



**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO**  
DISEÑO GEOMÉTRICO MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA Y TOPOGRAFÍA DE  
DETALLE DEL “DEPÓSITO DE RELAVES 5”, PARA LA PLANTA DE BENEFICIO DE  
MINERALES “LOS CHANKAS” - CIA EXC TRADING SAC.

**Línea de investigación:**

**Biodiversidad, ecología y conservación**

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título profesional de Ingeniero Geógrafo

**Autor:**

Tello Huarancca, Deivid

**Asesor:**

Reyna Mandujano, Samuel Carlos

(ORCID: 0000-0002-0750-2877)

**Jurado:**

Aguirre Cordero, Rogelio

Nizama Espinoza, Victor Raúl

Miranda Jara, Angelica

**Lima - Perú**

**2023**

# DISEÑO GEOMÉTRICO MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA Y TOPOGRAFÍA DE DETALLE DEL "DEPÓSITO DE RELAVES 5", PARA LA PLANTA DE BENEFICIO DE MINERALES "LOS CHANKAS" - CIA EXC TRADING SAC.

## INFORME DE ORIGINALIDAD

21%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

14%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1 **1library.co** 4%  
Fuente de Internet

2 **ENGINEERS & ENVIRONMENTAL PERU SOCIEDAD ANONIMA. "ITS Recrecimiento de la Presa de Relaves Pallancata Fase 3 y Sistema de tratamiento de Agua-IGA0008942", R.D. N° 116-2015-MEM-DGAAM, 2020** 2%  
Publicación

3 **CESEL S A. "Primera MEIA de la Unidad Minera Casapalca-IGA0000614", R.D. N° 188 -2019-SENACE-PE/DEAR, 2020** 1%  
Publicación

4 **repositorio.unsaac.edu.pe** 1%  
Fuente de Internet

5 **hdl.handle.net** 1%  
Fuente de Internet



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

**VRIN** | VICERRECTORADO  
DE INVESTIGACIÓN

**Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo**

**DISEÑO GEOMÉTRICO MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA Y TOPOGRAFÍA DE  
DETALLE DEL “DEPÓSITO DE RELAVES 5”, PARA LA  
PLANTA DE BENEFICIO DE MINERALES  
“LOS CHANKAS” - CIA EXC TRADING SAC.**

**Línea de investigación:**

Biodiversidad, Ecología y Conservación

Informe de suficiencia profesional para optar el título profesional de Ingeniero Geográfico.

**Autor:**

Deivid Tello Huarancca

**Asesor:**

Samuel Carlos Reyna Mandujano  
(ORCID: 0000-0002-0750-2877)

**Jurado:**

Rogelio Aguirre Cordero  
Victor Raúl Nizama Espinoza  
Angelica Miranda Jara

**Lima – Perú  
2023**

## INDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. Trayectoria del autor .....	7
1.2. Descripción de la empresa.....	8
1.3. Áreas y funciones desempeñadas .....	8
II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECIFICA.....	9
2.1. Aspectos generales .....	9
2.2. Aspectos de ingeniería para el diseño de la presa .....	10
2.2.1. Estudio Geológico .....	10
2.2.2. Estudio de Sismicidad .....	10
2.2.3. Estudio Geotécnico.....	11
2.2.4. Estudio Hidrológico.....	11
2.2.5. Diseño Geotécnico.....	12
2.2.6. Diseño Civil.....	13
2.2.7. Obras de construcción .....	13
2.2.8. Diseño Estructural .....	14
2.2.9. Análisis de Estabilidad .....	16
2.2.10. Condiciones de Estabilidad Analizadas .....	16
2.2.11. Resultados Obtenidos .....	16
2.3. Obras Auxiliares.....	17
2.3.1. Sistema de Decantación.....	17
2.3.2. Sistema de Drenaje Superficial.....	17
2.3.3. Impermeabilización del Vaso con Geomembrana.....	17
2.4. Diseño Geométrico.....	18
2.4.1. Fotogrametría.....	18
2.4.2. Puntos de Monitoreo Geotécnico .....	21
2.4.3. Hitos de Concreto .....	23

III.	APORTES MAS DESTACABLES A LA EMPRESA O INSTITUCION .....	25
IV.	CONCLUSIONES .....	26
V.	RECOMENDACIONES .....	27
VI.	REFERENCIAS .....	28

