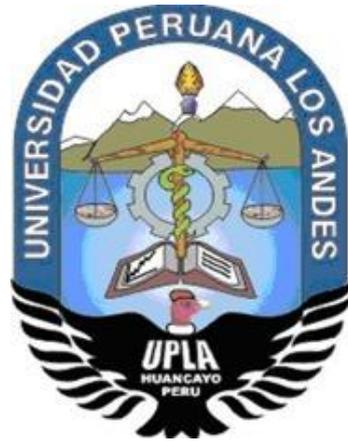


**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**MODELO NUMÉRICO DEL COMPORTAMIENTO  
ESTRUCTURAL DE UNA PRESA DE DEPÓSITO DE  
RELAVE MINERO**

**Línea de investigación institucional:**  
Salud y Gestión de la Salud.

**Línea de investigación por programa de estudios:**  
Hidráulica y Medio Ambiente

**Presentado por:**

**Bach. CHUPAYO RIVERA JEFFREY MIGUEL**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**Huancayo – Perú**

**2022**

---

**Ing. Vladimir Ordoñez Camposano**  
**ASESOR**

## **DEDICATORIA**

A Dios por concederme la dicha de tener unos padres maravillosos Marlene y Miguel que son parte fundamental para mi realización como profesional y por estar en cada momento importante que fue clave para mi profesión.

Especialmente a mi padre Miguel Ángel Chupayo Meneses por ser mi fortaleza ahora que te encuentras en el cielo guiando mi vida profesional.

**Bach. Chupayo Rivera, Jeffrey Miguel**

## **AGRADECIMIENTO**

A la plana docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Los Andes por brindarme sus conocimientos así poder realizarme como un profesional.

A mi novia Clavia Zapana Pilco y mi hijo Alessandro, por ser el motivo de seguir con mi vida profesional.

**Bach. Chupayo Rivera, Jeffrey Miguel**

## HOJA DE CONFORMIDAD DE LOS JURADOS

---

Dr. Rubén Darío Tapia Silguera  
PRESIDENTE

---

Ing. Edmundo Muñico Casas  
JURADO

---

Ing. Carlos Alberto Gonzales Rojas  
JURADO

---

Mg. Rando Porras Olarte  
JURADO

---

Mg. Leonel Untiveros Peñaloza  
SECRETARIO DOCENTE

## INDICE

<b>ASESOR</b> .....	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>iv</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>2</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>5</b>
<b>1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>5</b>
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	5
1.2 FORMULACIÓN DEL "PROBLEMA".....	6
1.2.1 Problema General.....	6
1.2.2 Problemas Específicos.....	6
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.3.1 Justificación Social.....	7
1.3.2 Justificación Científica.....	7
1.3.3 Justificación Metodológica.....	7

1.4	DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	8
1.4.1	Delimitación Espacial .....	8
1.4.2	Delimitación Temporal .....	9
1.5	LIMITACIONES.....	9
1.5.1	Limitación Económica .....	9
1.6	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	10
1.6.1	Objetivo general.....	10
1.6.2	Objetivos específicos. ....	10
	<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>11</b>
	<b>2 MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
2.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
2.1.1	Antecedentes Internacionales.....	11
2.1.2	Antecedentes Nacionales .....	13
2.2	MARCO CONCEPTUAL. ....	16
2.2.1	Definición de Presas. ....	16
2.2.2	Componentes de una presa.....	16
2.2.3	Tipos de Presas. ....	18
2.2.4	Modelo Numérico del Comportamiento de una Presa. ....	23
2.2.5	Relave Minero.....	27
2.2.6	Tipos de relaves.....	38
2.2.7	Sistema de Construcción. ....	42
2.3	DEFINICIONES DE TÉRMINOS.....	45
2.4	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS .....	47
2.4.1	Hipótesis general .....	47

2.4.2	Hipótesis específicas .....	47
2.5	VARIABLES .....	47
2.5.1	Definición conceptual de las variables .....	47
2.5.2	Definición operacional de las variables.....	48
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>50</b>
<b>3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>		<b>50</b>
3.1	MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN .....	50
3.2	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	50
3.3	NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN .....	50
3.4	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	51
3.5	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	51
3.5.1	Población .....	51
3.5.2	Muestra.....	51
3.6	TÉCNICAS.....	51
3.7	INSTRUMENTOS.....	52
3.8	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	52
3.9	TECNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS.....	52
<b>CAPITULO IV .....</b>		<b>54</b>
<b>4. RESULTADOS .....</b>		<b>54</b>
4.1	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	54
4.1.1	Diseño estructural .....	54
4.1.2	Etapas Constructivas.....	87
<b>CAPITULO V .....</b>		<b>92</b>
<b>5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>		<b>92</b>

5.1 DISCUSIÓN DE RESULTADOS CON ANTECEDENTES INTERNACIONALES .....92

5.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS CON ANTECEDENTES NACIONALES... 94

**CONCLUSIONES .....98**

**RECOMENDACIONES .....99**

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 100**

**ANEXOS ..... 103**

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1:</b> Relación del porcentaje de sólidos con el volumen de agua por tonelada. .....	31
Tabla 2.2: Característica del Depósito en Pasta .....	40
<b>Tabla 2.3:</b> Principales Mineras y su Producción de Filtrado de Relave .....	41
<b>Tabla 2.4:</b> Operacionalización De Variables.....	49
<b>Tabla 4.1.</b> Coeficientes Sísmicos K Recomendados para el Análisis Pseudo- Estático .....	56
<b>Tabla 4.2:</b> Resumen de Factores de Seguridad Mínimos Recomendados.....	59
<b>Tabla 4.3:</b> Granulometría del Suelo por Tamizado NTP 339.128 (1999)-ASTM D422 .....	60
<b>Tabla 4.4:</b> Limite Líquido NTP 339.129 (2014).....	61
<b>Tabla 4.5:</b> Limite Plástico NTP 339.129 (2014) .....	62
<b>Tabla 4.6:</b> Ensayo de Proctor Modificado – Compactación .....	63
<b>Tabla 4.7:</b> Ensayo de Proctor Modificado – Humedad (%).....	64

<b>Tabla 4.8:</b> Características del Relave Grueso .....	65
<b>Tabla 4.9:</b> Características del Relave Fino .....	65
<b>Tabla 4.10:</b> Prueba de Densidades con Cono de Arena – Relave Grueso y Fino	66
<b>Tabla 4.11:</b> Parámetros de Resistencia de Materiales de la Presa .....	71
<b>Tabla 4.12:</b> Factores de Seguridad obtenidos – Condición Estática .....	86
<b>Tabla 4.13:</b> Factores de Seguridad obtenidos – Condición Sísmica .....	86
<b>Tabla 4.14:</b> Factores de Seguridad obtenidos – Condición Sísmica .....	88
<b>Tabla 4.15:</b> Requerimiento Mínimo de los Materiales a Compactar. ....	89
<b>Tabla 4.16:</b> Numero de Capas por Cada Fase a Compactar según el Material. ..	90
<b>Tabla 4.17:</b> Numero de Capas por Cada Fase a Compactar según el Material. ..	91

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 La Presa de Relave Minero-tiene la ubicación en la Región Junin .....	8
Figura 1.2 La Presa de Relave Minero- tiene la ubicación en la Provincia Chanchamayo .....	9
Figura 1.3 Ubicación de la Presa de Relave Minero-Distrito .....	9
Figura 2.1 Elementos Principales De Una Presa De Tierra. ....	17
Figura 2.2 Presa en Arco. ....	20
Figura 2.3 Presa de Gravedad. ....	20
Figura 2.4 Presa Mixta. ....	21
Figura 2.5 Presa de Tierra. ....	22
Figura 2.6 Presa de Roca - Tierra .....	22
Figura 2.7 Modelos 1D, 2D y 3D. ....	24
Figura 2.8 Ejemplos de simulaciones unidimensionales en HEC-RAS. ....	25
Figura 2.9 Simulación del Aliviadero de una Presa en FLOW-3D.....	26

Figura 2.10 Diagrama De Flujo Del Procesamiento De Minerales.....	30
Figura 2.11 Tipos De Disposición De Relaves De Acuerdo A Su Contenido De Agua. .....	31
Figura 2.12 Clasificación De Relaves Mediante Hidrociclón .....	33
Figura 2.13 Vista Frontal De Un Depósito De Relaves Filtrados.....	34
Figura 2.14 Vista Superior De Un Depósito De Relaves Filtrados .....	34
Figura 2.15 Esquema De Un Hidrociclón Para La Separación De La Fracción ....	35
Figura 2.16 Relave Espesado Según El Método De Robinsky. Adaptado De “Guía Técnica De Operación Y Control De Depósitos De Relaves” .....	38
Figura 2.17 Esquema De Depósito De Relave En Pasta. ....	39
Figura 2.18 Mina San Rafael, Puno .....	40
Figura 2.19 Depósito de relave filtrado, Tambomayo-Arequipa .....	41
Figura 2.20 Método De Construcción Aguas Arriba.....	43
<b>Figura 4.1</b> Pesado del Suelo Humedo en la Capsula.....	61
<b>Figura 4.2.</b> Diagrama de fluidez. ....	62
<b>Figura 4.4.</b> Densidad Máxima Seca vs % Humedad .....	64
<b>Figura 4.5</b> Tamizado de la Muestra de Relave.....	66
<b>Figura 4.6</b> Método de las Dovelas.....	68
<b>Figura 4.7</b> Nivel Freático (W)	70
<b>Figura 4.8</b> Ubicación de las secciones 1-1 y 2-2 utilizados en el análisis de estabilidad.....	72
<b>Figura 4.9:</b> Depósito de Relaves “La Esperanza” – Sección 1-1 – Estático - Falla Global.....	74

<b>Figura 4.10:</b> Depósito de Relaves “La Esperanza” – Sección 1-1 – Pseudo Estático Tr=100 años - Falla Global.....	75
<b>Figura 4.11:</b> Depósito de Relaves “La Esperanza” – Sección 1-1 – Pseudo Estático Tr=500 años - Falla Global.....	76
<b>Figura 4.12:</b> Depósito de Relaves “La Esperanza” – Sección 1-1 – Estático - Falla Local .....	77
<b>Figura 4.13:</b> Depósito de Relaves “La Esperanza” – Sección 1-1 – Pseudo Estático Tr=100 años – Falla Local.....	78
<b>Figura 4.14:</b> Depósito de Relaves “La Esperanza” – Sección 1-1 – Pseudo Estático Tr=500 años - Falla Local .....	79
<b>Figura 4.15:</b> Depósito de Relaves “La Esperanza” – Sección 2-2 – Estático - Falla Global.....	80
<b>Figura 4.16:</b> Depósito de Relaves “La Esperanza” – Sección 2-2 – Pseudo Estático Tr=100 años – Falla Global.....	81
<b>Figura 4.17:</b> Depósito de Relaves “La Esperanza” – Sección 2-2 – Pseudo Estático Tr=500 años - Falla Global.....	82
<b>Figura 4.18:</b> Depósito de Relaves “La Esperanza” – Sección 2-2 – Estático - Falla Local .....	83
<b>Figura 4.19:</b> Depósito de Relaves “La Esperanza” – Sección 2-2 – Pseudo Estático Tr=100 años – Falla Local.....	84
<b>Figura 4.20:</b> Depósito de Relaves “La Esperanza” – Sección 2-2 – Pseudo Estático Tr=500 años - Falla Local .....	85
<b>Figura 4.21:</b> Sección 2-2 Presa de Relave La Esperanza, Corona Final Cota 955.60 msnm .....	88

## **RESUMEN**

La presente investigación tuvo como problema general: ¿Cuál es el modelo numérico del comportamiento estructural de la presa de depósito de relave minero de la unidad minera San Vicente, distrito de Vitoc, provincia de Chanchamayo, departamento de Junín?, el objetivo general fue la Determinación del modelo numérico del comportamiento estructural de la presa La Esperanza de la unidad minera San Vicente y la hipótesis general fue: La composición del relave varía significativamente en el modelo numérico del comportamiento estructural de la presa de depósito de relave minero

El método de estudio de esta investigación presenta un enfoque cuantitativo, el tipo de estudio fue el aplicado de nivel descriptivo y de diseño no experimental. La población y muestra está constituida por la presa de relave minero La Esperanza, manejada por la empresa minera San Ignacio de Morococha.

La conclusión de la investigación radica en la influencia de composición del relave minero en los modelamientos y por ende en el modelo numérico.

**PALABRAS CLAVES:** Presa, relave, modelo numérico.

## **ABSTRACT**

The general problem of this research was: What is the numerical model of the structural behavior of the tailings dam of the San Vicente mining unit, Vitoc district, Chanchamayo province, Junín department? The general objective was the determination of the numerical model of the structural behavior of the La Esperanza dam of the San Vicente mining unit and the general hypothesis was: The tailings composition varies significantly in the numerical model of the structural behavior of the tailings dam of the San Vicente mining unit.

The method of study of this research presents a quantitative approach, the type of study was the applied descriptive level and non-experimental design. The population and sample consisted of the La Esperanza tailings dam, managed by the San Ignacio de Morococha mining company.

The conclusion of this research lies in the influence of mine tailings composition in the modeling and therefore in the numerical model.

**KEY WORDS:** Dam, tailing, numerical model

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación se realizó mientras se desarrollaba la evaluación del recrecimiento del depósito de relaves, desde el cual se realiza el diseño para la verificación del comportamiento estructural de la presa de relaves mineros La Esperanza, perteneciente a la provincia de Chanchamayo, ubicado en las inmediaciones del departamento de Junín, la zona de estudio se encuentra a una altitud de 920 msnm, la evaluación del comportamiento estructural se realizó en los años 2020 y 2021, así mismo esta investigación fue elaborada con la finalidad de aportar y plantear una propuesta de diseño sobre su comportamiento estructural de una presa de relaves minero.

La inestabilidad de taludes en la presa de relaves es el proceso geológico con más incidencia en nuestro país; de los cuales, el 98% de incidencia no fueron determinadas con anticipación, concluyendo así de tal manera que los deslizamientos de masas causan cuantiosas pérdidas económicas y en muchos casos pérdidas humanas, asimismo se cuenta con un silencio sísmico desapercibido dentro de la región Junín.

Las ocurrencias de dichos eventos tienen como causales la realización de factores internos como la topografía, geología, humedad del suelo, etc. Así como de factores externos como el clima y eventos sísmicos, que en su relación con los desastres naturales repercuten negativamente en el ámbito social, natural y

económico. En consecuencia, recae la necesidad de identificar y determinar el estado y el análisis mediante métodos pseudo estáticos y pseudo dinámicos de la presa de relave, en la cual se verá el factor de seguridad actual que posee dicha presa de relave y las condiciones con la cual debería de estar.

Se debe evaluar la situación actual de la presa de relave minero que se estudiará en el comportamiento estructural de dicho depósito.

El desarrollo de la investigación se ha estructurado en 5 capítulos, que son los siguientes:

**EL CAPÍTULO I.-** Se detalla el planteamiento del problema, el problema general, los problemas específicos, el objetivo general, los objetivos específicos de la investigación, la justificación de la investigación y las limitaciones de la investigación.

**EL CAPÍTULO II.-** Se desarrolla los antecedentes internacionales y nacionales de la investigación, el marco teórico, también se detalla el marco teórico, las definiciones de los conceptos más relevantes y la formulación de hipótesis.

**EL CAPÍTULO III.-** Se precisa la metodología empleada para la presente investigación, asimismo se identifican las variables dependiente e independiente, el método, el tipo, el nivel y el diseño de la investigación, se prosigue con el reconocimiento tanto de la población y la muestra empleada, finalmente se realiza la Operacionalización de variables.

**EL CAPÍTULO IV.-** Presenta el desarrollo de los resultados donde se muestra los resultados obtenidos en el laboratorio y su proceso de cálculo para el análisis representativo.

**EL CAPÍTULO V.-** Se presenta la discusión de resultados con todos los antecedentes tomados en el capítulo II.

**Bach. Chupayo Rivera, Jeffrey Miguel**

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

Actualmente la construcción de presas de relave minero se basa en resultados de estudios que ya no forman parte de la realidad, sin considerar nuevos aspectos como el cambio climático, reglamentaciones ambientales, precisión en los cálculos con software y nuevas exigencias de seguridad para estas construcciones; es necesario poder determinar un análisis más detallado del comportamiento estructural de las presas de relaves mineros, consiguiendo así una forma más analítica y real del comportamiento para poder evitar muchos problemas ambientales que los relaves mineros generan.

Es por ello que ante la necesidad de poder enfatizar mejor el comportamiento real de una presa de relave minero, se determina el uso de un modelo numérico que nos permita determinar los puntos de mayor deficiencia en toda la presa y así poder prevenir desastres como lo ocurrido en la empresa minera Doe Run en la ciudad de Huancavelica, donde el colapso de esta presa vertió el relave minero al río Mantaro afectando

notablemente a las zonas aledañas dedicadas a la agricultura y la ganadería por una sobre carga de relave en dicho punto.

Los diferentes desastres que ocurren en nuestro medio ambiente afectan incidentemente en la agricultura, ganadería y a los diferentes animales salvajes oriundos de cada zona. Asimismo, existe una dependencia de fuentes de agua tanto para abastecer los sembríos como para poder mantener una fauna estable, es por ello que este tipo de desastres afecta de manera absoluta a casi todo tipo de vida presente en las cercanías y probablemente acarree más área de influencia a medida que las fuentes de agua discurren llevando en sus lechos elementos químicos nocivos presentes en los relaves.

Siendo la minería una industria creciente y presentándose como el motor de la economía peruana y colocando en contraste la importancia de explotar los recursos haciendo el menor daño posible, es que se plantea una alternativa de prevención para un mejor diagnóstico de los posibles puntos de colapso de los depósitos de relave minero.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL "PROBLEMA**

### **1.2.1 Problema General**

¿Cuál es el modelo numérico del comportamiento estructural de la presa de depósito de relave minero de la unidad minera San Vicente, Distrito de Vitoc Provincia de Chanchamayo Departamento de Junín?

### **1.2.2 Problemas Específicos**

- a) ¿Cómo es el comportamiento y diseño estructural frente al recrecimiento de la presa de depósito de relave minero?
- b) ¿Qué etapas constructivas se debe de seguir para el correcto comportamiento estructural de la presa de relave minero?
- c) ¿Cuál es la influencia de los resultados de los ensayos de laboratorio y campo en el diseño de la presa de relave minero?

## **1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Se pretende proponer una alternativa de análisis para poder mejorar la capacidad y la estabilidad de la presa de relave a fin de poder mejorar su comportamiento estructural y poder determinar a través del modelo numérico los puntos que son afectados con mayor incidencia en el depósito de relave.

### **1.3.1 Justificación Social**

Este estudio pretende mejorar las condiciones de requerimiento a mayores necesidades, conservando el medio ambiente y cumpliendo un rol de protección hacia la población en relación a la seguridad ambiental. Debido al aspecto práctico corresponde si la investigación determina un problema real y de ser el caso, de tener relación con otros problemas prácticos (Hernández, Fernández, & Lucio, 2006).

### **1.3.2 Justificación Científica**

La justificación teórica se avala en la norma técnica E 020, la cual presenta valores de las cargas dentro de rangos a los cuales estará expuesto el recrecimiento de la presa, para el mejor análisis del comportamiento según el ámbito de estudio. Asimismo, la norma estipula los requerimientos mínimos que se tiene que cumplir para recaer en una estabilidad adecuada.

### **1.3.3 Justificación Metodológica**

Con la presente investigación se pretende dejar una alternativa en el proceso metodológico que nos ayude en cuanto a los instrumentos de recolección de datos, el cual corresponde a la observación del grado de correlación y a las fichas para el reporte de los resultados obtenidos, dichas fichas servirán como un antecedente que pueden ser utilizadas en futuras investigaciones, relacionadas a la intervención de presas de relave minero.

## 1.4 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.4.1 Delimitación Espacial

La delimitación para la presente investigación se realizará en el depósito de relave minero ubicada a una altitud de 920 msnm, delimitado en la zona selva a la margen derecha del valle del río Tulumayo, donde se presenta una actividad constante de la empresa minera San Ignacio de Morococha en la unidad minera San Vicente, logrando amplificar su capacidad actual y aun no determinando el comportamiento estructural de esta presa, siendo un problema sobre el recrecimiento de la capacidad de la presa de relave minero, con el fin de poder determinar un modelo numérico que pueda a su vez establecer el comportamiento estructural actual de la presa de relave minero la Esperanza.



Figura 1.1 La Presa de Relave Minero-tiene la ubicación en la Región Junin

FUENTE: Imágenes Google



Figura 1.2 La Presa de Relave Minero- tiene la ubicación en la Provincia Chanchamayo  
 FUENTE: Imágenes Google

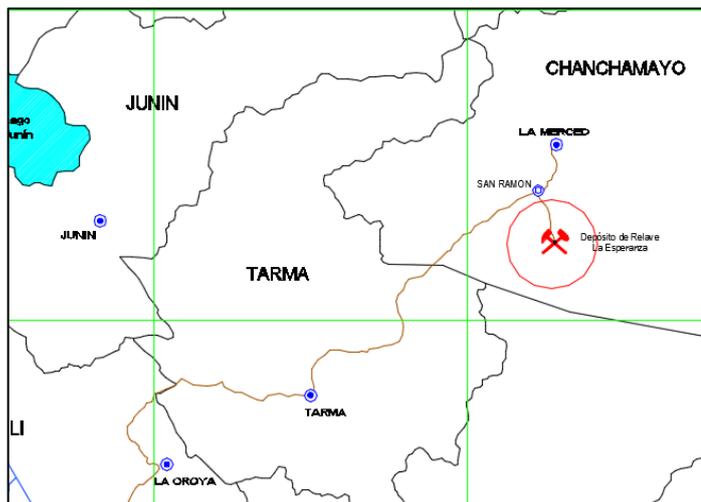


Figura 1.3 Ubicación de la Presa de Relave Minero-Distrito  
 FUENTE: JMF ingenieros

### 1.4.2 Delimitación Temporal

En el siguiente estudio se desarrolla en el mes de diciembre del año 2020 y enero, febrero y marzo del 2021.

## 1.5 LIMITACIONES

### 1.5.1 Limitación Económica

El estudio se realizó con propios recursos, no hubo financiamiento externo de ninguna entidad pública y/o privada.

## **1.6 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.6.1 Objetivo general**

Determinar el modelo numérico del comportamiento estructural de la presa de depósito de relave minero de la unidad minera San Vicente, distrito de Vitoc, provincia de Chanchamayo, departamento de Junín

### **1.6.2 Objetivos específicos.**

- a) Desarrollar el comportamiento y diseño estructural frente al recrecimiento de la presa de depósito de relave minero.
- b) Determinar las correctas etapas constructivas para el buen comportamiento estructural de la presa de relave minero.
- c) Identificar la influencia de los resultados de los ensayos de laboratorio y campo en el diseño de la presa de relave minero.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1 Antecedentes Internacionales

(Ortiz Quizhpi & Portilla Flores, 2015) presentaron la tesis de pregrado **Titulado:** Estudio de estabilidad de los taludes de las presas del proyecto Pacalori, teniendo en cuenta la acción sísmica, el cual fija como objetivo **general:** Determina el proceso del cálculo de la estabilidad de los taludes de las presas de tierra del proyecto PACALORI, para los tres estados de carga, considerando la acción sísmica, empleando la **metodología:** Cuantitativa con un tipo de investigación aplicada de nivel explicativo con un diseño experimental, obteniendo como **resultado:** La pendiente de 1:3, para el talud aguas arriba y 1:2.75 con colchón de drenaje para el talud aguas abajo, y finalmente **concluyeron:** Mencionando que los taludes diseñados de la presa Chojampe 2, son seguros, estables y económicos.

(Ortega Belda, 2016), presentó la tesis de pregrado **Titulado:** El proceder del flujo de lodos mineros de la presa se nombra a Peña del Águila, el cual fija como **objetivo general:** Calificar el comportamiento reológico y define las características físico-químicas de los depósitos de lodos denominados “Peña del Águila”, empleando la **metodología:** Cuantitativa con un modelo de investigación efectuada a nivel explicativo con un diseño experimental, obteniendo como **resultado:** El índice mayor de ocurrencia de falla en presas de tierra se presentó entre los años de 1900 a 1919, donde las alturas de las cortinas oscilaba de entre los 15 a 30 m, y finalmente **concluyó:** Mencionando la estructuración del modelo, sólo se consideraron las variables de mayor influencia para el colapso de presas de tierra.

(Gonzalo Alberto, 2015) presentó la tesis de posgrado **Titulado:** Análisis sísmico 2d de una presa de relaves espesados considerando la existencia de grietas por desecación, el cual fija como **objetivo general:** Define la sismicidad histórica del lugar de emplazamiento de la obra en cuestión, para definir el sismo de diseño, aceleraciones máximas, empleando la **metodología:** Cuantitativa con un modelo de investigación aplicada de nivel explicativo con un diseño experimental, obteniendo como **resultado:** El cambio entre el modelo homogéneo y las realizaciones del caso agrietado para profundidades mayores a los 12 m se reducían notablemente, lo que se condice con investigaciones anteriores, y finalmente **concluyó:** Mencionando que el método desarrollado para que la generación de grietas permite considerar la tendencia de las grietas preexistentes de seguir asia la capa superior.

(Cancela Rey, 2015) presentó la tesis de posgrado **Titulado:** Conducta geotécnica la presa de residuo descendió la acción estática y dinámica, el cual fija como **objetivo general:** Concepción de un plan de ensayo genérico que define las propiedades de los residuos mineros, mediante el uso de equipos de laboratorio, o no, empleando

la **metodología** Cuantitativa con un tipo de investigación aplicada de nivel explicativo, obteniendo como **resultado**: Nos muestran que prácticamente no hay efectivo y que el ángulo de fricción efectivo varía entre  $40^\circ$  en los residuos gruesos y entre  $28$   $32^\circ$  en el residuo fino, y finalmente **concluyó**: Mencionando sobre el grado de consolidación afecta significativamente las propiedades de resistencia al corte de residuos, cuanto más y más más denso, menos deformable y más.

(Tuco Huarahuara, 2016) presento la tesis de pregrado **Titulado**: Estabilidad de taludes en la presa de colas Agua Dulce en Potosí, Bolivia, el cual fija como **objetivo general**: Analizar el que propone diferenciar los modelos según cuatro parámetros: geometría de la sección, drenaje, condición de carga y método de análisis, empleando la **metodología** Cuantitativa con un tipo de investigación aplicada de nivel explicativo con un diseño experimental, obteniendo como **resultado**: Los resultados en todos los casos son mayores al 1.5 requerido en el boliviano , garantizando así la estabilidad y seguridad del tranque de relaves de Agua bajo las condiciones de carga propuestas, apreciando además que los resultados del modelo 2 son cuantitativamente similares entre sí y las variaciones entre cada condición de carga son mínimas, y finalmente **concluyó**: Las características que influyen en la estabilidad y seguridad de la pendiente de la presa, en orden decreciente de importancia, son : presencia de una superficie de infiltración en la presa , la posición del conducto de flujo libre bajo las condiciones de drenaje modeladas, propiedades geotécnicas de los relaves almacenados y variación de la presa, en comparación con las pendientes proyectadas.

### 2.1.2 Antecedentes Nacionales

(Osorio Mogollón & Navarro Zavala, 2018) presentaron la tesis de grado titulada: Análisis comparativo de deformaciones sísmicas en la presa de en Abandono Yauliyacu Nuevo titulada, donde se fija como

**objetivo general:** La evaluación del comportamiento de la presa enfocándose netamente en la dinámica estructural de presas, especialmente incidió su estudio en una presa abandonada estimando las deformaciones mediante métodos simples como la utilización de elementos finitos, empleando la **metodología:** En el presente trabajo de investigación es descriptivo y explicativo, obteniendo como **resultado:** Debido a que el desplazamiento respecto a la altura de la presa de relave (83.40 m) no supera el 1% en ningún método que fue estudiado, y finalmente **concluyeron:** El programa Seismo Match demostró que existe una convergencia menor del 20% entre el espectro de peligro sísmico y los acelerogramas utilizados.

(Cabrera Boñón, 2018) presentó la tesis de pregrado **Titulado:** Análisis del sistema de monitoreo para el control de estabilidad de la presa de relaves, U.M. Yauricocha, el cual fija como objetivo general: Evaluar y comparar tres alternativas de proyecto de presa el posterior, análisis y elección del tipo presa Palo Redondo teniendo en cuenta los aspectos técnico, económico y socioambiental, empleando la metodología: El presente proyecto fue realizado desde un enfoque cuantitativo, cuyo tipo de investigación es experimental, obteniendo como resultado: El interior del dique de la presa de relaves y velocidad de deformación que es menor a 0.5 cm/día y análisis del comportamiento del agua que con respecto al último registro del 2016, considerando únicamente el aspecto económico, y finalmente concluyo: Mencionando los factores geotécnicos que influyen en la estabilidad de la presa de relaves son las condiciones del talud, características hidrológicas, borde libre mínimo, granulometría de los materiales.

(Quispe Tunque & Zuñiga Espinosa, 2019) presentó la tesis de pregrado **Titulado:** Análisis sísmico pseudoestático y pseudodinámico de la presa Angccasa-Cochaes n° 9 Huancavelica, el cual fija como

objetivo general: Determinar la estabilidad de la presa N° 9 Acchilla - Ccochaccasa Angaraes - Huancavelica por análisis sísmico pseudo estático y dinámico, empleando la metodología: Cuantitativo con un tipo de investigación nivel aplicado con un diseño experimental, obteniendo como resultado: Las fuerzas sísmicas influyen significativamente en la estabilidad de la presa, y finalmente concluyeron: Mencionando las condiciones pseudoestáticas donde se mantiene el coeficiente de aceleración sísmica constante, el dique de desmonte N° 9 Acchilla-Ccochaccasa-Angaraes-Huancavelica es inestable.

(Suarez Palacios, 2019) presento la tesis de pregrado Titulado: Diseño de dique modelamiento la estabilidad del talud con tratamiento de relave en la unidad minera Mahr túnel N° 6 Volcan S.A.A, Yauli-La Oroya, 2018, donde se fija como objetivo la creación de una opción de diseño para un dique, realizando modelamientos de la estabilidad del talud que posee tratamientos de relave, empleando la metodología En el presente trabajo de investigación es descriptivo y explicativo, obteniendo como resultado: Se puede lograr una mejor estabilidad con la aplicación de programas de elementos finitos como el Slide V6.0, donde se presentan características que superan a los factores de seguridad impuestos en la investigación. Superando así el F.S Estático = 1.5 y el F.S pseudo-estático = 1.0, y finalmente concluyó: Mencionando La estabilidad de los taludes está relacionada directamente con la humedad óptima que se tiene que respetar durante la ejecución de la construcción, para el caso particular estima que con un 14% se puede garantizar un buen funcionamiento de un talud estable.

(Cancela Rey, 2015) presentó la tesis de posgrado Titulado: Estabilidad de taludes de la presa del depósito de relaves La Esperanza Distrito Vitoc, provincia Chanchamayo, departamento de Junín, el cual fija como objetivo general: Analizar la estabilidad de los taludes y

recrecimiento de la presa la Esperanza realizando un cartografiado geológico de la zona de estudio y cimentación, empleando la metodología cuantitativa con tipo de investigación aplicada de tipo explicativo, obteniendo como resultado: Se demostró que el recrecimiento de la presa de relaves la Esperanza en condición saturada y pseudo-estático fallará, nos apoyamos en los ensayos de campo, y finalmente concluyó: Mencionando sobre el factor de seguridad en condiciones normales para las secciones transversales A, B y C son 1.937, 1.825 y 2.450, pseudo-estático son 1.403, 1.620 por lo cual no fallará pero en condición saturada y pseudo-estático presenta 1.080 y 1.102 y 1.065 por estar muy cerca al equilibrio limite por lo tanto fallará la presa.

