5 hasta OCR-13 (590.9 km<sup>2</sup>, 66.2 m<sup>3</sup>/s) se observa una tendencia creciente entre área y caudal, destacando OCR-11, OCR-12 y OCR-

13 por sus altas contribuciones. Estos valores reflejan variaciones en la eficiencia de escorrentía y ayudan a identificar zonas críticas frente a eventos extremos.

**Figura 25.**

*Valor de caudal pico correspondiente a un escenario de día sin lluvias en los puntos de estudio*



**Interpretación:** El gráfico muestra que existe una correlación positiva entre el área de drenaje y el caudal pico: a medida que aumenta el área de drenaje (barras azules), también se incrementa el caudal pico (barras naranjas). Este patrón es especialmente evidente desde el punto OCR-9 en adelante, donde tanto el área como el caudal crecen considerablemente. Sin embargo, algunos puntos como OCR-3 y OCR-5 destacan por presentar caudales relativamente altos a pesar de tener áreas pequeñas, lo que indica posibles condiciones de escorrentía más eficientes en esas zonas. En resumen, el gráfico permite visualizar cómo la extensión del área influye directamente en el volumen de escorrentía generado.

#### 4.1.2.1 Conductividad hidráulica

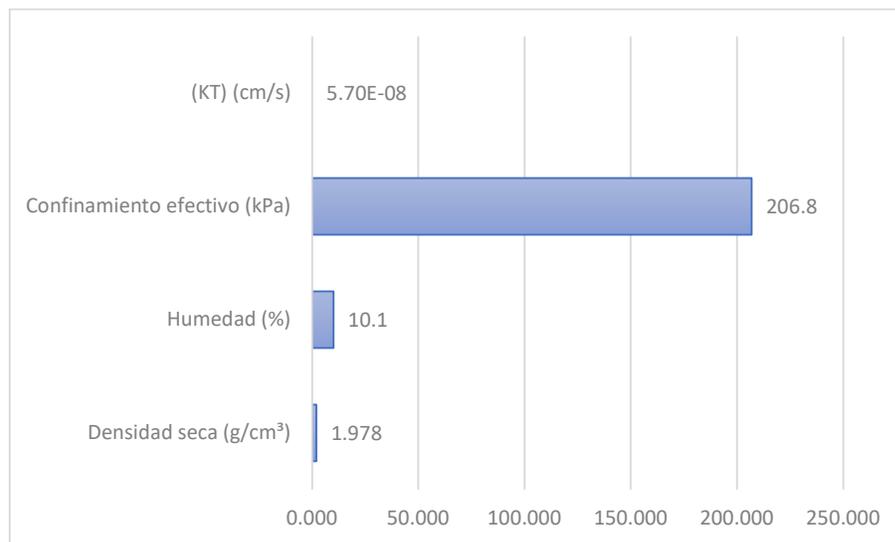
Las muestras obtenidas de las calicatas OCR-04 y OCR-07 fueron combinadas con el objetivo de realizar un ensayo de conductividad hidráulica. Este ensayo se llevó a cabo conforme a lo estipulado en la norma ASTM D5048, utilizando una muestra que fue remoldeada al 95% de la densidad seca, conforme al procedimiento del ensayo Proctor Modificado. Los resultados obtenidos de este ensayo se presentan a continuación, permitiendo evaluar la capacidad de conducción del agua a través del suelo bajo condiciones específicas de compactación.

**Tabla 8.***Ensayo de conductividad hidráulica*

Calicata	Prof. (m)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Confinamiento efectivo (kPa)	(KT) (cm/s)
OCR-04 / OCR-07	0.50 - 0.90 / 0.40 - 0.70	1.978	10.1	206.8	5.7E-08

KT: conductividad hidráulica

**Interpretación:** El ensayo de conductividad hidráulica realizado en las calicatas OCR-04 y OCR-07, con profundidades de 0.50 a 0.90 metros y 0.40 a 0.70 metros respectivamente, muestra una densidad seca de 1.978 g/cm<sup>3</sup> y una humedad del 10.1%. El confinamiento efectivo es de 206.8 kPa, mientras que la conductividad hidráulica (KT) se encuentra en 5.7E-08 cm/s, lo que indica una capacidad extremadamente baja del suelo para permitir el paso de agua. Estos resultados son relevantes para la evaluación de la permeabilidad del suelo en estudios hidrogeológicos.

**Figura 26.***Ensayo de conductividad hidráulica*

**Interpretación:** El ensayo de conductividad hidráulica en las calicatas OCR-04 y OCR-07, con profundidades de 0.50-0.90 m y 0.40-0.70 m respectivamente, muestra una densidad seca de 1.978 g/cm<sup>3</sup>, una humedad del 10.1%, y un confinamiento efectivo de 206.8 kPa. La conductividad hidráulica (KT) es de 5.7E-08 cm/s, lo que indica una permeabilidad

extremadamente baja, lo que es importante para estudios hidrogeológicos relacionados con la infiltración de agua.

#### 4.1.2.2 Ensayo de compresión triaxial.

Se llevaron a cabo dos pruebas triaxiales no drenadas, pero previamente consolidadas (CU) con el propósito de analizar la resistencia al corte del terreno, utilizando muestras extraídas de la calicata OCR-10 y del material de desmonte proveniente de la mina Paragsha. El fin principal fue obtener los valores del ángulo de fricción interna y la cohesión del suelo, conforme a lo establecido en la norma ASTM D4767. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla que se muestra a continuación.

**Tabla 9.**  
*Compression triaxial consolidado no drenado (CU)*

Calicata	Prof. (m)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	w (%)	Esfuerzos efectivos		Esfuerzos totales	
				c' (kPa)	φ' (°)	c (kPa)	φ (°)
OCR-10	1,75 – 3,00	1,68	8,3	0	40,6	0	18,3
D-TJ-01	Superficie	1,88	6,6	3	42,3	16	18,2

*Nota:*

w: Contenido de humedad

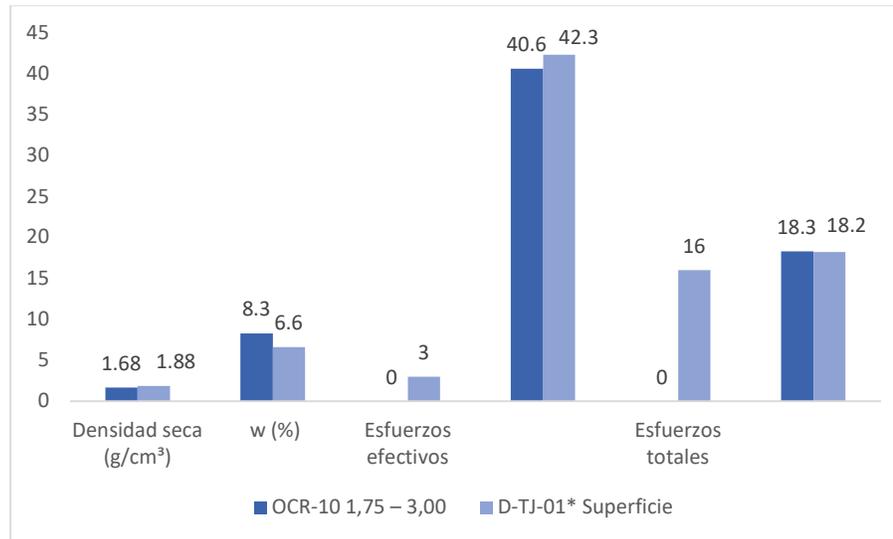
c: cohesión para esfuerzos totales, c': cohesión para esfuerzos efectivos.

φ: Ángulo de fricción esfuerzos totales, φ': ángulo de fricción esfuerzos efectivos

**Interpretación:** El estudio de las calicatas revela que la muestra correspondiente a OCR-10 (extraída entre 1.75 y 3.00 m de profundidad) posee una densidad seca de 1.68 g/cm<sup>3</sup> y un contenido de humedad del 8.3%. Esta muestra exhibe una cohesión efectiva de 0 kPa y un ángulo de fricción interna (φ') de 40.6°. Sin embargo, bajo condiciones de esfuerzos totales, tanto la cohesión como el ángulo de fricción disminuyen notablemente, alcanzando valores de 0 kPa y 18.3°, respectivamente. En contraste, la muestra D-TJ-01 (tomada en superficie) presenta una densidad seca de 1.88 g/cm<sup>3</sup> y un contenido de humedad del 6.6%, con una cohesión efectiva de 3 kPa y un ángulo de fricción interna de 42.3°. En cuanto a los esfuerzos totales, esta muestra registra una cohesión de 16 kPa y un ángulo de fricción de 18.2°. Estos resultados indican que la muestra OCR-10 ofrece una mayor resistencia al corte bajo esfuerzos efectivos, mientras que D-TJ-01 presenta una cohesión más elevada en condiciones de esfuerzos totales.

**Figura 27.**

*Resultados de compresión triaxial consolidado no drenado (CU)*



**Interpretación:** El estudio de las calicatas indica que la muestra OCR-10 presenta una mayor capacidad de resistencia al corte cuando se analiza bajo esfuerzos efectivos, registrando una densidad seca de 1.68 g/cm<sup>3</sup>, un contenido de humedad del 8.3%, cohesión efectiva de 0 kPa y un ángulo de fricción interna de 40.6°. Por otro lado, la muestra D-TJ-01, que cuenta con una densidad seca de 1.88 g/cm<sup>3</sup> y una humedad del 6.6%, evidencia una cohesión más elevada en términos de esfuerzos totales, alcanzando los 16 kPa y un ángulo de fricción interna de 42.3°.

#### 4.1.2.3 Ensayo corte directo

Se llevaron a cabo dos pruebas de corte directo en especímenes extraídos de los sectores de muestreo 1 y 2, correspondientes a los frentes de explotación de la mina Paragcha. Estas pruebas tuvieron como finalidad determinar las propiedades mecánicas del suelo ante esfuerzos cortantes, específicamente el valor del ángulo de fricción interna y la cohesión, considerando condiciones de esfuerzo efectivo. La ejecución de los ensayos se realizó conforme a los protocolos establecidos en la Norma Técnica Peruana NTP 339.171-2002.