## RESUMEN

El presente informe de experiencia profesional está orientado al diseño geométrico de una presa de relaves, realizada en el periodo en el que labore en la empresa Geominco SRL, la que se encargó del diseño de ingeniería de detalle y construcción del “depósito de relaves 5” de la planta de beneficio los “LOS CHANKAS”, cuyo titular minero es la empresa EXC TRADING SAC. Dicha infraestructura se utiliza para la evacuación de los desechos industriales mineros (relaves), que produce la planta concentradora de minerales de cobre. En dicho proyecto me encargue del diseño geométrico de la presa de relaves, donde se realizaron trabajos de campo y gabinete para el logro del objetivo, entre los trabajos de campo se planifico, preparó la logística, personal de apoyo, calibración de equipos topográficos, y levantamiento fotogramétrico con el uso de Drone topográfico con RTK, colocación de puntos de control terrestre con el uso de GPS diferencial, y trabajos de gabinete como la descarga de datos, gestión de datos, y el diseño con el uso de softwares de ingeniería especializados, Así mismo se tuvo la participación de diversos profesionales especialistas en diversas áreas de ingeniería para la elaboración de los criterios de diseño, como son; la geología, la geotecnia, la hidrología, la sismicidad y el diseño hidráulico, con lo que se logró un diseño que cumpla los criterios de estabilidad física, química e hidrológica, cuyo expediente esta siendo aplicado en la etapa de construcción, con lo cual se da cumplimiento a la normativa en materia de seguridad minera y manejo ambiental, garantizando la sostenibilidad de la infraestructura diseñada. Como limitantes se tuvo el clima agreste de la zona, vientos mayores a 10m/s q no permitían el vuelo de drone, cielo nublado que baja la resolución de la fotogrametría, así como lluvias en horas de la tarde. Finalmente, el estudio fue aprobado y se encuentra en la etapa final de construcción en la cual también llevamos a cabo los controles topográficos para evitar desviaciones respecto al expediente.

**Palabras clave:** Planta de Beneficio de minerales de cobre, Relaves Mineros, Depósitos de Relaves, Fotogrametría, RTK (Real Time Kinematic)

## ABSTRACT

This professional experience report is oriented to the geometric design of a tailings dam, carried out by the company Geominco SRL, the company in which I worked, which was in charge of the detailed engineering design and construction of “tailings deposit 5” of the “LOS CHANKAS” benefit plant, whose mining owner is the company EXC TRADING SAC. This infrastructure is used for the evacuation of industrial mining waste (tailings), produced by the copper mineral concentration plant. In this project I was in charge of the geometric design of the tailings dam, where field and office work was carried out to achieve the objective. Among the field works, logistics, support personnel, calibration of topographic equipment, and preparation were planned. photogrammetric survey with the use of topographic Drone with RTK, application of ground control points with the use of differential GPS, and office work such as data download, information organization, and design with the use of engineering software. design, Likewise, various professionals specializing in engineering areas participated in the development of engineering design criteria, such as geology, geotechnics, hydrology, seismicity and hydraulic design, to achieve a design that meets the criteria of physical, chemical and hydrological stability, whose file will be applied in the construction stage, as well as complying with regulations on mining safety and environmental management, guaranteeing the sustainability of the designed infrastructure. As limitations, the area had a harsh climate, winds greater than 10m/s that did not allow drone flight, cloudy skies that lowered the resolution of the photogrammetry, as well as rain in the afternoon. Finally, the study was approved and is in the final stage of construction in which we also carry out topographical controls to avoid deviations from the file.

**Keywords:** Copper Mineral Beneficiation Plant, Mining Tailings, Tailings Deposits, Photogrammetry, RTK (Real Time Kinematic).

## I. INTRODUCCIÓN

El presente informe detalla el diseño geométrico del depósito de relaves 5 de la planta de beneficio de cobre “LOS CHANKAS”, realizado para la empresa EXC TRADING SAC, el cual se ubica en el distrito de José María Arguedas, provincia de Andahuaylas, Región Apurímac, se realizó mediante trabajos de campo y gabinete y el soporte de un equipo multidisciplinario de profesionales, para realizar el estudio de ingeniería respectivos como la Geología, Geotecnia, Hidrología; Sísmica, y Topografía de detalle, En la cual realizamos el diseño geométrico mediante levantamiento fotogramétrico, con puntos de control terrestre, para luego obtener la topografía de detalle, y con los resultados de los estudios de ingeniería proporcionados se realizó el diseño geométrico para su construcción.,

### Objetivo General:

- Realizar la gestión de datos de las áreas de ingeniería
- Realizar el diseño geométrico por fotogrametría y topografía de detalle del depósito de relaves de la planta de beneficio de cobre los Chankas

### Objetivos Específicos:

- Realizar el levantamiento fotogramétrico con el uso de DRONE RTK
- Realizar el levantamiento de puntos de control terrestre con GPS DIFERENCIA para la precisión de la ortofoto
- Realizar el procesamiento de datos con software especializados para obtener los planos de diseño respectivos

### Metodología:

Para el desarrollo del trabajo tomo la siguiente metodología

- Planificación
- Preparación logística
- Reconocimiento en campo



- Plan de vuelo
- Levantamiento en campo
- Gestión de información
- Procesamiento de datos

Importancia: La importancia de esta infraestructura minera radica en garantizar la estabilidad física, química e hidrológica de acuerdo a los estándares de ingeniería y normas técnicas, el cual almacenará los desechos mineros industriales sin valor económico (relaves) producidos por la “Planta de Beneficio los Chankas”, evitando el contacto con los suelos, así como también por procesos de decantación mecánica poder recuperar el agua para recircular en el proceso Esta infraestructura estará cubierta por geomembrana virgen HDPE de alta densidad 1.5mm, la cual impermeabiliza por completo el depósito de relaves, garantizando la estabilidad física, química e hidrológica.

Limitaciones del Estudio: Como limitantes se tuvo el clima agreste la zona, vientos mayores a 10 m/s que no permitían el vuelo del drone, el cielo nublado que baja la resolución de la fotogrametría, así como las lluvias en horas de la tarde, para lo cual se tuvo realizar los trabajos en momentos donde los factores climáticos fueran favorables.