## **2.2 MARCO CONCEPTUAL.**

### **2.2.1 Definición de Presas.**

Según (Pérez Pliego, 2009), Las presas se definen como estructuras construidas por la naturaleza o de manera natural, con diferentes propósitos a favor del ser humano. Algunos métodos de diseño y construcción de estos han logrado suceder a lo largo del tiempo como actividades para las cuales son utilizados. Hoy en día, las herramientas informáticas han permitido en gran medida este tipo de cursos en análisis y diseño de presas. Así, tareas que en el pasado se basaban en criterios a través de la experiencia, ahora se son posibles ser realizadas con base en juicios analíticos de una forma rápida y eficiente, en consecuencia, las superficies se construyen cada día con grandes niveles de confiabilidad.

### **2.2.2 Componentes de una presa**

De acuerdo (Pérez Pliego, 2009) una presa está conformada por diferentes elementos que aseguran su estabilidad y un buen funcionamiento. La forma y características de algunos elementos que

se someten del tipo de estructura, aun cuando en lo general las presas se conforman integradas por: la cortina, el vertedor, el embalse, la obra de toma y la cuenca.

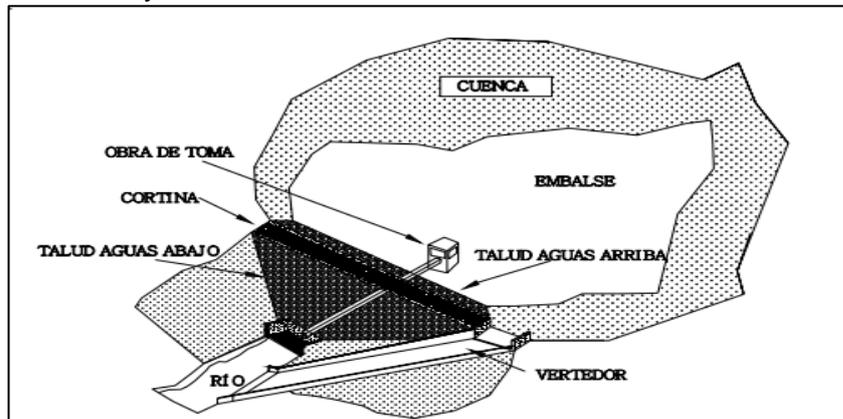


Figura 2.1 Elementos Principales De Una Presa De Tierra.

FUENTE: Imágenes Google

Los términos de la cortina se definen como un obstáculo o artificial que impide el flujo de agua a través del canal natural. Su finalidad principal es poner a disposición del hombre un volumen de agua para que pueda hacer uso de su favor. Para hallar su ubicación, se sitúa en una zona estrecha por encima del cauce del río, nombrado como boquilla. En esta, se edifica la cortina, misma que se puede alterar en cuanto al material de construcción y geometría. (Pérez Pliego, 2009).

Para: (Perez Zereceda & Vasconcellos Orejuela, 2017).

Las presas en lo general, tienen los siguientes elementos.

- Embalse: Esta es la capacidad del volumen de agua que detendrá la presa.
- Vaso: Es el espacio físico que contiene el agua embalsada.
- Boquilla: Es el lugar seleccionado para la localización de la estructura de cierre.
- Cortina: Estructura rígida, permanente con capacidad de sostener las solicitaciones del empuje hidrostático del agua y así no ocasionar las pérdidas por filtraciones.

- Caras, Taludes o Paramentos: Son las superficies inclinadas o verticales que limitan el cuerpo de la presa, la cara denominada “aguas arriba” es la que está en contacto con el agua, y la otra cara es nombrada “aguas abajo”.
- Estribos: Son aquellos apoyos anclados de la estructura de la Presa a la superficie en sus partes laterales.
- Corona: Es la parte superior horizontal de la estructura de la Presa.
- Base: Es el terreno inferior de la estructura sobre la cual transfiere el peso de la Presa al terreno.
- Vertedero de Demasías: La función de esta estructura es dejar escapar el agua excedente o de avenidas que no corresponde al espacio destinado para almacenamiento.
- Obras de Toma: Estructuras auxiliares para extraer agua de la presa para los fines concebidos, como por ejemplo generación de energía eléctrica.
- Descarga de Fondo: Sistema de descarga de agua mínima para no perjudicar la fauna “aguas abajo”. Ayuda en algo a la descarga de sedimentos.

### **2.2.3 Tipos de Presas.**

Según (Perez Zereceda & Vasconcellos Orejuela, 2017), En Ingeniería Civil, una represa o presa es como cualquier medio para lograr retener agua para llenarla y luego regularla, en la antigüedad las tierra eran quizás las principales estructuras construidas por ellos. comenzó a construirse alrededor de 4500 a.C. - 4000 a.C en la antigüedad las estructuras de tierra fueron quizás las principales construidas por comenzaron a construirse alrededor del 4500 a. C. - 4000 a. C.. Las presas se clasifican de la siguiente manera:

**a) Según su uso, se tiene las siguientes subcategorías:** (Perez Zereceda & Vasconcellos Orejuela, 2017).

- Presas de almacenamiento: Se utilizan para almacenar durante períodos de baja disponibilidad de agua.
- Presas de derivación: este tipo de presa se utiliza para desviar agua de un canal principal a tuberías, zanjas, entre otros. También se conocen como bocatomas.
- Presas de regulación También se denominan presas de inundación y sirven para retrasar la esorrentía y por tanto reducir el efecto de las inundaciones, mediante la rodadura del correspondiente hidrograma.

**b) Según el proyecto hidráulico, se tienen las siguientes subcategorías:**

- Presas de descarga: Se define como el tipo de estructuras que tienen vertederos fijos por encima de su coronación, en periodo de crecida sobre ellos.
- Presas no vertedoras: Son aquellas diseñadas para que el agua no sobrepase su coronación.

**c) Según la estructura, se tienen las siguientes subcategorías:**

- **Presas rígidas:**

- Presas en Arco:

Este es el que es ideal para cañones angostos las paredes están formadas por rocas, por su forma, económico y tiene buena capacidad para soportar presiones y cargas hidrostáticas.



Figura 2.2 Presa en Arco.

FUENTE: Imágenes Google

- Presas de Gravedad:

Se definen como aquellas estructuras que dependen de su propio peso para estabilizarse, el ancho es por lo general igual a su altura.



Figura 2.3 Presa de Gravedad.

FUENTE: Imágenes Google

- Presas de Contrafuertes:

Estas son las primeras que se desarrollan para retener en regiones donde estos materiales eran escasos o pero la obra era barata, estas represas requieren el 50%

del concreto que necesita una gravedad de idéntico tamaño , pueden ser losas planas, arcos de medio punto o múltiples contrafuertes de curvas.

- **Presas Mixtas**

Son aquella combinación de las arco-gravedad-contrafuertes.



Figura 2.4 Presa Mixta.

FUENTE: Imágenes Google

- **Presas Flexibles:**

- **Presas de tierra:**

El volumen del cuerpo principal de la presa está constituido por suelos arcillosos, arenosos o areno-gravillosos.



Figura 2.5 Presa de Tierra.

FUENTE: Imágenes Google

- Presas de roca-tierra:

El volumen del cuerpo principal de la presa está hecho de materiales gruesos materiales, los elementos antifiltro son delgados.



Figura 2.6 Presa de Roca - Tierra

FUENTE: Imágenes Google

- Presas de enrocado:

El volumen de cuerpo principal de la presa está hecho de materiales rocosos y el elemento de impermeabilización por materiales.

#### **2.2.4 Modelo Numérico del Comportamiento de una Presa.**

De acuerdo con (Barreto Escobedo, 2014) los modelos numéricos se realizan con algunos métodos numéricos, en pocas palabras se logra llevar a cabo una forma numérica de algunos programas o softwares en la cual adquieren métodos numéricos que determinan los distintos parámetros a percibir en el interior del modelo discretizado, algunos de los modelos numéricos y su función con una herramienta nueva y de gran uso, en la cual complementan a la modelación física.

##### **a) Tipos de modelos numéricos**

Algunos de los modelos numéricos se realizaron fundamentalmente para solucionar el problema principal, en lo general del flujo de agua, es por ello que hoy en día los modelos son de una determinación general con la habilidad de solucionar una gama de calidad de flujos semejantes, con los módulos añadiéndose para solucionar diferentes fenómenos, así como el transporte de los sedimentos, la calidad de agua incluyendo el hábitat de peces y la dispersión de contaminantes,(Barreto Escobedo, 2014).

##### **b) Dimensionalidad**

Las dimensiones numéricas obtenidas considerando una modelación, es la más fundamental para calcular que tan extenso llega a ser un modelo a estudiar, por lo cual se presentan modelos unidimensionales, bidimensionales y tridimensionales.

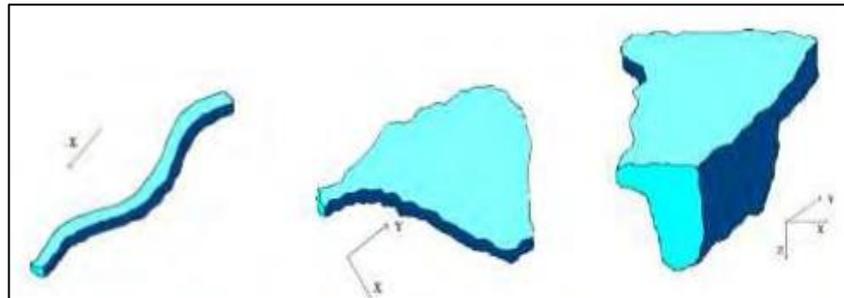


Figura 2.7 Modelos 1D, 2D y 3D.

FUENTE: Vásquez (2003). Modelación numérica en hidráulica.

#### ▪ **Modelos unidimensionales**

Son aquellos modelos unidimensionales en la cual se presentan una de las dimensiones que perdura por encima de las otras dos, esta dimensión es aquel medio que durante un tiempo representa el eje del río o canal, es la más fundamental en tamaño y se recomienda de una manera más aproximada al flujo normal, por lo tanto la información hidráulica o topográfica que se considera llega a través de las secciones transversales, luego de determinan el tirante velocidad media en todo el tramo; es pocas palabras quiere decir que no detalla un perfil de velocidades tanto horizontalmente como verticalmente, sino un valor primordial de velocidad, algunas de las limitaciones de los modelos en que este predeterminado que dicho flujo es perpendicular a la sección que algunos modelos pueden usarse en secciones de ríos y arroyos muy grandes, generalmente son en la mayoría de las veces el ancho y es por ello que es importante calcular el

mayor nivel de agua. Este modelo no presenta dificultades en su aprendizaje debido a su rapidez y presenta una utilización corriente en diseños de estructuras mínimas como alcantarillas, pero sus fundamentales limitaciones son hacerse cargo del lecho rígido en un flujo unidireccional, debido a que se aplica con cautela en ríos aluviales erosionables o muy meándricos, por eso actualmente el HEC-RAS se define como aquella herramienta en la que se usa de una forma previa a una modelación, a tal punto a conocer niveles con curva de remanso o agua, sin embargo no da a conocer el comportamiento de un río o estructura.

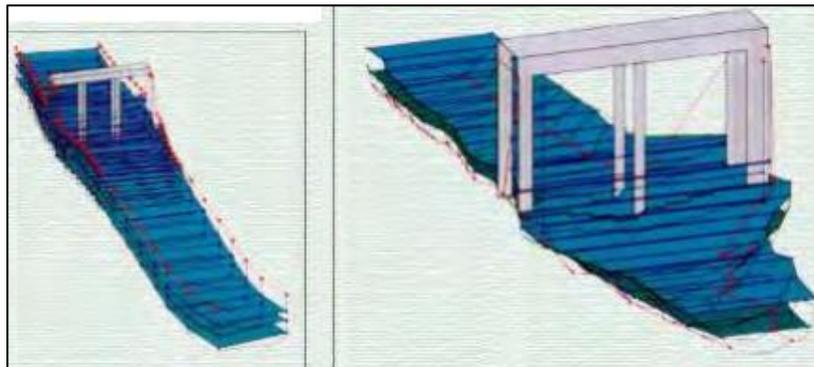


Figura 2.8 Ejemplos de simulaciones unidimensionales en HEC-RAS.

FUENTE: imágenes Google-modelamiento en Hec-Ras

#### ▪ **Modelos bidimensionales**

Son aquellos donde se adquieren las alteraciones en las dos dimensiones del plano horizontal, en las cuales las variaciones de la medición o la velocidad de interés en la columna vertical de agua se dividen y se encargan del único valor, estos modelos son fundamentalmente aplicables en flujos demasiados extensos como lagos o

embalse tipo lago, sin embargo en las variaciones verticales la velocidad es menor, es por ello que se les conoce como modelos de aguas someras o poco profundas, no se utilizan en situaciones en la que la variación vertical de la velocidad es considerable, asimismo cuando el flujo por encima del vertedero discurre por un orificio sumergido, pero a través de la utilización de expresiones empíricas o semejantes, es que se logran añadir estas singularidades en el interior de la modelación.

- **Modelos tridimensionales**

Son aquellos modelos tridimensionales en la cual representan el estado más desarrollado de la modelación, algunos de estos modelos son aptos para determinar los tres componentes espaciales de la velocidad, y es por ello que son utilizables a diferentes casos prácticos, cuando se trata de los modelos tridimensionales, se entiende que comprende máxima información y más datos.

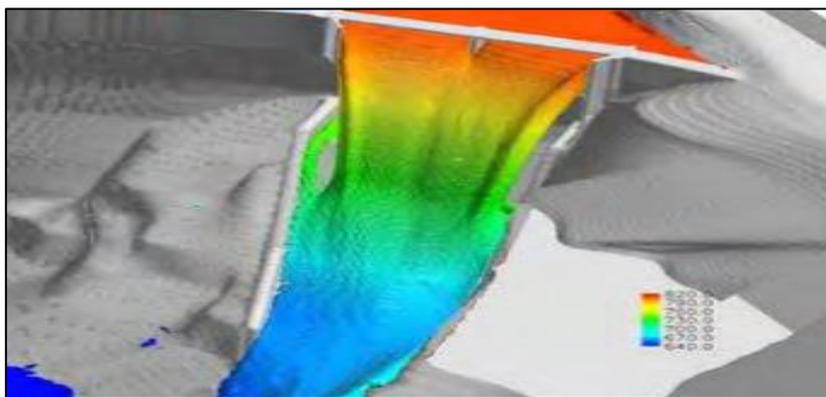


Figura 2.9 Simulación del Aliviadero de una Presa en FLOW-3D

FUENTE: César David (2014).

### **2.2.5 Relave Minero.**

Los relaves se definen como el resultado de un procedimiento en el que se considera la extracción del mineral por el procedimiento de trituración respectivamente, en el cual se busca el diámetro del mineral y el material eliminado, por lo cual el proceso termina desechando los residuos los cuales son depositados en un dique para dicha disposición, en la explotación de la extracción de ' enormes cantidades de material como el depósito que se utiliza en una pequeña fracción en relación con el elemento de interés. (Castro Arias, 2018).

#### **a) Conceptos Básicos sobre los Depósitos de Relaves**

Las obras mineras producen grandes cantidades de residuos, de los cuales la mayor parte en volumen son externos y mineros. El mineral que consume la planta de enriquecimiento tiene algún mineral adecuado, siendo combinado con minerales de ganga. En la planta, el mineral generalmente se fragmenta para aceptar la liberación del mineral beneficioso y se separa de los minerales de ganga mediante procesos físicos, fisicoquímicos, la ganga mineral así como ciertos las partículas de roca constituyen la parte sólida que constituye los relaves mineros. (Aguirre Ramos, 2017).

#### **b) Impacto ambiental de los relaves mineros**

Los relaves mineros indudablemente representan efectos nocivos para la vida en general, por lo que su respectiva disposición tiene que ir de la mano con alternativas de tecnología sustentables, que presenta perspectivas del control del medio ambiente; así se va tratando de la mejor manera, no variar los espacios geográficos especialmente las ocupadas por la ganadería, la agricultura y la biodiversidad silvestre.

La pasta es el resultado de una mezcla de los sólidos y la adición de agua, esta con una elevada concentración de sólidos llegan a aminorar los riesgos de fallas geomecánicas que están relacionados a los tranques convencionales, es por ello que se debe usar con máxima eficiencia el agua que logra alcanzar la consistencia de pasta y de los relaves, las cuales ya no se encuentran saturados, también se debe de considerar los eventos sísmicos difícilmente que pueden desarrollar el fenómeno de licuefacción.

### **c) Ciclo de vida de un depósito de relaves**

- **Origen y producción de relaves de plantas concentradoras**

La evaluación de la concentración comienza con la trituración del desarrollo minero resultante, hasta tamaños de partículas del orden de un centímetro o un milímetro. Este mineral triturado se reduce a tallas grandes con molinos de barras y molinos semi-autógenos, trabajo mejor conocido por el nombre de molienda, se le agrega agua al mineral triturado y el resto en la forma de barro todo a lo largo de la extracción. El siguiente procedimiento es comúnmente llamado flotación. La flotación opera sobre el principio de las partículas individuales, el material que se desea extraer proviene selectivamente de minúsculas burbujas de aire que se adhieren a estas partículas y las elevan a la superficie de un tanque agitado, las espumas que comprenden estas partículas valiosas son retiradas de la superficie procesadas y secadas para modificar el concentrado, este producto final de la concentradora es comprometida a la función para su refinación, el material restante de desecho que no conforman el denominado concentrado mineral, conforman los relaves

combinados en primordial por partículas de roca estéril, agua con reactivos químicos flotantes y partículas de mineral restante que no lograron recuperarse en el proceso de flotación y por último después de recuperarse algo del agua del proceso en tanques apropiados conocidos como espesadores, los relaves son bombeados al lugar destinado para su almacenamiento.

#### **d) Característica de relaves mineros**

- **Relaves**

Lo llamamos como deshecho mineral sólido de tamaño entre arena y limo provenientes del desarrollo de concentración que son producidos, transportados o depositado en forma de lodo, que corresponden a una "Suspensión fina de sólidos en líquido", compuestos fundamentalmente por el mismo material presente in situ en el yacimiento, al cual se le ha extraído la fracción con mineral valioso, conformando una pulpa, que se genera en las plantas de concentración, y que han experimentado una o varias etapas en circuito de molienda fina; esta "pulpa o lodo de relaves" fluctúa en la práctica con una razón aproximada de agua/sólidos que van del orden de 1:1 a 2:1.

Las características y el comportamiento de esta pulpa dependerán de la razón agua/sólidos y también de las características de las partículas sólidas.

Esto puede ilustrarse si se consideran los siguientes ejemplos:

- Una masa de relaves con un gran contenido de agua escurrirá fácilmente, incluso con pendientes pequeñas.

- Una masa de relaves con un contenido de agua suficientemente bajo (por ejemplo, relaves filtrados) no escurrirá gravitacionalmente.

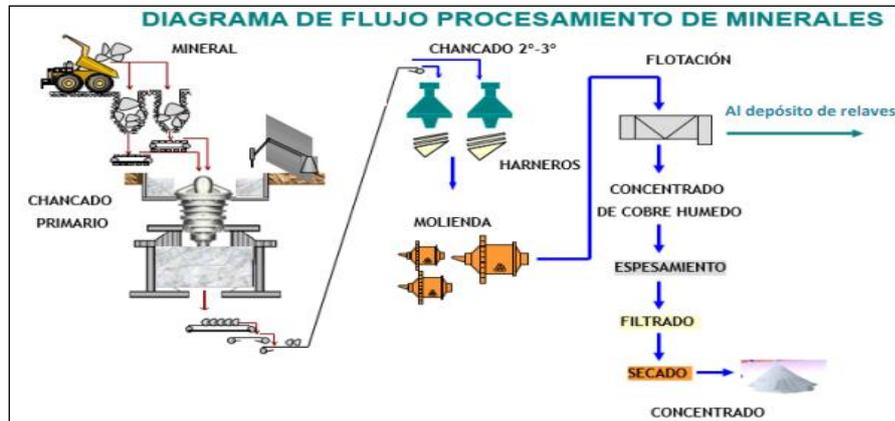


Figura 2.10 Diagrama De Flujo Del Procesamiento De Minerales.

FUENTE: Golder Associates

- Si las partículas sólidas son muy pequeñas, tardan mucho en asentarse, permaneciendo en suspensión alcanzando grandes distancias desde el punto de liberación antes de asentarse.
- Si las partículas sólidas son grandes, crecen rápidamente y se acumulan a una corta distancia del punto de descarga.

Las alternativas a utilizadas para la disposición de relaves dependerán de las características de los relaves producidos en la planta, el costo y las características de la ubicación del depósito de relaves.

Para conseguir estructuras estables con los relaves, deben determinarse sus características, similares a lo que se hace con los suelos (granulometría, densidad relativa, razón de vacíos, relaciones de fase, etc.)

**Tabla 2.1:** Relación del porcentaje de sólidos con el volumen de agua 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

Fuente: Golder Associates

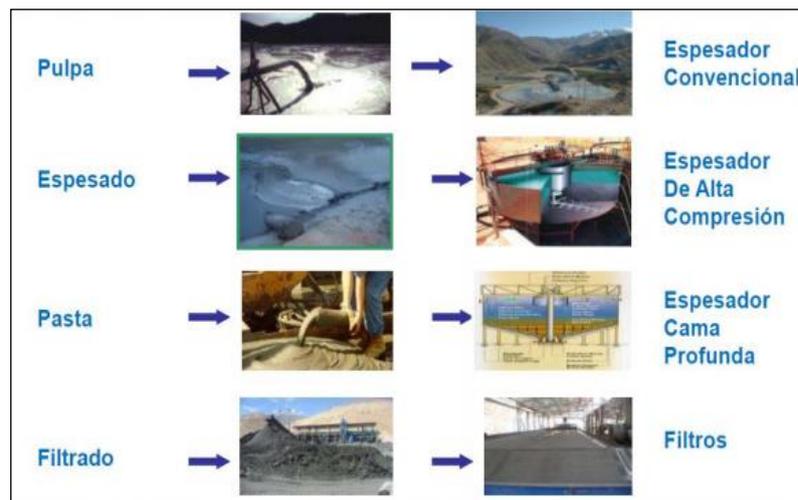


Figura 2.11 Tipos De Disposición De Relaves De Acuerdo A Su Contenido De Agua.

FUENTE: Golder Associates

### e) Opciones para la descarga de los relaves

- **Descarga del Relave Completo**

Se requiere disponer de un volumen suficientemente grande para permitir almacenar todos los relaves que se producirán durante la vida útil de la planta. Pueden utilizarse cavidades "pre- existentes" como: tajos mineros abandonados, depresiones naturales en superficie, cavernas

naturales, antiguas minas subterráneas abandonadas, etc. (Aguirre Ramos, 2017).

Sin embargo, hoy debido a la legislación ambiental vigente resulta difícil de ser aceptados por su alta connotación ambiental y deberían realizarse estudios muy completos y detallados para demostrar que no se afectará el medio ambiente. Por esto, para la descarga de relaves completos, resulta técnica y ambientalmente más aceptable construir un muro perimetral con talud interno impermeabilizado, hecho con material grueso de préstamo y generar así un vaso de deposición.

Este tipo de depósito de relaves se denomina “Depósito de Relaves” y han sido aceptados como alternativa para la disposición de relaves en nuestro país.

- **Construcción del dique de contención con parte del relave**

Esta opción corresponde al tratamiento de relaves de la concentración de la planta, con el fin de separar la fracción gruesa de la fina, para poder utilizar la fracción gruesa de los relaves “arena de relaves” como material para el muro de contención o presa y descargar la fracción fina de relaves en la cuenca del depósito de relaves. Cuando construye la pared usando el grueso de residuos, es posible hacer tres formas o métodos diferentes de cultivar:

- Crecimiento del muro hacia “aguas arriba”.
- Crecimiento del muro hacia “aguas abajo”.
- Crecimiento del muro según el método llamado “eje central o mixto”.

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

Esta opción requiere tratar los residuos procedentes de la concentración, con el fin de extraer la mayor cantidad de agua posible por métodos, por ejemplo, en a través de espesadores en lecho o utilizando instalaciones de filtración ,así como a un material equivalente a un suelo húmedo que puede depositarse, en algunos casos, sin necesitar un muro para su contención. (Angelino Calderon, 2020).

Para este propósito existen distintos métodos: “Filtrar los Relaves” y la alternativa más reciente es la de crear lo que se denomina “Pasta de Relaves”.

#### **f) Principales métodos de recremento de los depósitos de relaves**

Para la construcción y el Recremento en etapas de una contención, se pueden utilizar diversos materiales, como desechos mineros, material listo o listo y la fracción gruesa de relaves mineros, cuando la pulpa de relaves tiene una fracción arenosa, esuso como material de construcción de presas.



Figura 2.12 Clasificación De Relaves Mediante Hidrociclón

FUENTE: Golder Associates



Figura 2.13 Vista Frontal De Un Depósito De Relaves Filtrados  
FUENTE: Golder Associates



Figura 2.14 Vista Superior De Un Depósito De Relaves Filtrados  
FUENTE: Golder Associates

En este caso, es preciso separar la arena de las fracciones granulométricas más finas, lo que puede hacerse con hidrociclones.

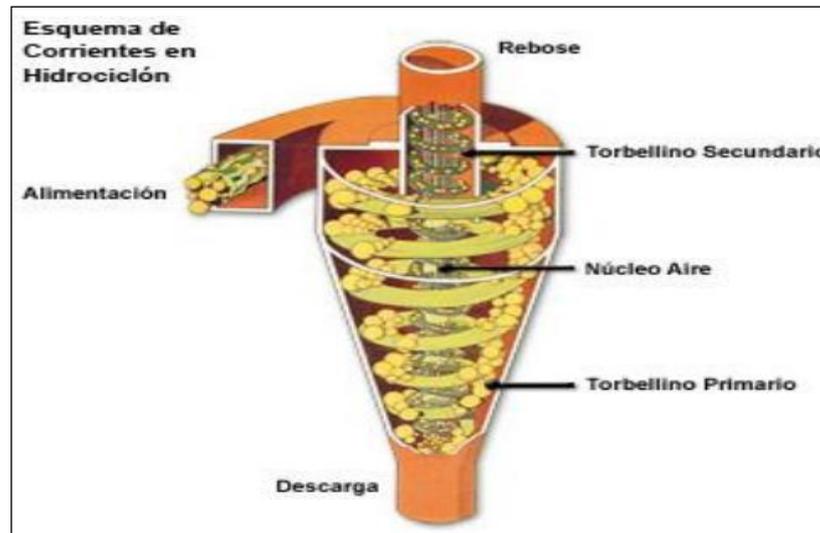


Figura 2.15 Esquema De Un Hidrociclón Para La Separación De La Fracción

FUENTE: Golder Associates

Por razones económicas, las presas de relaves se mantienen progresivamente al ritmo de la producción de residuos mineros.

Las arenas de relave pueden ser utilizadas como material estructural del cuerpo del dique en tres métodos diferentes, a continuación, se desarrollarán algunos métodos de recrecimiento del dique de contención de un depósito de relaves: (Angelino Calderon, 2020).

- **El Método de aguas arriba**

Se da inicio a este método con la construcción de un muro inicial, se le denomina “starter dam”, el muro en cuestión es de material de desmonte de la mina o en su defecto se utiliza material de préstamo, se compacta para luego proceder con la disposición del relave. Se utiliza el hidrociclón de donde

la parte del material que es más grueso va a descender por el flujo inferior depositándose en la base del muro con la misma lógica la parte más fina se dispersa, saliendo por el flujo superior del hidrociclón, se ira asentando desde la parte central del vaso hacia la parte más alejada del muro asemejándose al comportamiento que poseen las playas, en este punto la mayor parte del agua es discurrida, a esta formación se le denomina laguna de sedimentación o comúnmente conocida como el pozo de sedimentación, de donde una vez se ha sedimentado todo el material, el agua procede a descargarse por medio de estructuras denominadas quenas de evacuación, si el caso amerita incluso se pueden utilizar bombas hidráulicas, suspendidas por cualquier medio con el fin de retirar el agua que puede ser reutilizado con posteridad en similar proceso.

Cuando el depósito de relave minero está por llegar a su capacidad máxima de llenado, se opta por aumentar el tamaño del dique de contención, esto se consigue llevando los hidrociclones hacia aguas arriba, en este punto los hidrociclones tendrán mucho más tamaño que estando cerca al uro inicial y de la misma manera se procede con la descarga de las arenas y se repite el mismo método ya descrito. Este método es muy conveniente cuando se opera a grandes profundidades, se puede llegar hasta 25 metros de profundidad; sin embargo, pese a ser un método que usa poco material arenoso y es provechoso en lugares con poco espacio, estos diques no se comportan bien frente a posibles oscilaciones sísmicas, siendo su estudio materia de una nueva investigación los diques con hidrociclón.

Asimismo, con este sistema el ahorro de volumen es máximo, pero tiene el inconveniente de generar una estabilidad muy sensible a la posición del nivel freático. Este sistema todavía se usa en partes más secas del mundo, donde los niveles de agua dentro de la represa se pueden mantener al mínimo.

- **El Método de aguas abajo**

Para la aplicación de este método se inicia con la compactación sea material grueso o en su defecto material de préstamo, esto se realiza con a la finalidad de generar un muro inicial, desde el cual se procede a vaciar el relave grueso mediante el hidrociclón, este por su propio funcionamiento va a depositar el material fino del relave minero denominado lamas agua arriba.

Como regla general, se construye una barrera impermeable en la cara del muro de la presa que está en contacto con el embalse y se planifica un drenaje interno para que el nivel freático interior de la pared está lejos de la pendiente aguas arriba. El espesor de la presa en su base aumenta con el por lo tanto requiere insumos materiales el área ocupada es mucho mayor que el método debido a el avance del trabajo para el método según el aumento de altura.

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

Para este método en particular es una mezcla entre los dos métodos antes mencionados, se inicia con un muro de partida siempre este tiene que estar compactado, compuesto por material de préstamo, construido en la parte central del dique, luego se prosigue descargando las

partículas finas aguas arriba y las arenas hacia el lado de las aguas abajo, cuando se va completando la descarga, se prosigue a elevar la línea de alimentación de las lamas y arenas, siguiendo como referencia el plano vertical hasta llegar a la berma de coronamiento del muro de partida, la particularidad que este método presenta se da en el talud, aguas arriba se mantiene casi vertical y el talud de aguas abajo va a poseer una inclinación siendo esta corregida en los parámetros de diseño. (Angelino Calderon, 2020).

## 2.2.6 Tipos de relaves

### a) Relaves espesados

Concentra aproximadamente 50 a 60% de sólidos, el contenido de agua se elimina por espesamiento en una concentradora. El material es bombeado a los espesadores, ingresando con porcentaje de 20 a 30% de sólidos y al final se obtiene entre 60%. El uso de equipo para realizar dicho espesamiento genera un costo que puede afectar los ahorros por la realización de la producción de la presa. Se debe tener un espacio amplio y plano para el material, por lo que se complica su aplicación en las zonas montañosas.

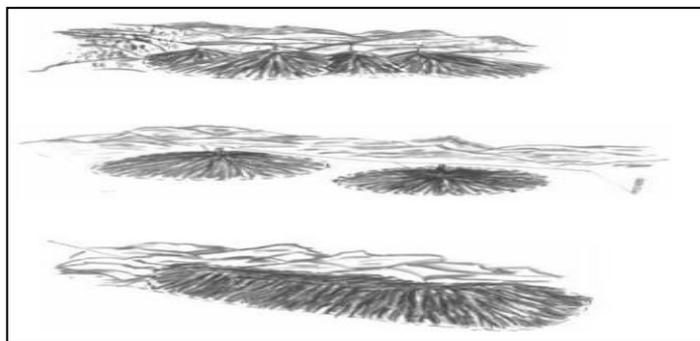


Figura 2.16 Relave Espesado Según El Método De Robinsky. Adaptado De “Guía Técnica De Operación Y Control De Depósitos De Relaves”

FUENTE: Ramírez, N.,2007, p. 14.