**Tabla 10.**

*Resultados obtenidos de las pruebas de resistencia al corte mediante ensayo directo.*

Muestra	Prof. (m)	Densidad remoldeada (g/cm <sup>3</sup> )	Humedad w (%)	c' (kPa)	φ' (°)
M-2-G	1,5	1,8	26	2,00	28,8
M-2-G	1,5	1,9	12	1,00	34,9

Nota:

w: Contenido de humedad

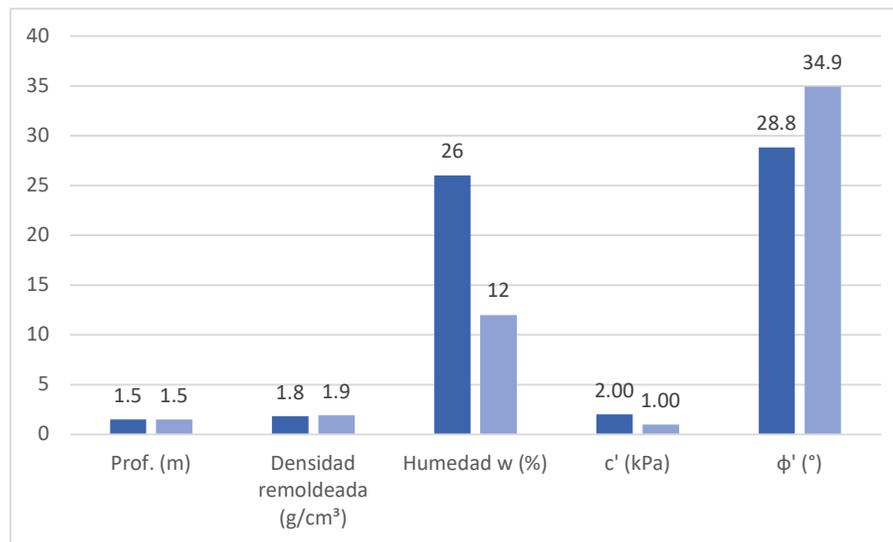
c': Cohesión para esfuerzos efectivos.

$\phi'$ : Ángulo de fricción esfuerzos efectivos

**Interpretación:** El estudio de las muestras M-2-G, ambas recolectadas a una profundidad de 1.5 metros, evidencia diferencias en la densidad remoldeada, el contenido de humedad y las características de resistencia al corte. En el primer espécimen, cuya densidad remoldeada alcanza los 1.8 g/cm<sup>3</sup> y presenta un contenido de humedad del 26%, se registra una cohesión efectiva (c') de 2.00 kPa y un ángulo de fricción interna ( $\phi'$ ) de 28.8°. En cambio, la segunda muestra, con una densidad remoldeada de 1.9 g/cm<sup>3</sup> y una humedad del 12%, presenta una cohesión efectiva reducida a 1.00 kPa, mientras que el ángulo de fricción interna se incrementa a 34.9°. Estos hallazgos indican que la segunda muestra posee un ángulo de fricción interna superior, pero una cohesión efectiva inferior en comparación con la primera.

**Figura 28.**

*Resultados de ensayo de corte directo*



**Interpretación:** El estudio de las muestras M-2-G, extraídas a una profundidad de 1.5 metros, indica que la primera presenta una densidad remoldeada de 1.8 g/cm<sup>3</sup>, con un contenido de humedad del 26%, una cohesión efectiva de 2.00 kPa y un ángulo de fricción interna de 28.8°. En contraste, la segunda muestra, con una densidad remoldeada de 1.9 g/cm<sup>3</sup> y una humedad del 12%, alcanza una cohesión efectiva de 1.00 kPa y un ángulo de fricción interna de 34.9°. Se observa, por tanto, que la segunda muestra exhibe un mayor ángulo de fricción interna, aunque con una cohesión efectiva inferior respecto a la primera.

### 4.1.3 Monitoreo De Instrumentación

#### 4.1.3.1 Hitos Topográficos

Se ha priorizado el análisis del comportamiento hidráulico y el riesgo geotécnico para una gestión segura del depósito de relaves, cuenta con trece hitos topográficos distribuidos estratégicamente, los cuales se monitorean semanalmente para detectar posibles deformaciones y evaluar la estabilidad del depósito frente a factores hidráulicos y climáticos, contribuyendo a una toma de decisiones técnica y oportuna.

#### 4.1.3.2 Ensayos de caracterización mecánica

En las muestras obtenidas de las calicatas, perforaciones y material de desmonte se indican en la Tabla, Asimismo, se indican los siguientes ensayos:

- ✓ Determinación del contenido de humedad en estado natural (según norma ASTM D2216)
- ✓ Caracterización granulométrica mediante análisis por tamices (conforme a ASTM D422)
- ✓ Evaluación de los límites de consistencia del suelo (según especificaciones de la norma ASTM D4318)

**Tabla 11.**

*Resumen de resultados de ensayos estándar – Calicatas y sondajes*

Calicata	Prof. (m)	G (%)	A (%)	F (%)	Tipo de suelo		Límite de Atterberg			W %
					SUCS	AASHTO	LL	LP	IP	
OCR-1	0.70 - 3.00	65.1	23.1	11.8	GP-GM	-	22	18	4	8,3
-OCR-2	0.70 - 1.20	41.1	39.4	19.5	GM	A-1-b	-	NP	-	13,25
OCR-3	1.20 - 2.80	93.5	4.8	1.7	GW	A-1-a	-	NP	-	5,43
OCR-4	0.50 - 0.90	35.2	28.1	36.7	GC	-	34	24	10	14,5
OCR-5	0.70 - 1.50	43.6	36.8	19.6	GM	A-1-b	-	NP	-	11,47
OCR-6	0.40 - 0.70	35.2	28.1	36.7	GC	-	34	24	10	14,5
OCR-7	0.45 - 1.15	39.0	26.9	34.1	GC	A-2-4	26	17	9	10,85
OCR-8	0.50 - 1.60	29.1	51.4	19.5	SM	A-1-b	-	NP	-	11,4
OCR-9	1.60 - 3.05	30.4	51.0	18.6	SM	A-1-b	-	NP	-	13,66
OCR-10	1.75 - 3.00	38.8	48.8	12.4	SC	-	32	21	11	12,5
OCR-11	0.40 - 1.40	55.1	22.7	22.2	GC-GM	A-1-b	24	18	6	11,22
OCR-12	0.35 - 0.85	60.6	25.6	13.8	GM	A-1-a	-	NP	-	8,94
OCR-13	0.40 - 0.90	43.9	32.9	23.2	GM	A-1-b	-	NP	-	11,5

*Notas:*

(1) Componente grava: Porcentaje de partículas que atraviesan la malla de 3" y quedan retenidas en la malla N.º 4

(2) Componente arena: Porcentaje de material que pasa a través de la malla N.º 4 y permanece retenido en la malla N.º 200

(3) Componente finos: Porcentaje de suelo que logra pasar por la malla N.º 200

G: Fracción correspondiente a grava

A: Fracción correspondiente a arena

F: Fracción correspondiente a partículas finas

w: Porcentaje de humedad

LL: Límite de contenido líquido

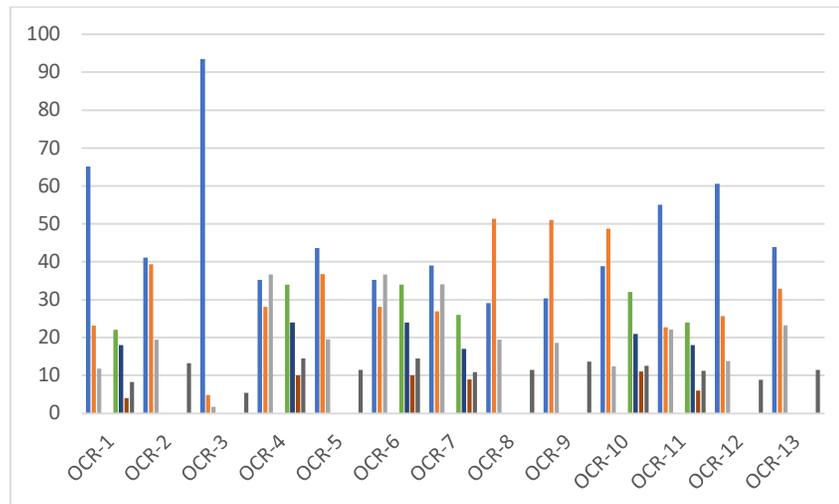
LP: Límite de plasticidad

IP: Índice que representa la plasticidad del material

**Interpretación:** El análisis de las calicatas muestra diferentes tipos de suelos con variaciones en sus propiedades. La calicata OCR-1, que tiene un 65.1% de grava (G), 23.1% de arena (A) y 11.8% de fino (F), corresponde a un suelo tipo GP-GM (Gravel, Poorly Graded - Gravel Mix) según el sistema SUCS. Su límite líquido (LL) es 22, el límite plástico (LP) es 18 y el índice de plasticidad (IP) es 4, con una humedad de 8.3%. En contraste, OCR-2 es un suelo tipo GM (Gravel, Well-Graded), con un 41.1% de grava, 39.4% de arena y 19.5% de fino, clasificado como A-1-b en AASHTO, con una humedad de 13.25%. Otros suelos como OCR-4 (GC) y OCR-8 (SM) muestran características similares, con distintos límites de Atterberg y diferentes porcentajes de humedad, lo que indica una variabilidad en la composición y clasificación de los suelos. Los suelos con mayor proporción de grava, como OCR-3 (GW), tienen una baja humedad, mientras que los suelos con más arena o limo, como OCR-8 y OCR-9, presentan mayor porcentaje de humedad.

**Figura 29.**

*Resultados de ensayos estándar – Calicatas y sondajes*



**Interpretar:** El análisis de las calicatas revela diversos tipos de suelos con variaciones en sus propiedades. Por ejemplo, la calicata OCR-1, clasificada como GP-GM, tiene una alta proporción de grava y un índice de plasticidad bajo. En cambio, OCR-2 es un suelo tipo GM con mayor porcentaje de arena y una mayor humedad. Otros suelos, como OCR-4 y OCR-8, presentan características y composiciones diferentes, reflejando una variabilidad en los límites de Atterberg y la humedad. Los suelos con más grava, como OCR-3, tienen baja humedad, mientras que aquellos con mayor arena o limo, como OCR-8 y OCR-9, muestran mayor humedad.

#### 4.1.3.3 Resumen de parámetros de resistencia

Las características de resistencia al corte de los materiales que actualmente constituyen el Depósito de Material Estéril.