### **1.1. Trayectoria del autor**

Después de la obtención de mi grado académico de bachiller, trabaje en la empresa GEOMINCO SRL, donde estuve como asistente técnico del área de catastro y topografía de detalle en los proyectos que estuvieron a cargo de la empresa durante mi periodo laboral, donde adquirí experiencias y amplié mis conocimientos en el manejo de equipos topográficos, geodésicos, y drones topográficos así como gestión de datos y procesamiento de información para el diseño de infraestructura en obras civiles y proyectos mineros con el uso de herramientas tecnológicas como softwares especializados para el diseño. Actualmente tengo una pequeña empresa personal con la cual brindo servicios profesionales a empresas del rubro

de minería y construcción denominada MINERIA Y CONSTRUCCIONES TELLO E.I.R.L. – “MINERTELL E.I.R.L”. brindando soporte técnico y asesoría de acuerdo a mi alcance profesional.

## **1.2. Descripción de la empresa**

“GEOMINCO SRL”, es una empresa con más de 15 años de experiencia, especializada en brindar servicios de consultoría, diseño y ejecución de proyectos para la industria minera y de la construcción, acreditada por el servicio nacional de certificación ambiental para inversiones sostenibles (SENACE) como consultora ambiental y diseño de ingeniería de detalle, la cual tiene más de 80 empresas en su cartera de clientes.

## **1.3. Áreas y funciones desempeñadas**

Me desempeñe en el área de catastro y topografía y realizando las funciones de asistente de ingeniería, a cargo del equipo de campo y gabinete para el desarrollo de los proyectos a cargo de la empresa, realizando:

- Levantamientos fotogramétricos
- Topografía de detalle,
- Elaboración de mapas temáticos,
- Gestión de datos,
- Procesamiento de la información con el uso de softwares especializados.

## II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECIFICA

### 2.1. Aspectos generales

La empresa Geominco S.R.L. elaboró el expediente de Ingeniería de detalle para el diseño y construcción del depósito de relaves 5 que almacenará los relaves (desechos industriales mineros), provenientes de la planta de beneficio “LOS CHANKAS” de la empresa EXC TRADING S.A.C., para ello en cumplimiento al reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería D.S. N° 024-2016-EM (2016) y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM (2017) se realizó el expediente para la construcción del depósito de relaves 5 y de esta manera se pueda garantizar la estabilidad física, química e hidrológica, para tener una operación segura y evitar la posible falla del dique del depósito de relaves debido al: almacenamiento del relave, presiones hidráulicas y agentes externos o eventos naturales extraordinarios como altas precipitaciones o movimientos sísmicos. Dentro del diseño de ingeniería de detalle, participé en el equipo de diseño geométrico mediante levantamiento fotogramétrico para obtener la topografía de detalle y con la participación de los profesionales especialistas en los diseños de ingeniería geotécnica, sísmica, geológica, hidráulica, se pudo realizar el diseño óptimo que garantice la estabilidad de la presa de relaves.

El proyecto de la planta de beneficio “LOS CHANKAS”, se encuentra ubicado políticamente en el distrito de José María Arguedas, provincia de Andahuaylas de la región Apurímac, superficialmente está comprendido dentro del centro poblado de Huaracopata. Comunidad Campesina de Huancabamba – Chacche - Huaracopata.

La planta de beneficio de minerales “Los Chankas”, no se encuentra localizada en ninguna área natural protegida (ANP) y la zona de amortiguamiento se encuentra a una distancia de 30 km de la ciudad de Andahuaylas, la presa de relaves está ubicada en la parte noroeste de la planta, la huella del proyecto tiene las siguientes coordenadas UTM.

La ubicación en planta del depósito de relaves N° 05 se presenta en el Plano P-01 del Anexo (2.0).

## **2.2. Aspectos de ingeniería para el diseño de la presa**

Para el diseño del depósito de relaves el equipo multidisciplinario de profesionales realizaron los estudios de ingeniería requeridos para el diseño geométrico óptimo de la presa los cuales me proporcionaron la información, hacer la gestión de datos e incluirla en los criterios de diseño para la obtención de los planos de la presa para construcción, así como para la obtención de las autorizaciones respectivas por parte del ministerio de energía y minas.

### **2.2.1. Estudio Geológico**

Determinación de grupos y formaciones geológicas en el área de estudio mediante mapeos realizados y apoyo con información de la carta geológica, para definir la columna estratigráfica. Esta información fue realizada por un geólogo especialista y se me proporciono para hacer los planos temáticos de geología.