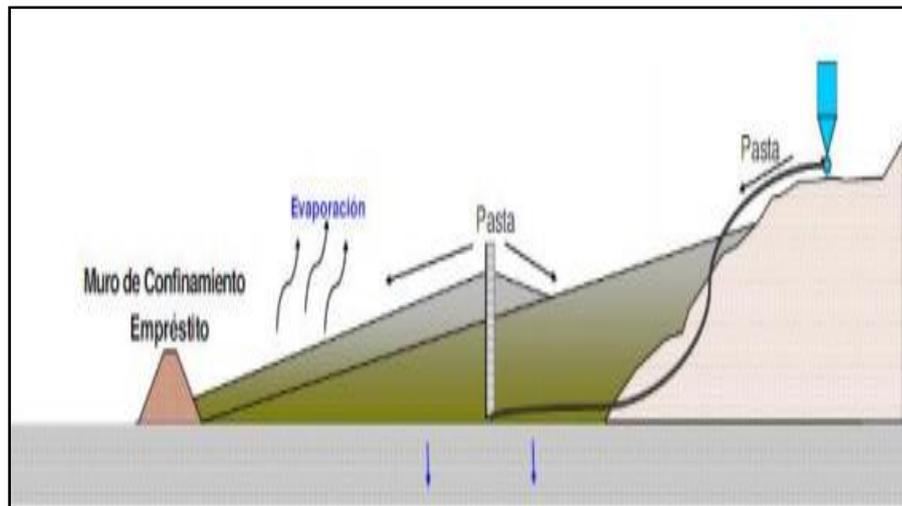
## b) Relaves en pasta

Este tipo de relaves es una mezcla de agua con partículas, que debe tener más partículas finas y líquido, convirtiéndose en una pasta de alta densidad. Un buen residuo de pasta debe tener una concentración del 15% en peso de partículas.

La consistencia de la pasta hace que pueda ser transportada en camión desde el área de operaciones hasta la requerida para su secado y posterior apilamiento.

El beneficio de usar este tipo de relave es la aceptación por parte de la comunidad porque una vez que se han completado las operaciones, se pueden dejar sin tratamiento especial y es posible iniciar el trabajo de revegetación. Estos depósitos reducirán la producción de agua ácida y la producción de metales, lo que también es un beneficio para el beneficio del medio ambiente.

Figura 2.17 Esquema De Depósito De Relave En Pasta.



FUENTE: Golder Associates



Figura 2.18 Mina San Rafael, Puno

FUENTE: Golder Associates

Tabla 2.2: 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

Fuente: Golder Associates

### c) Relaves filtrados

Es similar a los residuos espesados , pero se debe agregar el filtrado del proceso. Este proceso de filtrado es utilizando filtros para obtener un mejor resultado. El resultado del proceso tiene un contenido de sólidos de 80-88%, los cuales deben ser transportados por camión transportador hasta el área de almacenamiento. Si el transporte se realiza por camión, no debe dar lugar a licuados y derrames que expongan el medio ambiente.

Para dar mayor estabilidad al material, se debe compactar entre entre 85 y 95% del estándar en capas de 30 a 35 cm. La determinación de las características mineralógicas y geotécnicas

está relacionada con la humedad de compactación, la cual es importante tener en cuenta en las épocas de lluvia; Del mismo modo, también afectaría directamente el tiempo del relave secado.



Figura 2.19 Depósito de relave filtrado, Tambomayo-Arequipa

FUENTE: San Martín Contratistas, 2016.

**Tabla 2.3:** Principales Mineras y su Producción de Filtrado de Relave

<b>Mina (Operación)</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Metal procesado</b>
Alcoa	Australia	Al
Chingola	Aambía	Cu
La Coipa	Chile	Au/Ag
Randfontein States	Sudáfrica	Au/U
Lihir Island	Papua Nueva	Au
El Sauzal	México	Ag/Au
Gecamines	Zaire	Cu
Nabalco	Australia	Al
Mantos Blancos	Chile	Cu
Alamo Dorado	México	Ag/Au
Pogo	EE.UU	Au
Raglan	Canadá	Au/Ag

Greens Creek	EE.UU	Au/Ag/Zn
Eskay Creek	Canadá	Cu
Nixon Fork	EE.UU	Au
El Peñon	Chile	Au/Ag
La Florida	Chile	Au

Fuente: (Capone, 2016).

### 2.2.7 Sistema de Construcción.

Para la elección del método de construcción de relaves, se consideran tipos de materiales y métodos para estabilidad de bajo costo. Estos materiales deben cumplir los siguientes requisitos: permeabilidad y resistencia al corte.

En este caso los relaves mineros tienen una ventaja económica; sin embargo, para su uso, es necesario tener en cuenta que pueden verse afectados por las tuberías internas, las partículas in erosionables, la sensibilidad a la acción de la licuefacción por congelación en caso de terremoto.

A continuación, veremos los tres tipos de construcción más comunes aguas arriba, aguas abajo y en la línea media.

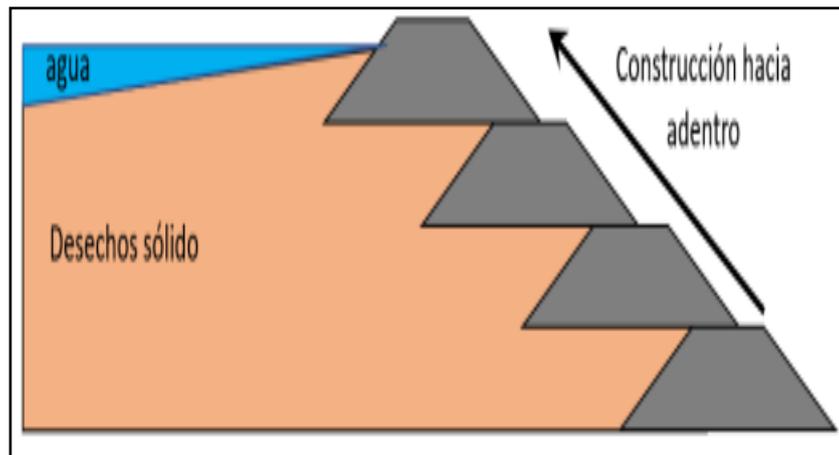
#### a) Aguas arriba

Este método también es conocido como "upstream". En el diseño, los nuevos terraplenes están ubicados en "playa" hacia el interior del embalse, figura N2.12, lo que reduce costos ya que reduce el movimiento de tierra y puede alcanzar una altura de 25 metros. Esto debe tenerse en cuenta desde la etapa de diseño, la construcción aguas arriba no proporciona no hay muchos elementos estructurales para controlar el nivel freático dentro del agua, por lo que es esencial considerar diferentes factores como la permeabilidad, el grado de segregación granulométrica, la

ubicación de los acumulados en la presa, entre otros. Cada uno de ellos debe manipularse durante cada capa.

Estas presas se pueden construir con materiales prestados, los materiales almacenados se pueden retirar y colocar con una excavadora. En ambos casos, se debe realizar una compactación para continuar con la construcción de la siguiente capa. En el caso de los relaves, estos son evacuados desde la coronación de la presa de partida mediante picos o ciclones. Este depósito desarrolla un dique y un pozo compuesto por materiales gruesos que formaría parte del basamento del siguiente nivel. Según Vick (1990) “como regla general , el rechazo debe contener no menos de 40 a 60% de arena”.

Figura 2.20 Método De Construcción Aguas Arriba.



FUENTE: Adaptado de Vick, 1983.

## b) Aguas abajo

Debido a los riesgos asociados con el método y los casos registrados de deslizamientos de tierra (ICOLD and UNEP 2001) se desarrolló el método aguas abajo.

En el diseño, los nuevos terraplenes de la presa superponen las capas anteriores y se proyectan hacia afuera, lo

que hace que las paredes sean más robustas. (Figura 2.15). La construcción de este método comienza con una presa inicial de material de préstamo compactado a la que se le incorpora un sistema de presa. El drenaje es muy importante porque una de las causas de la reducción del corte se debe a la acumulación de presión de agua en los poros.

A diferencia del método aguas arriba, es mucho más en zonas sísmicas, sabiendo que si su altura supera los 15 metros, las capas debe ser compactado por la densidad relativa para evitar los problemas de licuación.

Las ventajas del método son su fácil compactación, los sistemas de drenaje y el hecho de que la presa no depende estructuralmente de los depósitos para la resistencia de los cimientos. La desventaja es que tiene una estructura más robusta, porque requiere mayor superficie para su construcción y más volumen de material para que pueda seguir creciendo, esto lo que genera un aumento en los costos de construcción.

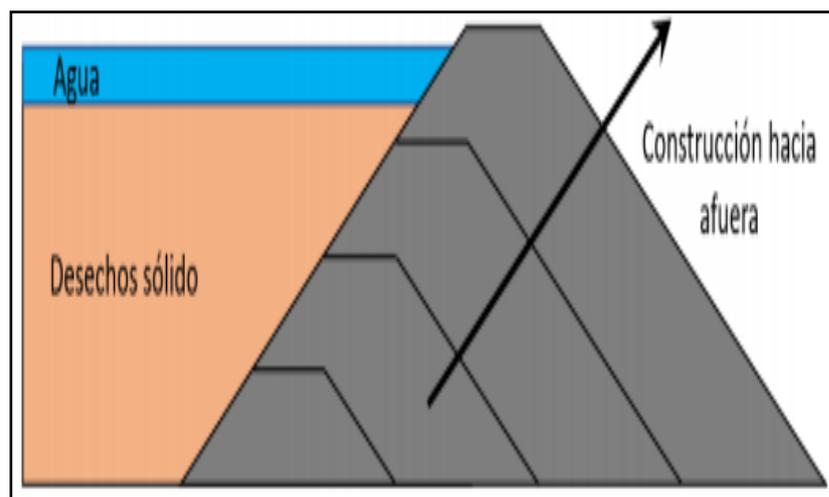


Figura 2.21 Método De Construcción Aguas Abajo.

FUENTE: Adaptado de Vick, 1983.

### c) Línea central

Este método es la combinación del método ascendente, el método descendente y se proyecta hacia afuera, la diferencia está en la estabilidad por en comparación con el ascendente y no requiere muchos diques de crecimiento de material como el de aguas abajo. En cuanto al volumen de arena, es necesario un porcentaje intermedio de para lograr un dique estable.

El método de construcción es similar al anterior en que comienza con una presa inicial y se evacua desde la cresta de la presa inicial mediante ciclones. Cada presa formada debe estar alineada verticalmente y compactada para evitar rupturas por cortante y tener un sistema de drenaje interno que debe seguir la línea de crecimiento, haciéndola resistente a sismos.

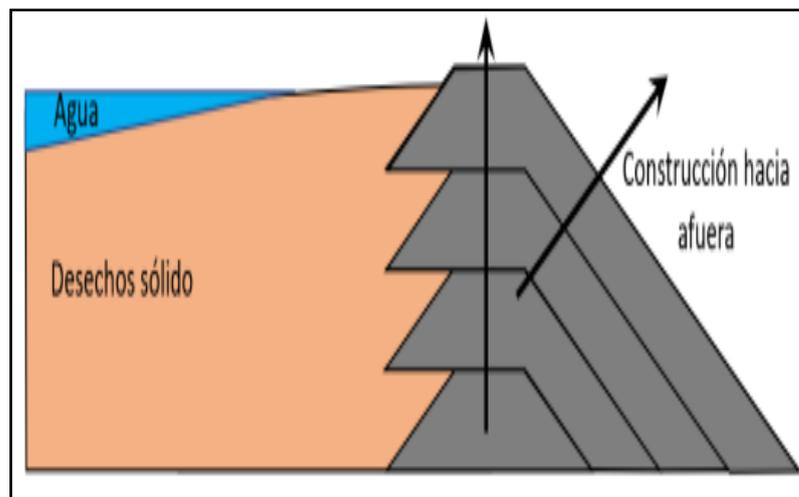


Figura 2.22 Método De Construcción Línea Central.

FUENTE: Adaptado de Vick, 1983.

## 2.3 DEFINICIONES DE TÉRMINOS

- a. **Depósito mineral:** Es aquella concentración natural de material valioso que se logra extraer y vender con una ganancia. (Bach. Cristobal Damaso, 2018).

- b. Estructuras:** Es el conjunto interconectado de elementos, que poseen la intención de funcionar como un todo, un cumulo de partes que se va entrelazar e interconectar con objetivos particulares. (Ing. Rodas Andrade, 2014).
- c. Embalse de relaves:** Es aquel tipo de depósito que está compuesto por un muro perimetral con talud interno impermeabilizado hecho con un tipo de material grueso de préstamo generado. (Bach. Olaya Rubio & Bach. Sevillano Celis, 2019).
- d. Mineral:** Se define como aquella sustancia sólida, homogénea, natural, de origen inorgánico de composición química correspondiente. (Bach. Olaya Rubio & Bach. Sevillano Celis, 2019).
- e. Modelo Numérico:** Son estas herramientas numéricas en las que presenta recursos para modelar dichas estructuras geotécnicas sin requerir excesiva memoria debido a las formulaciones numéricas. (Calderón Angelino, 2020).
- f. Muestra:** Es aquella pequeña porción de roca o de un depósito mineral que se toma para lograr determinar los ensayos en el contenido de metales. (Bach. Cristobal Damaso, 2018).
- g. Presa Minera:** Es aquella que se usa para designar los depósitos estériles de lavadero en suspensión acuosa. (Bach. Apaza Quispe, 2019).
- h. Relave:** Se define como todo el desecho del proceso de obtención de minerales comerciales. (Bach. Apaza Quispe, 2019).
- i. Residuos minerales:** Son aquellos que, por su composición y densidad, en la cual los materiales peligrosos capaces de romper algunos equilibrios de los ecosistemas. (Bach. Carhuamaca Celedonio, 2018).
- j. Resistencia:** Capacidad de un material de presentar oposición, en mayor o menor grado, frente a las fuerzas aplicadas sobre el mismo, sin sufrir deformaciones o rotura” (Toxement, 2016, pág. 23).

## 2.4 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

### 2.4.1 Hipótesis general

La composición del relave varía significativamente en el modelo numérico del comportamiento estructural de la presa de depósito de relave minero de la unidad minera San Vicente, distrito de Vitoc, provincia de Chanchamayo, departamento de Junín

### 2.4.2 Hipótesis específicas

- a) El modelo numérico determina del comportamiento estructural frente al recrecimiento de la presa, esta influye significativamente en la condición sísmica y estática.
- b) Las etapas constructivas y la calidad de estas garantizan el correcto funcionamiento de la estructura.
- c) Las pruebas realizadas en cada etapa de ejecución con el adecuado control de calidad aportaran favorablemente en el mayor desempeño de la presa de relave.

## 2.5 VARIABLES

### 2.5.1 Definición conceptual de las variables

- **Variable independiente (X):**

#### **Comportamiento estructural**

Según (Bach. Olaya Rubio & Bach. Sevillano Celis, 2019), una presa de depósito de relave es aquella obra de ingeniería diseñada para almacenar los excedentes que son provocados por la extracción de algunos minerales.

- **Variable dependiente (Y):**

#### **Modelo Numérico**

Son estas herramientas numéricas en las que presenta recursos para el modelado de dichas estructuras geotécnicas sin

requerir excesiva memoria debido a las formulaciones numéricas.  
(Calderón Angelino, 2020).

## **2.5.2 Definición operacional de las variables**

- **Variable independiente (X)**

### **Comportamiento estructural**

El comportamiento estructural de la presa es uso para satisfacer las exigencias de modo que aislé completamente los sólidos y disminuya su impacto sobre el ecosistema circundante, garantiza un buen comportamiento y resistencia ante las acciones o eventos que se logren poner en riesgo su estabilidad. (Bach. Olaya Rubio & Bach. Sevillano Celis, 2019).

- **Variable Dependiente (Y)**

### **Modelo Numérico**

El modelo numérico de la presa de relave es utilizado para el análisis de estabilidad de taludes, nos permite modelar los detalles estructurales de juntas o fisuras cercanas usando un método de homogenización. (Osorio Mogollón & Navarro Zavala, 2018).

**Tabla 2.4:** Operacionalización De Variables.

<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidad</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Fuente</b>
<b>Variable Independiente 1:</b> <b>Comportamiento Estructural de una Presa de depósito de relave minero</b>	<b>Esfuerzos</b>	<b>Esfuerzo a lo que es sometido.</b>	<b>KN</b>	<b>Peso específico de Relave</b>	<b>Todos los Ensayos a realizar serán a nivel de gabinete con características físicas del relave.</b>
	<b>Deformaciones</b>	<b>Grado de deformación</b>	<b>mm</b>	<b>Presión Hidro estática</b>	
		<b>Desplazamientos</b>	<b>mm</b>	<b>Comportamiento estructural</b>	
<b>Variable Dependiente 2:</b> <b>Modelo Numérico</b>	<b>Propagación de onda</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Cm</b>	<b>Modelamiento estructural de la presa de relave.</b>	<b>Todos los Ensayos a realizar serán a nivel de Gabinete.</b>
	<b>Simulación de flujos</b>	<b>Densidad de Flujo</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>		
	<b>Desplazamientos por acción sísmica.</b>	<b>Milímetros.</b>	<b>Mm</b>		

Fuente: Elaboración Propia

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN**

Para la presente investigación en toda su extensión se va a utilizar el método científico puesto que este método impide al investigador la manipulación de los resultados de manera caprichosa, se va a presentar los resultados apegándose fielmente a la dignificación del desarrollo de la ingeniería, de nada servirá imponer prejuicios y alterar los resultados si se pretende que este estudio quede como precedente de futuras investigaciones a fines a las presas de relave minero.(Ccanto Mallma, 2010).

#### **3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Se ha identificado que el tipo de investigación se encuadra dentro de investigación aplicada, pues se pretende resolver problemas prácticos con el objetivo de cambio además, será un instrumento de tomando en sociedad. (Del Cid, Sandoval y Sandoval, 2007).

#### **3.3 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN**

Este trabajo de investigación tuvo un nivel descriptivo describe los hechos y circunstancias de la evaluación del diseño tomando en cuenta los

aspectos técnicos, incluso las variables están vinculadas, afectando a uno de entre ellos modificando la otra variable.

### **3.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.**

El tipo de diseño fue no experimental ya que se trata de la descripción de las características de los diversos componentes y su relación con sus comportamientos específicos tal como se visualizan en la realidad.

### **3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA.**

#### **3.5.1 Población**

Para la presente investigación la población de estudio estuvo constituida por la presa de relave La esperanza de la unidad minera San Vicente, dicha mina se encuentra comprendida en la provincia de Chanchamayo, perteneciente a su vez al departamento de Junín, en cuanto a la altitud promedio se desarrollarán los estudios a una altura de 920 msnm.

#### **3.5.2 Muestra**

Por la peculiaridad de esta investigación se considera la muestra similar a la población en tal sentido la muestra está compuesta por la presa de relave La esperanza de la unidad minera San Vicente, una sola muestra en particular.

### **3.6 TÉCNICAS.**

Para la recolección de la información en el análisis, donde se considera resúmenes a fin de estructurar el marco teórico y conceptualizar la investigación; se realizará visitas de campo a la zona de influencia de la investigación.

#### **a) Observación directa**

Esta técnica fue utilizada para poder definir, comparar y medir las características propias de las presas de tierra en la incidencia de la infiltración.

#### **b) Análisis de documentos**

Los documentos que se utilizaron, fueron desde el principio de la investigación para poder dar un sustento a la misma, en cuanto al manejo de los conceptos existentes, entre ellos se tiene los siguientes:

- Revisión de bibliografía:

Esta revisión se utilizó para poder profundizar el conocimiento adquirido como investigador, en este caso en referencia al problema de investigación y de esta manera poder tener el sustento ante dicho tema investigado.

### **3.7 INSTRUMENTOS.**

El instrumento utilizado fue la evaluación ya que, según (Vásquez Vélez, 2011), Un elemento necesario para evaluar es tener información sobre el objeto a evaluar, esta información la ofrecen los instrumentos de evaluación. Además, los instrumentos son entendidos como el conjunto estructurado de estímulos que sirven para lograr y tener resultados o resultados sobre el objeto a evaluar.

Asimismo, se han utilizado los formatos de los ensayos de laboratorio realizados.

### **3.8 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

Luego de la recolección de la información, se evaluará los diferentes comportamientos estructurales del relave producida por los agentes externos en la muestra estudiada.

### **3.9 TECNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS**

- Pre-campo:

Recopilación de información respecto a la descripción del comportamiento estructural

- Campo:

Recolección de datos como temperatura, presión, localización geográfica.

- Gabinete

Procesamiento de datos.

Resultados de los diagnóstico.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.**

##### **4.1.1 Diseño estructural**

El diseño estructural del nivel de ingeniería de expansión del depósito de relaves se preparó en el pero la capacidad de almacenamiento del depósito de relaves basado en criterios de diseño actualizados.

El Recrecimiento del Depósito de Relaves fue diseñado para almacenar de forma permanente los relaves ciclónicos gruesos y finos.

El sistema de conducción y eliminación de residuos en el depósito de residuos se realiza por gravedad a través de tuberías. Del mismo modo, la ubicación de los puntos de descarga de los residuos de pulpa debe moverse, para que el espejo de agua sobrenadante esté lejos de la presa gruesa.

Una vez formado el espejo de agua sobrenadante en el depósito de relaves, el el agua es evacuada de acuerdo a la corriente,

es decir a través de tres quenas que conducirán lo recuperado hacia las piletas de captación por un tubo de 14" de diámetro; de igual manera, en este paso, se agregarán dos quenas a este sistema las cuales se ubican en aguas arriba del depósito de relaves.

**a) Coeficiente Sísmico.**

De acuerdo a cada obra se va determinando el tipo de movimiento sísmico a simular, para el caso especial de las presas de relave minero se prevé que va a existir un periodo de retorno de 100 años considerando la existencia de probable un sismo severo, suponiendo una probabilidad de 10%, es decir que hay una probabilidad de 1 en 10 que suceda un sismo de importante relevancia dentro de los 50 años siguientes, tomando en cuenta las características locales, se espera que la aceleración máxima se encuentre estimada en 0.31g.

Para el caso del coeficiente sísmico horizontal, habitualmente se opta por tomar valores de estudios hechos en el extranjero, la aceleración máxima de campo libre "a max" se toma en base a la fundación de la presa de relave, generalmente el criterio usado para su selección depende de la experiencia, sin embargo al carecer de grandes investigaciones locales se toma como referencia los estudios realizados en Estados Unidos, específicamente en la Costa Oeste, comúnmente se utilizan coeficientes sísmicos horizontales que van entre 0.10-0.25, ajustando los coeficientes a la realidad local, se pretende utilizar un coeficiente que este comprendido entre 0.33 veces la aceleración máxima a 0.5 veces la aceleración máxima, en cuanto al coeficiente sísmico vertical, generalmente se estila usar un valor nulo, puesto que tiene poca influencia hacia los factores de seguridad.

Debemos tomar en consideración que las presas de relave minero deben de ajustar sus cálculos a las nuevas tendencias, el plano internacional se está tornando a tomar más importancia a los aspectos de seguridad ambiental, siendo el relave minero un material perjudicial para el medio ambiente y que la correcta disposición y tratamiento de estas se producen en espacios de tiempo muy prolongados, se tienen que construir las estructuras con periodos de retorno incluso mayores, hasta 500 años, suponiendo que tendríamos una probabilidad del 10% en 100 años, los valores ajustados para el caso en particular de la presa de relave minero La Esperanza , nos obligan a utilizar como coeficiente sísmico horizontal 0.18, optándose este valor elevado en suposición de un caso extremo para su verificación y para el diseño se supondrá el coeficiente sísmico en 0.15, con estos parámetros trataremos que la estructura presente características holgadas para hacer frente a un sismo.criterio de

**Tabla 4.1.** Coeficientes Sísmicos K Recomendados para el Análisis Pseudo-Estático

<b>Coeficiente Sísmico k</b>	<b>Observaciones</b>
<b>0.10</b>	Sismo importante, FS > 1.0.
<b>0.15</b>	Sismo de gran magnitud, FS > 1.0.
<b>0.15 a 0.25</b>	Japón FS > 1.0
<b>0.05 a 0.15</b>	Estado de California
<b>0.10 para <math>\mu = 6.5</math> 0.15 para <math>\mu = 8.5</math></b>	(Seed, 1979) con FS>1.15
<b>1/3 a 1/2 de la aceleración pico superficial</b>	(Marcuson y Franklin, 1983) FS > 1.0
<b>1/2 de la aceleración pico superficial</b>	(Hynes, Griffin y Franklin, 1984) FS > 1.0 y un 20% de reducción de resistencia.

FUENTE: (Losco, 2013)

La estabilidad pseudoestática y pseudodinámica del dique se ha calculado el rompeolas, c'es por ello que se ha identificado la siguiente sección de análisis:

- **Factores de seguridad**

El software Slide va a utilizar un análisis de elementos finitos, se está optando para el modelamiento colocar un valor de 1.5 como factor de seguridad estático y bajar el valor a 1.0 para el factor de seguridad pseudo-estático.

Así pues, el suelo de fundación presenta una cohesión de 0 kPa y 35° de fricción.

Las Condiciones Geotécnicas del sitio de acuerdo al estudio geotécnico realizado, en el área del depósito de relaves se identifican las siguientes unidades geotécnicas descritas

- Relaves Finos: Conformado por limo arenoso de baja plasticidad "ML", de color gris claro, húmeda a saturada, de consistencia blanda a muy blanda.
- Relaves Gruesos: Este material de relave compactado está conformado por arena limosa de plasticidad nula "SM", color gris claro, poco húmedo, de consistencia suelta, se encuentra débilmente permeable.
- Relleno Estructural: Acumulaciones de fragmentos polimícticos, sub-angulosos a sub-redondeados, con mala gradación, presentan matriz areno-limosa, de compactación densa a muy densa.
- Dique: Acumulaciones de fragmentos polimícticos, angulosos a sub-angulosos, bien gradados, presentan niveles arcillosos y arenosos, de baja plasticidad y

compacidad densa, se encuentra dispuesto a lo largo del pie del Depósito de Relaves La Esperanza.

- Depósitos Coluviales; Constituido por materiales fragmentados transportados y acumulados por la acción de la gravedad, se ubica sobre las laderas de los adyacentes, la naturaleza del suelo coluvial es heterogénea tanto en forma como en tamaño; Consisten en gravas clasificadas como "GW" de arenas limosas con gravas "SM". Tiene una gran esfera de influencia en las áreas y al sur del depósito de relaves La Esperanza.
- Depósitos Aluvial: Compuesto por materiales fragmentados transportados y acumulados por la acción de las corrientes del río, se ubica llenando el valle del río Tulumayo sobre lecho rocoso la naturaleza del suelo aluvial es heterogénea tanto en forma como en tamaño; Consisten en grave "GP" mal y arena arcillosa con grave "SM". Tiene una zona de influencia en el depósito de relaves de la zona noroeste.
- Granito San Ramón: Bancos macizos piroclásticos gris rojizos, la litología predominante es granito; moderadamente resistente a muy resistente, moderadamente meteorizado, poco fracturado, tiene una amplia zona de influencia en la zona este del depósito de relaves La Esperanza.

#### **b) Criterios de diseño**

- Coeficiente Sísmico: El coeficiente sísmico utilizado para evaluar la estabilidad bajo condiciones de carga sísmica (método pseudo-estático) es de 0.13g, el cual corresponde a los 1/2 de la aceleración de diseño. Este valor es bastante conservador y se debe sobre todo al nivel de riesgo, ya que

los muros forman parte de la estructura que soportará el dique de arranque para el aumento de construcción del depósito de relaves.

- Requerimientos de Estabilidad: Los mínimos factores de seguridad para diferentes condiciones se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 4.2:** Resumen de Factores de Seguridad Mínimos Recomendados

<b>Condición</b>	<b>Combinaciones de Cargas Permanentes (Estáticas)</b>	<b>Combinación de Cargas Eventuales (Sismo)</b>
Volteo	2	1.5
Deslizamiento	1.5	1.1
Análisis interno (pullout)	1.5	1.125
Estabilidad global	1.5	1.1
Capacidad portante	2	1.25

Fuente: Elaboración Propia

- Solicitación de Cargas: Sobre la presa de depósito se han asumido las siguientes cargas:

Carga Muerta: En el cálculo de la carga muerta se ha considerado el peso del dique de contención de relleno común, que contendrá a su vez el dique de relaves gruesos para el recrecimiento del depósito.

### **c) Criterios a tomar en cuenta para el diseño**

Para el diseño de la presa de relave se requieren datos del suelo donde se va a ampliar la estructura como también de la acidez del relave, las características especiales de una presa de relave son diferidas a una presa convencional, puesto que el material que va a contener va a tener un comportamiento peculiar,

para conocer la composición del suelo cercano a la presa de relave, se ha realizado 3 calicatas de donde se han tomado 3 muestras, con el fin de conocer con más detalle la granulometría, la clasificación SUCS, la densidad natural y el porcentaje de humedad, así mismo es necesario realizar pruebas al relave, sobre la acidez que presentará esta.

**Tabla 4.3:** Granulometría del Suelo por Tamizado NTP 339.128 (1999)-ASTM D422

<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso Retenido (g)</b>	<b>Peso Acumulado (%)</b>	<b>Retenido Acumulado (%)</b>	<b>Pasante (%)</b>
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00
2 ½"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	367.31	11.40	11.40	88.60
1 ½"	38.100	112.77	3.50	14.90	85.10
1"	25.400	106.33	3.30	18.20	81.80
¾"	19.050	132.10	4.10	22.30	77.70
3/8"	9.525	212.65	6.60	28.90	71.70
N°4	4.760	238.43	7.40	36.30	63.70
N°10	2.000	444.64	13.80	50.10	49.90
N°20	0.850	315.76	9.80	59.90	40.10
N°40	0.425	228.76	7.10	67.00	33.00
N°60	0.250	148.21	4.60	71.60	28.40
N°100	0.150	122.44	3.80	75.40	24.60
N°200	0.075	132.10	4.10	79.50	20.50
Fondo		660.51	20.50	100.00	0.00
Total		3222.00	100.00%		

Fuente: (Elaboración Propia)

El análisis granulométrico de las muestras extraídas de las cercanías al relave minero La esperanza, en síntesis, nos arrojan que se cuenta con una composición de 36.30 % de gravas, 43.20

% de arenas y 20.50% de material fino, dentro de la clasificación SUCS, se clasificaría como una arena limosa arcillosa con grava (SC-SM)

**Tabla 4.4:** Limite Líquido NTP 339.129 (2014)

Descripción	Límite Líquido		
	T-01	T-02	T-03
N° de Capsula	T-01	T-02	T-03
Masa cápsula + Suelo Húmedo (g)	70.70	45.00	50.70
Masa cápsula + Suelo Seco (g)	60.20	38.81	44.91
Masa cápsula (g)	16.69	11.45	17.49
Masa de agua (g)	10.50	6.19	5.79
Masa del suelo seco (g)	43.51	27.36	27.12
Contenido de Humedad (%)	24.13	22.62	21.35
N° de golpes	17.00	25.00	33.00

Fuente: (Elaboración Propia).