**Tabla 12.**

*Propiedades de resistencia al esfuerzo cortante*

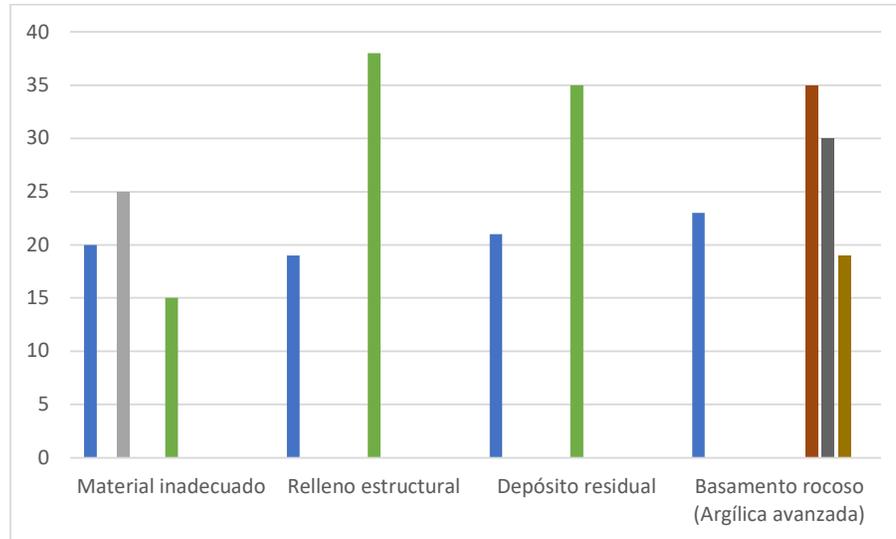
Material	Peso Unitario (kN/m <sup>3</sup> )	Criterio de Falla	UCS (MPa)	GSI	mi	E. Totales	E. Efectivos	c (kPa)	φ (°)	c' (kPa)	φ' (°)
Desmante de mina THY	21	MC	-	-	0	36	-	-	-	-	-
Desmante de mina CN	21	MC	-	-	0	32	-	-	-	-	-
Material inadecuado	20	MC	25	0	0	15	-	-	-	-	-
Relleno estructural	19	MC	-	-	0	38	-	-	-	-	-
Depósito residual	21	MC	-	-	0	35	-	-	-	-	-
Basamento rocoso (Argílica avanzada)	23	HB	-	-	-	-	-	35	30	19	0

**Interpretación:** El análisis de los materiales revela diversas propiedades geotécnicas según su tipo y clasificación. Los desmontes de mina THY y CN tienen un peso unitario de 21 kN/m<sup>3</sup> y son clasificados como materiales cohesivos (MC), sin datos específicos sobre su resistencia o parámetros de fricción. El material inadecuado, con un peso unitario de 20 kN/m<sup>3</sup>, presenta una resistencia UCS de 25 MPa, pero carece de parámetros de cohesión y fricción. El relleno estructural, con un peso unitario de 19 kN/m<sup>3</sup>, también carece de datos específicos,

mientras que el depósito residual, al igual que los desmontes, presenta un peso unitario de 21 kN/m<sup>3</sup> sin información detallada sobre su comportamiento. Por otro lado, el basamento rocoso (argílica avanzada), con un peso unitario de 23 kN/m<sup>3</sup> y clasificado como roca dura (HB), presenta un comportamiento más estable, con cohesión efectiva de 35 kPa y un ángulo de fricción de 30°, lo que sugiere su uso en condiciones más estructurales.

**Figura 30.**

*Resistencia al esfuerzo cortante*



**Interpretación:** El análisis de materiales muestra que los desmontes de mina THY y CN, con un peso unitario de 21 kN/m<sup>3</sup>, son cohesivos (MC) sin información sobre resistencia o fricción. El material inadecuado, de 20 kN/m<sup>3</sup>, tiene una resistencia UCS de 25 MPa pero carece de parámetros de cohesión y fricción. El relleno estructural (19 kN/m<sup>3</sup>) y el depósito residual (21 kN/m<sup>3</sup>) también carecen de datos específicos. Por otro lado, el basamento rocoso (argílica avanzada), con 23 kN/m<sup>3</sup>, presenta una cohesión de 35 kPa y un ángulo de fricción de 30°, adecuado para condiciones estructurales.

#### 4.1.3.4 Evaluación de monitoreo

En octubre de 2024, los hitos topográficos registraron desplazamientos con velocidades menores a 0.3 cm/día, indicando una estructura estable y en condición Normal según los niveles de alerta. Se presenta un resumen de datos y un gráfico con la evolución de las velocidades de los prismas.

**Tabla 13**

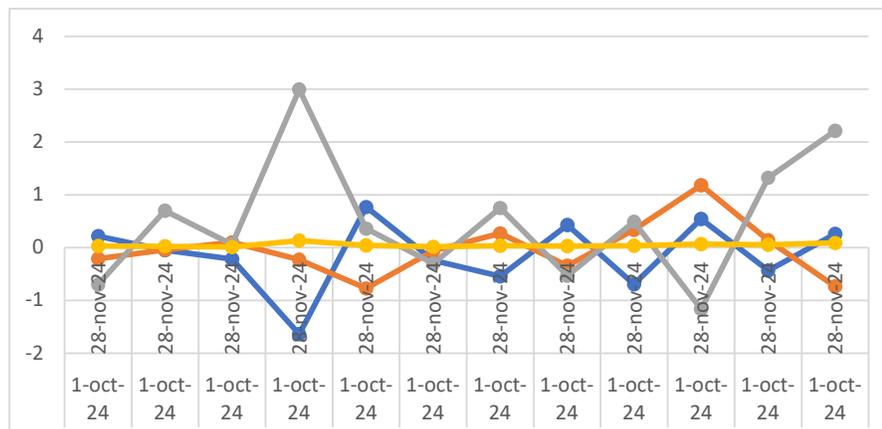
*Resumen de datos registrados*

Hito Topográfico	Fecha		Desplazamiento Acumulado (cm)			Velocidad (cm/día)	Estado	Condición según nivel de alerta
	Inicial	Corte	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$			
D3-02	1-oct-24	28-nov-24	0,22	-0,21	-0,7	0,029	Operativo	NORMAL
D3-03	1-oct-24	28-nov-24	-0,05	-0,04	0,7	0,027	Operativo	NORMAL
D3-04	1-oct-24	28-nov-24	-0,22	0,1	0,06	0,01	Operativo	NORMAL
D3-05	1-oct-24	28-nov-24	-1,64	-0,23	2,99	0,131	Operativo	NORMAL
D3-07	1-oct-24	28-nov-24	0,77	-0,77	0,36	0,044	Operativo	NORMAL
D3-08	1-oct-24	28-nov-24	-0,24	-0,06	-0,3	0,015	Operativo	NORMAL
D3-09	1-oct-24	28-nov-24	-0,54	0,27	0,75	0,037	Operativo	NORMAL
D3-10	1-oct-24	28-nov-24	0,43	-0,34	-0,53	0,029	Operativo	NORMAL
D3-11	1-oct-24	28-nov-24	-0,69	0,34	0,49	0,035	Operativo	NORMAL
D3-12	1-oct-24	28-nov-24	0,54	1,18	-1,16	0,067	Operativo	NORMAL
D3-13	1-oct-24	28-nov-24	-0,43	0,14	1,32	0,054	Operativo	NORMAL
D3-14	1-oct-24	28-nov-24	0,26	-0,73	2,21	0,09	Operativo	NORMAL

**Interpretación:** Durante el periodo del 1 de octubre al 28 de noviembre de 2024, los hitos topográficos monitoreados presentaron desplazamientos acumulados con velocidades menores a 0.14 cm/día, manteniéndose todos en condición *Operativo* y *NORMAL* según los niveles de alerta establecidos. Esto indica que no se han detectado movimientos significativos que comprometan la estabilidad de la estructura en el área evaluada.

**Figura 31.**

*Comportamiento de la velocidad de desplazamiento.*



**Interpretar:** Entre el 1 de octubre y el 28 de noviembre de 2024, los hitos topográficos registraron desplazamientos en distintas direcciones con velocidades entre 0.01 y 0.131 cm/día, destacando el hito D3-05 por su mayor movimiento vertical. En general, los valores se mantienen dentro de rangos aceptables, indicando estabilidad estructural.

#### 4.1.1.5. Análisis de Estabilidad

Se realizó un análisis de estabilidad física de los taludes del Depósito de Material Estéril mediante el método de equilibrio límite en tres secciones críticas, utilizando el método de Spencer y el software Slide. Se consideró un nivel freático superficial basado en sondajes y estudios hidrogeológicos, así como un coeficiente sísmico horizontal de 0.18 según el estudio de peligro sísmico de Ausenco (2015). Los factores de seguridad mínimos se establecieron conforme a las recomendaciones del U.S. Army Corps of Engineers.

**Tabla 14.**

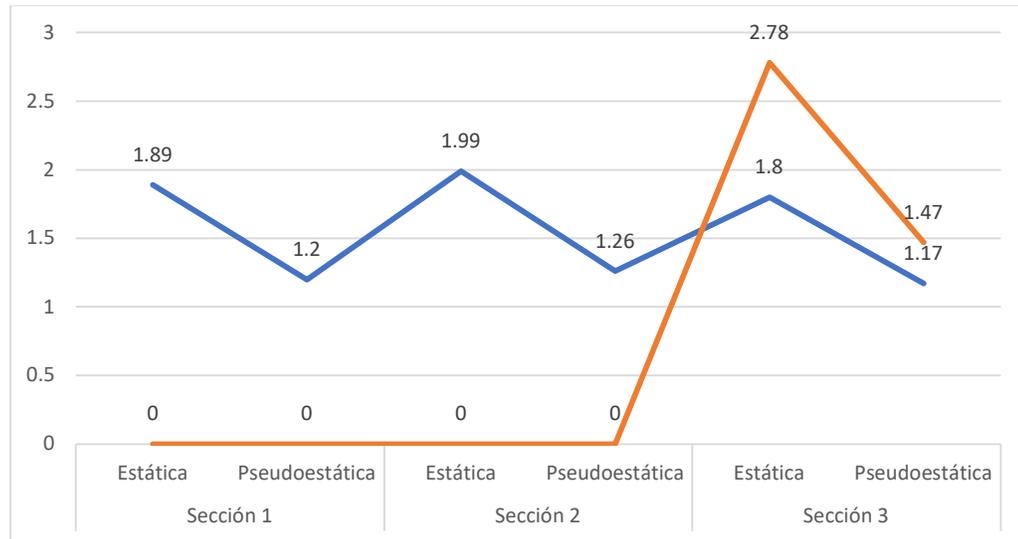
*Análisis de la estabilidad en condición actual*

Sección	Condición de análisis	FS (talud izquierdo)	FS (talud derecho)
Sección 1	Estática	1,89	-
	Pseudoestática	1,2	-
Sección 2	Estática	1,99	-
	Pseudoestática	1,26	-
Sección 3	Estática	1,8	2,78
	Pseudoestática	1,17	1,47

**Interpretación:** El análisis de estabilidad de los taludes en tres secciones muestra que, en condiciones estáticas, los taludes tienen un factor de seguridad (FS) generalmente adecuado, con valores de 1,89 a 1,99 en los taludes izquierdos de las secciones 1 y 2. Sin embargo, bajo condiciones pseudoestáticas, que simulan cargas dinámicas, el FS disminuye notablemente, alcanzando valores de 1,2 y 1,26 en los taludes izquierdos de las secciones 1 y 2, lo que indica una menor estabilidad frente a eventos dinámicos. En la sección 3, el talud izquierdo presenta un FS de 1,8 estático y 1,17 pseudoestático, mientras que el talud derecho muestra un comportamiento más estable, con un FS de 2,78 estático y 1,47 pseudoestático, sugiriendo que este talud es más resistente tanto en condiciones estáticas como dinámicas.