### **2.2.2. Estudio de Sismicidad**

Determinación de la aceleración máxima horizontal para diferentes períodos de retorno, con utilización de mapas de isocontornos de aceleración máxima realizados por la universidad nacional de ingeniería.

$$K = \frac{0.50 * a_{max}}{g}$$

Donde:

K : Coeficiente sísmico

$a_{max}$  : Aceleración máxima operada

g : Aceleración de la gravedad ( $9.81 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ g}$ )

$$K = \frac{0.50 * 0.32 \text{ g}}{1 \text{ g}}$$

$$k = 0.16$$

Estos resultados del estudio sísmicos se me proporciono para el modelamiento de estabilidad física del deposito de relaves

### 2.2.3. Estudio Geotécnico

Parámetros de resistencia en esfuerzos totales, obtenidos a partir de ensayos de laboratorio:

Relave Flotación (SM) :  $c = 0.25 \text{ tn/m}^2$ ,  $\varphi = 17.5^\circ$

Dique Compactado (SP) :  $c = 0.50 \text{ tn/m}^2$ ,  $\varphi = 38^\circ$

Cimentación – Suelo Aluvial (SP) :  $c = 0.50 \text{ tn/m}^2$ ,  $\varphi = 38^\circ$

Estos resultados del estudio geotécnico se me proporcionaron para el modelamiento de estabilidad física de la presa

### 2.2.4. Estudio Hidrológico

No existe presencia de escorrentía pluvial en el área de aplazamiento del depósito de relaves debido a la topografía y geomorfología de las subcuencas y/o microcuencas.

Limitando el estudio hidrológico a las máximas precipitaciones y el nivel de agua máximo alcanzando cuando la presa de relaves llegue a su vida máxima.

De acuerdo a la prueba de bondad de ajuste de Smirnov Kolmogorov puede apreciar que la distribución Normal, presenta el mejor ajuste con las series históricas de  $P_{\text{máx}}$  en 24 horas. En tal sentido, se ha optado por considerar solo la distribución Normal para la estimación de  $P_{\text{máx}}$  correspondiente a distintos periodos de retorno, debido a que tiene una mayor precipitación máxima en 24 horas.

Para un tiempo de retorno de **200 años** se tiene una precipitación máxima en 24 horas de **9.31798 mm**.

El cálculo se realizó para determinar el borde libre en caso de una precipitación máxima para lo cual el borde libre sería de 1m desde la corona de la presa.

Estos resultados del estudio hidrológico se me proporcionaron para el diseño del borde libre de la presa de relaves el cual es de 1 metro por debajo de la corona hasta donde se debe realizar la disposición de relaves.

#### **2.2.5. Diseño Geotécnico**

La estabilidad del proyecto depósito de relaves N° 5 está sustentado en el diseño geotécnico, el cual se realizó mediante el análisis de estabilidad de taludes en condiciones estáticas y pseudoestáticas, sin formación de una superficie freática, y con los siguientes criterios de diseño estándar de acuerdo a las normas técnicas relacionados con la estabilidad.

- Mínimo factor de seguridad estático igual a 1.5
- Mínimo factor de seguridad pseudoestático igual a 1.15
- Desplazamientos inducidos por sismos que no comprometan la seguridad del depósito de relaves.

Es necesario precisar que un factor de seguridad pseudoestático mayor a 1.0 no significa ausencia de desplazamientos en el depósito de relaves N° 05 durante un sismo, sino que, ocurrirán desplazamientos permisibles y reparables.

Se analizó la condición de estabilidad de una sección geotécnica crítica y representativa: D-D', correspondiente a la mayor altura del depósito de relaves, para las condiciones siguientes:

- a.1) estabilidad estática sin formación de una superficie freática;
- a.2) estabilidad pseudoestática del caso anterior utilizando un coeficiente sísmico de  $k = 0.16$  congruente con la sismicidad de la zona.

A continuación, se presenta las condiciones de análisis estabilidad

Para los análisis de estabilidad del diseño del depósito de relaves 5 se ha utilizado el programa de cómputo **SLIDE roscience**, basado en el método de equilibrio límite de GLE / Spencer para determinar el mecanismo de falla circular crítico. Este programa emplea un método determinístico de búsqueda para obtener el mecanismo de falla circular con el menor factor de seguridad. En la siguiente tabla se presenta los resultados de análisis de estabilidad.

#### **2.2.6. Diseño Civil**

Para la estabilidad hidrológica del depósito de relaves N° 05 no será necesario la construcción de canales de coronación, debido a que en el área de emplazamiento del depósito de relaves proyectado no existe escorrentía pluvial.

#### **2.2.7. Obras de construcción**

Las obras incluyen trabajos de movimiento de tierras, excavación en terreno natural, conformado del dique de contención, impermeabilización del vaso y taludes internos mediante la colocación de una geomembrana impermeable de HDPE de 1.5 milímetros de espesor y la instalación de la instrumentación geotécnica para el monitoreo durante la vida del proyecto.

Las obras de movimiento de tierras se realizarán con los siguientes equipos:

- EXCAVADORA SOBRE ORUGAS MODELO 325 DLN
- TRACTOR ORUGA MODELO T6R
- VOLQUETES (2) CAPACIDAD 15 M3
- RODILLO MODELO ESTANDAR

Concluido el conformado del vaso y dique del embalse, se realizará la impermeabilización del vaso con una geomembrana lisa HDPE de 1.5 milímetros de espesor, colocada sobre un geotextil no tejido de 270 g/m<sup>2</sup> en las zonas necesarias, finalmente la obra se concluirá con las instalaciones complementarias o conexas se recomienda la impermeabilización de los taludes exteriores con geomembrana HDPE de 0.75 milímetros.

Para la ejecución correcta de la obra se presentan en el presente expediente los planos de diseño a nivel de detalle, con elaboración de planos para la construcción, metrados, costos referenciales, las especificaciones técnicas de construcción y el manual de aseguramiento de la calidad de construcción.