**Figura 4.1** Pesado del Suelo Húmedo en la Capsula.

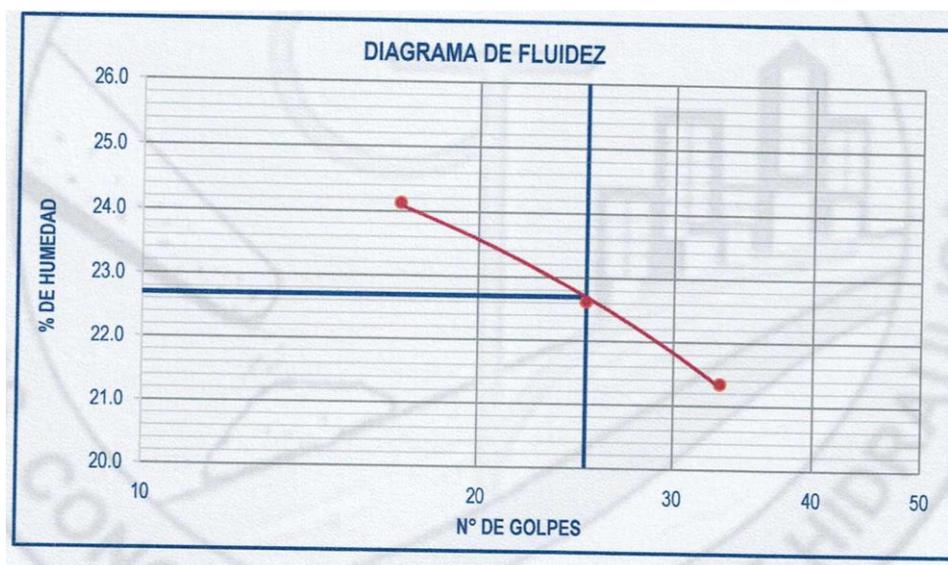
FUENTE: Elaboración Propia

**Tabla 4.5:** Limite Plástico NTP 339.129 (2014)

Descripción	Límite Plástico	
	T-15	T-14
N° de Capsula	T-15	T-14
Masa cápsula + Suelo Húmedo (g)	17.40	22.61
Masa cápsula + Suelo Seco (g)	16.70	21.63
Masa cápsula (g)	12.77	15.93
Masa de agua (g)	0.70	0.98
Masa del suelo seco (g)	3.93	5.70
Contenido de Humedad (%)	17.81	17.19
N° de golpes	I	II

Fuente: (Elaboración Propia).

Según La figura 4.3, de las pruebas de laboratorio se cuenta con un límite liquido de 22.7, el límite plástico tiene el valor de 17.5, se encuentra un valor de índice plástico de 5.2.



**Figura 4.2.** Diagrama de fluidez.

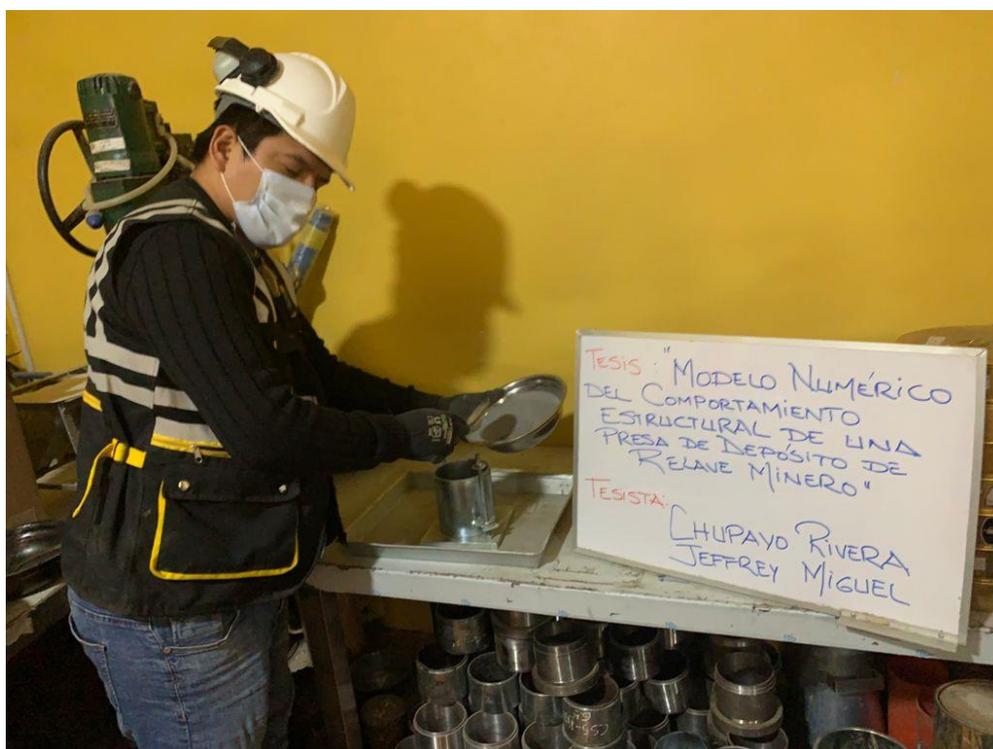
FUENTE: Elaboración Propia

**Tabla 4.6:** Ensayo de Proctor Modificado – Compactación

<b>Ensayo de compactación NTP 339.141 – ASTM D 1557</b>				
N° de Capas	5	5	5	5
N° de Golpes	56	56	56	56
Peso Suelo + molde (gr)	10,444.2	10,656.6	10,762.5	10,705.8
Peso molde (gr)	6,068.8	6,068.8	6,068.8	6,068.8
Peso suelo Compactado (gr)	4,375.4	4,587.8	4,693.7	4,637.0
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2,119.6	2,119.6	2,119.6	2,119.6
Densidad Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2.064	2.164	2.214	2.188

Fuente: (Elaboración Propia).

Para determinar la Humedad se utilizó un molde con 6068.8gr. de peso y 2119.6 cm<sup>3</sup> de volumen.



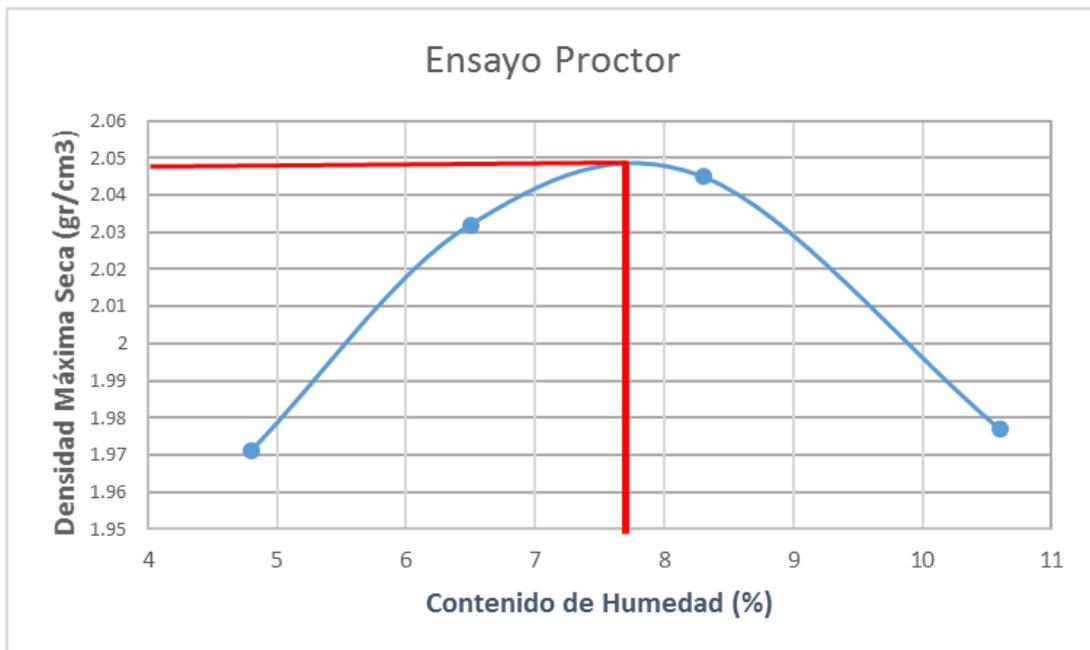
**Figura 4.3.** Ingreso del Suelo Húmedo en la Capsula.

FUENTE: Elaboración Propia

**Tabla 4.7:** Ensayo de Proctor Modificado – Humedad (%)

Ensayo de contenido de Humedad NTP 339.141 – ASTM D 1557				
Tara N°	1	2	3	4
Tara + Suelo húmedo (gr.)	668.6	742.0	811.2	650.4
Tara + Suelo seco (gr.)	640.3	699.6	752.8	596.4
Peso de agua (gr.)	28.3	42.4	58.4	54.0
Peso de tara (gr.)	45.0	50.1	45.9	89.0
Peso de Suelo Seco (gr.)	595.3	649.5	706.9	507.4
Humedad (%)	4.8	6.5	8.3	10.6
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.971	2.032	2.045	1.977

Fuente: (Elaboración Propia).



**Figura 4.4.** Densidad Máxima Seca vs % Humedad

FUENTE: Elaboración Propia

Del gráfico se determina la máxima Humedad seca en 2.047 gr/cm<sup>3</sup>, como también el óptimo contenido de humedad en 7.85 %.

Para el relave grueso se realizaron 4 calicatas a fin de conocer su granulometría, además de la humedad óptima y la clasificación SUCS, adicionalmente se realizó una calicata para el relave fino.

**Tabla 4.8:** Características del Relave Grueso

Sondeo	Material menor a 3'' (%)			LL (%)	LP (%)	DM S (%)	W opt (%)	W (%)	SUC S
	Grav as	Aren as	Fino s						
	Calicata 1	0	88	2	17	NP	1.94 7	10.6	
Calicata 2	42	27	4	16	NP	2.26 4	7.5	4.5	GM
Calicata 3	0	67	33	16	NP	1.84 6	11.9	6.2	SM
Calicata 4	0	79	21	16	NP	1.75 1	11.2	5.3	SP- SM

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 4.9:** Características del Relave Fino

Sondeo	Material menor a 3'' (%)			LL (%)	LP (%)	DM S (%)	W opt (%)	W (%)	SUC S
	Grav as	Aren as	Fino s						
	Calicata 5	0	86	14	18	NP	1.80 5	18.4	

Fuente: Elaboración Propia

Para el relave se determinaron las pruebas de densidad con el método del cono de arena in situ.



**Figura 4.5** Tamizado de la Muestra de Relave.

FUENTE: Elaboración Propia

**Tabla 4.10:** Prueba de Densidades con Cono de Arena – Relave Grueso y Fino

Prospección	Profundidad (m)	Densidad Natural (Gr/Cm <sup>3</sup> )	Humedad Natural (%)	Grado Compactación (%)
Calicata 1	0.35 Derecha	2	10.1	91.2
Calicata 1	0.35 Izquierda	1.84	10.4	84.6
Calicata 2	0.35 Derecha	1.65	10.6	68.7
Calicata 2	0.35 Izquierda	1.75	11.5	68.4
Calicata 3	0.35 Derecha	1.87	11.2	90.3
Calicata 3	0.35 Izquierda	1.85	11.4	89.0
Calicata 4	0.35 Derecha	1.76	12.0	90.2
Calicata 4	0.35 Izquierda	1.74	12.1	88.2
Calicata 5	0.35 Central	1.75	11.2	87.6
Calicata 5	0.35 Central	1.68	11.4	84.5
Calicata 5	0.35 Central	1.72	11.5	86.3

Fuente: Elaboración Propia

#### d) Análisis de estabilidad

La estabilidad de la presa es una característica relevante, el método que emplea internamente el software Slide se basa netamente en el criterio de Bishop, donde utiliza la interacción de las fuerzas entre las Dovelas, para un análisis más completo se trata de fundamentar bien los criterios límites de la presa, asimismo es importante efectuar los análisis para cada condición de servicio a la que pueda incurrir la presa de relave minero.

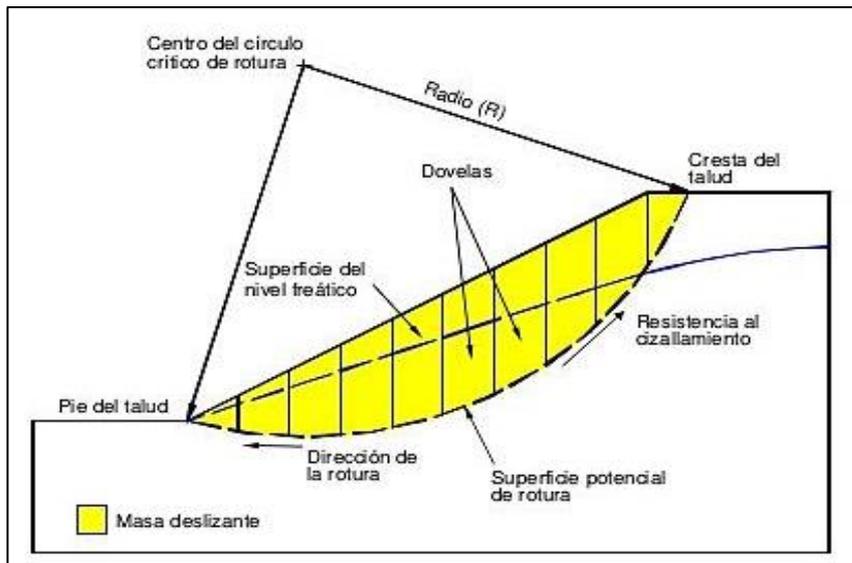
La solución rigurosa de Bishop es muy compleja y esta razón una versión simplificada de su método está de acuerdo con la expresión:

$$FS = \frac{\sum [C' b + (W - ub) \tan \phi * ma]}{\sum W \sin \alpha} \dots\dots\dots (\text{ecuación 4.1})$$

Donde:

$$ma = \cos \alpha \left( 1 + \frac{\tan \alpha \cdot \tan \phi}{FS} \right) \dots\dots\dots (\text{ecuación 4.2})$$

- b = Ancho de la Dovela
- W = Peso Metrado de cada dovela
- C',  $\phi$  = Parámetros de resistencia del suelo
- u = La Presión existente en los poros en la base de cada dovela =  $\gamma w \times h w$
- $\alpha$  = Angulo del radio respecto a la vertical en cada dovela.



**Figura 4.6** Método de las Dovelas

FUENTE: (Gavilanes, 2013)

Cuando se quiere verificar la factibilidad de acrecentar las capacidades de la presa de relave minero para así poder tener mayores volúmenes de almacenamiento, se requiere integrar el factor de seguridad dentro del análisis estructural.

- **Factor de seguridad**

Para tener la certeza de que un sistema estructural va a funcionar correctamente y de manera holgada puede tolerar diversas fuerzas a las que va a estar expuesto se busca un valor que se efectúa de la división entre la capacidad máxima calculada de la presa de relave minero y la capacidad normal a la que se estima que trabajará esta presa durante su tiempo de vida útil, el valor obtenido se le denomina factor de seguridad (FS).

Entonces bajo el concepto ya mencionado tendremos la siguiente ecuación:

$$FS = \frac{\int \pi * ds}{\int T * ds} \dots\dots\dots(\text{ecuación 4.3})$$

Donde:

- $\tau_r$  es la resistencia al corte máximo en la superficie de deslizamiento.
- $\tau$ , la resistencia al corte movilizado en la superficie de deslizamiento.
- $ds$  el diferencial de longitud a lo largo de la superficie de deslizamiento.

También el factor de seguridad puede calcularse dividiendo el momento resistente al deslizamiento con los momentos de las fuerzas que producen el deslizamiento.

Es importante el cálculo del factor de seguridad, puesto que a partir de este factor se puede deducir en Angulo posible que puede tomar el talud, dependiendo al uso que se le va a dar; por ejemplo, si el factor de seguridad se encuentra con valores inferiores a 1 se puede deducir que puede existir deslizamiento a lo largo de la superficie de la presa, cuando se determinen factores de seguridad superiores a 1, se pueden determinar los ángulos máximos de inclinación que pueden tener los taludes. Si se requiere de un caso específico de un talud de construcción definitiva, se busca directamente un factor de seguridad cercano a 1.5.

#### **e) Factor de Seguridad Pseudoestático:**

La norma E050 de suelos y cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones, acota netamente la parte estructural de estas, recomendando explícitamente a utilizar como mínimo un factor de seguridad para las pendientes es de 1.50 esto para la situación estática, asimismo si se evalúan en condiciones psuedo estáticas este factor puede decrecer solo hasta 1.25.

## f) Consideraciones del nivel freático

Un análisis previo del nivel freático siempre es necesario, puesto que la zona donde se encuentra la presa de relave minero, muchas veces presenta lluvias con regular frecuencia, es necesario considerar este aspecto y que el nivel freático este por encima de la alfombra drenante, dentro del vaso de la presa existe un recubrimiento de geo membrana, para acelerar la consolidación es importante la colocación de una red de drenaje interno, puesto que la sedimentación de las lamas producirá filtraciones. La colocación del relave grueso como las arenas produce filtraciones que tiene que ser captados por la alfombra drenante, si el trabajo se da de esta manera se elimina el riesgo que el nivel freático amenace a la estabilidad de la presa de relave minero. Como caso extremo se va a considerar un terreno completamente saturado, en una temporada de lluvias fuertes, diseñando el sistema de drenaje óptimo para tolerar situaciones adversas.

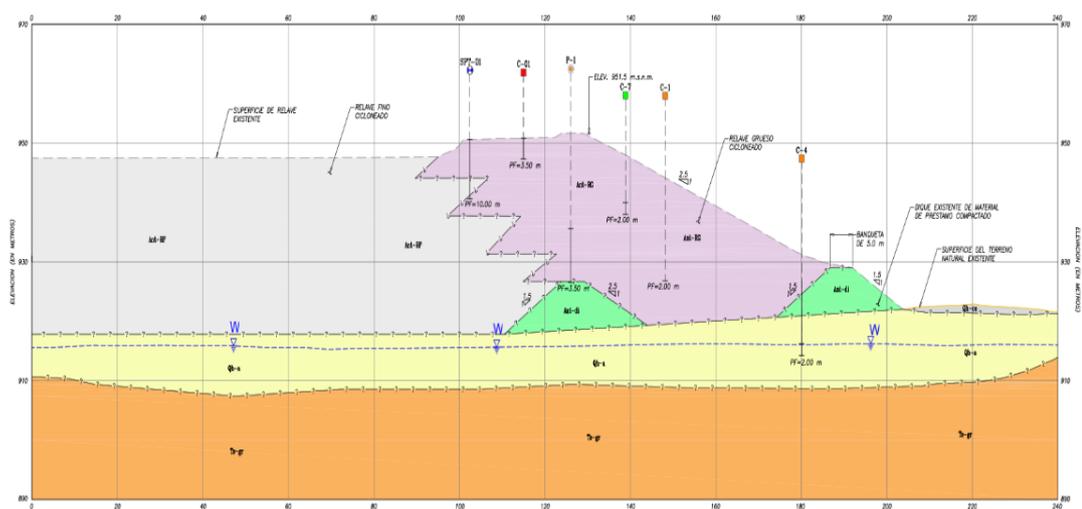


Figura 4.7 Nivel Freático (W)

FUENTE: Elaboración Propia

### g) PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE LOS MATERIALES

La presa de relave minero que se va a diseñar debe de contar con materiales que presentan características especiales, estas son:

**Tabla 4.11:** Parámetros de Resistencia de Materiales de la Presa

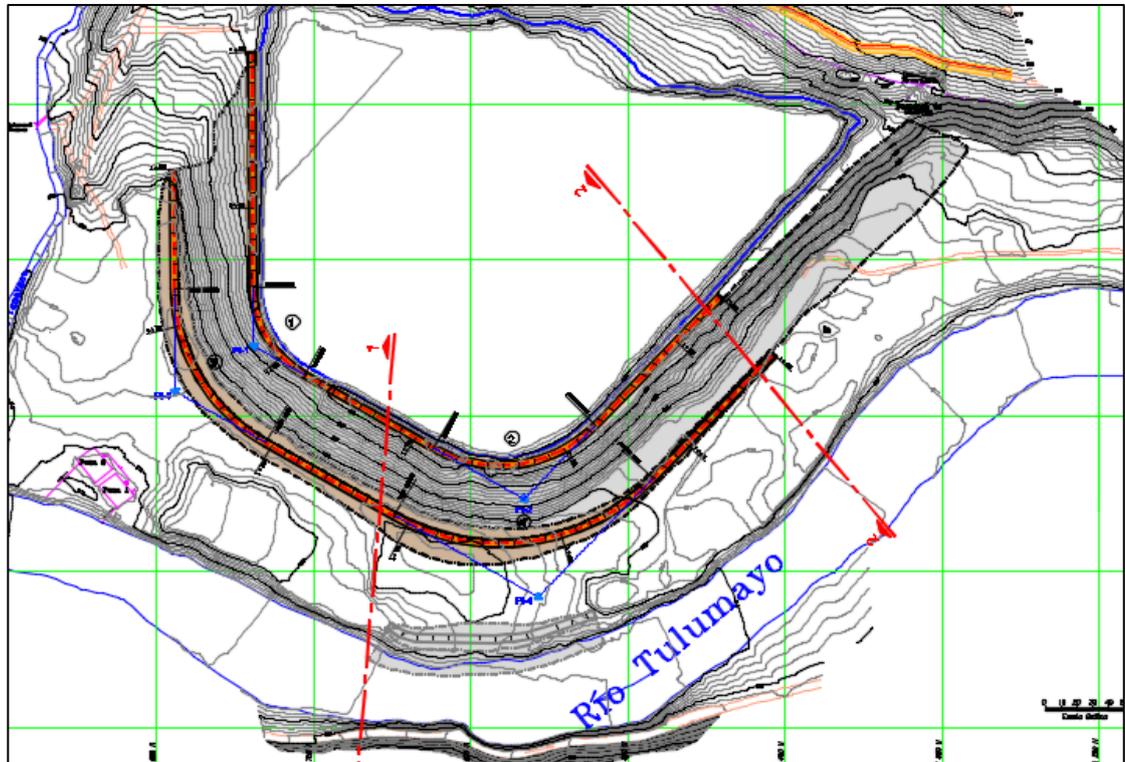
Material	Densidad (KN/m <sup>3</sup> )	Parámetros Resistencia Drenados	
		C' (Kpa)	ø
Relave Fino	14	5	25
Relave Grueso	16	7	33
Relaves Grueso Suelto	15	9	31
Morrena	22.3	0	37
Enrocado	21	0	37
Relave Consolidado	17	1	28
Muro Mec. Estabilizado	20	29	36
Suelo Fundación	22	28	35
Relleno con Geomalla	17	20	35
Dren	20	0	34
Basamento (Granito)	24	350	40

FUENTE: Elaboración Propia

### h) DISEÑO

El diseño plenamente tiene que contemplar el recrecimiento del depósito de relave minero, es imprescindible ubicar la falla crítica, para el caso particular de la Presa de relave La Esperanza, se consideraron fallas circulares, así mismo como ya se mencionó, el análisis numérico de la presa va a apoyarse en un análisis de elementos finitos con el Software Slide versión 6.0, para mejorar notablemente la certeza del análisis estructural se va a discretizar el modelamiento, presentando así un diseño mucho más óptimo y apegado a la realidad.

Para el análisis del recrecimiento se analizaron las secciones 1-1 y 2-2 del eje de la presa.



**Figura 4.8** Ubicación de las secciones 1-1 y 2-2 utilizados en el análisis de estabilidad

FUENTE: (SIMSA, 2015)

### **Relaves a depositar**

La planta minera explota Zinc, plomo y plata, produciendo 2200 toneladas métricas por día de material extraído, de los cuales un promedio de 1963.06 TMD son relaves, representando una relación entre el relave y mineral concentrado extraído de 0.8923. En cuanto a la densidad en seco de los relaves gruesos es de 1.808 gr/cm<sup>3</sup>, para la densidad de los relaves finos se cuenta con un valor de 1.717 gr/cm<sup>3</sup>.

- **Características de la sobreelevación a la cota 955.60 msnm**

La ejecución de una sobreelevación de la presa La Esperanza, compete plenamente ampliar la capacidad que tiene el vaso en cuando a almacenamiento, lo cual va a suponer el de ajustar a mayores valores de factor de seguridad.

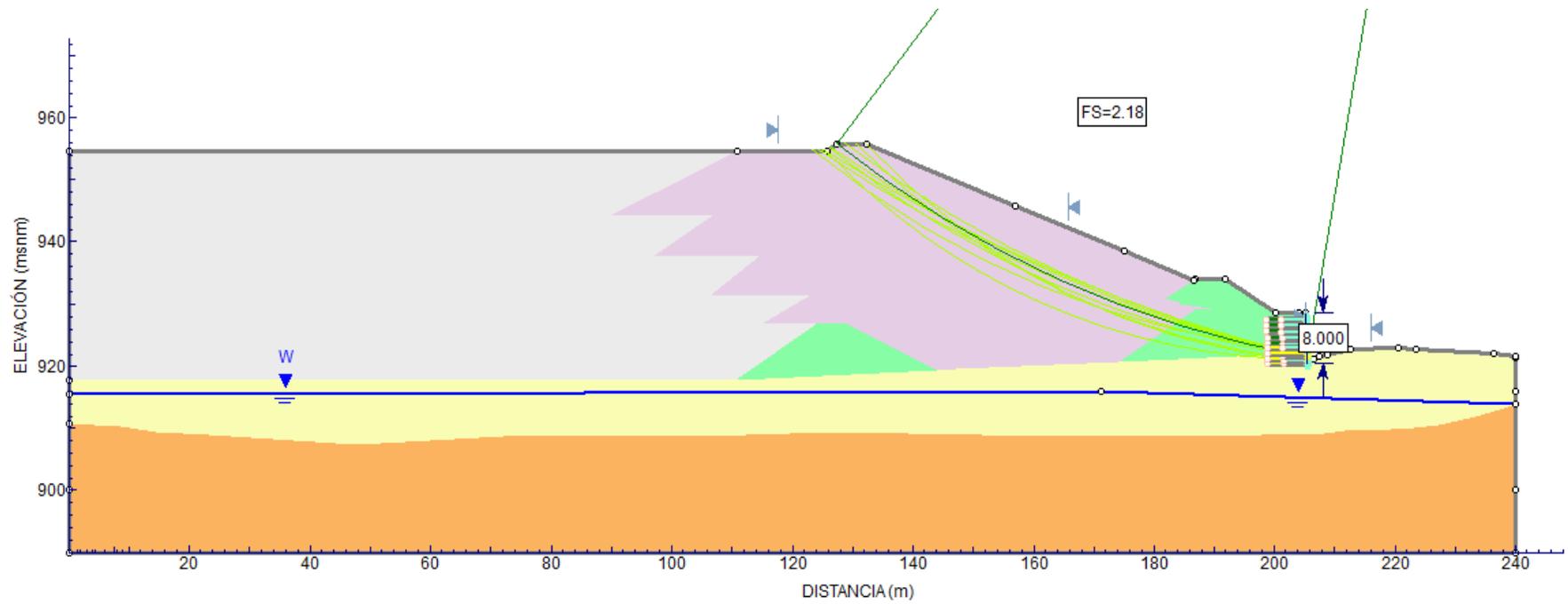
- **Criterios y valores:**

Para el recrecimiento de la presa de relave minero La Esperanza, se ha optado por seguir el método de agua abajo por considerarse en el caso particular más óptimo en cuanto a trabajabilidad y eficiencia por el relave a depositar.

El muro inicial se va a compactar con material de préstamo y también la colocación de relave grueso, así se evitan mayores gastos en movimientos de tierra, la corona de diseño tendrá cinco metros de ancho y estará ubicada en la cota 955.60 msnm, a criterio se va a dejar un borde libre de 2 metros, el talud óptimo para el método de aguas abajo será de 1.5 unidades horizontales por cada 1 unidad en la vertical.

Según la tabla mostrada en la figura 4.1, vamos a tomar un coeficiente sísmico (K) de 0.15, haciendo suponer que la presa va a tolerar sismos de gran magnitud, esto directamente nos hace tomar valores de factores de seguridad mayores a 1, por ende tomaremos 1.50 como factor de seguridad estático, sin embargo para el análisis pseudo estático el valor será simplemente de 1.0, sin estar fuera de los parámetros recomendados, por último se estima que la presa de relave minero tendrá la capacidad de almacenar un volumen neto de 610 000 m<sup>3</sup> sin presentar fallas estructurales ni estar inmerso en una zona de esfuerzo máximo de la estructura.