**Figura 32.**

*Análisis de la estabilidad en condición actual*



**Interpretación:** El análisis de estabilidad de los taludes en tres secciones revela que, en condiciones estáticas, los factores de seguridad (FS) son adecuados, oscilando entre 1,89 y 1,99 en los taludes izquierdos de las secciones 1 y 2. Sin embargo, en condiciones pseudoestáticas, los FS disminuyen a 1,2 y 1,26, indicando menor estabilidad. En la sección 3, el talud izquierdo presenta un FS de 1,8 estático y 1,17 pseudoestático, mientras que el talud derecho es más estable, con un FS de 2,78 estático y 1,47 pseudoestático.

**Tabla 15.**

*Análisis de estabilidad en condición Final*

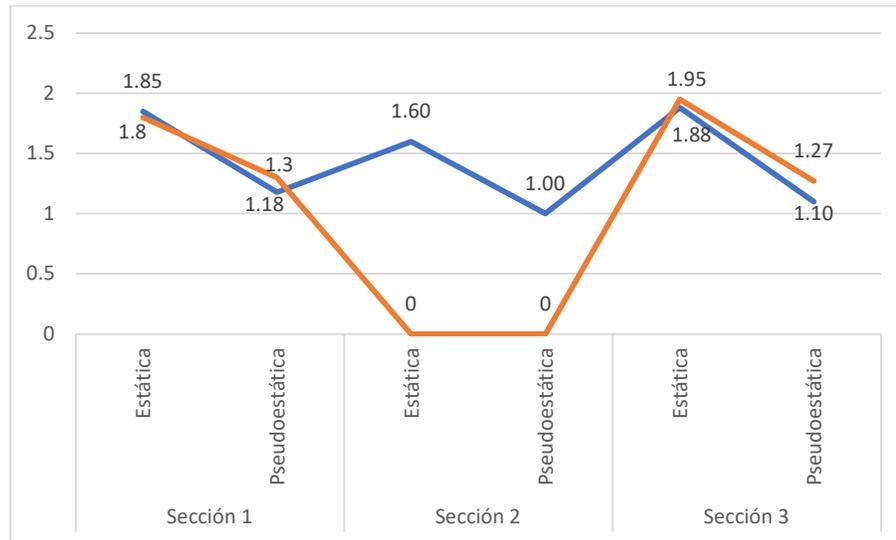
Sección	Condición de análisis	FS (talud izquierdo)	FS (talud derecho)
Sección 1	Estática	1,85	1,8
	Pseudoestática	1,18	1,3
Sección 2	Estática	1,60	-
	Pseudoestática	1,00	-
Sección 3	Estática	1,88	1,95
	Pseudoestática	1,10	1,27

**Interpretación:** El análisis de estabilidad en condición final muestra que los taludes en las tres secciones presentan valores de factor de seguridad (FS) variables bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas. En la Sección 1, los FS son 1,85 en el

talud izquierdo y 1,8 en el derecho en condiciones estáticas, con una disminución a 1,18 y 1,3, respectivamente, en condiciones pseudoestáticas, lo que indica una reducción en la estabilidad bajo cargas dinámicas. En la Sección 2, el FS estático es de 1,60 en el talud izquierdo, con una disminución a 1,00 en la condición pseudoestática, lo que refleja una mayor vulnerabilidad a eventos dinámicos. La Sección 3 muestra un comportamiento más estable, con FS estáticos de 1,88 y 1,95 para los taludes izquierdo y derecho, respectivamente, y una disminución moderada en las condiciones pseudoestáticas a 1,10 y 1,27, lo que sugiere una estabilidad relativamente mejor frente a cargas dinámicas.

**Figura 33.**

*Análisis de la estabilidad en condición Final*



**Interpretación:** El análisis de estabilidad final muestra que los taludes en las tres secciones tienen valores de factor de seguridad (FS) variables. En la Sección 1, el FS disminuye de 1,85 a 1,18 en el talud izquierdo y de 1,8 a 1,3 en el derecho bajo condiciones pseudoestáticas, indicando menor estabilidad dinámica. En la Sección 2, el FS estático es 1,60 y baja a 1,00 en la condición pseudoestática, lo que refleja mayor vulnerabilidad. La Sección 3 presenta FS más estables, con valores estáticos de 1,88 y 1,95, y una caída moderada a 1,10 y 1,27 en condiciones pseudoestáticas, sugiriendo una mayor resistencia frente a cargas dinámicas.

## 4.2. Contrastación de Hipótesis

**H<sub>0</sub>:** El comportamiento hidráulico, el tipo de relave y el análisis del riesgo geotécnico No influyen en la adaptación y optimización del tiempo de vida útil del depósito de relaves Ocroyoc de la unidad minera Paragsha, 2024.

**H<sub>1</sub>:** El comportamiento hidráulico, el tipo de relave y el análisis del riesgo geotécnico influyen significativamente en la adaptación y optimización del tiempo de vida útil del depósito de relaves Ocroyoc de la unidad minera Paragsha, 2024.

### Decision de la hipótesis:

- **Si  $p < 0.05$ :** para cada variable independiente (comportamiento hidráulico, tipo de relave y análisis del riesgo geotécnico), se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ), lo que significa que esas variables influyen significativamente en la optimización del tiempo de vida útil del depósito de relaves.
- **Si  $p > 0.05$ :** para alguna de las variables independientes, se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) para esa variable, lo que significa que esa variable no tiene una influencia significativa en la optimización del tiempo de vida útil del depósito.

Modelo	Coefficients no estandarizados		Coefficients estandarizados	t	Sig.	
	B	Desv. Error	Beta			
1	(Constante)	24,984	8,760		2,852	,016
	Área drenaje	,008	,005	,409	1,484	,166

a. Variable dependiente: caudal pico

### Interpretación:

El análisis de los coeficientes muestra que la constante del modelo es estadísticamente significativa, con un valor de 24.984 para caudal pico cuando área drenaje es cero. Sin embargo, el coeficiente de área drenaje (0.008) indica una relación positiva con caudal pico, pero esta relación no es estadísticamente significativa, ya que el valor **p** es 0.166, superior al umbral de 0.05. Esto sugiere que, aunque existe una pequeña asociación entre área drenaje y caudal pico, no se puede afirmar con certeza que el área de drenaje influya de manera significativa en el caudal pico. Por lo tanto, se recomienda explorar otras variables o ajustar el modelo para mejorar su capacidad predictiva y la significancia de los coeficientes.

**H<sub>0</sub>:** El comportamiento hidráulico no incide significativamente en la optimización del tiempo de vida útil del depósito de relaves Ocroyoc de la unidad minera Paragsha, 2024.

**H<sub>1</sub>:** El comportamiento hidráulico incide significativamente en la optimización del tiempo de vida útil del depósito de relaves Ocroyoc de la unidad minera Paragsha, 2024.

**Decisión de la hipótesis H<sub>1</sub>:**

**Si  $p < 0.05$ ,** se rechaza la hipótesis nula (H<sub>0</sub>) y se acepta la hipótesis alternativa (H<sub>1</sub>), indicando que el comportamiento hidráulico tiene un impacto significativo en la optimización del tiempo de vida útil del depósito de relaves Ocroyoc.

**Si  $p \geq 0.05$ ,** no se rechaza H<sub>0</sub>, lo que indica que no hay suficiente evidencia para afirmar que el comportamiento hidráulico tiene un impacto significativo.

**Coefficientes<sup>a</sup>**

Modelo	Coefficients no estandarizados		Coefficients estandarizados		Sig.	
	B	Desv. Error	Beta	t		
1	(Constante)	10,700	30,780		,348	,761
	humedad	-1,000	3,055	-,225	-,327	,775

a. Variable dependiente: profundidad

**Interpretación:**

El modelo presenta una constante de 10,700 con un error estándar de 30,780, lo que indica que el valor de la variable dependiente (profundidad) tiene una intersección inicial de 10,700 unidades. La variable independiente "humedad" tiene un coeficiente no estandarizado de -1,000, lo que sugiere que, por cada aumento de una unidad en la humedad, la profundidad disminuiría en 1,000 unidades, aunque este efecto es muy débil (con un valor de t de -0,327 y un p-valor de 0,775, que es mayor que 0,05), lo que implica que no hay evidencia suficiente para concluir que la humedad tenga un impacto significativo sobre la profundidad. En resumen, no se puede afirmar que la humedad incida de manera significativa en la profundidad en este modelo.

**H<sub>0</sub>:** El análisis del riesgo geotécnico permitirá identificar las principales variables que afectan la estabilidad del depósito de relaves Ocroyoc de la Unidad Minera Paragsha, 2024.

**H<sub>2</sub>:** El análisis del riesgo geotécnico permitirá identificar las principales variables que afectan la estabilidad del depósito de relaves Ocroyoc de la Unidad Minera Paragsha, 2024.

**Decisión de la hipótesis H<sub>2</sub>.**

Si  $p < 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula (H<sub>0</sub>) y se acepta la hipótesis alternativa (H<sub>1</sub>).

Si  $p \geq 0.05$ , no se rechaza la hipótesis nula (H<sub>0</sub>).

		Coeficientes <sup>a</sup>				
		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
Modelo		B	Desv. Error	Beta	t	Sig.
1	(Constante)	,241	,191		1,260	,236
	velocidad	-12,150	4,081	-,686	-2,978	,014

a. Variable dependiente: desplazamiento

**Interpretación:**

El análisis mediante regresión evidencia que la variable "velocidad" mantiene una asociación estadísticamente significativa con el "desplazamiento"; es decir, al incrementarse la velocidad, también se incrementa el desplazamiento. El coeficiente estandarizado de -0.686 indica una conexión de intensidad moderada entre ambas variables. El estadístico t de -2.978 y un valor p de 0.014 confirman la relevancia estadística del efecto observado, dado que el valor p se encuentra por debajo del umbral de 0.05. Esto conduce al rechazo de la hipótesis nula (H<sub>0</sub>) y a la aceptación de la hipótesis alternativa (H<sub>1</sub>). Este hallazgo adquiere relevancia particular dentro del campo de la geotecnia, especialmente para la evaluación del riesgo geotécnico en la Unidad Minera Paragsha, con énfasis en el depósito de relaves Ocroyoc.