Las obras de construcción del depósito de relaves N° 05 se ejecutarán de acuerdo al cronograma establecido en un tiempo de 90 días calendarios.

El presupuesto de construcción del depósito de relaves N° 05, estructuras conexas e instrumentación geotécnica es de S/.943,130. soles.

### **2.2.8. Diseño Estructural**

Desde el punto de vista estructural, el depósito de relaves proyectado N° 5 es de tipo embalse, formado mediante excavación en terreno natural y la conformación de un dique en forma de cono truncado conformado por material propio de tipo aluvial (SP) compactado con rodillo como mínimo al 90% del ensayo Proctor estándar, construido en una misma fase hasta la cota 3799.20 m.s.n.m., con talud externo e interno de 1.0 H :1.0 V y 0.8 H : 1.0 V respectivamente, ancho de corona uniforme de 5 m y una altura máxima en relleno del dique de 24.70 m. así mismo en la zona de excavación en terreno natural por corte se mantendrá el talud del dique conformado, y el ancho de corona en esta zona será de 4.0 metros. Todo el interior de la presa será impermeabilizado con geomembrana lisa HDPE de 1.5 milímetros de espesor, en la base de la presa y zonas bajas del talud interno la geomembrana será colocada sobre geotextil no tejido de 270 g/m<sup>2</sup> en las zonas que al final de obra se evalúen y consideren necesarias (punzocortantes), para evitar que la geomembrana se dañe en el momento de la instalación y operación debido a la presencia de roca cortada. Así mismo es importante recomendar el forrado externo del talud del dique conformado a fin de evitar la erosión en época de lluvia, Las características geométricas de diseño del depósito de relaves se detallan a continuación:



La capacidad útil de almacenamiento del depósito de relaves 5.4 años considerando una producción continua de relave de 300 toneladas diarias.

Los planos de diseño y construcción se presentan en la sección anexos en las siguientes láminas:

Plano P-03, P-04, P-06, P-06. A, P-07 y P-07. A del Anexo (6.0).

### **Estimación de capacidad de la relavera en caso de precipitaciones máximas.**

Para evaluar si una presa de relaves rebalsará tras una lluvia intensa una vez que ha alcanzado su capacidad de vida útil, es necesario tener en cuenta diversos factores, entre ellos la intensidad y duración de la precipitación, así como la capacidad de almacenamiento de la presa de relaves.

Cálculos:

Datos:

- Precipitación máx. (mm/día) = 9.31798
- Precipitación máx. (m/día) = 0.00931798
- Área de relavera (m<sup>2</sup>) = 16067.08

$$\boxed{\text{Área de relavera (m}^2\text{) * Precipitación máx. (m/día)}}$$

$$16067.08 \text{ (m}^2\text{) * 0.0149.7127301 (m/día)}$$

$$\mathbf{149.7127301 \text{ (m}^3\text{/día)}}$$

En 72 horas (3 días).

$$3 \text{ días * } 149.7127301 \text{ m}^3\text{/día}$$

---


$$1 \text{ día}$$

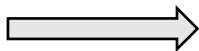
$$\mathbf{449.1381903 \text{ m}^3}$$

- Capacidad total de la presa de relaves (m<sup>3</sup>): 174730.2
- Capacidad útil de la presa de relaves (m<sup>3</sup>): 164201.85

Capacidad total de la presa de relaves (m3) - Capacidad útil de la presa de relaves (m3):
---

174730.2 (m3) - 164201.85 (m3)

**10528.35 (m3)**



10528.35(m3) - 449.1381903(m3)

***10079.21181(m3)***

De acuerdo a los cálculos realizados la presa de relaves ante una precipitación máxima, Es suficiente tener un borde libre final de 1,00 metros como mínimo.

### **2.2.9. Análisis de Estabilidad**

En el análisis de estabilidad del diseño del depósito de relaves N° 5, se ha utilizado el sistema de cómputo SLIDE, asentado en el método de equilibrio límite de GLE / Morgenstern y Spencer para determinar el mecanismo de falla circular crítico. El programa emplea un método determinístico de exploración para conseguir el mecanismo de falla circular con el menor factor de seguridad.

### **2.2.10. Condiciones de Estabilidad Analizadas**

Se analizó la condición de estabilidad de una sección geotécnica crítica y representativa: D-D', correspondiente a la mayor altura del depósito de relaves N° 5, para las siguientes condiciones:

- a.1) estabilidad estática sin formación de una superficie freática;
- a.2) estabilidad pseudoestática del caso anterior utilizando un coeficiente sísmico de  $k = 0.16$ , congruente con la sismicidad de la zona.

### **2.2.11. Resultados Obtenidos**

En las Gráficas 01 al 02 del Anexo (4.0) se presentan las salidas del programa SLIDE por los diferentes métodos de equilibrio límite, que evidencian los análisis de

estabilidad realizados. Dichas salidas contienen información de la geometría de la sección geotécnica representativa D-D analizada, propiedades geotécnicas de los materiales y lugar de la superficie de falla crítica con el menor factor de seguridad. En la Tabla siguiente se presenta un resumen de los resultados obtenidos. Los factores de seguridad conseguidos presentan valores mayores que los mínimos recomendados, tanto en condición estática y pseudoestática.