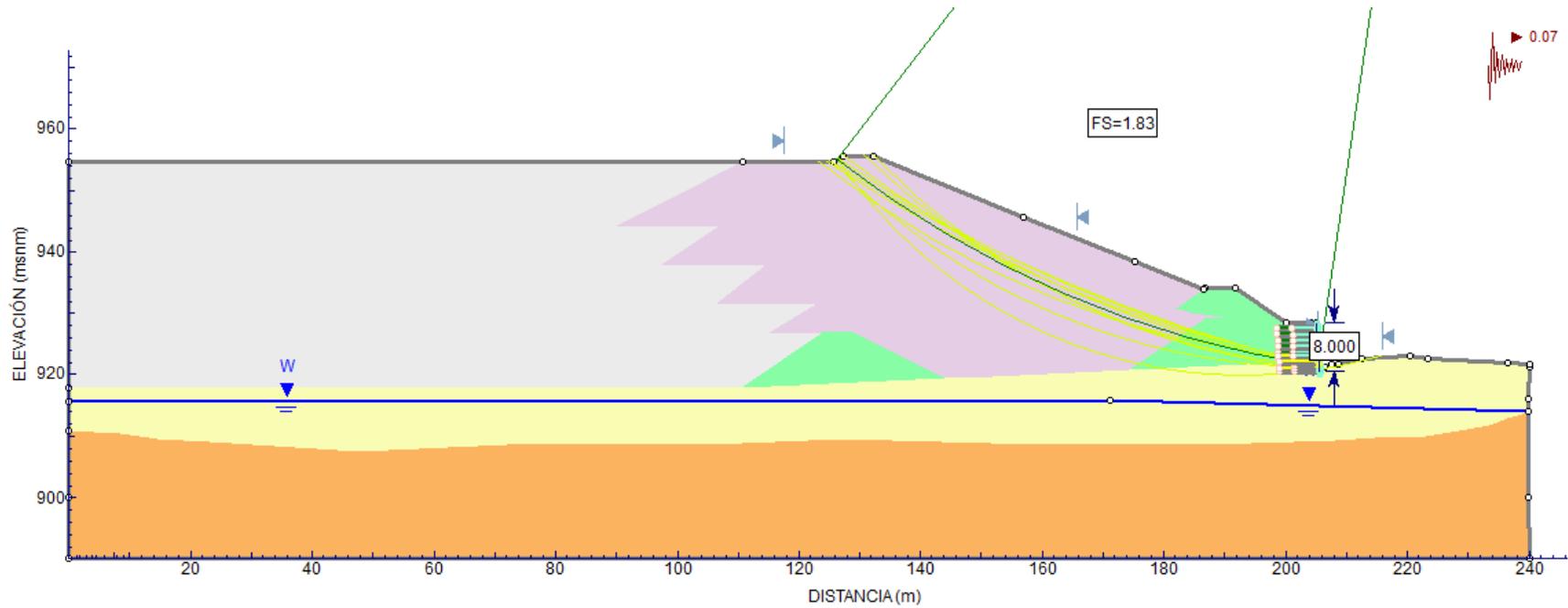
Unidad	Material	Total (kN/m <sup>3</sup> )	Variables de Resistencia	
			c'(kPa)	Φ'(°)
Geológica Geotécnica	Depósito Aluvial	22	0 <sup>(1)</sup>	37 <sup>(1)</sup>
	Basamento Rocoso (Granito San Ramón)	24	350 <sup>(1)</sup>	40 <sup>(1)</sup>
Antrópicos	Relaves Finos	14	4.91 <sup>(1)</sup>	25 <sup>(1)</sup>
	Relaves Gruesos	16	7 <sup>(1)</sup>	33 <sup>(1)</sup>
	Dique	20	29 <sup>(1)</sup>	36 <sup>(1)</sup>



**Figura 4.9:** Depósito de Relaves “La Esperanza” – Sección 1-1 – Estático - Falla Global

FUENTE: Elaboración Propia

Unidad	Material	Total (kN/m <sup>3</sup> )	Variables de Resistencia	
			c'(kPa)	Φ'(°)
Geológica Geotécnica	Depósito Aluvial	22	0 <sup>(1)</sup>	37 <sup>(1)</sup>
	Basamento Rocoso (Granito San Ramón)	24	350 <sup>(1)</sup>	40 <sup>(1)</sup>
Antrópicos	Relaves Finos	14	4.91 <sup>(1)</sup>	25 <sup>(1)</sup>
	Relaves Gruesos	16	7 <sup>(1)</sup>	33 <sup>(1)</sup>
	Dique	20	29 <sup>(1)</sup>	36 <sup>(1)</sup>



**Figura 4.10:** Depósito de Relaves “La Esperanza” – Sección 1-1 – Pseudo Estático  $T_r=100$  años - Falla Global

FUENTE: Elaboración Propia

Unidad	Material	Total (kN/m <sup>3</sup> )	Variables de Resistencia	
			c'(kPa)	Φ'(°)
Geológica Geotécnica	Depósito Aluvial	22	0 <sup>(1)</sup>	37 <sup>(1)</sup>
	Basamento Rocoso (Granito San Ramón)	24	350 <sup>(1)</sup>	40 <sup>(1)</sup>
Antrópicos	Relaves Finos	14	4.91 <sup>(1)</sup>	25 <sup>(1)</sup>
	Relaves Gruesos	16	7 <sup>(1)</sup>	33 <sup>(1)</sup>
	Dique	20	29 <sup>(1)</sup>	36 <sup>(1)</sup>

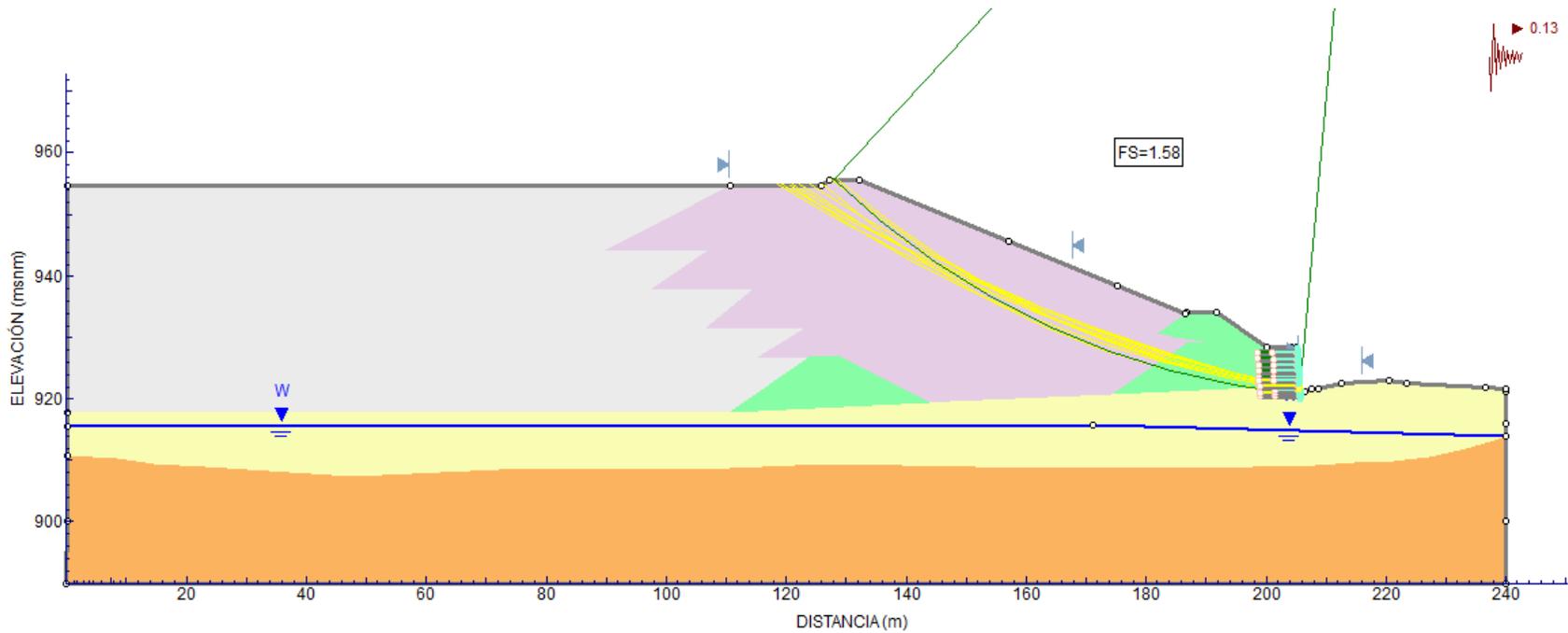
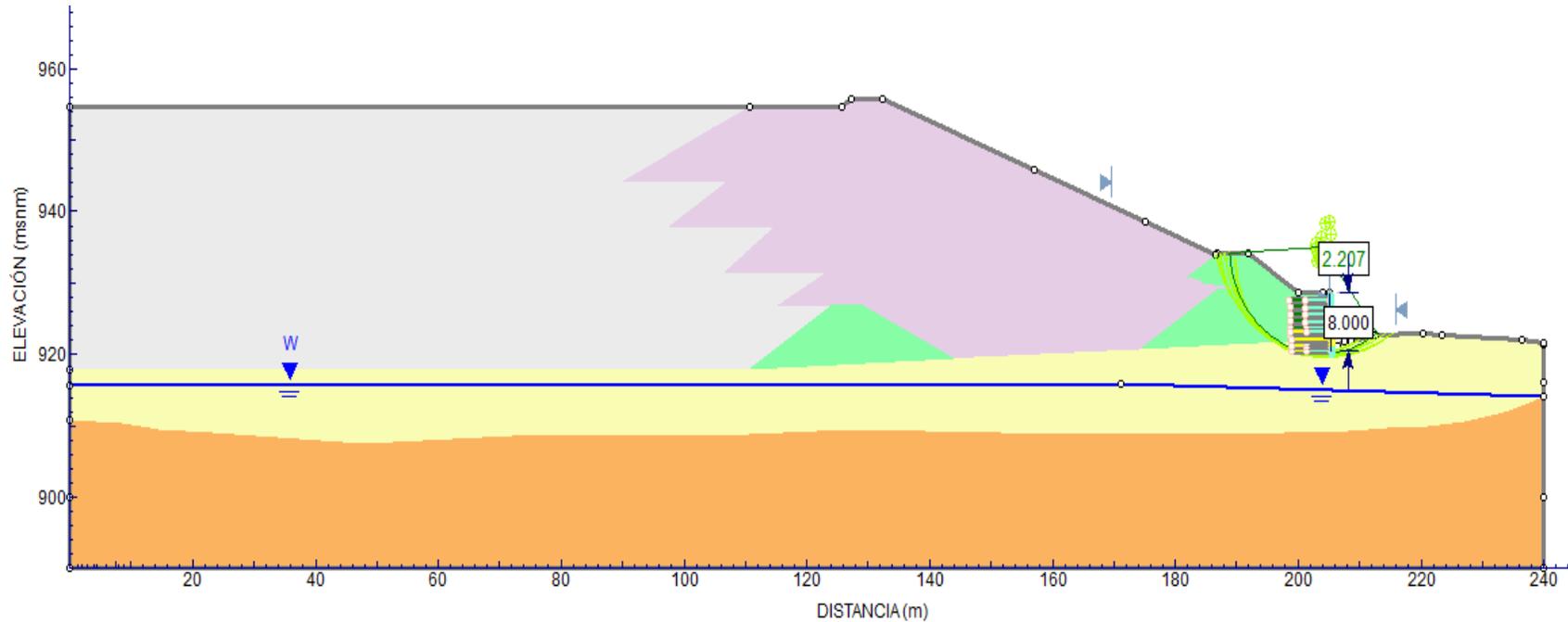


Figura 4.11: Depósito de Relaves “La Esperanza” – Sección 1-1 – Pseudo Estático Tr=500 años - Falla Global

FUENTE: Elaboración Propia

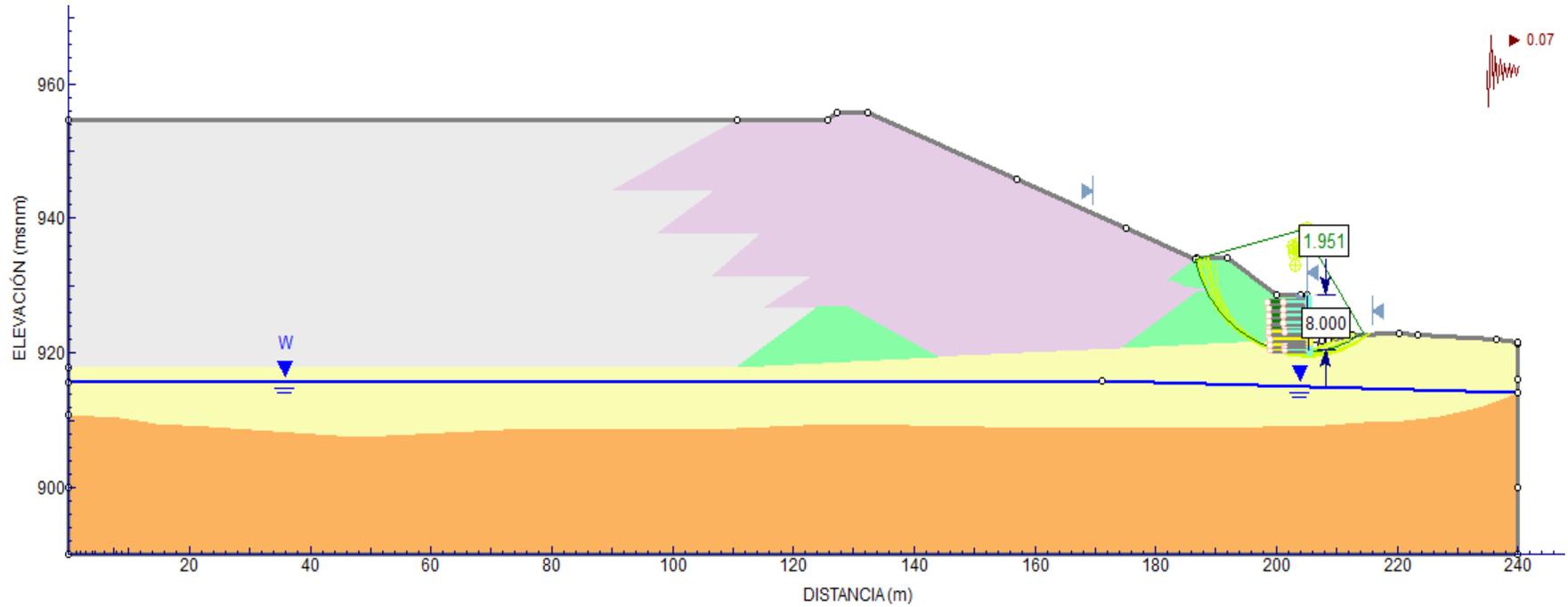
Unidad	Material	Total (kN/m <sup>3</sup> )	Variables de Resistencia	
			c'(kPa)	Φ'(°)
Geológica Geotécnica	Depósito Aluvial	22	0 <sup>(1)</sup>	37 <sup>(1)</sup>
	Basamento Rocoso (Granito San Ramón)	24	350 <sup>(1)</sup>	40 <sup>(1)</sup>
Antrópicos	Relaves Finos	14	4.91 <sup>(1)</sup>	25 <sup>(1)</sup>
	Relaves Gruesos	16	7 <sup>(1)</sup>	33 <sup>(1)</sup>
	Dique	20	29 <sup>(1)</sup>	36 <sup>(1)</sup>



**Figura 4.12:** Depósito de Relaves “La Esperanza” – Sección 1-1 – Estático - Falla Local

FUENTE: Elaboración Propia

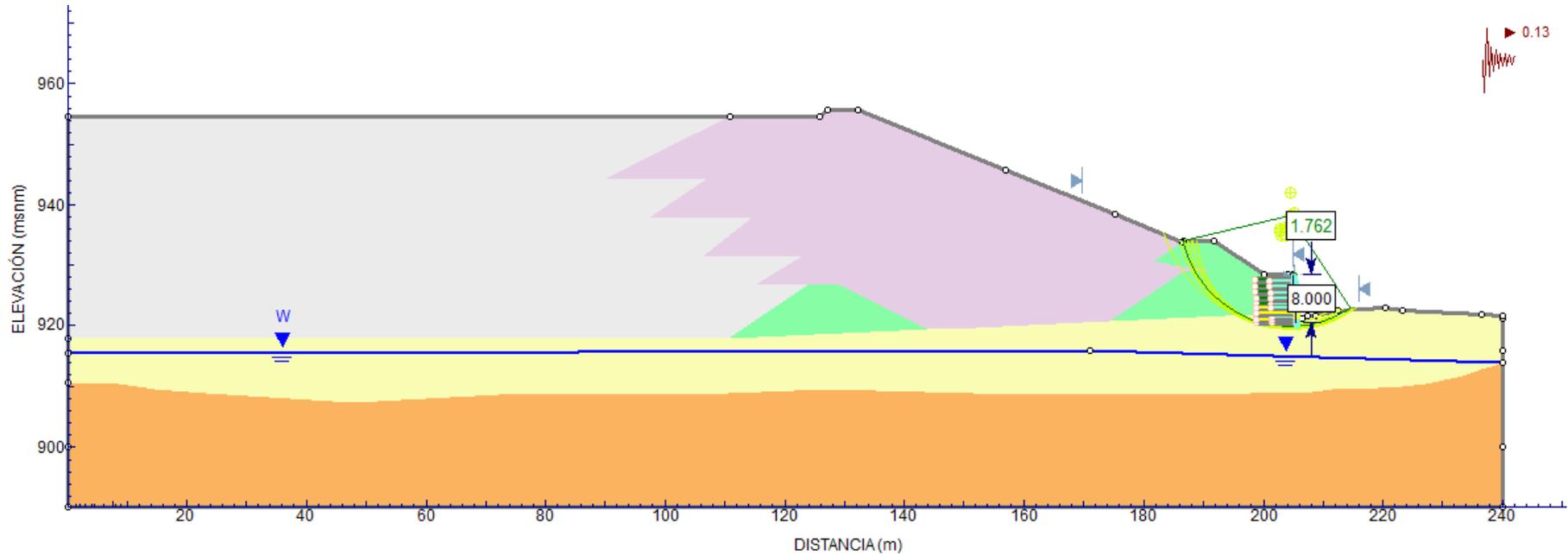
Unidad	Material	Total (kN/m <sup>3</sup> )	Variables de Resistencia	
			c'(kPa)	Φ'(°)
Geológica Geotécnica	Depósito Aluvial	22	0 <sup>(1)</sup>	37 <sup>(1)</sup>
	Basamento Rocoso (Granito San Ramón)	24	350 <sup>(1)</sup>	40 <sup>(1)</sup>
Antrópicos	Relaves Finos	14	4.91 <sup>(1)</sup>	25 <sup>(1)</sup>
	Relaves Gruesos	16	7 <sup>(1)</sup>	33 <sup>(1)</sup>
	Dique	20	29 <sup>(1)</sup>	36 <sup>(1)</sup>



**Figura 4.13:** Depósito de Relaves “La Esperanza” – Sección 1-1 – Pseudo Estático Tr=100 años – Falla Local

FUENTE: Elaboración Propia

Unidad	Material	Total (kN/m <sup>3</sup> )	Variables de Resistencia	
			c'(kPa)	Φ'(°)
Geológica Geotécnica	Depósito Aluvial	22	0 <sup>(1)</sup>	37 <sup>(1)</sup>
	Basamento Rocoso (Granito San Ramón)	24	350 <sup>(1)</sup>	40 <sup>(1)</sup>
Antrópicos	Relaves Finos	14	4.91 <sup>(1)</sup>	25 <sup>(1)</sup>
	Relaves Gruesos	16	7 <sup>(1)</sup>	33 <sup>(1)</sup>
	Dique	20	29 <sup>(1)</sup>	36 <sup>(1)</sup>



**Figura 4.14:** Depósito de Relaves “La Esperanza” – Sección 1-1 – Pseudo Estático Tr=500 años - Falla Local

FUENTE: Elaboración Propia

Unidad	Material	Total (kN/m <sup>3</sup> )	Variables de Resistencia	
			c'(kPa)	Φ'(°)
Geológica Geotécnica	Depósito Aluvial	22	0 <sup>(1)</sup>	37 <sup>(1)</sup>
	Basamento Rocoso (Granito San Ramón)	24	350 <sup>(1)</sup>	40 <sup>(1)</sup>
Antrópicos	Relaves Finos	14	4.91 <sup>(1)</sup>	25 <sup>(1)</sup>
	Relaves Gruesos	16	7 <sup>(1)</sup>	33 <sup>(1)</sup>
	Dique	20	29 <sup>(1)</sup>	36 <sup>(1)</sup>

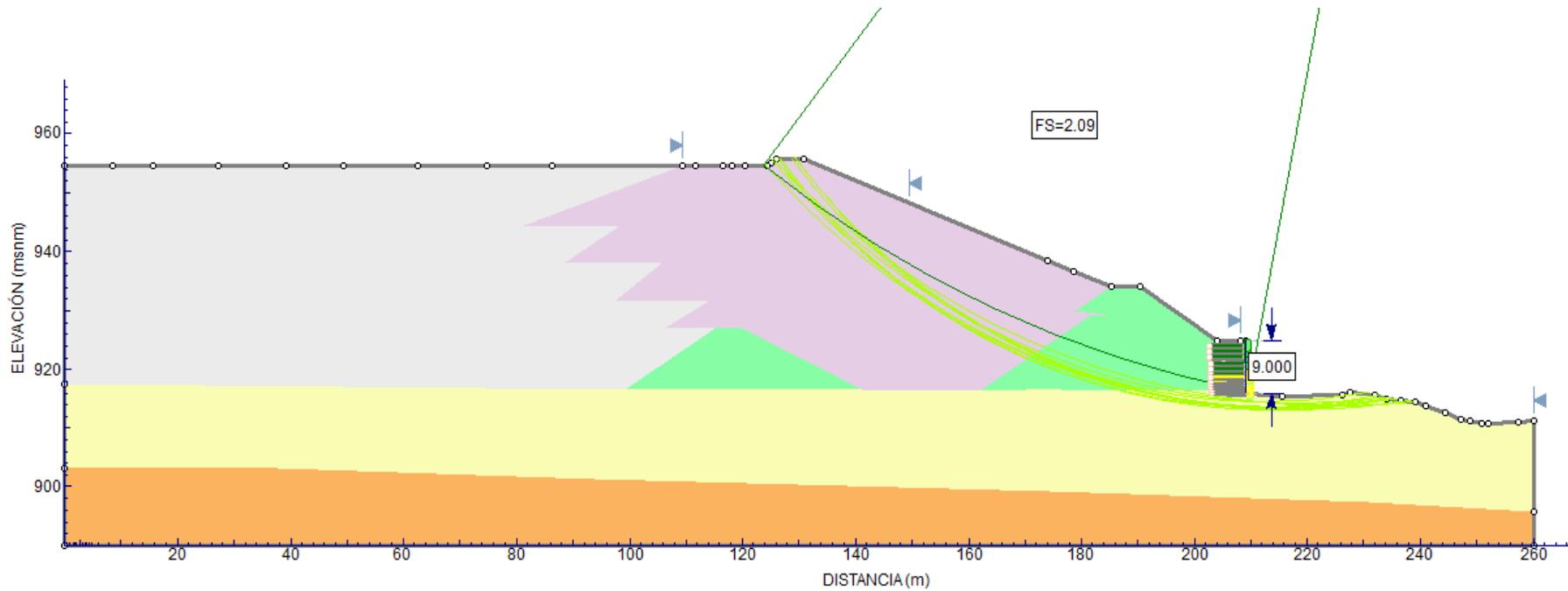
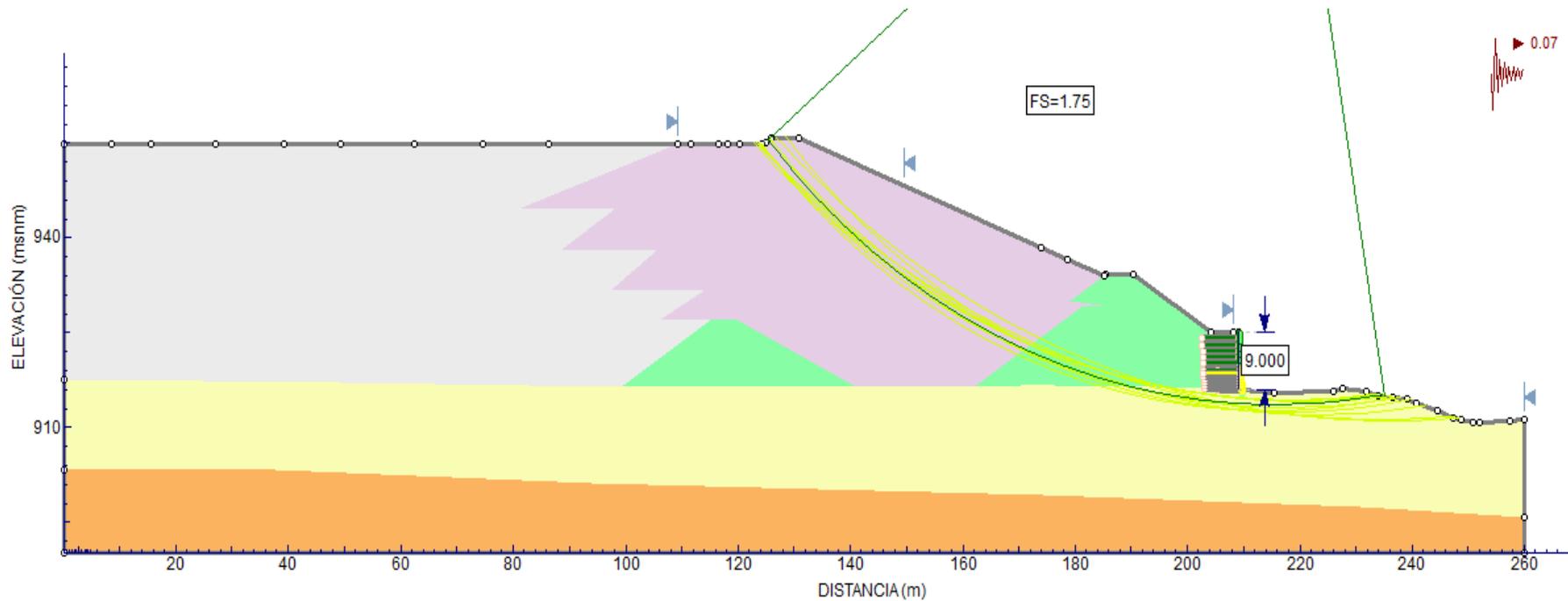


Figura 4.15: Depósito de Relaves “La Esperanza” – Sección 2-2 – Estático - Falla Global

FUENTE: Elaboración Propia

Unidad	Material	Total (kN/m <sup>3</sup> )	Variables de Resistencia	
			c'(kPa)	Φ'(°)
Geológica Geotécnica	Depósito Aluvial	22	0 <sup>(1)</sup>	37 <sup>(1)</sup>
	Basamento Rocoso (Granito San Ramón)	24	350 <sup>(1)</sup>	40 <sup>(1)</sup>
Antrópicos	Relaves Finos	14	4.91 <sup>(1)</sup>	25 <sup>(1)</sup>
	Relaves Gruesos	16	7 <sup>(1)</sup>	33 <sup>(1)</sup>
	Dique	20	29 <sup>(1)</sup>	36 <sup>(1)</sup>



**Figura 4.16:** Depósito de Relaves “La Esperanza” – Sección 2-2 – Pseudo Estático Tr=100 años – Falla Global

FUENTE: Elaboración Propia

Unidad	Material	Total (kN/m <sup>3</sup> )	Variables de Resistencia	
			c'(kPa)	Φ'(°)
Geológica Geotécnica	Depósito Aluvial	22	0 <sup>(1)</sup>	37 <sup>(1)</sup>
	Basamento Rocoso (Granito San Ramón)	24	350 <sup>(1)</sup>	40 <sup>(1)</sup>
Antrópicos	Relaves Finos	14	4.91 <sup>(1)</sup>	25 <sup>(1)</sup>
	Relaves Gruesos	16	7 <sup>(1)</sup>	33 <sup>(1)</sup>
	Dique	20	29 <sup>(1)</sup>	36 <sup>(1)</sup>

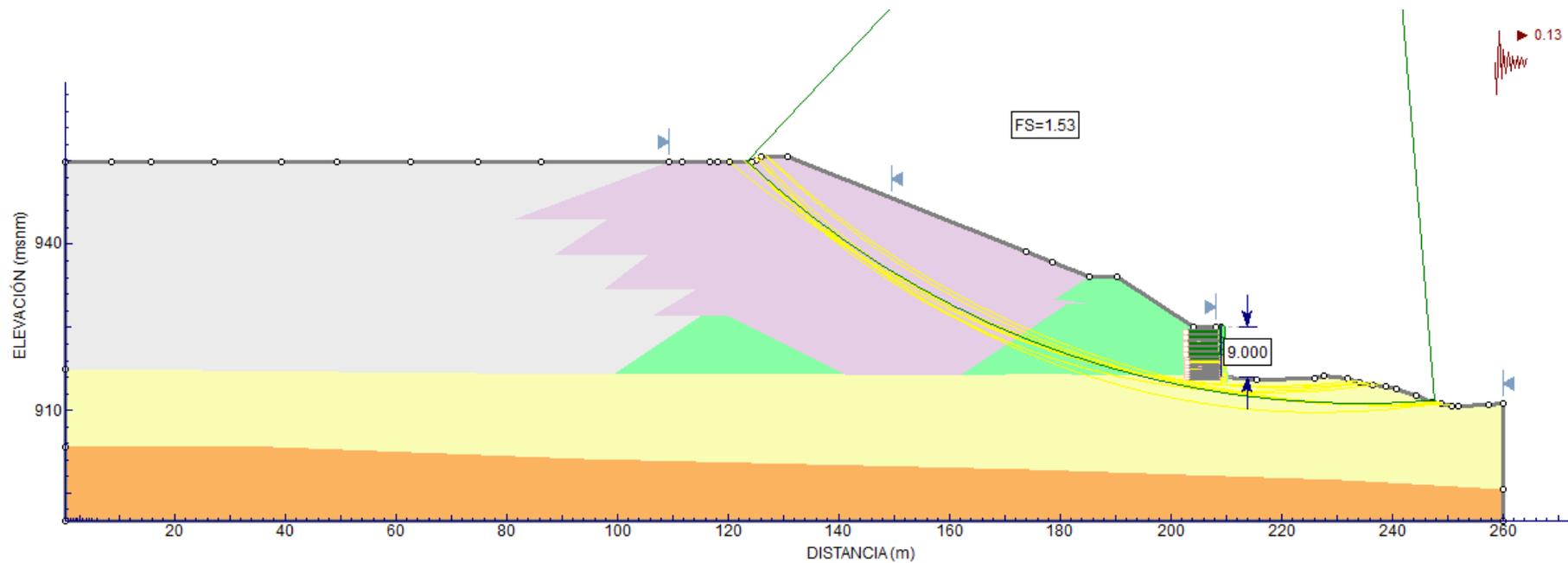
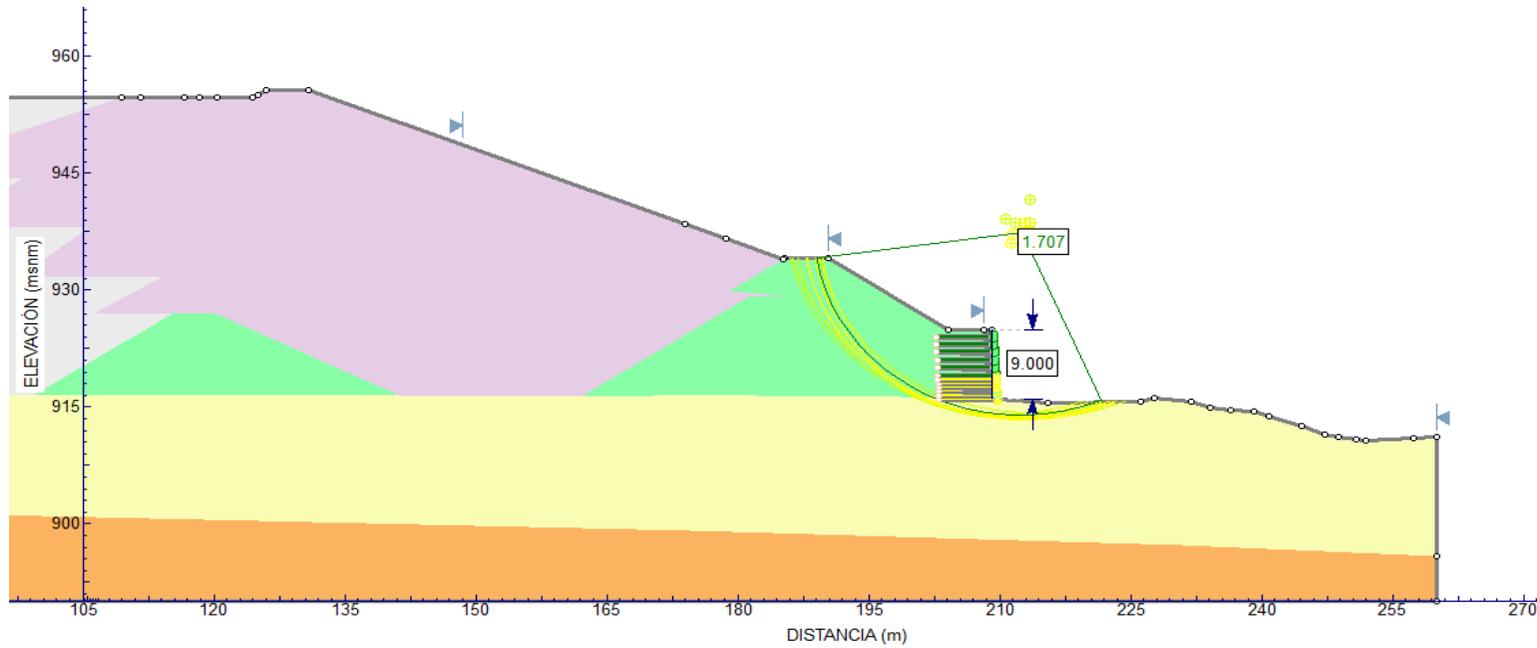


Figura 4.17: Depósito de Relaves “La Esperanza” – Sección 2-2 – Pseudo Estático Tr=500 años - Falla Global

FUENTE: Elaboración Propia

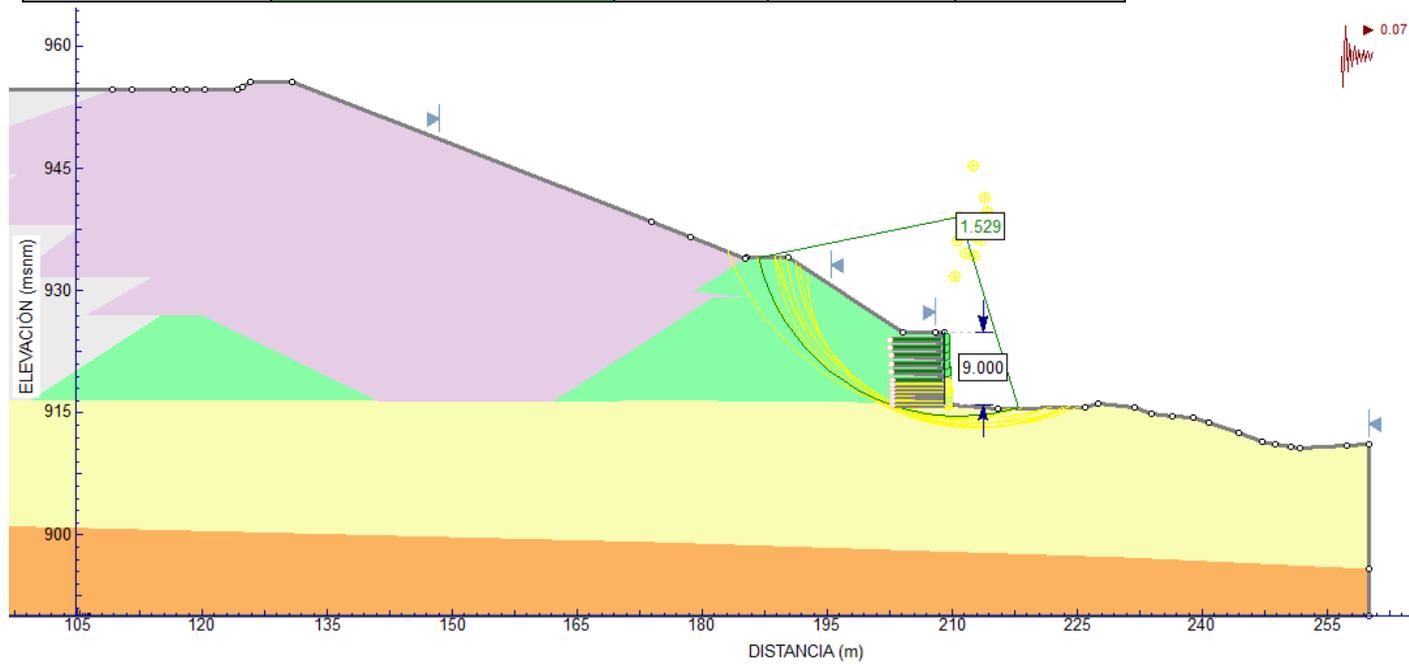
Unidad	Material	Total (kN/m <sup>3</sup> )	Variables de Resistencia	
			c'(kPa)	Φ'(°)
Geológica Geotécnica	Depósito Aluvial	22	0 <sup>(1)</sup>	37 <sup>(1)</sup>
	Basamento Rocoso (Granito San Ramón)	24	350 <sup>(1)</sup>	40 <sup>(1)</sup>
Antrópicos	Relaves Finos	14	4.91 <sup>(1)</sup>	25 <sup>(1)</sup>
	Relaves Gruesos	16	7 <sup>(1)</sup>	33 <sup>(1)</sup>
	Dique	20	29 <sup>(1)</sup>	36 <sup>(1)</sup>