**4. Discusión de resultados**

a. Los resultados obtenidos permiten identificar de manera integral los factores clave que afectan la eficiencia y seguridad del depósito de relaves Ocroyoc. La caracterización del tipo de relave reveló propiedades físico-químicas que inciden directamente en su comportamiento hidráulico y estabilidad. Asimismo, el análisis hidráulico mostró un patrón de infiltración y drenaje que influye en la saturación de capas y en la presión de poros, aspectos fundamentales para el diseño de medidas de mejora. Finalmente, el análisis de riesgo geotécnico permitió evaluar escenarios críticos, estableciendo parámetros de control

y líneas de acción que favorecen la prolongación segura de la vida útil del depósito, proponiendo así una adaptación técnica viable frente a condiciones operacionales y climáticas cambiantes

- b. El análisis del comportamiento hidráulico evidenció que el flujo de agua dentro del depósito presenta una baja capacidad de drenaje natural, lo cual podría acelerar procesos de saturación en zonas críticas. Las curvas de retención de humedad y las pruebas de permeabilidad indicaron una distribución heterogénea en la conductividad hidráulica, especialmente en sectores de deposición reciente. Estos hallazgos sugieren que la implementación de sistemas de drenaje vertical y subhorizontal permitiría mejorar significativamente el flujo de agua, reduciendo la acumulación de presión intersticial y, por ende, favoreciendo la estabilidad del depósito. Estas mejoras técnicas permitirían extender la vida útil del depósito de relaves al disminuir el riesgo de falla estructural y facilitar una disposición más eficiente del material.
- c. El análisis de estabilidad realizado mediante métodos como el equilibrio límite y modelamientos numéricos mostró factores de seguridad variables a lo largo del depósito, siendo más bajos en zonas con relaves saturados o con pendientes pronunciadas. La interpretación de estos resultados, junto con datos de sismicidad local y niveles freáticos, permitió identificar áreas vulnerables ante deslizamientos o fallas superficiales. Se evidenció que el riesgo geotécnico puede mitigarse mediante la implementación de bermas de control, monitoreo continuo con piezómetros y refuerzo de taludes críticos. Estos resultados aportan información clave para la toma de decisiones sobre medidas correctivas y preventivas, garantizando no solo la estabilidad física del depósito, sino también su viabilidad operativa en el mediano y largo plazo.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

1. Aunque la constante del modelo es estadísticamente significativa, el área de drenaje no muestra una relación significativa con el caudal pico. El coeficiente de 0.008 sugiere una leve asociación, pero el valor p de 0.166 (superior al umbral de 0.05) indica que no existe evidencia suficiente para afirmar que el área de drenaje influya de manera significativa en el caudal pico.
2. El análisis muestra que, aunque la humedad tiene un coeficiente de -1.000, lo que sugiere una relación negativa con la profundidad, el valor p de 0.775 indica que esta relación no es estadísticamente significativa. Esto sugiere que la humedad no tiene un impacto considerable sobre la profundidad en el modelo analizado.
3. La variable "velocidad" tiene una relación significativa y moderadamente fuerte con el "desplazamiento". El coeficiente estandarizado de -0.686 y el valor p de 0.014 refuerzan la importancia de esta relación, lo que implica que la velocidad influye considerablemente en el desplazamiento en el contexto geotécnico del depósito de relaves Ocroyoc.

#### 5.2 Recomendaciones

1. Como el área de drenaje no muestra una relación clara con el caudal pico, sería útil investigar otras posibles variables que puedan estar influyendo en este aspecto. También se podría ajustar el modelo para mejorar su precisión y hacer que los coeficientes sean más significativos, lo que ayudaría a obtener resultados más confiables.
2. En cuanto a la humedad, dado que no parece tener un impacto relevante en la profundidad en este modelo, es recomendable reconsiderar su inclusión o explorar maneras de mejorar el modelo, tal vez añadiendo otras variables que puedan tener un mayor efecto sobre la profundidad.
3. La relación significativa entre velocidad y desplazamiento sugiere que es crucial seguir monitoreando estos dos factores en el análisis geotécnico del depósito de relaves Ocroyoc. Este seguimiento permitirá prever posibles impactos relacionados con el desplazamiento y adoptar medidas adecuadas para reducir riesgos.

## Referencias

1. *Comportamiento sísmico de presas de relaves construidas aguas abajo y línea central.* **Figuroa, A., Solans, D., Gonzalez, C. y Campaña, J.** 1, s.l. : Obras y Proyectos, 2017, Vol. 21, págs. 30-37.
2. *Propuesta de modelo de optimización de tiempo de vida útil de depósito de relaves espesados.* **Joaquín Martínez, Edwin Franco.** 2, s.l. : Revista chilena de ingeniería, 2019, Revista chilena de ingeniería, Vol. 27, págs. 236-245.
3. **Diaz Gonzalez, Dichson Antonio y Quintero Araque, Elizabeth.** *IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE ALMACENAMIENTO DE RELAVES GENERADOS EN LA MINERÍA AURÍFERA EN COLOMBIA.* Medellín, Colombia : Universidad de Antioquia, 2020. pág. 53.
4. **MUÑOZ DURÁN, MATÍAS ARIEL.** *MODELO FENOMENOLÓGICO DE PÉRDIDAS DE AGUA EN DEPÓSITOS DE RELAVE CONVENCIONALES.* SANTIAGO DE CHILE : UNIVERSIDAD DE CHILE, 2022.
5. **TRONCOSO, DANIEL ALEJANDRO QUINTANA.** *MODELAMIENTO FLUIDODINÁMICO DE TURBINA EN BASE A TORNILLO DE ARQUÍMEDES EN RELAVES MINEROS.* SANTIAGO DE CHILE : UNIVERSIDAD DE CHILE, 2016.
6. **IGNACIO, MUÑOZ RIQUELME SERGIO.** *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO CÍCLICO DE ARENAS DE RELAVES BAJO DIFERENTES CONDICIONES INICIALES DE CARGA.* SANTIAGO DE CHILE : UNIVERSIDAD DE CHILE, 2017.
7. **Anderson, MEZA SAMANIEGO Joseph.** *Aumento de la vida útil de relavera mediante la evaluación de costos unitarios en el sistema de relleno hidráulico en la Mina Animón – Compañía Minera Chungar S.A.C.* Cerro de Pasco – Perú : UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN, 2022.
8. **HUALLPA MALDONADO, MARIA TERESA y MEDINA CORTEZ, SANTIAGO JESÚS.** *ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS MÉTODOS DE RECRECIMIENTO EN UN DEPÓSITO DE RELAVES TIPO PULPA EN CAJAMARCA .* LIMA – PERÚ : UNIVERSIDAD RICARDO PALMA , 2020.
9. **Alcántara Portal, Víctor Franz.** *“Comportamiento hidráulico del subsistema de disposición de relaves: Rougher Scavenger Tailings, tramo: planta concentradora – relavera lado norte, del proyecto Cerro Corona” .* Cajamarca - Peru : UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, 2021.

10. **BONILLA, JOEL MARTÍN LÓPEZ.** “*Diseño Hidráulico de un Sistema Gravimétrico para Relaves Mineros con un Caudal de 202 m<sup>3</sup>/h y 220 m de Desnivel*” . Lima : PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, 2014.
11. **Bermudez Solis, Carlo Stephano y Giron Fasanando, Renzo.** *Análisis de riesgo geotécnico para prevenir futuras fallas en una presa de relaves aguas abajo en el departamento de Junín.* Lima, Perú : Universidad Ricardo Palma, 2022.
12. **Pérez Pliego, B.** *ANÁLISIS DE RIESGO Y CONFIABILIDAD EN PRESAS DE TIERRA: UN CASO EN EL ESTADO DE MÉXICO.* Toluca.- Mexicanos. 2009. Tesis de Pregrado.
13. **Perez Zereceda, G. A., y Vasconcellos Orejuela, G.** *Evaluación de Tres Alternativas de Proyecto de Presa para el Embalse Palo Redondo.* Lima : Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería Civil, 2017. Tesis de pregrado.
14. **Barreto Escobedo, C. D.** “*Investigación hidráulica utilizando un modelo numérico 3D de la presa Tablonas Alto - Chincas*”. Piura. s.l. : Universidad de Piura, 2014. Tesis de pregrado .
15. **Castro Arias, M.** *NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA EL USO Y DISPOSICIÓN DE RELAVES MINEROS APLICADO A CODELCO, DIVISIÓN EL TENIENTE.* Departamento de Ingeniería. s.l. : UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN, 2018.
16. **Aguirre Ramos, R. E.** *ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD FÍSICA DEL DEPÓSITO DE RELAVES N° 5 DE LA CONCESIÓN DE BENEFICIO BELÉN DE MINERA TITÁN DEL PERÚ S.R.L.* Facultad de ingeniería Geologica Geofisica y Minas, . Arequipa. : Universidad Nacional de San Agustin de Arequipa, 2017.
17. **Sampieri, Roberto Hernández.** *Metodología de la investigación.* México : s.n., 2022. pág. 736. Vol. 6ta edición.