### **2.3. Obras Auxiliares.**

#### **2.3.1. Sistema de Decantación**

- a) Para evacuar el agua de la poza de decantación del vaso del depósito de relaves N° 5 “”, se utilizará una electrobomba la cual impulsará el agua de decantación hacia una poza de almacenamiento ubicado aguas abajo del depósito de relaves N° 05 y de ésta hacia la planta concentradora para su reutilización.
- b) Con el objeto de acelerar la descarga de la poza de decantación en épocas de máximos eventos y/o extraordinarios de lluvias, se recomienda instalar una barcaza deslizante con dos electrobombas con descarga hacia la poza de almacenamiento, anteriormente mencionada.

#### **2.3.2. Sistema de Drenaje Superficial**

- a) Para garantizar la estabilidad hidrológica e hidráulica a largo plazo del depósito de relaves N° 05, no será necesario la construcción de un canal de coronación y estructuras conexas, debido a que en el área de emplazamiento del depósito de relaves proyectado no existe escorrentía superficial por lluvias.

#### **2.3.3. Impermeabilización del Vaso con Geomembrana**

El interior del depósito de relaves N° 05 será impermeabilizado con una geomembrana lisa HDPE de 1.5 milímetros de espesor, colocada sobre un geotextil no tejido de 270

g/m<sup>2</sup> en las zonas necesarias, para evitar que la geomembrana se dañe por efectos de punzamientos en el momento de la instalación debido a las irregularidades del terreno.

Se recomienda la impermeabilización del talud externo aguas debajo del dique conformado de la presa de relaves con geomembrana HDPE de baja densidad a fin de que las lluvias de temporada no afecten la geometría del dique comprometiendo la estabilidad del mismo. Ver plano 04 Sección Geotécnica de Máxima Pendiente D-D' y Detalles de Anclaje de Geo membrana.

## **2.4. Diseño Geométrico.**

### **2.4.1. Fotogrametría**

La fotogrametría es una técnica de medición que utiliza fotografías para generar planos y mapas de alta precisión. Esta técnica se basa en la geometría y la trigonometría para calcular el tamaño y la ubicación de los objetos en las fotografías, comprende la fotografía aérea y la obtención de modelos de elevaciones, siendo información de referencia básica para la realización de la cartografía y la obtención de información geográfica en general: ocupación del suelo, urbanismo, ordenación del territorio, catastro, gestión forestal, entre otros (Quiroz, 2014).

### **Levantamiento Topográfico a Detalle de la Presa de Relaves 5 en la Planta de Beneficio Los Chankas**

El estudio topográfico se realizó en el área de diseño del proyecto abarcando la huella del proyecto y zonas aledañas a fin de obtener topografía de detalle, con curvas de nivel cada 0.5 centímetros que nos permita realizar el diseño geométrico así como recopilando parámetros en base a los estudios de ingeniería y criterios de diseño, y realizar los cálculos de volúmenes de movimiento de tierras, y características de diseño de la presa, para lo cual se

utilizó un DRONE PHANTON 4 con RTK y GPS DIFERENCIAL marca CHNAV I9, para garantizar la precisión en los cálculos y el diseño.

Para ello se usaron los siguientes equipos:

- GPS diferencial CHCNAV I90
- Colector de datos
- Dron Phantom 4 RTK
- Estación móvil D-RTK 2
- Softwares (trabajo en gabinete)

### **Procedimiento en campo colocación y toma de datos de los puntos de control terrestre GPS diferencial CHCNAV I90.**

El equipo de trabajo se desplazó hacia el área asignada para la construcción de la Presa de Relaves N°05, identificando puntos de referencia e instalando la estación base del GPS diferencial CHCNAV I90.

- Se realizó la configuración precisa del CHCNAV I90, estableciendo estaciones base y móvil. La aplicación Landstar en el colector de datos fue calibrada para asegurar la sincronización adecuada con el GPS.
- Se realizó la colocación de dianas físicas o puntos de control terrestre, registrando coordenadas y altitudes de cada punto de control utilizando el GPS diferencial CHCNAV I90 y la aplicación Landstar, con una precisión de 2mm
- Una vez recolectado los puntos con el GPS diferencial de los puntos de control terrestre se procedió al vuelo del dron.

### **Procedimiento en campo levantamiento fotogramétrico con Dron Phantom 4 RTK**

- Previo al levantamiento fotogramétrico con dron, se realizó en gabinete el plan de vuelo, con el cual se determinó la delimitación del área en coordenadas UTM y se procedió en formato kmz a delimitar el área de vuelo y mediante el microchip se

introdujo esta información en el mando del dron, para que en campo se tenga el área de vuelo configurada.