**Figura 4.18:** Depósito de Relaves “La Esperanza” – Sección 2-2 – Estático - Falla Local

FUENTE: Elaboración Propia

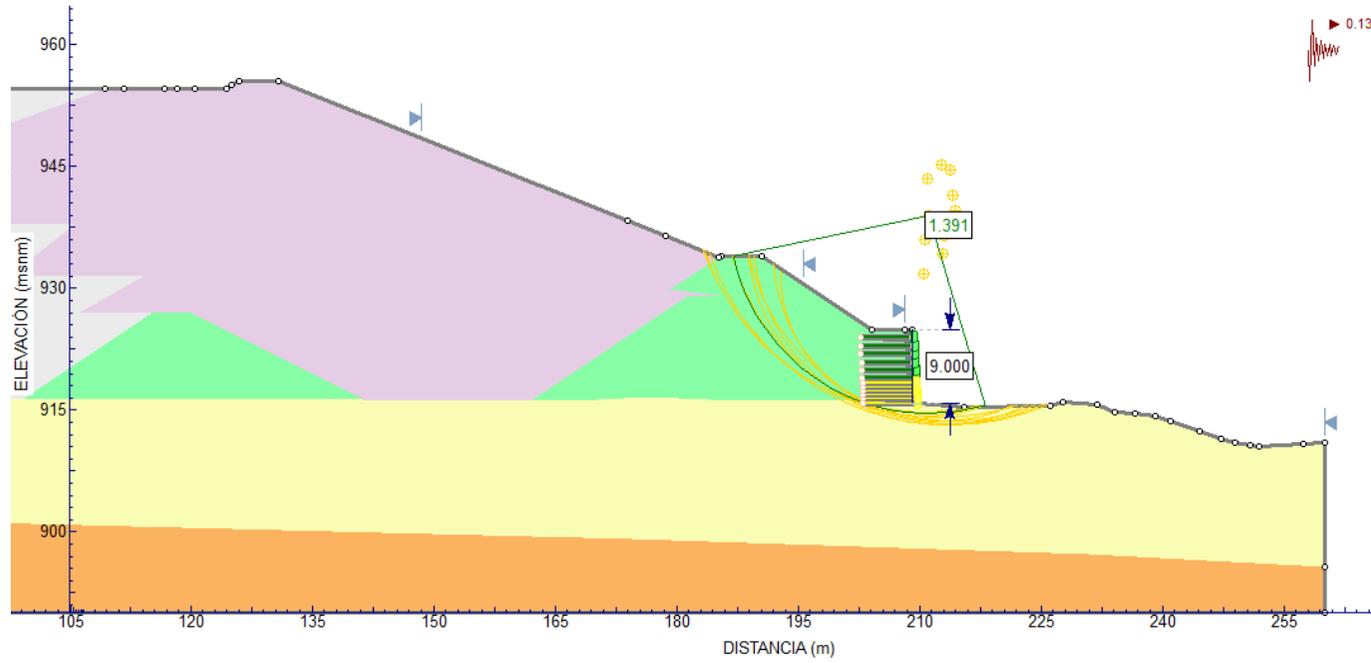
Unidad	Material	Total (kN/m <sup>3</sup> )	Variables de Resistencia	
			c'(kPa)	Φ'(°)
Geológica Geotécnica	Depósito Aluvial	22	0 <sup>(1)</sup>	37 <sup>(1)</sup>
	Basamento Rocoso (Granito San Ramón)	24	350 <sup>(1)</sup>	40 <sup>(1)</sup>
Antrópicos	Relaves Finos	14	4.91 <sup>(1)</sup>	25 <sup>(1)</sup>
	Relaves Gruesos	16	7 <sup>(1)</sup>	33 <sup>(1)</sup>
	Dique	20	29 <sup>(1)</sup>	36 <sup>(1)</sup>



**Figura 4.19:** Depósito de Relaves “La Esperanza” – Sección 2-2 – Pseudo Estático  $T_r=100$  años – Falla Local

FUENTE: Elaboración Propia

Unidad	Material	Total (kN/m <sup>3</sup> )	Variables de Resistencia	
			c'(kPa)	Φ'(°)
Geológica Geotécnica	Depósito Aluvial	22	0 <sup>(1)</sup>	37 <sup>(1)</sup>
	Basamento Rocoso (Granito San Ramón)	24	350 <sup>(1)</sup>	40 <sup>(1)</sup>
Antrópicos	Relaves Finos	14	4.91 <sup>(1)</sup>	25 <sup>(1)</sup>
	Relaves Gruesos	16	7 <sup>(1)</sup>	33 <sup>(1)</sup>
	Dique	20	29 <sup>(1)</sup>	36 <sup>(1)</sup>



**Figura 4.20:** Depósito de Relaves “La Esperanza” – Sección 2-2 – Pseudo Estático Tr=500 años - Falla Local  
FUENTE: Elaboración Propia

**Tabla 4.12:** Factores de Seguridad obtenidos – Condición Estática

Sección	Descripción	Tipo de Falla	Factor de Seguridad
			Estático
1-1	MSR Tramo N°1, Depósito de Relaves “La Esperanza” H=8.0 m	Global	2.18
1-1	MSR Tramo N°1, Depósito de Relaves “La Esperanza” H=8.0 m	Local	2.21
2-2	MSR Tramo N°2, Depósito de Relaves “La Esperanza” H=9.0 m	Global	2.09
2-2	MSR Tramo N°2, Depósito de Relaves “La Esperanza” H=9.0 m	Local	1.71

Fuente: (Elaboración Propia)

**Tabla 4.13:** Factores de Seguridad obtenidos – Condición Sísmica

Sección	Descripción	Tipo de Falla	Factor de Seguridad	
			Pseudo Estático (Operación Tr=100 años)	Pseudo Estático (Operación Tr=500 años)
1-1	MSR Tramo N°1, Depósito de Relaves “La Esperanza” H=8.0 m	Global	1.83	1.58
1-1	MSR Tramo N°1, Depósito de Relaves “La Esperanza” H=8.0 m	Local	1.95	1.76
2-2	MSR Tramo N°2, Depósito de Relaves “La Esperanza” H=9.0 m	Global	1.75	1.53
2-2	MSR Tramo N°2, Depósito de Relaves “La Esperanza” H=9.0 m	Local	1.53	1.39

Fuente: (Elaboración Propia)

#### **4.1.2 Etapas Constructivas.**

Mediante la modelación en el programa Slide V6.0 se ha encontrado los factores de seguridad más precisos, con ello se puede proseguir con más confianza en cuanto a la elección del talud que tomará y la verificación de la estabilidad de la presa de relave minero, es posible acrecentar las magnitudes de la presa La Esperanza y el análisis numérico propuesto llega a concluir que puede tolerar hasta escenarios de sismo severo.

El decreto supremo N° 054-20013-PCM.nos condiciona bastante en cuanto a la utilización del recurso hídrico, fundamental en todo proyecto minero como también en toda actividad agrícola-pecuaria, para no soslayar el tema social, es pertinente realizar las modificaciones planteadas a la Presa, para ello se propuso 4 fases de ejecución, este recrecimiento podrá beneficiar a la mina como a la mejor conservación ambiental cercana a la zona de la explotación minera, mitigando de la mejor manera posible los daños intrínsecos que tiene toda actividad minera.

El objetivo del presente estudio ha sido verificar el modelamiento numérico de la presa a fin de prever la estabilidad teóricamente antes de su ejecución y desarrollar a nivel ingeniería de detalle del crecimiento de la presa y estructuras que complementan este crecimiento, para aumentar el desarrollo en altura del depósito de relaves.

##### **a) Fases.**

Para la construcción planeada se está proponiendo 2 fases, en base a los requerimientos y posibilidades prácticas de construcción.

Fase I: Dique De Relave Grueso, el recrecimiento se iniciará en la cota 951.50 msnm, de donde nace la presa anterior y terminará en la cota 955.60 m.s.n.m.

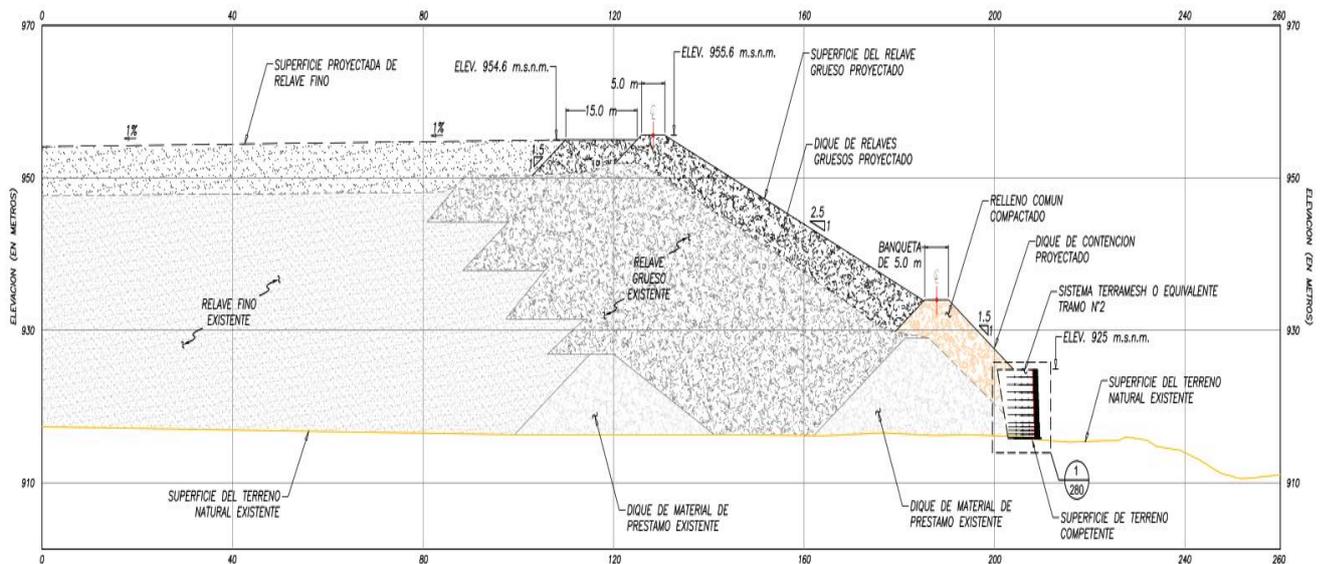
Fase II: Dique De contención, el recrecimiento se iniciará en la cota 929.9 msnm, de donde nace la presa anterior y terminará en la cota 934.00 m.s.n.m.

Para cada etapa se definirá el volumen de material de préstamo y relave grueso a necesitar.

**Tabla 4.14:** Factores de Seguridad obtenidos – Condición Sísmica

Elevación de la Corona propuesta (msnm)	Volumen a Necesitar por Fase (m3)	
	Relave Grueso	Material de Préstamo
955.60	575562.55	43805.31
934.00	57844.15	92805.54

Fuente: (Elaboración Propia)



**Figura 4.21:** Sección 2-2 Presa de Relave La Esperanza, Corona Final Cota 955.60 msnm

FUENTE: Elaboración Propia

## b) REQUISITOS DE COMPACTACIÓN

- **Relave grueso:**

La norma ASTM D698 de proctor estándar nos sugiere realizar una compactación del relave grueso al 95 % como

mínimo, tomando en cuenta la densidad máxima compactada del relave grueso en seco. Para facilitar este proceso se plantea lo siguiente, primero se va a construir el apoyo del vaso, donde la laguna de aguas claras debe de estar lo más alejado posible de la zona de trabajo, para la compactación se va a considerar 2 aspectos fundamentales, si se llega a utilizar una compactación manual se recomienda como máximo utilizar capaz de 15 cm de espesor y en caso se utilice maquinaria pesada; lo cual sería más viable en cuanto a costos dado el área del proyecto, se puede trabajar con capaz de 25 cm de espesor como máximo.

### c) CONTROLES

Ya se mencionaron los espesores de capas recomendadas para cada tipo de compactación; sin embargo va a depender de las particularidades de la ejecución de donde se pueda disponer de maneras alternativas de compactado, siempre y cuando se respete de manera absoluta de llegar a una compactación del 95%, si se realizan pruebas pertinentes y se demuestra que se puede llegar al mínimo requerido de compactación con otros métodos, se puede ejecutar sin ningún inconveniente, de todas maneras se muestra la siguiente tabla con los ensayos de control para cada material requeridos para la obtención de un buen compactado en obra.

**Tabla 4.15:** Requerimiento Mínimo de los Materiales a Compactar.

MATERIAL	ENSAYO	REQUERIMIENTO	FRECUENCIA	NORMA
<b>Préstamo</b>	Granulometría	Banda granulométrica	1 por 4,000 m <sup>3</sup>	ASTM D422
<b>Morrena</b>	Proctor Modificado	95% PE	1 por 4,000 m <sup>3</sup>	ASTM D1557

	Humedad natural	Contenido de humedad	1 por 1,000 m3	ASTM D2216
	Densidad In situ	Reemplazo por agua	1 por 1,000 m3	ASTM D5030
	Inspección Visual	A realizar por Ingeniero	Continua	-
	Proctor estandar	95% PE	1 por 20,000 m3	ASTM D698
<b>Relave Grueso</b>	Densidad In situ y humedad natural	Cono de arena grande (D6")	1 por 700 m3	ASTM D1556
	Análisis Granulométrico	Contenido máximo de material bajo malla N°200 menor a 20%	1 por 10,000 m3	ASTM D422

Fuente: (Suarez, 2019)

La consecución del dique amerita una gran cantidad de capas compactados, a continuación, se muestra la cantidad calculada de capas que debería de ejecutarse para llegar a la cota por cada fase hasta llegar a la cota de fin de corona.

**Tabla 4.16:** Numero de Capas por Cada Fase a Compactar según el Material.

<b>Etapas</b>	<b>Capas</b>	<b>Material</b>
Fase I 955.60 Msnm	52.00	Préstamo (morrena)
	78.00	Relave
Fase II 934.00 Msnm	92.00	Préstamo (morrena)
	49.00	Relave

Fuente: (Elaboración Propia)

La tabla N° 4.10., presenta el presupuesto estimado total que se requiere para ejecutar cada fase propuesto de la obra, es un monto aproximado, considerando solo las obras de movimiento de tierras, compactación y ejecución del sobre crecimiento de la presa, así mismo es un gasto considerando que se va a utilizar

maquinaria pesada además de no contemplar embates climáticos que pueden incrementar el número de días de ejecución.

**Tabla 4.17:** Numero de Capas por Cada Fase a Compactar según el Material.

<b>Presupuesto Estimado</b>	
<b>Fase</b>	<b>COSTO</b>
Fase I	U\$ 739,625.34
Fase II	U\$ 802,209.03

Fuente: SIMSA

## **CAPITULO V**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **5.1 DISCUSIÓN DE RESULTADOS CON ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

Los autores (Ortiz Quizhpi & Portilla Flores, 2015), sostienen en su estudio de la Presa del proyecto Pacalori, que los taludes con pendiente 1:3 agua arriba y 1:275 aguas abajo, provocarían que la presa se comportaría de manera estable y segura. Utilizar un método mixto no es lo más viable para este tipo de proyectos, puesto que representa sistemas constructivos más meticulosos que acrecientan los costos, sin embargo, se coincide con el autor, luego de la investigación se ha llegado a concluir que para agua abajo, utilizar taludes de 1:5 en la horizontal como máximo, dotan de gran estabilidad a las presas.

El autor (Ortega Belda, 2016), realizó su estudio reológico de los lodos mineros, donde concluye que los relaves mineros provocan fallas de estabilidad en las presas de tierra, especialmente en las que se construyeron a inicios de los años 1900 y que las alturas de las cortina no deberían estar comprendidas entre 15 a 30 metros de altura, no se coincide con el autor, existe pocos estudios relevantes con respecto al tema, como es natural, los métodos constructivos se han ido desarrollando a lo largo de los años, la

investigación de modelo numérico, representa un estudio de la influencia en conjunto del sistema físico-químico a las presas, se ha demostrado de con las simulaciones en el programa Slide v6.0, que es factible realizar recrecimientos en las presas, con factores de seguridad óptimos e incluso sometidos a posibles sismos severos con periodos de retorno de 50 años, por lo tanto no se coincide con el autor referido, las tecnologías actuales ya nos permiten construir estructuras más grandes y con mejor estabilidad.

El autor (Gonzalo Alberto, 2015), presento un estudio de análisis sísmico en 2 dimensiones de una presa con relaves espesados, de donde pudo obtener una sismicidad histórica de la zona del proyecto, de donde se pueden determinar las aceleraciones máximas para un diseño más óptimo, asimismo consideró la existencia de grietas por desecación. Se coincide plenamente con el autor, pese a que la investigación realizada no considera posibles grietas por desecación, es factible con el modelo numérico el poder acceder a un registro de tiempo-Historia, para así poder tener análisis pseudo-estáticos más precisos, se ha pretendido llevar al límite la estructura con un análisis que utilice un coeficiente sismo horizontal de 1.5, esto acarreó a tener factores de seguridad en el análisis pseudo-estático de 1.0, seria fructífero en futuras investigaciones considerar la influencia en conjunto de la las propiedades físico-químicas del relave considerando posibles grietas por desecación.

La autora (Cancela Rey, 2015), realizó un estudio de la conducta geotécnica de las presas bajo condiciones estáticas y dinámicas, donde llega a determinar que no existe cohesión efectiva, presentando ángulos de rozamiento efectivos que van entre 36 y 40° y que el grado de consolidación, influye de manera importante la resistencia al corte que presentan los residuos, siendo estos más densos y menos deformables, luego de realizar la investigación sobre la conducta numérico de la presa de relave se llega a coincidir completamente con la autora de la referida tesis, en los ensayos de laboratorio se llegaron a encontrar que existe una fricción del suelo de 35°, muy cercano al valor encontrado por la autora, además de encontrarse con valores de cohesión iguales a 0 Kpa, de donde efectivamente no existe

consolidación, así mismo para el caso práctico se está sugiriendo compactar el material en capas de 25 cm, con la utilización de maquinaria, esto va a aportar capacidades de resistencia al corte incluso del mismo material a depositar.

La autora (Tuco Huarahuara, 2016), realizó el análisis de estabilidad de taludes, contando con las variables de geometría, drenaje, condiciones de carga y métodos de análisis, de donde obtuvo factores de seguridad superiores a 1.5 en todos los casos, finalmente encontró que la seguridad de los taludes está relacionada directamente figura en una superficie de infiltración en la presa, drenaje de la presa, las propiedades del relave y por último la geometría que puede presentar el diseño de la presa, se coincide con la autora, los modelamientos realizados en el programa Silde, nos arrojaron factores de seguridad superiores a 1.5 en condiciones de estabilidad estática, de la misma manera se encontró en los ensayos de laboratorio que la composición granulométrica y ensayos densidad de los relaves, juega un papel fundamental a tomar en cuenta en el diseño de la presa, llegando a concluir que el relave grueso requiere una compactación al 95% como mínimo, en cuanto al diseño geométrico no se pudo efectuar evaluaciones, puesto que el caso práctico que se propuso partió en un recrecimiento de una presa ya existente, para amplificar el volumen de relave minero a almacenar.

## **5.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS CON ANTECEDENTES NACIONALES**

Los autores (Osorio Mogollón & Navarro Zavala, 2018), presentaron una investigación de análisis comparativo de deformaciones por sismo en una presa abandonada de Yauliyacu Nuevo, de donde pudieron concluir la presa no supera el 1% de desplazamiento, además que las modelaciones que hicieron con el software Seísmo Match en su análisis por elementos finitos supusieron una convergencia del 20% entre el espectro sísmico y los acelerogramas usados, se coincide con los autores, la investigación planteada nos arrojó que en un análisis por elementos finitos usando el programa Slide, los valores estáticos siempre son mayores a los de la

verificación en un análisis sísmico, a su vez un análisis dinámico casi siempre va a presentar valores más holgados que en una evaluación tiempo-historia, la utilización de un espectro sísmico es provechosos siempre y cuando se tengan parámetros que ajusten la modelación a la realidad, En los análisis de estabilidad se llegó a utilizar una aceleración sísmica de 0.13g para la evaluación de la estabilidad bajo las condiciones de carga.

La autora (Cabrera Boñón, 2018), Análisis del sistema de monitorio para el control de estabilidad de la presa de relaves de Yaurichocha, donde evalúa 3 alternativas para análisis, concluyendo que los factores geotécnicos que más influyen en la estabilidad de la presa, son las características de hidrología, el borde libre mínimo que posea la presa y la granulometría de los materiales, se coincide con esta autora, la investigación nos arrojó que el tipo de suelo circundante a la presa de relave minero presenta una composición de 36.3 % de gravas, 43.20 % de arenas y 20.50 % de material fino, de donde se puede constatar los límites plásticos y líquidos, El contenido de Humedad óptima para una máxima densidad, es un factor importante dentro de los cálculos para la estabilidad de la presa, así mismo la interacción que va a tener la composición química del relave influye bastante en cuanto al talud que se va a generar siempre y cuando el factor de seguridad este dentro de los parámetros permitidos. Para el caso práctico se utilizó un borde libre de 2 m y un ancho de corona de 5 m de ancho, siendo medidas aptas para un recrecimiento de la presa hasta la cota 4038 msnm.

Los autores (Quispe Tunque & Zuñiga Espinosa, 2019), realizaron una investigación con un análisis sísmico pseudo estático y pseudo dinámico de la estabilidad de la presa n° 9 Acchilla-Ccochaccasa-Angaraes de Huancavelica, llegando a concluir que las fuerzas sísmicas distorsionan e influyen en gran manera a la estabilidad de la presa, se coincide con los autores, luego de los análisis estáticos y pseudo estáticos, se observó en los modelamientos que la aplicación de coeficientes de sismo horizontal aplicados influye en gran manera en la estabilidad de la presa, suponiendo un decrecimiento del factor de seguridad, 1.5 cuando es estático sin embardo en condiciones sísmicas los factores de seguridad bajan de 1.5, llevando a

generar una tendencia de inestabilidad, sin embargo en la evaluación bajo condiciones de carga se logró determinar la estabilidad de la presa en condiciones de sismo severo.

La autora (Suarez Palacios, 2019), realizó una investigación sobre el diseño de un dique y modelamiento de la seguridad del talud de la presa de relaves mineros de la minera Volcan de Yauli, donde realizó modelamientos en el programa Slide, presentando factores de seguridad Estáticos de 1.5 a más y pseudo estáticos mayores a 1.0, concluyó que la estabilidad de los taludes está directamente relacionada con el porcentaje de humedad optima, para el caso de Yauli, con un 14% se puede garantizar un talud estable, se coincide con la autora, después de realizar los modelamientos se ha verificado que efectivamente los valores de estabilidad tienen que apearse a los parámetros sugeridos según sea el caso de evaluación, los ensayos de laboratorio nos arrojaron que el perfecto contenido de humedad de la zona de estudio, tendría que rondar al 7.85%, garantizando la estabilidad del talud y dándole una densidad máxima de 2.047 gr/cm<sup>3</sup>, esto dotará al material de un esfuerzo a la cortante considerable.

La autora (Cancela Rey, 2015), presentó un estudio sobre la factibilidad del recrecimiento de la presa La Esperanza del Distrito de Vitoc, en la Provincia de Chanchamayo, donde realiza un análisis de cartografiado geológico de la zona y a la cimentación, donde llego a concluir que la presa se muestra estable en una evaluación pseudo estática, sin embargo cuando el material se muestra saturado los valores de factor de seguridad rondan a 1.0, de donde predice que la presa fallará por encontrarse cerca al equilibrio límite, se coincide parcialmente con la autora, el análisis pseudo estático, nos dota de factores de seguridad cercanos a 1.0, sin embargo habiendo sobrepasado este valor, no necesariamente establece que se muestre inestable la presa, antes de realizar los modelamientos se considera el factor de fuertes lluvias que pueden saturar el material y fallas en la geomembrana como posibles contratiempos y estos se consideran en el análisis, es por ello que se colocan parámetros permisibles, no son absolutos, si la presa tiene

un adecuado sistema de drenaje, estar cerca a factores de seguridad como 1.0 a 1.5 nos puede darnos garantía de estabilidad.

## **CONCLUSIONES**

- 1.** El modelo numérico de la presa de relave minero se ve completamente condicionado no solo por las cargas a soportar, sino también por la composición del relave a almacenar.
- 2.** El modelo numérico valida la propuesta de recrecimiento de la presa La Esperanza, empleando las evaluaciones estáticas y pseudoestáticas en el programa Slide, se predice que la presa de relave minero será estable con factores de seguridad inmersos dentro de los parámetros permitidos.
- 3.** Las características de los ensayos de laboratorio como el ensayo insitu del cono de arena, nos permiten obtener valores de requerimiento óptimos para una mejor estabilidad de la presa, así también como incrementar la resistencia al corte del material compactado.
- 4.** Los resultados identificados en los ensayos de laboratorio y campo indican que el adecuado control de calidad en las pruebas realizadas, garantizan el correcto funcionamiento del proyecto.

## RECOMENDACIONES

1. Considerar en futuros estudios el agrietamiento que se produce en el relave cuando este se seca completamente, y verificar la influencia que podría tener en la estructura.
2. Para tener un modelo numérico más certero se debería de realizar análisis dinámico y de tiempo historia, esto requiere ampliar la utilización de otros softwares.
3. Las muestras de las calicatas deben de tomarse a profundidades mayores a los 3 metros, e incluso hay antecedentes de estudios de minas donde se producen extracciones de muestras a más de 30 m, siendo un estudio a nivel superficial es muy difícil obtener estas muestras, sin embargo, esos datos nos darían un mejor panorama de estudio.
4. Se recomienda ampliar los ensayos de laboratorio, especialmente del relave minero, estudiar la composición química a detalle nos podría dotar de modelos numéricos más precisos para futuras aplicaciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre Ramos, R. E. (2017). *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.* Tesis Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Ingeniería Geológica Geofísica y Minas, Arequipa.
- Angelino Calderon, W. L. (2020). *REDUCCIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE PARA LA EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUD DE UNA PRESA DE RELAVE.* Tesis Pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola, Carrera de Ingeniería Civil, Lima.
- Bach. Apaza Quispe, S. C. (2019). *Diseño de recrecimiento de la presa de relaves de la unidad de producción Untuca-Minera Cori Puno SAC.* Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano, Escuela profesional de Ingeniería de Minas, Puno.
- Bach. Carhuamaca Celedonio, J. M. (2018). *Influencia de los relaves en pasta de la empresa AUREX S.A. en la reducción de impactos negativos al aire, agua y suelo en la comunidad de Yurajhuanca.* Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Escuela de formación profesional de Ingeniería Ambiental, Cerro de Pasco.
- Bach. Cristobal Damaso, E. R. (2018). *"Construcción del recrecimiento del depósito de relaves animón, etapa II a la cota 4621 m.s.n.m. para el control de contaminación ambiental en la compañía minera chungar S.A.C-Pasco-2017"*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Escuela de formación profesional de Ingeniería, Cerro de Pasco.
- Bach. Olaya Rubio, E. A., & Bach. Sevillano Celis, B. J. (2019). *Análisis comparativo entre el método aguas abajo y suelo reforzado para el recrecimiento de la presa de*

- relaves viluyo*. Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Lima.
- Bach. Olaya Rubio, E. A., & Bach. Sevillano Celis, B. J. (2019). *Análisis Comparativo entre el Método aguas abajo y suelo reforzado para el recrecimiento de la presa en relaves viluyo*". Tesis de Pregrado, Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ingeniería, Lima.
- Barreto Escobedo, C. D. (2014). "*Investigación hidráulica utilizando un modelo numérico 3D de la presa Tablones Alto - Chinecas*". Tesis de pregrado, Universidad de Piura, FACULTAD DE INGENIERÍA , Piura.
- Cabrera Boñón, R. I. (2018). *Análisis del sistema de monitoreo para el control de estabilidad de la presa de relaves, U.M. Yauricocha*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ingeniería, Cajamarca.
- Calderón Angelino, W. L. (2020). *Reducción de parámetros de resistencia al corte para la evaluación de estabilidad de talud de una presa de relave*. Tesis de pregrado , Universidad San Ignacio de Loyola, Facultad de Ingeniería, Lima.
- Cancela Rey, M. D. (2015). *Comportamiento geotécnico de presas de residuos bajo acciones estáticas y dinámicas*. Tesis de Posgrado, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior, Madrid.
- Castro Arias, M. (2018). *NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA EL USO Y DISPOSICIÓN DE RELAVES MINEROS APLICADO A CODELCO, DIVISIÓN EL TENIENTE*. Tesis de pregrado, UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN , Departamento de Ingeniería Metalúrgica .
- Ccanto Mallma, G. (2010). *Metodología de la investigación científica en ingeniería civil*. Lima: Gerccantom.
- Gonzalo Alberto, B. P. (2015). *Análisis sísmico 2d de una presa de relaves espesados considerando la existencia de grietas por desecación*. Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería, Santiago de Chile.
- Hernández, R., Fernández, C., & Lucio, B. (2006). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill.
- Ing. Rodas Andrade, H. (2014). *Estructuras*. Gráficas del sur.
- Ortega Belda, P. A. (2016). *Comportamiento de flujo de lodos mineros de la presa denominada Peña del Águila*. Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica de Cartagena, E.T.S. de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos Y de Ingeniería de Minas, Murcia.
- Ortiz Quizhpi, W. F., & Portilla Flores, E. I. (2015). *Estudio de estabilidad de los taludes de las presas del proyecto pacalori, teniendo en cuenta la acción sísmica*. Tesis de Pregrado, Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Cuenca.
- Osorio Mogollón, R. E., & Navarro Zavala, A. J. (2018). *Análisis Comparativo de Deformaciones por Sismo en la Presa de Relave en Abandono Yauliyacu Nuevo*.

Tesis de Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería, Lima.