# **ANEXO**

**ANEXO 1**

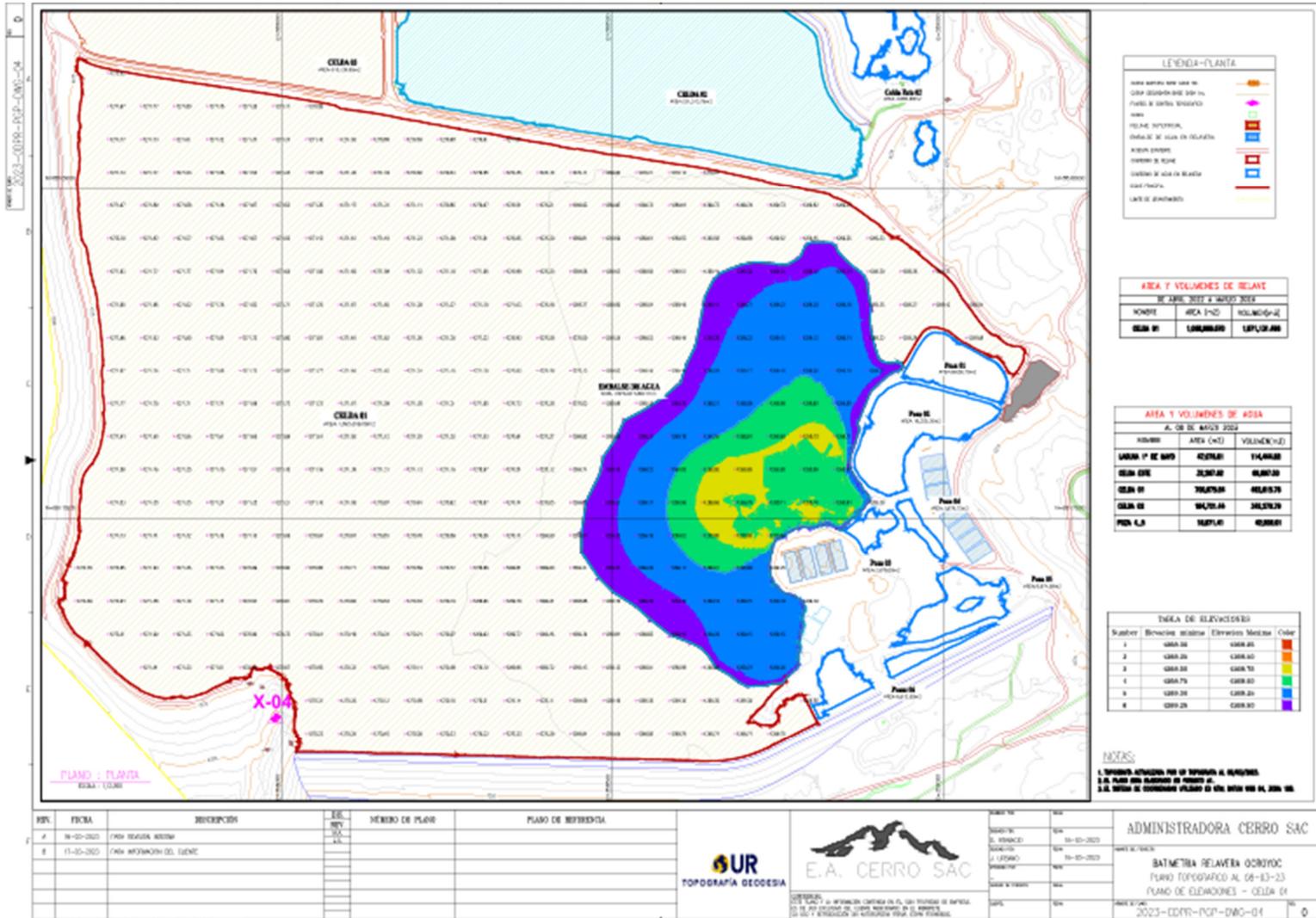
**Título: “COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO Y EL ANÁLISIS DEL RIESGO GEOTÉCNICO PARA LA ADAPTACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL DEPÓSITO DE RELAVES OCROYOC DE LA UNIDAD MINERA PARAGSHA - 2023”**

<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>VARIABLES.</b>	<b>MÉTODO Y DISEÑO</b>
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b> ¿Cuál es el comportamiento hidráulico, el tipo de relave y el análisis del riesgo geotécnico para la adaptación y optimización de tiempo de vida útil del depósito de relaves Ocroyoc de la unidad minera Paragsha, 2024?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b></p> <p>a. ¿Cuál es el comportamiento hidráulico para la adaptación y optimización de tiempo de vida útil del depósito de relaves Ocroyoc de la unidad minera Paragsha, 2024?</p> <p>b. ¿Serán favorables las características geotécnicas requeridas para el diseño de ampliación de vida útil del depósito de relaves Ocroyoc de la unidad minera Paragsha, 2024?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b> Establecer el comportamiento hidráulico, el tipo de relave y el análisis del riesgo geotécnico para la adaptación y optimización de tiempo de vida útil del depósito de relaves Ocroyoc de la unidad minera Paragsha, 2024.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECIFICOS.</b></p> <p>a. Determinar el comportamiento hidráulico para la adaptación y optimización de tiempo de vida útil del depósito de relaves Ocroyoc de la unidad minera Paragsha, 2024</p> <p>b. Establecer las características geotécnicas requeridas para el diseño de ampliación de vida útil del depósito de relaves Ocroyoc de la unidad minera Paragsha, 2023.</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b> El comportamiento hidráulico, el tipo de relave y el análisis del riesgo geotécnico son parámetros fundamentales para la adaptación y optimización de tiempo de vida útil del depósito de relaves Ocroyoc de la unidad minera Paragsha, 2024.</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECIFICAS.</b></p> <p><b>H1:</b> El comportamiento hidráulico es un parámetro fundamental para la adaptación y optimización de tiempo de vida útil del depósito de relaves Ocroyoc de la unidad minera Paragsha. 2024.</p> <p><b>H2:</b> Las características geotécnicas es un parámetro fundamental requerido para el diseño de ampliación de vida útil del depósito de relaves Ocroyoc de la unidad minera Paragsha, 2024.</p>	<p><b>Variable independiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>comportamiento hidráulico, el tipo de relave y el análisis del riesgo geotécnico para la adaptación.</li> </ul> <p><b>Variables dependientes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Disposición de Relaves.</li> </ul>	<p><b>MÉTODO</b> método científico</p> <p><b>TIPO:</b> El tipo de investigación es aplicada.</p> <p><b>NIVEL:</b> investigación se descriptiva.</p> <p><b>DISEÑO:</b> no experimental</p>









**LEYENDA-PLANTA**

- LINEA ROJA: LÍNEA DE DELIMITACIÓN DEL TERRENO
- LINEA AZUL: LÍNEA DE DELIMITACIÓN DEL PISO DE LA CERRA
- LINEA VERDE: LÍNEA DE DELIMITACIÓN DEL PISO DE LA CERRA
- LINEA NARANJA: LÍNEA DE DELIMITACIÓN DEL PISO DE LA CERRA
- LINEA ROJA: LÍNEA DE DELIMITACIÓN DEL PISO DE LA CERRA
- LINEA AZUL: LÍNEA DE DELIMITACIÓN DEL PISO DE LA CERRA
- LINEA VERDE: LÍNEA DE DELIMITACIÓN DEL PISO DE LA CERRA
- LINEA NARANJA: LÍNEA DE DELIMITACIÓN DEL PISO DE LA CERRA
- LINEA ROJA: LÍNEA DE DELIMITACIÓN DEL PISO DE LA CERRA
- LINEA AZUL: LÍNEA DE DELIMITACIÓN DEL PISO DE LA CERRA
- LINEA VERDE: LÍNEA DE DELIMITACIÓN DEL PISO DE LA CERRA
- LINEA NARANJA: LÍNEA DE DELIMITACIÓN DEL PISO DE LA CERRA

**ÁREA Y VOLÚMENES DE RELAJE**  
DE ABRIL 2022 Y ABRIL 2024

NOMBRE	ÁREA (M <sup>2</sup> )	VOLUMEN (M <sup>3</sup> )
CELDA 01	1000000	1000000

**ÁREA Y VOLÚMENES DE #DIA**  
AL 08 DE ABRIL 2024

NOMBRE	ÁREA (M <sup>2</sup> )	VOLUMEN (M <sup>3</sup> )
CELDA 01	1000000	1000000
CELDA 02	2000000	2000000
CELDA 03	3000000	3000000
CELDA 04	4000000	4000000
CELDA 05	5000000	5000000

**ÁREA DE ELEVACIONES**

Numero	Extensión (m <sup>2</sup> )	Elevación (m)	Color
1	1000000	1000.00	Red
2	2000000	2000.00	Orange
3	3000000	3000.00	Yellow
4	4000000	4000.00	Green
5	5000000	5000.00	Blue
6	6000000	6000.00	Purple

**NOTAS:**  
1. INFORMACIÓN PARA EL DISEÑO DE OBRAS.  
2. EL PLANO DE ALZADO DE PISO AL 08 DE ABRIL 2024.  
3. EL PLANO DE ALZADO DE PISO AL 08 DE ABRIL 2024.

NO.	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELABORADO POR	REVISADO POR	NUMERO DE PLANO	PLANO DE REFERENCIA
1	10-01-2023	PLAN REVISIÓN 01				
2	11-01-2023	PLAN REVISIÓN 02				