- Luego, en campo, se procedió a la instalación del Dron Phantom 4 RTK y la estación móvil D-RTK 2. Para lo cual se colocaron las 4 hélices, las baterías tanto del dron como del mando, seguido de ello, se tendió la pista de despegue y aterrizaje, se sacó los seguros de la cámara y se instaló la Estación móvil D-RTK 2 con su trípode y bastón respectivo, colocando la batería y encendiendo el equipo, el cual se utiliza para mejorar la precisión del dron, proporcionando correcciones en tiempo real para las mediciones GNSS.
- Una vez encendido el mando, se configuro el enlace entre mando dron y Estación móvil D-RTK 2 con el DRONE, mediante la aplicación GS RTK, se configuró los parámetros de vuelo, se reconoció el área de vuelo según el plan de vuelo en kmz, se configuró la altura de vuelo, los traslapes, se calibró la brújula del dron, se configuró la cámara y se procedió a dar inicio al vuelo, capturando imágenes y generando datos tridimensionales precisos.
- El vuelo duro aproximadamente 20 minutos, luego de ello el dron aterrizó en la pista de aterrizaje, y se procedió a guardar el equipo.
- Una vez realizado el levantamiento, se culminó el trabajo en campo y se procedió al trabajo en gabinete. La precisión del DRONE RTK es de 1 cm en la horizontal y de 1.5 en la vertical.

#### **Procedimiento en gabinete:**

- Los datos recopilados por el GPS diferencial y el dron se transfirieron al entorno de gabinete. La información se encuentra en el colector de datos (GPS diferencial) y en una memoria MICRO SD (Dron Phantom 4 RTK).

- Se usó el software Agisoft Photoscan Professional para procesar la data obtenida del dron, para luego integrar la información del levantamiento con el GPS diferencial y así obtener un conjunto de datos unificado y preciso, como resultado del procesamiento, se obtuvo la ortofoto georeferenciada con una alta resolución .
- Usando el software Autocad Civil 3D se generó un modelo tridimensional de la Presa de Relaves N° 05, para posteriormente realizar el modelamiento y diseño geométrico de la presa en base a los parámetros proporcionados por el equipo técnico de profesionales en las distintas áreas y realizar un diseño optimo
- Finalmente se generó los planos topográficos detallados, planos temáticos, los cuales son insumos para la construcción de la presa.
- Una vez que inicio la construcción de la presa, se realizaron los controles topográficos con el uso del GS diferencial CHCNAV I90, para controlar que la construcción se lleve de acuerdo a los planos de diseño, y evitar desviaciones en el posicionamiento, cotas, ángulos de talud, etc. Asimismo, se dejaron plantillas para que los operadores puedan tener una guía en cuanto la profundización del vaso de la presa, cota de la corona, ancho de corona, y ubicación del pie de talud final tanto externo como interno.

A continuación, las características técnicas del equipo utilizado:

#### **Softwares utilizados**

- AGISOFT
- AUTOCAD CIVIL 3D
- GS RTK APP

#### ***2.4.2. Puntos de Monitoreo Geotécnico***

El objetivo del depósito de relaves 5 "Sector Este" es garantizar un almacenamiento seguro de los relaves tanto durante como después de la operación. Es fundamental que el dique

cuenta con medidas de seguridad adecuadas para prevenir cualquier fallo catastrófico, especialmente en respuesta a los sismos esperados en el área. Se deben implementar medidas de diseño y construcción que aseguren la resistencia del dique ante posibles eventos sísmicos, protegiendo así la integridad del depósito y minimizando los riesgos asociados.

#### **a) Puntos de Monitoreo de Nivel Freático**

Dado que la presencia de áreas con posible saturación en los taludes del dique del depósito de relaves es un factor fundamental para garantizar su estabilidad, es necesario instalar piezómetros hidráulicos de PVC con un diámetro de 2" en el dique de la relavera N°05. Se recomienda realizar lecturas trimestrales del nivel freático en los piezómetros instalados, lo cual permitirá un monitoreo regular y preciso de las condiciones de saturación. Esta práctica de seguimiento periódico es esencial para detectar cualquier variación significativa en el nivel freático y tomar las medidas apropiadas en caso de observar condiciones que puedan comprometer la estabilidad del dique. Asimismo, este enfoque contribuirá a la prevención de posibles problemas de seguridad y riesgos asociados con la saturación en los taludes del depósito de relaves. La denominación y ubicación de los piezómetros se presenta a continuación en la tabla siguiente.

#### **b) Puntos de Monitoreo Topográfico**

Con el propósito de llevar un seguimiento de posibles movimientos o desplazamientos en el dique durante el proceso de almacenamiento de relaves, se recomienda realizar controles mensuales en relación a los 02 hitos de concreto previamente instalados. Para garantizar una medición precisa del asentamiento o movimiento de los hitos, se utilizará un sistema de control topográfico basado en puntos de referencia estables, empleando un GPS Diferencial.

Este enfoque de monitoreo regular permitirá detectar cualquier cambio significativo en la posición de los hitos y proporcionará una indicación temprana de posibles problemas de



estabilidad en el dique. Al utilizar tecnología GPS Diferencial, se garantiza la precisión de las mediciones y se minimiza la posibilidad de errores. Asimismo, se recomienda mantener una base de datos actualizada con los registros de control, lo cual facilitará la comparación de mediciones a lo largo del tiempo y respaldará la toma de decisiones informadas respecto a la seguridad del dique de relaves. La ubicación de los hitos de concreto en el dique del depósito de relaves N° 05 “Sector Este” se presenta a continuación.

#### **c) Equipo a Emplear**

El dispositivo utilizado para medir el nivel de agua es una sonda eléctrica portátil que cuenta con un cable graduado. Esta sonda está equipada con un sensor que emite un sonido cuando entra en contacto con el agua.