- Pérez Pliego, B. (2009). *ANÁLISIS DE RIESGO Y CONFIABILIDAD EN PRESAS DE TIERRA: UN CASO EN EL ESTADO DE MÉXICO*. Tesis de Pregrado, Estados Unidos Mexicanos, Toluca.
- Perez Zereceda, G. A., & Vasconcellos Orejuela, G. (2017). *Evaluación de Tres Alternativas de Proyecto de Presa para el Embalse Palo Redondo*. Tesis de Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería Civil, Lima.
- Quispe Tunque, D. G., & Zuñiga Espinosa, A. (2019). *Análisis sísmico Pseudo estático y Pseudo dinámico de la estabilidad de la presa n° 9 Acchilla-Cochaccasa-Angaraes Huancavelica*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Huancavelica .
- Suarez Palacios, M. E. (2019). *Diseño de dique modelamiento la estabilidad del talud con tratamiento de relave en la unidad minera Mahr túnel N° 6 Volcan S.A.A, Yauli-La Oroya, 2018*. Tesis de Pregrado, Universidad Continental, Facultad de Ingeniería, Huancayo.
- Toxement, E. G. (2016). *MICROSÍLICE*.
- Tuco Huarahuara, Y. R. (2016). *Estabilidad de taludes en la presa de colas Agua Dulce en Potosí, Bolivia*. Tesis de Pregrado, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae), Facultad de Ingeniería Civil, Bolivia.
- Vásquez Vélez, L. A. (2011). *“INCIDENCIA DE LOS INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN EN EL DESARROLLO DE LAS COMPETENCIAS METACOGNITIVAS DE LOS ESTUDIANTES DEL PRIMER AÑO DE LA FACULTAD DE PEDAGOGÍA, PSICOLOGÍA Y EDUCACIÓN DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA”*. Tesis de Grado, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Humanas y de la Educación, Ambato.

## **ANEXOS**

Matriz de Consistencia

**MODELO NUMÉRICO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA PRESA DE DEPÓSITO DE RELAVE MINERO**

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p><b>Problema General:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Cuál es el modelo numérico del comportamiento estructural de la presa de depósito de relave minero de la unidad minera San Vicente, distrito de Vitoc, provincia de Chanchamayo, departamento de Junín?</li> </ul> <p><b>Problemas Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Cómo es el comportamiento y diseño estructural frente al recrecimiento de la presa de depósito de relave minero?</li> <li>- ¿Qué etapas constructivas se debe</li> </ul>	<p><b>Objetivo General:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar el modelo numérico del comportamiento estructural de la presa de depósito de relave minero de la unidad minera San Vicente, distrito de Vitoc, provincia de Chanchamayo, departamento de Junín.</li> </ul> <p><b>Objetivos Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarrollar el comportamiento y diseño estructural frente al recrecimiento de la presa de depósito de relave minero.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis General:</b></p> <p>La composición del relave varía significativamente en el modelo numérico del comportamiento estructural de la presa de depósito de relave minero de la unidad minera San Vicente, distrito de Vitoc, provincia de Chanchamayo, departamento de Junín</p> <p><b>Hipótesis Específicas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El modelo numérico determina del comportamiento estructural frente al recrecimiento de la presa, esta influye significativamente en la condición sísmica y estática.</li> </ul>	<p><b>Variable independiente (X):</b></p> <p>Comportamiento Estructural de una Presa de depósito de relave minero</p> <p><b>Variable dependiente (Y):</b></p> <p>Modelo Numérico</p>	<p><b>Método de la Investigación:</b></p> <p>Científico (Enfoque cuantitativo).</p> <p><b>Tipo de Investigación:</b></p> <p>Aplicada</p> <p><b>Nivel de Investigación:</b></p> <p>Nivel descriptivo</p> <p><b>Diseño de la Investigación:</b></p> <p>No experimental</p> <p><b>Población:</b></p> <p>Presa de Relave minero La Esperanza</p>

<p>de seguir para el correcto comportamiento estructural de la presa de relave minero?</p> <p>- ¿Cuál es la influencia de los resultados de los ensayos de laboratorio y campo en el diseño de la presa de relave minero?</p>	<p>- Determinar las correctas etapas constructivas para el buen comportamiento estructural de la presa de relave minero.</p> <p>- Identificar la influencia de los resultados de los ensayos de laboratorio y campo en el diseño de la presa de relave minero.</p>	<p>- Las etapas constructivas y la calidad de estas garantizan el correcto funcionamiento de la estructura.</p> <p>- Las pruebas realizadas en cada etapa de ejecución con el adecuado control de calidad aportaran favorablemente en el mayor desempeño de la presa de relave.</p>		<p><b>Muestra:</b> Presa de Relave minero La Esperanza</p>
---	--	---	--	--



DIRECCIÓN : JR. GRAU N°211-CHILCA E-MAIL : LABGTESTV02@GMAIL.COM  
(REF. A UNA CUADRA FRENTE AL PARQUE PUZO AV. FERROCARRIL CRUCE CON AV. LEONCIO PRADO) GEOTEST.V@GMAIL.COM  
CELULAR : 952525151 - 972831911-991375093 FACEBOOK : GEO TEST V S.A.C  
RUC : 20606529229

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

Proyecto : TESIS: "MODELO NUMÉRICO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA PRESA DE DEPÓSITO DE RELAVE"  
Peticionario : BACH. ING. JEFREY MIGUEL CHUPAYO RIVERA  
Codigo de formato : PCA-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11  
Ubicación : SATIPO-JUNÍN N° de muestra : 01  
Estructura : ESTRUCTURAS Norma : NTP-ASTM-MTC  
Fecha de recepción : FEB-2021 Ensayado por : A.Y.G.  
Fecha de emisión : MAR-2021

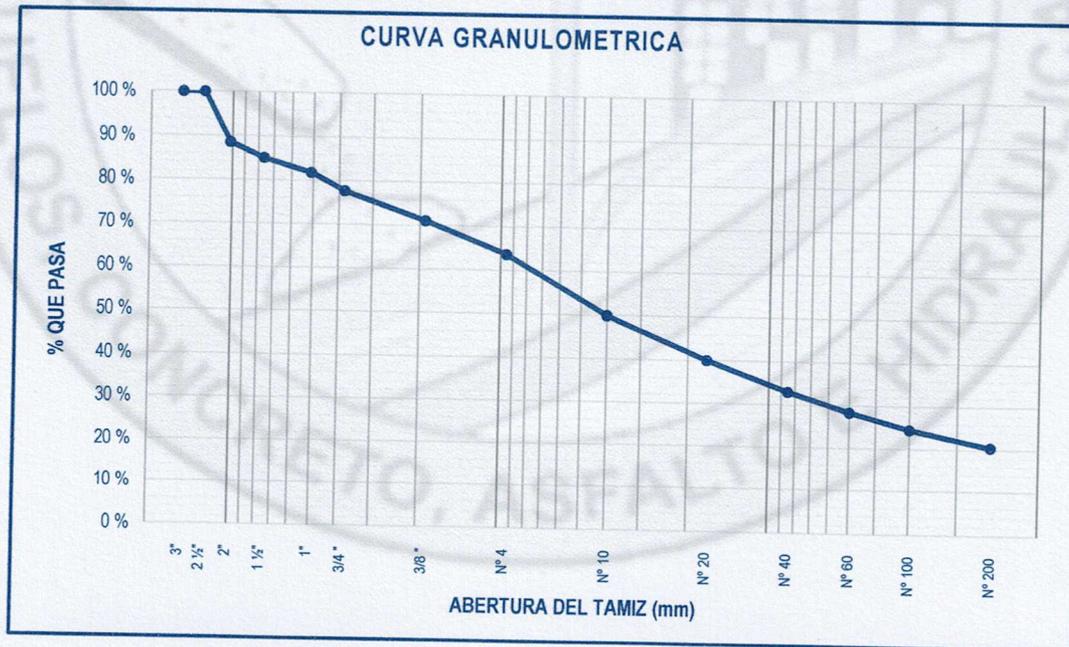
ANÁLISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO  
NTP 339.128 (1999)-ASTM D 422-MTC E 107

Hoja: 01 de 01

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE (%)
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	367.31	11.40	11.40	88.60
1 1/2"	38.100	112.77	3.50	14.90	85.10
1"	25.400	106.33	3.30	18.20	81.80
3/4 "	19.050	132.10	4.10	22.30	77.70
3/8 "	9.525	212.65	6.60	28.90	71.10
N° 4	4.760	238.43	7.40	36.30	63.70
N° 10	2.000	444.64	13.80	50.10	49.90
N° 20	0.850	315.76	9.80	59.90	40.10
N° 40	0.425	228.76	7.10	67.00	33.00
N° 60	0.250	148.21	4.60	71.60	28.40
N° 100	0.150	122.44	3.80	75.40	24.60
N° 200	0.075	132.10	4.10	79.50	20.50
FONDO		660.51	20.50	100.00	0.00
TOTAL		3222.00	100.00 %		

CONTENIDO DE HUMEDAD (NTP 339.127)	
Código de recipiente	P-01
Masa de recipiente (g)	51.21 g
Masa de recipiente + suelo húmedo (g)	385.94 g
Masa de recipiente + suelo seco (g)	345.08 g
Masa de agua (g)	40.86 g
Masa de suelo seco (g)	293.87 g
CONTENIDO DE HUMEDAD %	13.9 %

GRAVA	36.30 %
ARENA	43.20 %
FINO	20.50 %



Simbolo del grupo (SUCS) = SC-SM  
Nombre del grupo (SUCS) = ARENA LIMOSA ARCILLOSA CON GRAVA



DIRECCIÓN : JR. BRAU N° 211 - CHILCA  
E-MAIL : LABGEOESTV02@GMAIL.COM  
(REF. A UNA CUADRA FRENTE AL PARQUE PUZO AV. FERROCARRIL CRUCE CON AV. LEONCIO PRADO)  
GEOEST.V@GMAIL.COM  
CELULAR : 952525151 - 972831911 - 991375093  
FACEBOOK : GEO TEST V S.A.C  
RUC : 20606529229

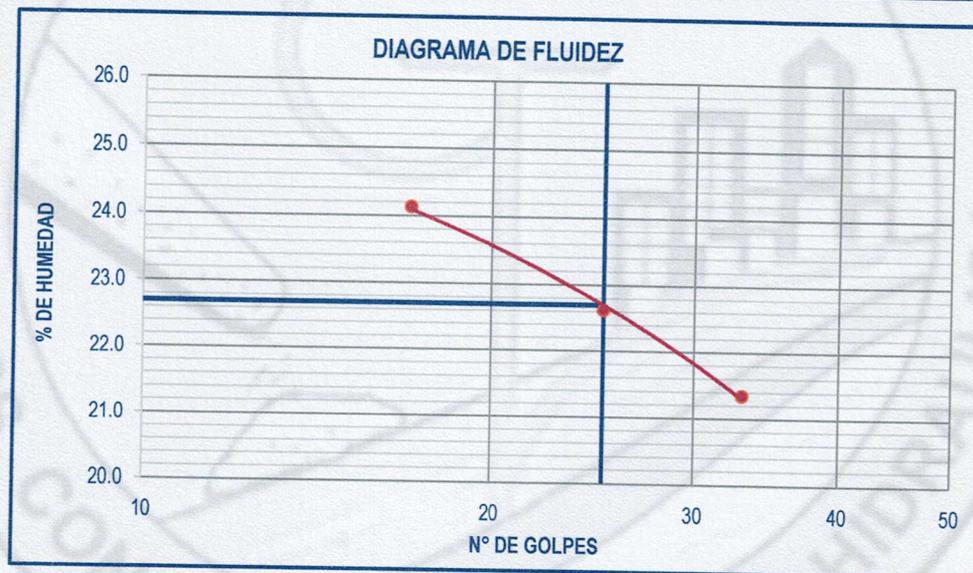
**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA**

Proyecto : TESIS: "MODELO NUMÉRICO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA PRESA DE DEPÓSITO DE RELAVE"  
Peticionario : BACH. ING. JEFREY MIGUEL CHUPAYO RIVERA  
Codigo de formato : PCA-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11  
Ubicación : SATIPO-JUNÍN  
Estructura : ESTRUCTURAS  
Fecha de recepción : FEB-2021  
N° de muestra : 01  
Norma : NTP-ASTM-MTC  
Ensayado por : A.Y.G.  
Fecha de emisión : MAR-2021

Hoja: 01 de 01

**MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS**  
NTP 339.129 (2014)-ASTM D 4318-MTC E 110-111

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	T-01	T-02	T-03	T-15	T-14
Nro. De cápsula					
Masa cápsula + Suelo húmedo (g)	70.70	45.00	50.70	17.40	22.61
Masa cápsula + Suelo seco (g)	60.20	38.81	44.91	16.70	21.63
Masa cápsula (g)	16.69	11.45	17.79	12.77	15.93
Masa del agua (g)	10.50	6.19	5.79	0.70	0.98
Masa del suelo seco (g)	43.51	27.36	27.12	3.93	5.70
Contenido de humedad %	24.13	22.62	21.35	17.81	17.19
Nro. De golpes	17.00	25.00	33.00	I	II



LÍMITE LÍQUIDO	
LL. :	22.7

LÍMITE PLÁSTICO	
LP. :	17.5

ÍNDICE PLÁSTICO	
IP. :	5.2

**NOTAS:**

- 1) Muestreo e identificación realizados por el peticionario
- 2) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad
- 3) Resolución N°002-98-INDECOPI-CRT:ART.6.- Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA  
GEO TEST V. SAC**



DIRECCIÓN : JR. GRAU N°211-CHILDA

E-MAIL : LABGEOTESTV02@GMAIL.COM

(REF. A UNA CUADRA FRENTE AL PARQUE PUZO AV.  
FERROGARRIL CRUCE CON AV. LEONCIO PRADO)

GEO TEST V. SAC

CELULAR : 952525151 - 972831911 - 991375093

FACEBOOK

: GEO TEST V. S.A.C

RUC

: 20606529229

**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA**

Proyecto : TESIS: "MODELO NUMÉRICO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA PRESA DE DEPÓSITO DE RELAVE MINERO"

Peticionario : BACH. ING. JEFREY MIGUEL CHUPAYO RIVERA

Codigo de formato : PM-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11

Ubicación : SATIPO-JUNÍN

Estructura : ESTRUCTURAS

Fecha de recepción : FEB-2021

N° de muestra : 01

Norma : NTP 339.141-ASTM D 1557-MTC E 115

Ensayado por : A.Y.G.

Fecha de emisión : MAR-2021

**PROCTOR MODIFICADO  
NTP 339.141-ASTM D 1557-MTC E 115**

Hoja : 01 DE 01

COMPACTACION				
N° Capas	5	5	5	5
N° Golpes	56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)	10,444.2	10,656.6	10,762.5	10,705.8
Peso molde (gr.)	6,068.8	6,068.8	6,068.8	6,068.8
Peso suelo compactado (gr.)	4,375.4	4,587.8	4,693.7	4,637.0
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2,119.6	2,119.6	2,119.6	2,119.6
Densidad humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2.064	2.164	2.214	2.188

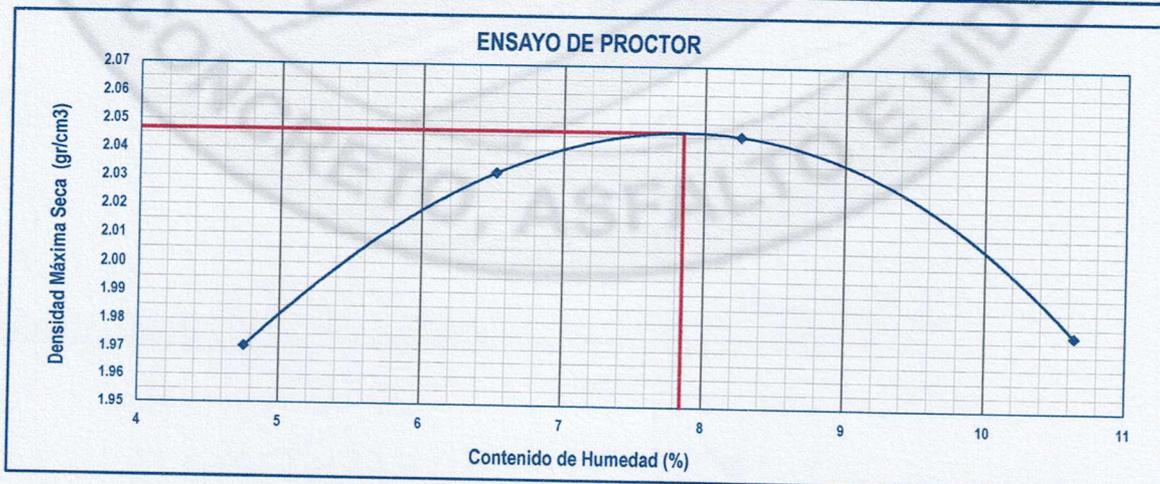
HUMEDAD (%)				
Tara N°	1	2	3	4
Tara + suelo húmedo (gr.)	668.6	742.0	811.2	650.4
Tara + suelo seco (gr.)	640.3	699.6	752.8	596.4
Peso de agua (gr.)	28.3	42.4	58.4	54.0
Peso de tara (gr.)	45.0	50.1	45.9	89.0
Peso de suelo seco (gr.)	595.3	649.5	706.9	507.4
Humedad (%)	4.8	6.5	8.3	10.6
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.971	2.032	2.045	1.977

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
MÉTODO	A	B	C
TIPO DE MOLDE	4"	6"	6"

CARACTERÍSTICAS DEL MOLDE	
PESO (g)	6,068.8
VOLUMEN (CM3)	2,119.6

RESULTADOS DE PROCTOR	
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.047
Óptimo Contenido de Humedad (%)	7.85

RESULTADOS DE PROCTOR CORREGIDO	
Máxima Densidad Seca Corregido (gr/cm <sup>3</sup> )	-
Óptimo Contenido de Humedad Corregido(%)	-



**NOTAS:**

- Muestreo e identificación realizados por el peticionario
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad
- Resolución N°002-98-INDECOPI-CRT:ART.6.-Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA  
GEO TEST V. SAC

DIRECCIÓN : Jr.GRAU N°211-CHILCA

(Ref.a una cuadra frente al parque Puzo  
Av. Ferrocarril cruce con Av. Leoncio Prado)

E-MAIL : labgeotestv02@gmail.com  
geotest.v@gmail.com

FACEBOOK : Geo Test V S.A.C

CELULAR : 952525151 - 972831911-991375093

RUC : 20606529229



**ANALISIS DE PH DEL SUELO**

ASTM D 4972 - 95a, NTP 339.176, MTC E 129

PROYECTO

TESIS: Modelo numérico del comportamiento estructural de una presa de depósito de relave minero.  
Bach. Chupayo Rivera Jeffrey Miguel

SOLICITA

TRAMO

UBICACIÓN

MATERIAL

SATIPO-JUNIN  
RELAVE MINERO

Muestra :	VALOR		
	Lectura 1	Lectura 2	Promedio
RELAVE MINERO	8.37	8.36	8.4

Interpretación:

El pH del RELAVE MINERO tiene como grado de acidez: Moderadamente Alcalino



GEO TEST V S.A.C.  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

ING. MAX JERRY VELITZ SULCARAY  
CIP N° 247312  
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA  
GEO TEST V. SAC

DIRECCIÓN : Jr.GRAU N°211-CHILCA

(Ref.a una cuadra frente al parque Puzo  
Av. Ferrocarril cruce con Av. Leoncio Prado)

E-MAIL : [labgeotestv02@gmail.com](mailto:labgeotestv02@gmail.com)  
[geotest.v@gmail.com](mailto:geotest.v@gmail.com)

FACEBOOK : Geo Test V S.A.C

CELULAR : 952525151 - 972831911-991375093

RUC : 20606529229



**ANALISIS DE PH DEL SUELO**

ASTM D 4972 - 95a, NTP 339.176, MTC E 129

PROYECTO

TESIS: Modelo numérico del comportamiento estructural de una presa de depósito de relave minero.  
Bach. Chupayo Rivera Jeffrey Miguel

SOLICITA

TRAMO

UBICACIÓN

MATERIAL

SATIPO-JUNIN  
RELAVE MINERO

Muestra :	VALOR		
	Lectura 1	Lectura 2	Promedio
RELAVE MINERO	8.37	8.36	8.4

Interpretación:

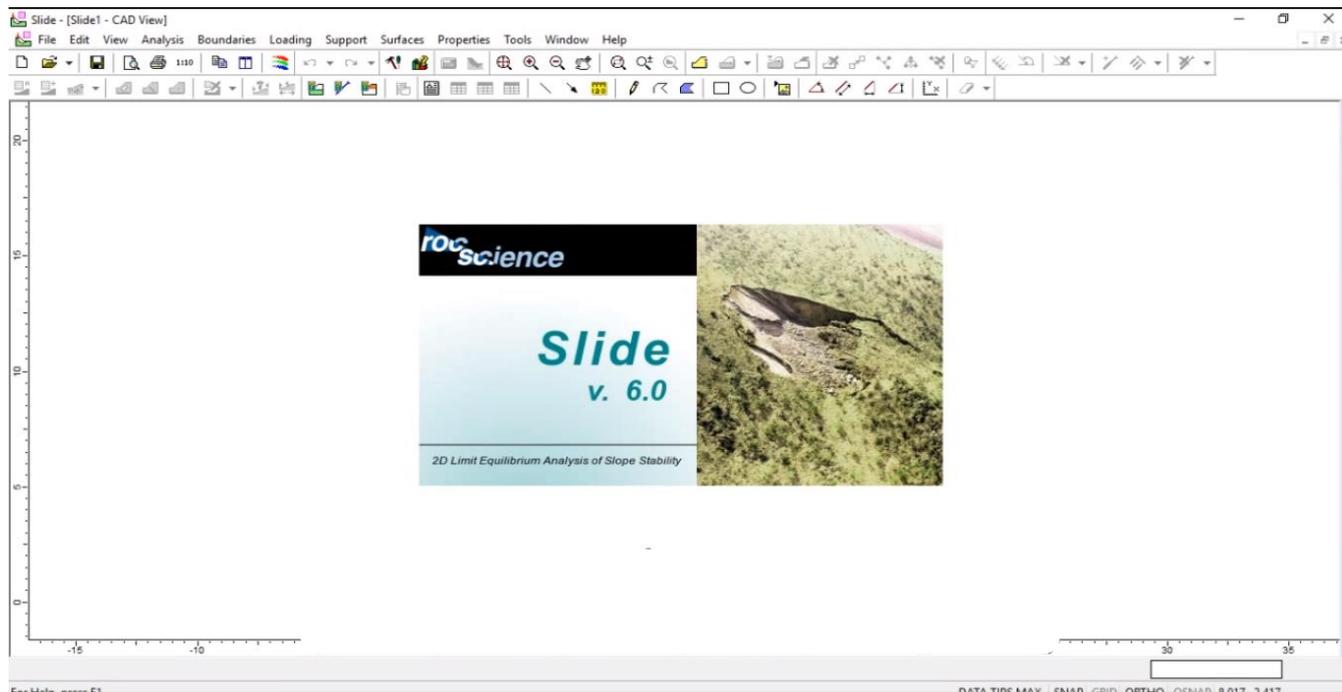
El pH del RELAVE MINERO tiene como  
grado de acidez: Moderadamente Alcalino



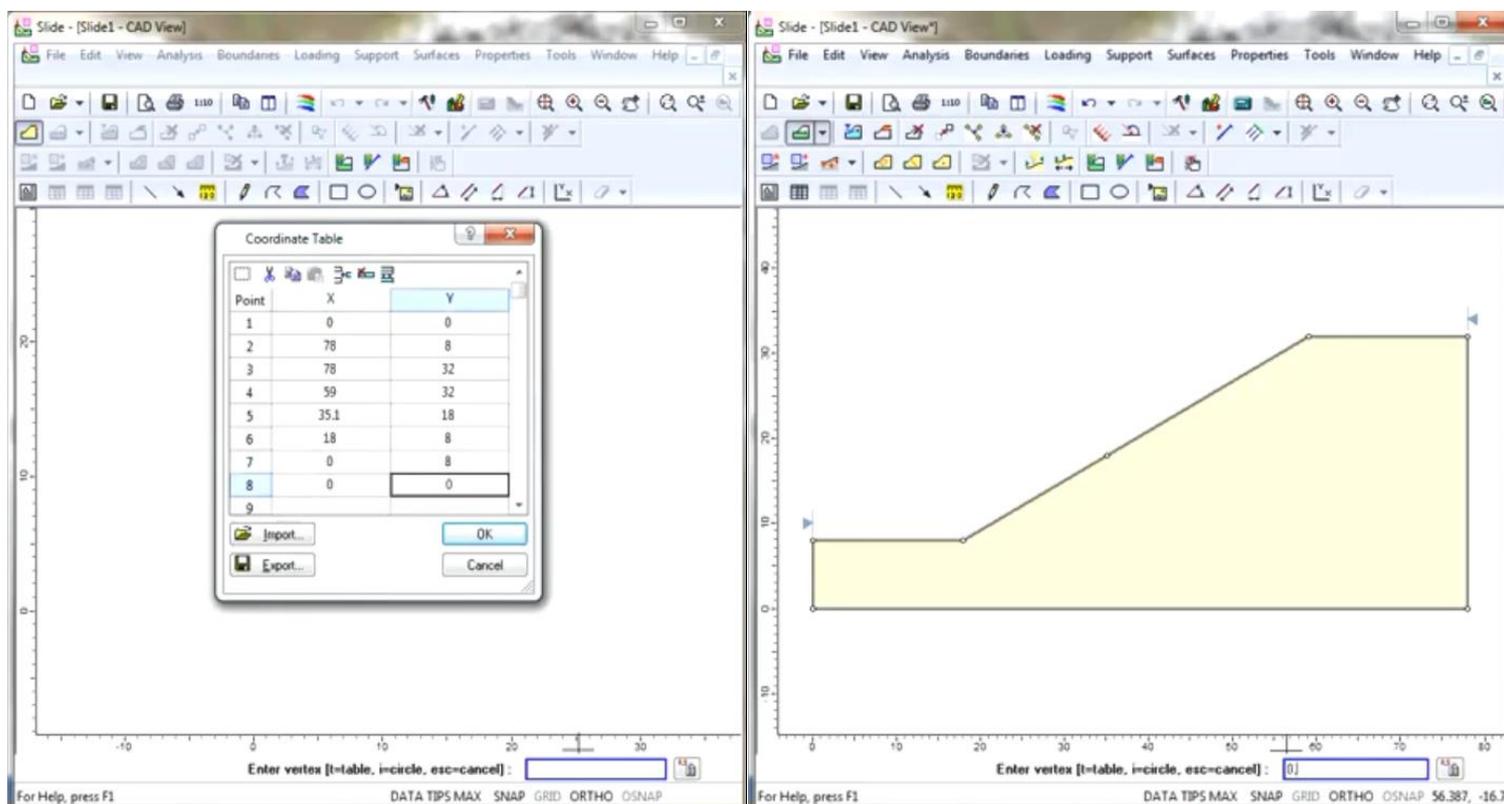
GEO TEST V S.A.C.  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA  
  
ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY  
CIP N° 247312  
JEFE DE LABORATORIO

**PROCESO DEL MODELAMIENTO EN EL SOFTWARE v.6.0**

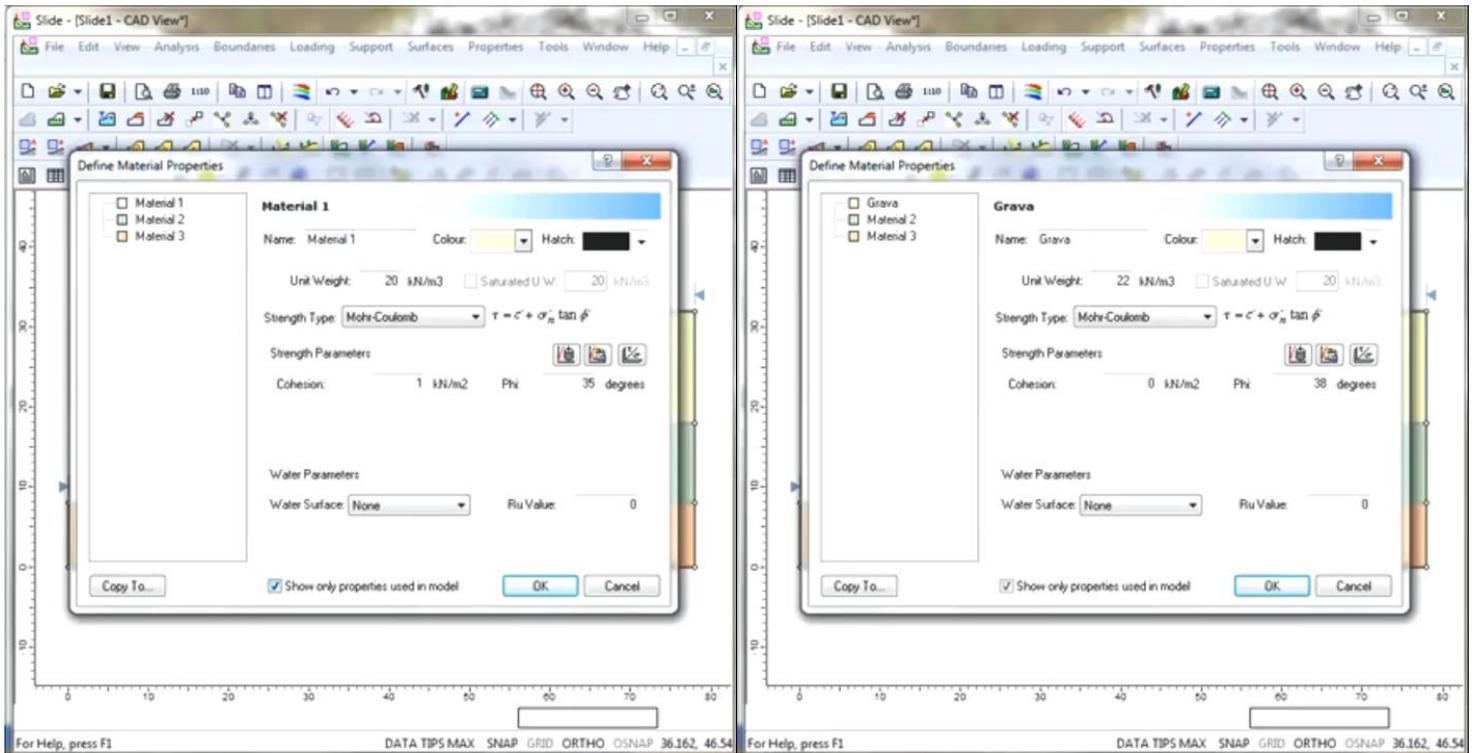
## 1. Ejecutar el programa Slide v6.0



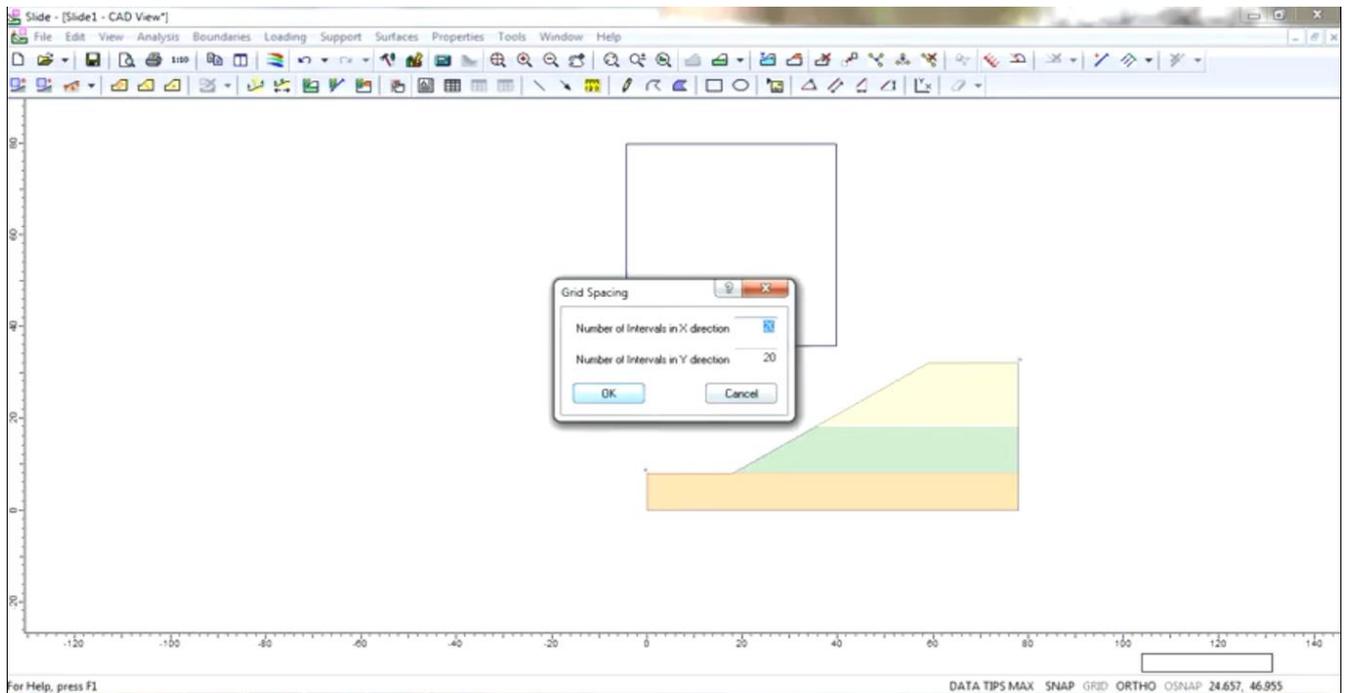
## 2. Colocación de coordenadas



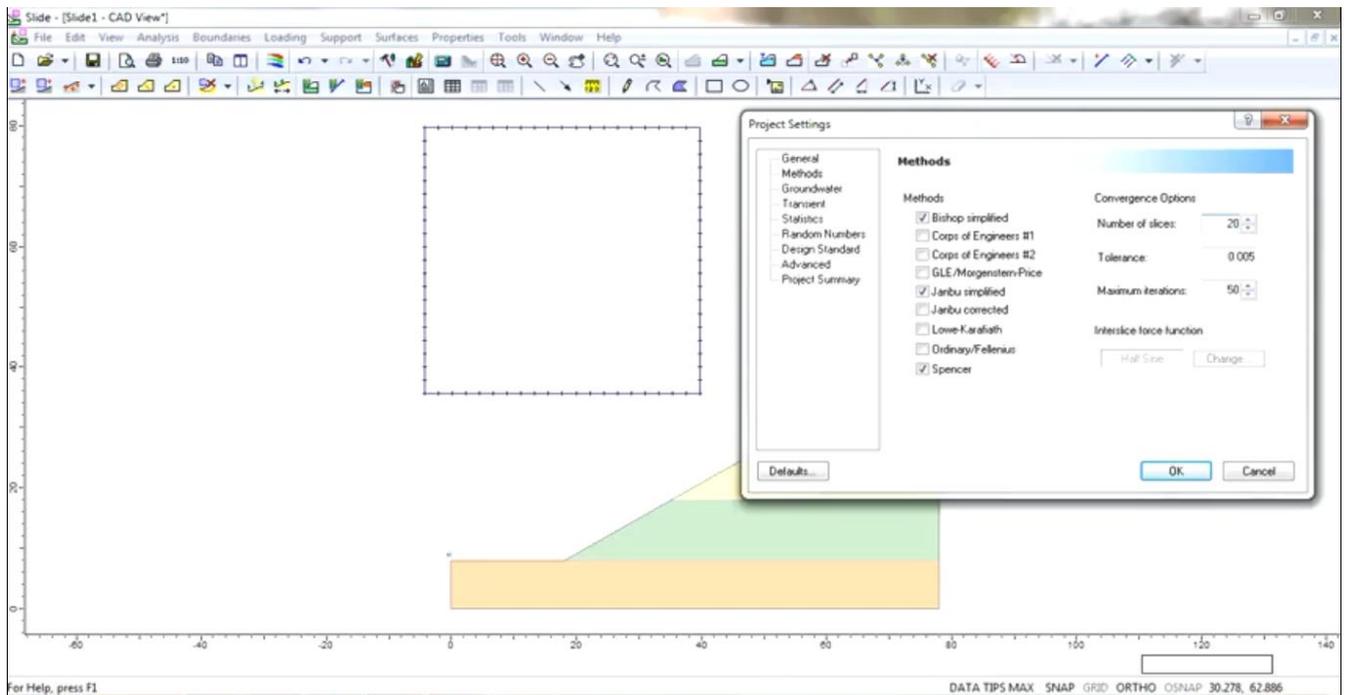
3. Se define las características del material y colocación de datos como el  $C$  y  $\phi$