ADMINISTRADORA CERRO SAC

BATMETRIA RELAVERA OSORIO

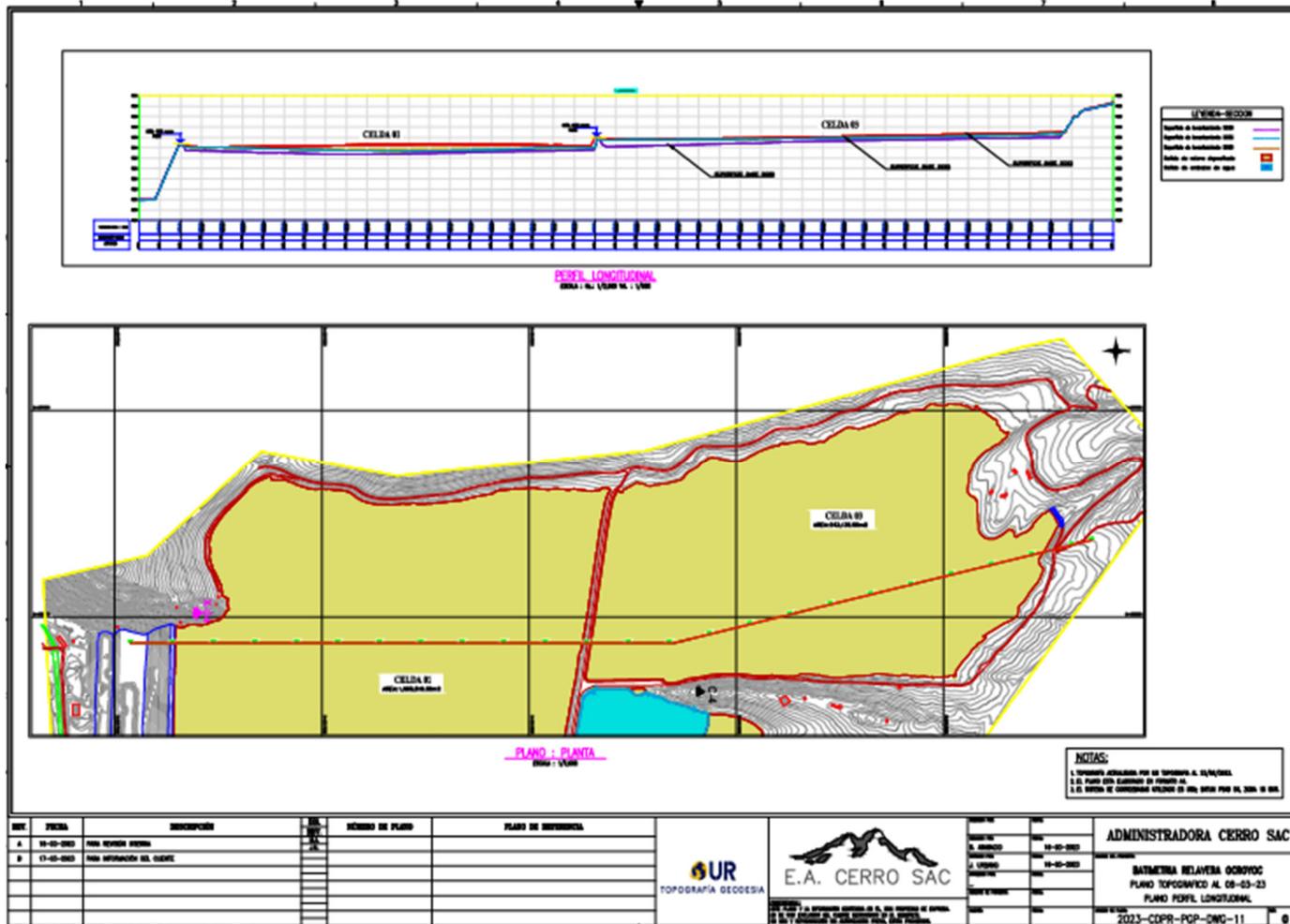
PLANO TOPOGRAFICO AL 08-03-23

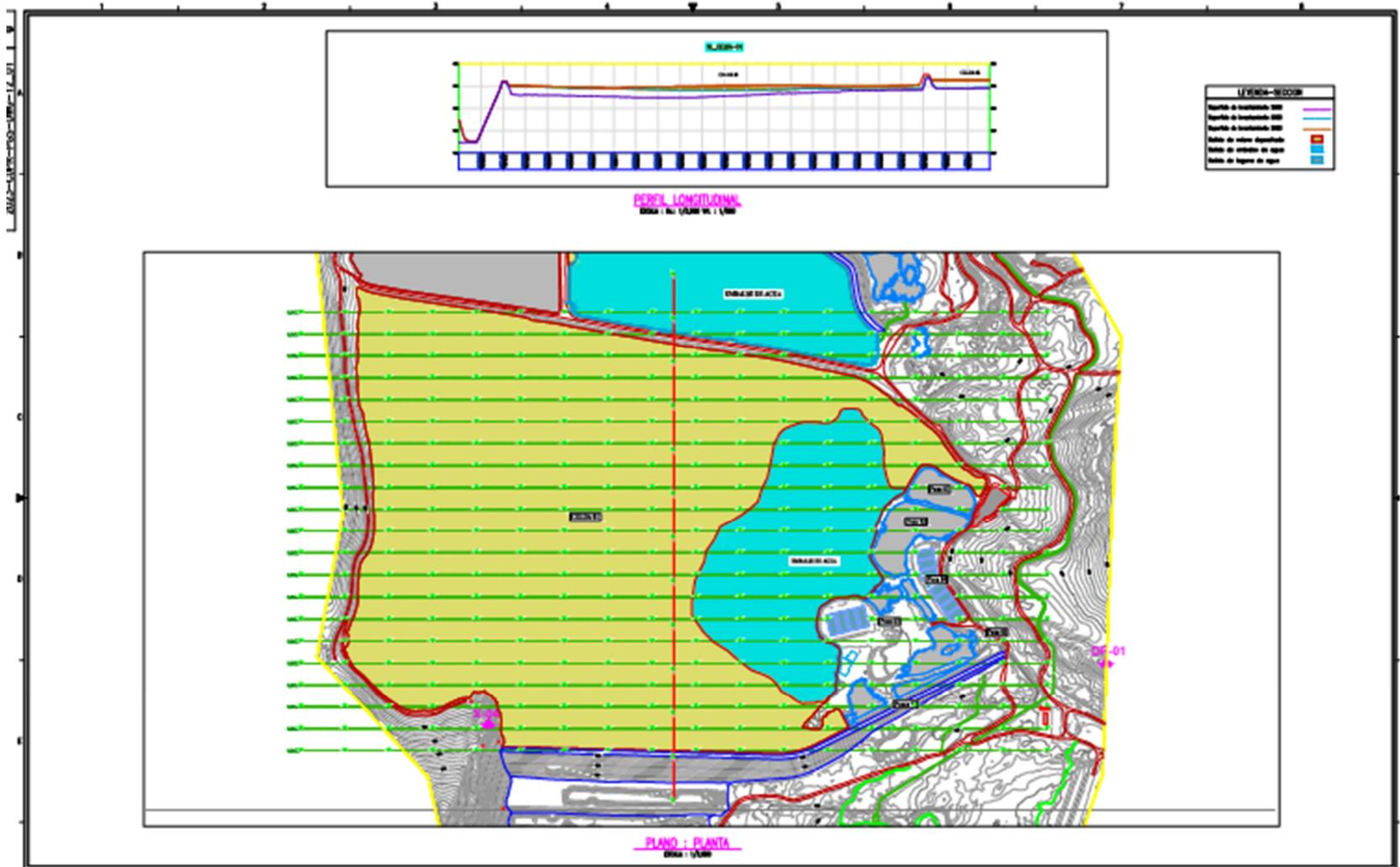
PLANO DE ELEVACIONES - CELDA 01

2023-CDMS-PCP-DWG-01

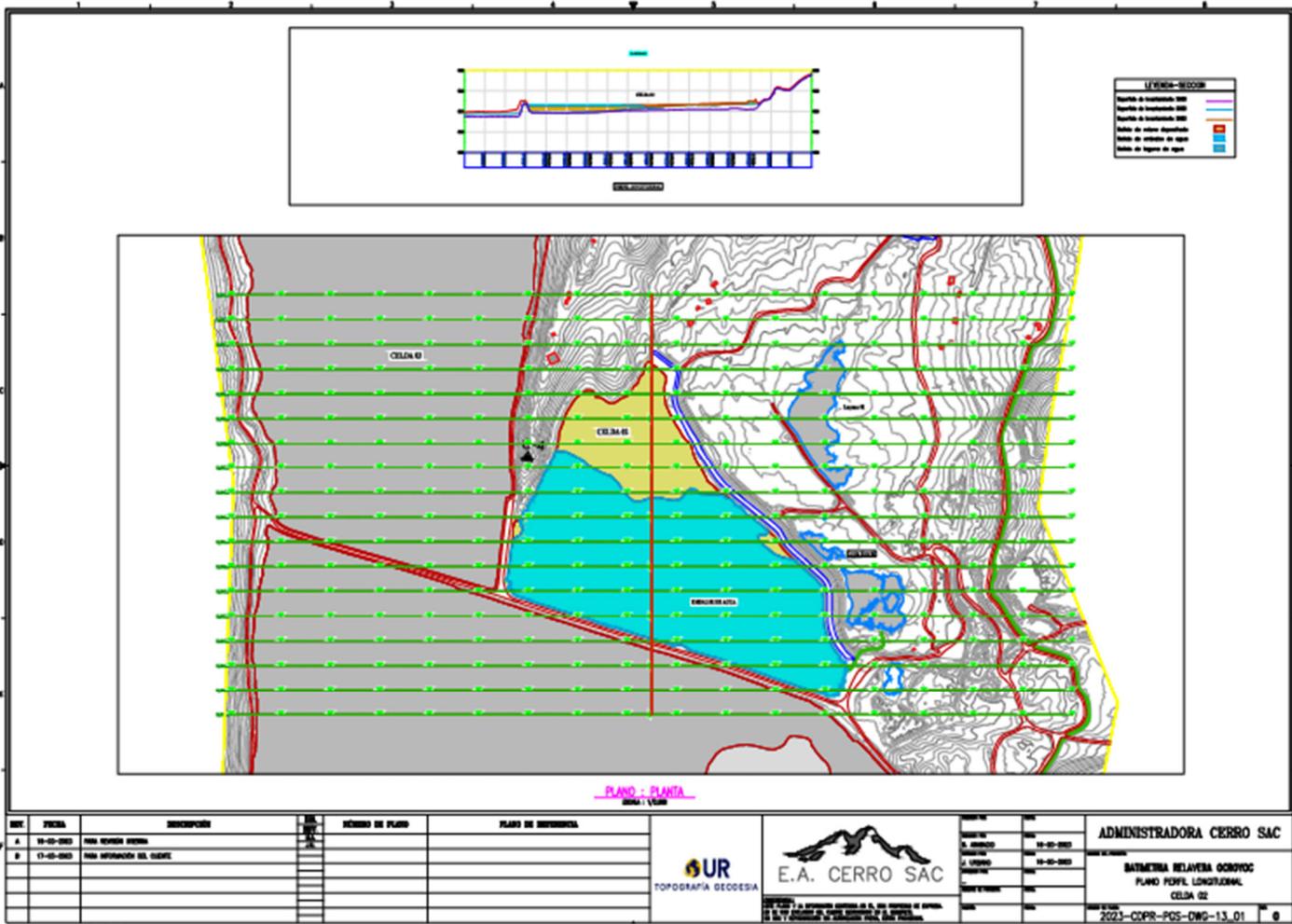












REV.	FECHA	DESCRIPCION	ELABORADO	REVISADO	SECCION DE PLANO	PLANO DE IDENTIFICACION
A	10-02-2023	PARA REVISION INTERNA				
B	17-02-2023	PARA INFORMACION AL CLIENTE				