#### **d) Ubicación**

La ubicación de los piezómetros hidráulicos será en la corona del dique del depósito de relaves N° 05 “Sector Este”, cuyas coordenadas se presentan a continuación.

### **2.4.3. *Hitos de Concreto***

Los hitos son estructuras de concreto armado, ubicados en la parte superior del dique del Depósito de Relaves N° 05 "Sector Este", que tienen diferentes alturas y están diseñados para permitir la colocación de prismas o equipos de topografía. Estos hitos permiten realizar mediciones precisas en la superficie del dique.

#### **a) Frecuencia de Monitoreo**

El monitoreo de movimientos se llevará a cabo mensualmente para medir los desplazamientos en las direcciones X, Y y Z. Se establecerá una medición inicial como punto de referencia para evaluar los cambios en el tiempo. Se recomienda utilizar formatos de monitoreo para mantener la información ordenada y registrada de manera sistemática.

#### **b) Procedimiento de Monitoreo**

Para realizar el monitoreo de los hitos de control, se empleará un sistema de GPS Diferencial. Se colocará la estación GPS en los puntos de control geodésico base, mientras que en los hitos de las estaciones se colocarán prismas. Utilizando el método de reiteración, se medirán las coordenadas X, Y, Z y los ángulos con una precisión de 3 decimales. Este método ayuda a aumentar la precisión al subdividir el error de lectura y reducir el efecto de posibles errores residuales de la graduación del instrumento.

Además, se crearán curvas que permitirán evaluar la evolución de los desplazamientos a lo largo del tiempo.

### **c) Equipo a Emplear**

Para el control de movimientos se recomienda utilizar un GPS Diferencial (con certificado de calibración acreditada) y accesorios.

### **d) Ubicación**

La ubicación de los hitos de concreto armado será en la corona del dique del depósito de relaves N° 05 “Sector Este”, cuyas coordenadas se presentan a continuación.

### **III. APORTES MÁS DESTACABLES A LA EMPRESA O INSTITUCIÓN**

Dentro de los aportes más destacados a la empresa está:

- El soporte técnico, en Geodesia, mediante la colocación de puntos geodésicos de control de orden c, así como el control de obra a nivel de cotas y dimensiones en la etapa constructiva.
- Soporte técnico en Fotogrametría, mediante el uso de drones topográficos con RTK con lo cual se obtienen ortofotos georreferenciadas con lo cual se pueden realizar diseños de infraestructura y componentes a instalar, así como se puede extraer información importante para los proyectos de la empresa.
- Soporte técnico en Catastro y Topografía de detalle, se realizó catastro para proyectos ambientales que llevo adelante la empresa, así como topografía de detalle el cual fue insumo importante para el área de ingeniería y diseño logrando cumplir con las especificaciones técnicas de los contratos y la satisfacción del cliente.
- Soporte en gestión de datos y procesamiento de información TOPOGRAFICA Y GESODESICA con el uso de software especializados, conducentes al diseño de infraestructura en obras civiles y minería.
- Elaboración de mapas temáticos para los estudios ambientales como mapas hidrológicos, zonas de vida, uso de suelos, climáticos etc.
- Obtención de datos técnicos a través de sistemas de información geográfica, a través de los sistemas de información geográfico se obtuvo información relacionada a cuencas, ríos, centros poblados, zonas de producción, áreas restringidas información que se suministra al área de ingeniería para la toma de decisiones.

#### **IV. CONCLUSIONES**

Como conclusión del presente trabajo se logró realizar un diseño óptimo cuyos factores de seguridad son positivos tanto a nivel estático como pseudoestático (en condiciones sísmicas), que garantiza la estabilidad física de la presa de relaves, logrando los estándares de diseño, garantizando la seguridad para el entorno y el equilibrio ambiental, la empresa titular de la planta de beneficio de minerales de cobre podrá verter los desechos industriales mineros (relaves) a esta infraestructura la cual garantiza una operación sostenible, y acorde a la normativa vigente.

## **V. RECOMENDACIONES**

Se recomienda en la etapa constructiva del depósito de relaves seguir el diseño de ingeniería del expediente, así como realizar controles periódicos, tanto topográficos como geotécnicos, para evitar el desvío de los parámetros de diseño, y durante la etapa de operación realizar controles geotécnicos, topográficos y operativos que garanticen la estabilidad de la estructura en el tiempo, evitando posibles daños generados por agentes externos o fenómenos naturales extremos, así como cumplir con la etapa de cierre una vez que la infraestructura llegue a su vida útil.

## VI. REFERENCIAS

- Ministerio de Energía y Minas (2016). Decreto Supremo N°024-2016-EM del 28 de julio de 2016. Que aprueba Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería. Diario Oficial El Peruano (2016). <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1409579-1>
- Ministerio de Energía y Minas (2017). Decreto Supremo N° 023-2017-EM del 18 de agosto de 2017. Que modifica diversos artículos y anexos del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, aprobado por Decreto Supremo N° 024-2016-EM. Diario Oficial El Peruano (2017). <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1555418-2>
- Quirós, E. (2014). Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil (1ª ed.). Universidad de Extremadura, Servicio de Publicaciones. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=571955>