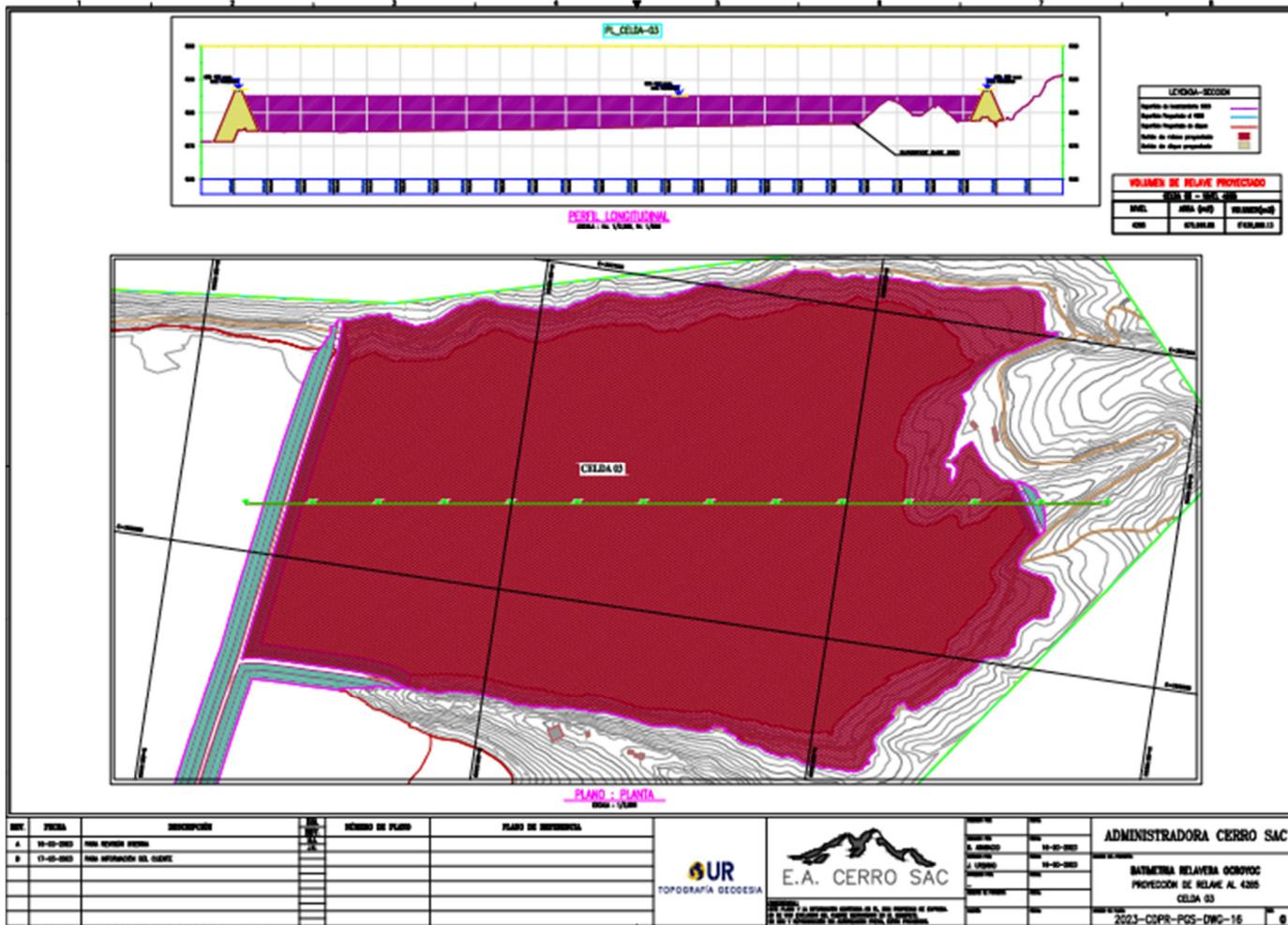
**E.A. CERRO SAC**

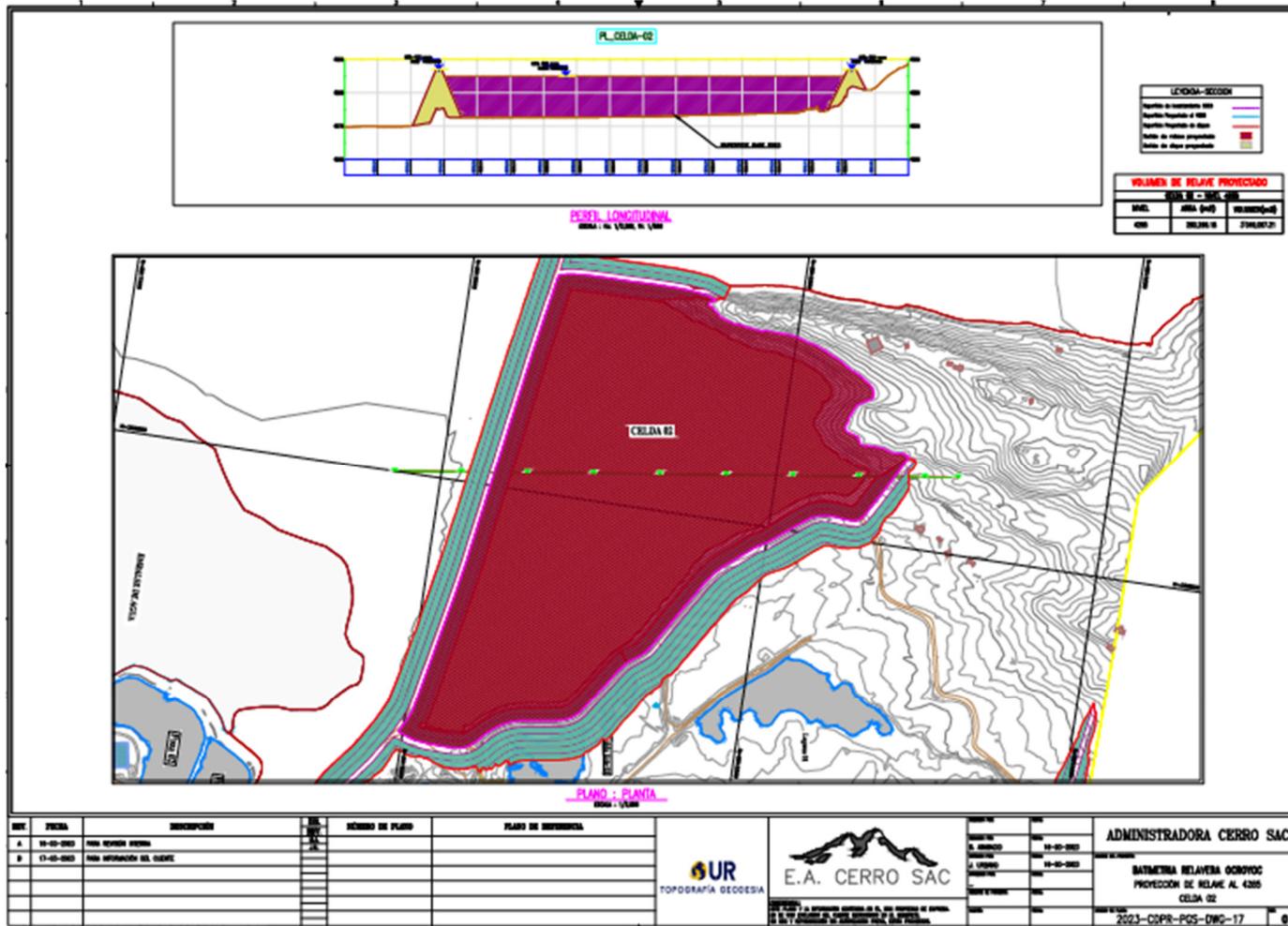
TOPOGRAFIA GEODESIA

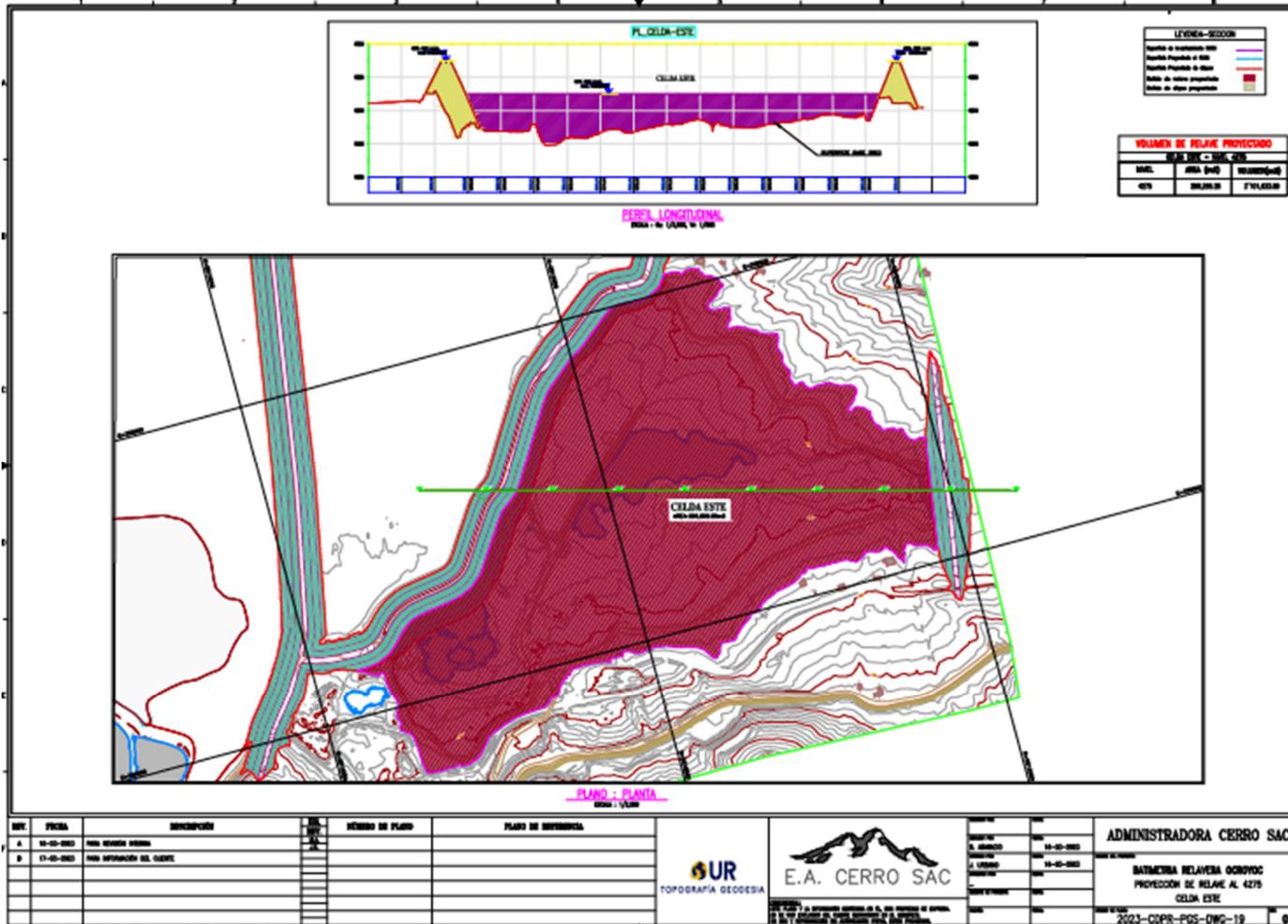
ESTE PLANO HA SIDO ELABORADO CON DATOS DE UN SISTEMA DE COORDENADAS UTM Y SE HA APLICADO LA PROYECCION UTM ZONA 18 S. EL DATUM ES EL DATUM DE SAN VICENTE.

<b>ADMINISTRADORA CERRO SAC</b>	
FECHA DE ELABORACION	10-02-2023
FECHA DE REVISION	17-02-2023
FECHA DE APROBACION	
FECHA DE CANCELACION	
FECHA DE VIGENCIA	
FECHA DE EXPIRACION	
FECHA DE CANCELACION	
FECHA DE VIGENCIA	
<b>BATIMETRIA RELAYENA OCHOYOAC</b> <b>PLANO POPUL LONGITUDINAL</b> <b>CELDA 02</b>	
2023-COPR-POS-DWG-13_01	









**Figura 34**

*Secuencia de depósito en la Relavera Ocroyoc*