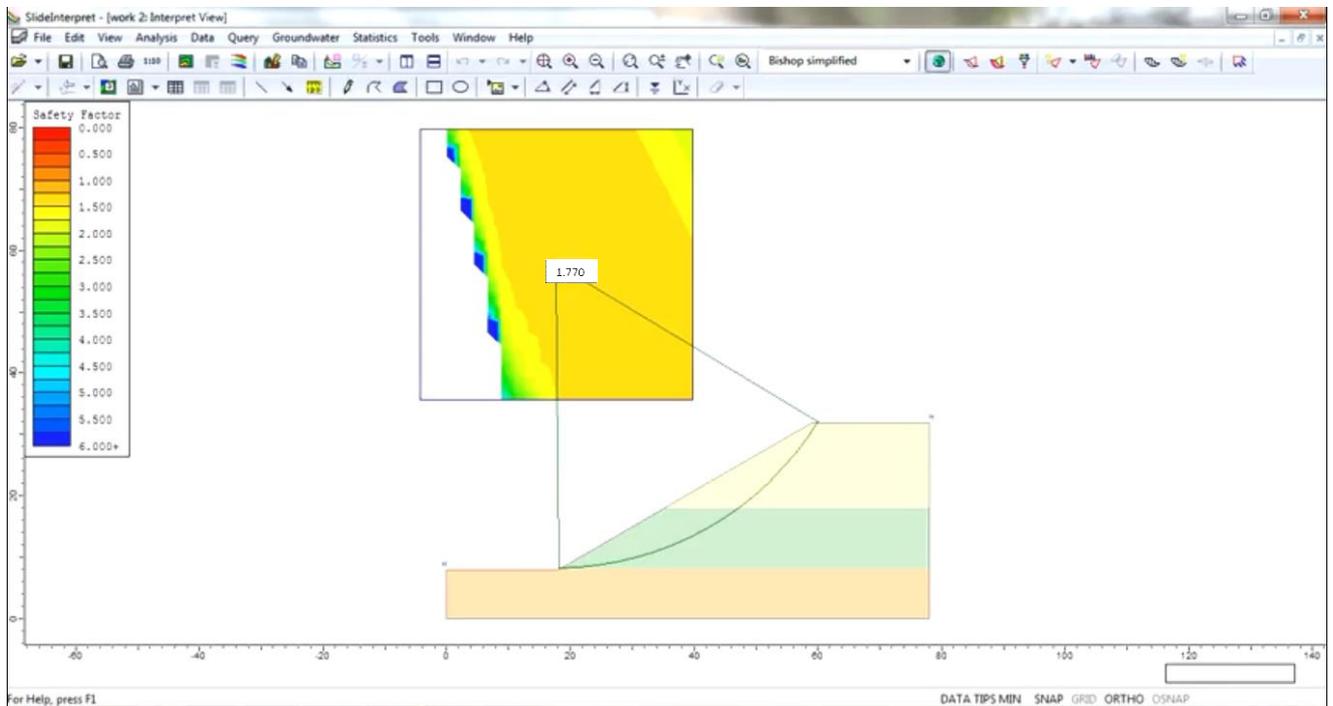
4. Se coloca el número de intervalos en la dirección X,Y



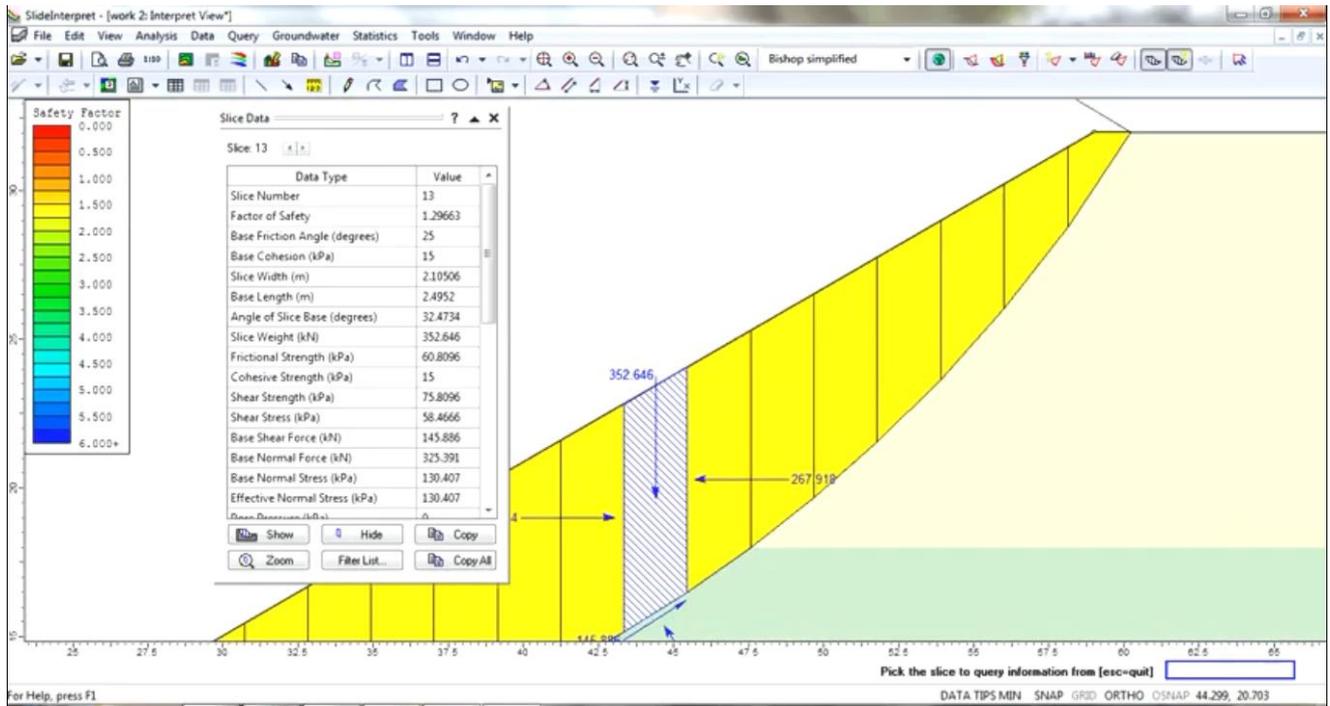
5. Se define el método, en este caso Bishop y también se coloca el número de dovelas

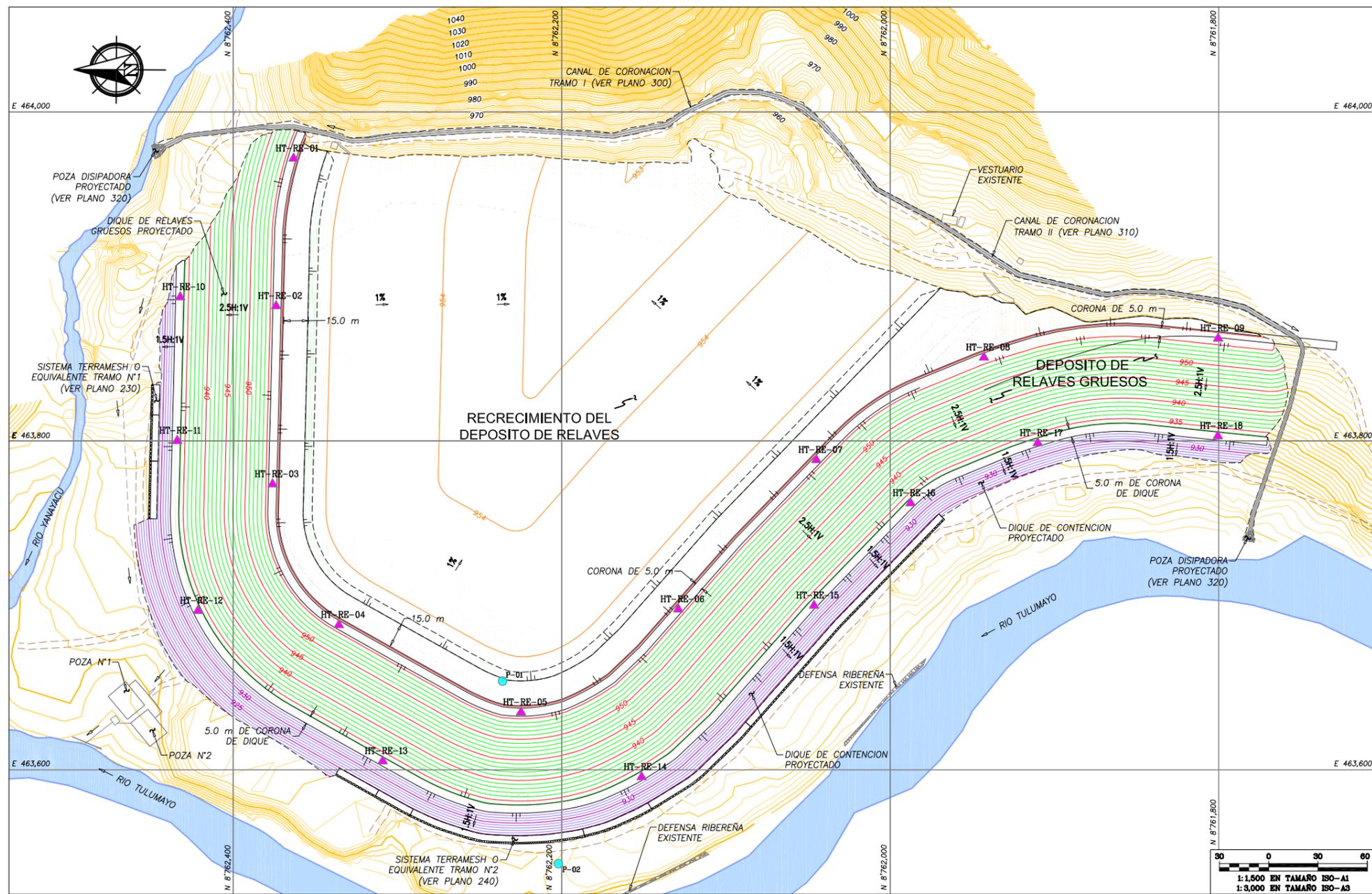


6. Por último se guarda el trabajo y se hace la interpretación (clic) y obtenemos el F.S



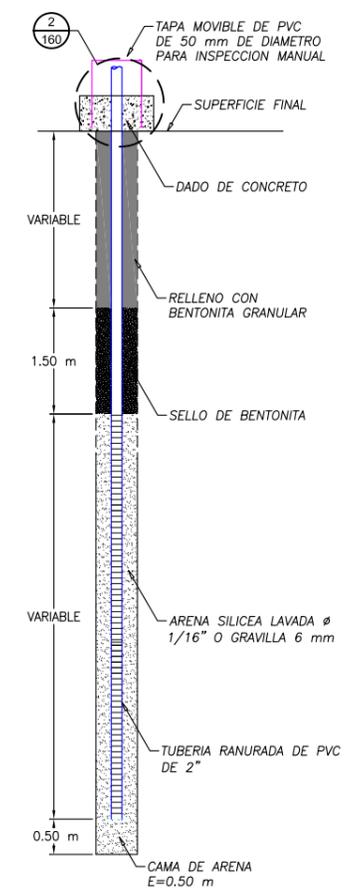
7. Se puede visualizar el número de dovelas dadas al programa.





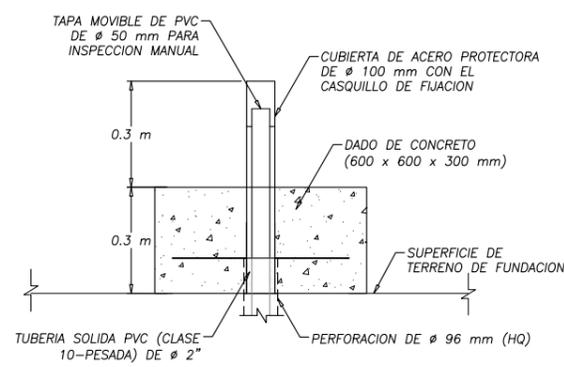
**SIMBOLOGIA:**

	CURVAS DE NIVEL Y ELEVACION EN METROS DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO EXISTENTE		CANAL DE CORONACION PROYECTADA
	CURVAS DE NIVEL Y ELEVACION EN METROS DEL RECRECIMIENTO DEL DIQUE DE RELAVES GRUESOS PROYECTADO		TALUD
	CURVAS DE NIVEL Y ELEVACION EN METROS DEL RECRECIMIENTO DEL DIQUE DE CONTENCIÓN PRINCIPAL PROYECTADO		ESTRUCTURAS EXISTENTES
	CURVAS DE NIVEL Y ELEVACION EN METROS DE LA SUPERFICIE FINAL DE RELAVES LA ESPERANZA		RIO TULUMAYO
	ACCESO EXISTENTE		GAVIONES PROYECTADOS
			HITOS TOPOGRAFICOS PROPUESTOS POR JMF (VER TABLA 1)
			PIEZOMETROS EJECUTADOS POR JMF EN JUNIO 2015 (VER TABLA 2)



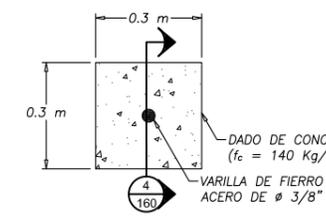
1 DETALLE TIPICO DEL PIEZOMETRO INSTALADO Y/O POZO DE MONITOREO

ESCALA = 1:50 (EN METROS)



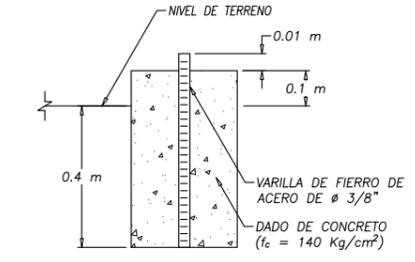
2 DETALLE DE CABEZAL

ESCALA = 1:10 (EN MILIMETROS)



3 DETALLE DE HITO TOPOGRAFICO PLANTA

ESCALA = 1:10 (EN MILIMETROS)



4 DETALLE DE HITO TOPOGRAFICO SECCION

ESCALA = 1:10 (EN MILIMETROS)

REFERENCIA:  
LA INFORMACION DE CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE DE TERRENO EXISTENTE MOSTRADAS, HA SIDO PROPORCIONADO POR SIMSA EN JUNIO DEL 2015.  
SISTEMA DE COORDENADAS UTM WGS-84.

PLANTA GENERAL

**TABLA 1**  
HITOS TOPOGRAFICOS PROPUESTOS POR JMF

HITO	NORTE	ESTE
HT-RE-01	8'762,363.00	463,972.00
HT-RE-02	8'762,374.00	463,882.00
HT-RE-03	8'762,376.00	463,774.00
HT-RE-04	8'762,336.00	463,688.00
HT-RE-05	8'762,225.00	463,635.00
HT-RE-06	8'762,129.00	463,698.00
HT-RE-07	8'762,045.00	463,788.00
HT-RE-08	8'761,943.00	463,851.00
HT-RE-09	8'761,800.00	463,862.00
HT-RE-10	8'762,432.00	463,887.00
HT-RE-11	8'762,434.00	463,800.00
HT-RE-12	8'762,421.00	463,697.00
HT-RE-13	8'762,309.00	463,605.00
HT-RE-14	8'762,151.00	463,596.00
HT-RE-15	8'762,046.00	463,700.00
HT-RE-16	8'761,988.00	463,762.00
HT-RE-17	8'761,910.00	463,799.00
HT-RE-18	8'761,801.00	463,803.00

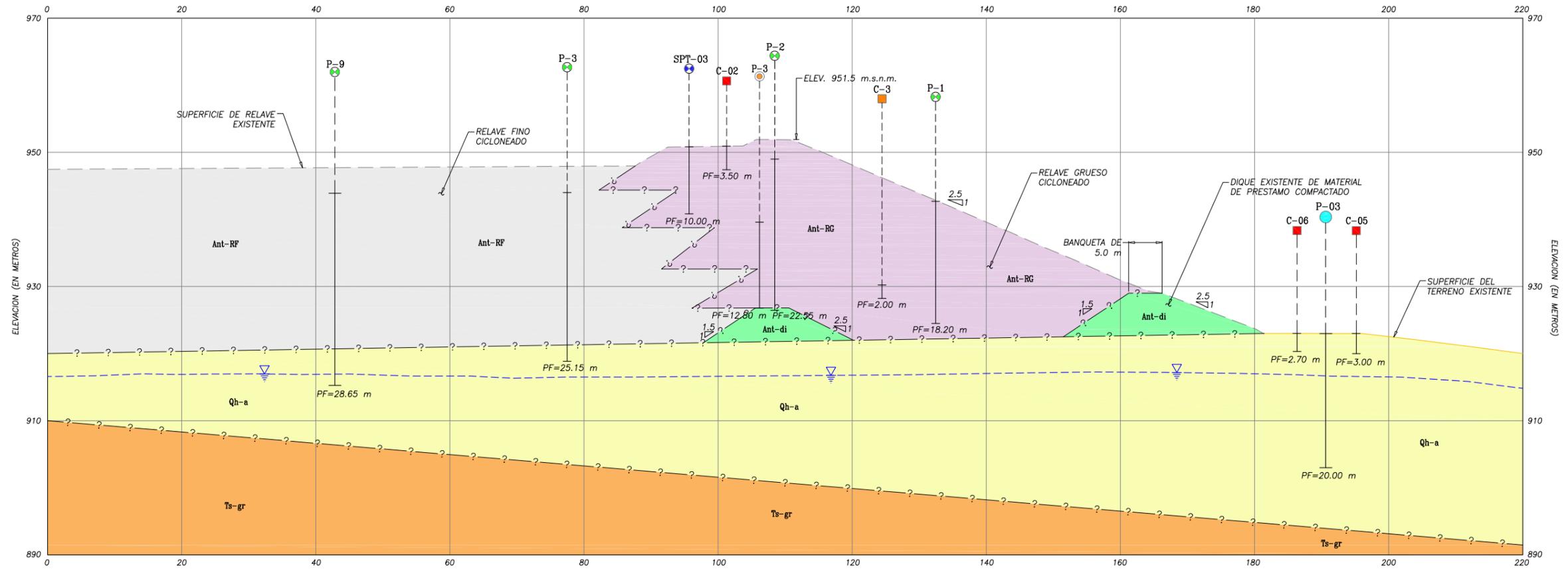
**TABLA 2**  
PIEZOMETROS EJECUTADOS POR JMF JUNIO 2015

PIEZOMETRO	NORTE	ESTE	H (m)
P-01	8'762,236.00	463,654.00	39.00 m
P-02	8'762,202.00	463,543.00	30.00 m

- NOTAS:**
- EL PIEZOMETRO Y/O POZO DE MONITOREO HA SIDO INSTALADO EN UNA PERFORACION DE INCLINACION -90°.
  - LAS TUBERIAS PVC SON DE CLASE 10 O SCHEDULE 40 EN LONGITUDES DE 5 m c/u.

PROYECTO: INGENIERIA DE DETALLE PARA EL RECRECIMIENTO DEL DEPOSITO DE RELAVES  
 PLANO: PLANO DE INSTRUMENTACION GEOTECNICA PROPUESTA

REV. No  
1



**C** DEPOSITO DE RELAVES  
**110** SECCION TRANSVERSAL



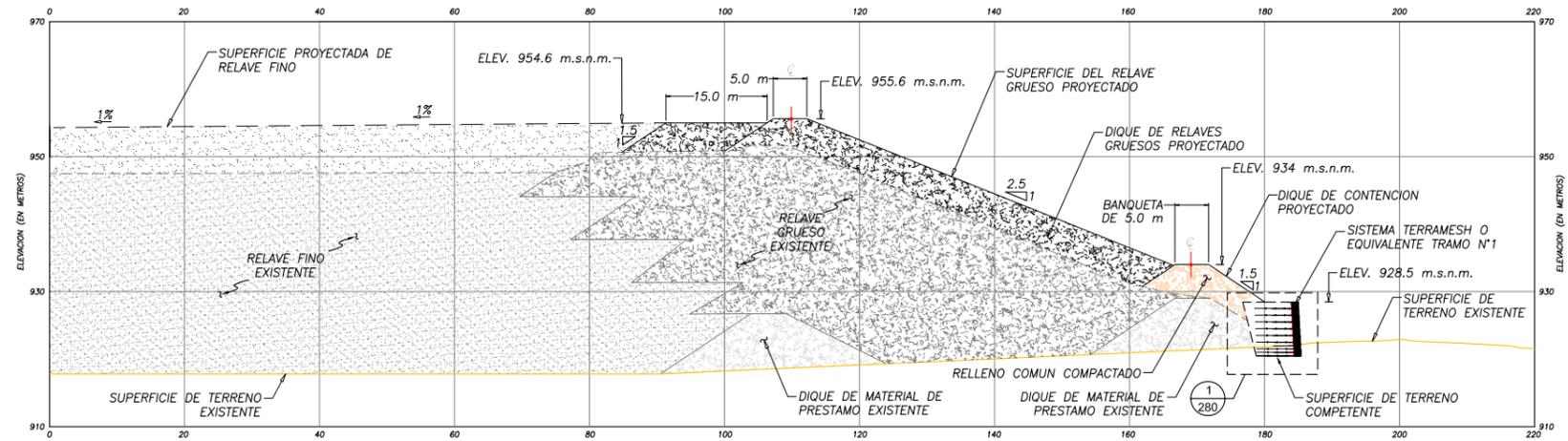
SIMBOLOGIA:	
	SUPERFICIE DEL TERRENO NATURAL EXISTENTE
	SUPERFICIE DE RELAVE EXISTENTE
	CONTACTO INFERIDO
	NIVEL FREATICO APROXIMADO
	C-3 CALICATA EJECUTADA POR SVS (NOVIEMBRE 2006)
	P-3 PERFORACION POR LAVADO EJECUTADA POR SVS (NOVIEMBRE 2006)
	P-3 PERFORACION POR LAVADO EJECUTADA POR SVS (ABRIL 2012)
	C-02 CALICATA EJECUTADA POR JMF (JUNIO 2015)
	SPT-03 ENSAYO SPT REALIZADO POR JMF (JUNIO 2015)
	P-03 SONDAJE REALIZADA POR JMF (JUNIO 2015)
	PF=3.50 m PROFUNDIDAD FINAL

UNIDADES GEOLOGICO - GEOTECNICAS	
	<b>UNIDAD GEOLOGICO GEOTECNICA I</b> DEPOSITO ALUVIAL ESTA CONFORMADO POR MATERIAL FRAGMENTADO, TRANSPORTADO Y ACUMULADO POR LA ACCION DE CORRIENTES FLUVIALES, SE UBICA RELLENANDO EL VALLE DEL RIO TULUMAYO SOBRE BASAMENTO ROCOSO.
	<b>UNIDAD GEOLOGICO GEOTECNICA II</b> GRANITO DE SAN RAMON BANCOS MACIZOS PIROCLASTICOS GRIS ROJIZOS, LA LITOLOGIA PREDOMINANTE ES GRANITO; MODERADAMENTE RESISTENTE A MUY RESISTENTE, MODERADAMENTE ALTERADA, POCO FRACTURADA, TIENE INFLUENCIA EN LA ZONA OESTE DEL DEPOSITO.
	<b>UNIDAD GEOTECNICA</b> RELAVES FINOS CONFORMADO POR LIMO ARENOSO DE BAJA PLATICIDAD DE COLOR GRIS CLARO, HUMEDA A SATURADA DE CONSISTENCIA BLANDA A MUY BLANDA.
	RELAVES GRUESOS ESTE MATERIAL DE RELAVE COMPACTADO ESTA CONFORMADO POR ARENA LIMOSA DE PLASTICIDAD NULA "SM" DE COLOR GRIS CLARO, POCO HUMEDO, DE CONSIDERACION FLOJA, SE ENCUENTRA PERMEABLE.
	DIQUE ACUMULACIONES DE FRAGMENTOS POLIMICTICOS, ANGULOSOS A SUB-ANGULOSOS, BIEN GRADADOS, PRESENTAN NIVELES ARCILLOSOS Y ARENOSOS, SE ENCUENTRA A LOS LARGO DEL PIE DEL DEPOSITO DE RELAVES LA ESPERANZA.

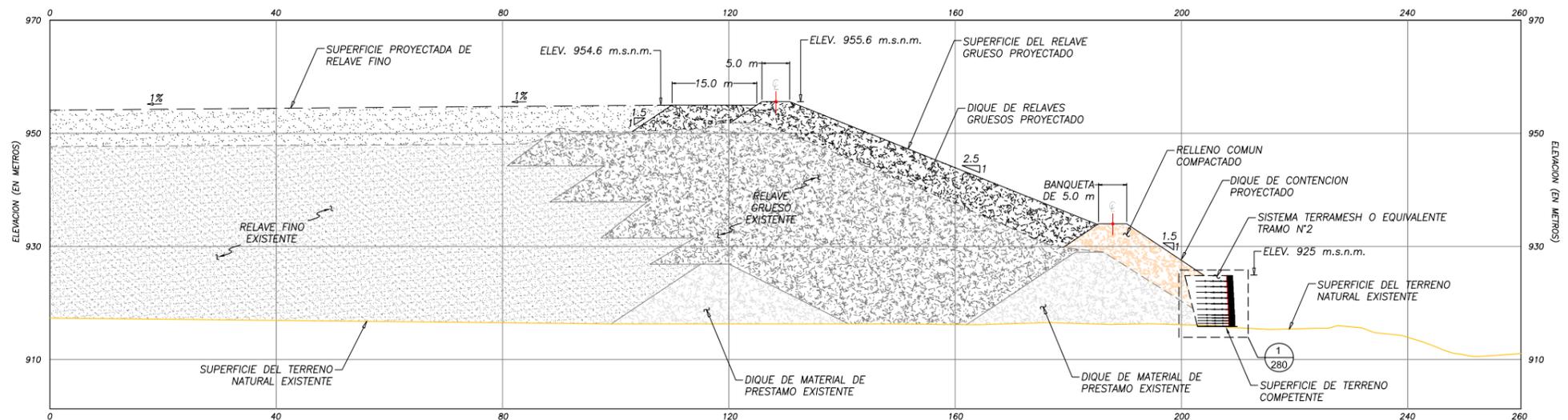
**NOTAS:**

1. LAS SECCIONES GEOLOGICO - GEOTECNICAS HAN SIDO DETERMINADAS EN BASE A LAS CALICATAS, PERFORACIONES SPT, SONDAJES Y AL MAPEO GEOLOGICO DE CAMPO.
2. LAS UNIDADES GEOLOGICO GEOTECNICAS SON APROXIMADAS Y PODRIAN VARIAR.
3. LA UBICACION EN PLANTA DE CALICATAS, PERFORACIONES SPT Y SONDAJES SE MUESTRAN EN EL PLANO P300-058-15-01-110.

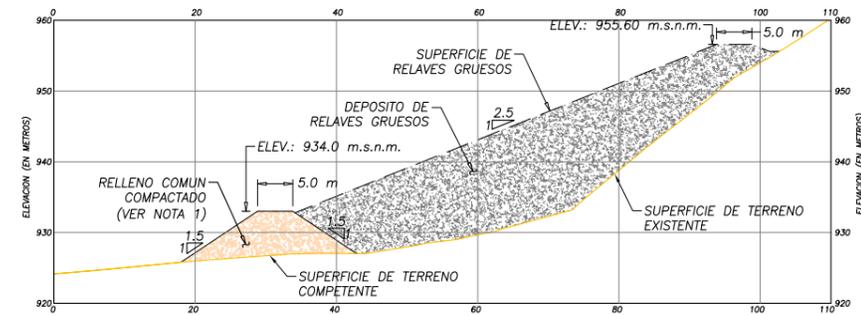
PROYECTO: INGENIERIA DE DETALLE PARA EL RECRECIMIENTO DEL DEPOSITO DE RELAVES '  
 PLANO: SECCION



**A**  
**210**  
 DEPOSITO DE RELAVES  
 SECCION TRANSVERSAL  
 ESCALA VERTICAL = 1:500 (EN METROS)    ESCALA HORIZONTAL = 1:500 (EN METROS)



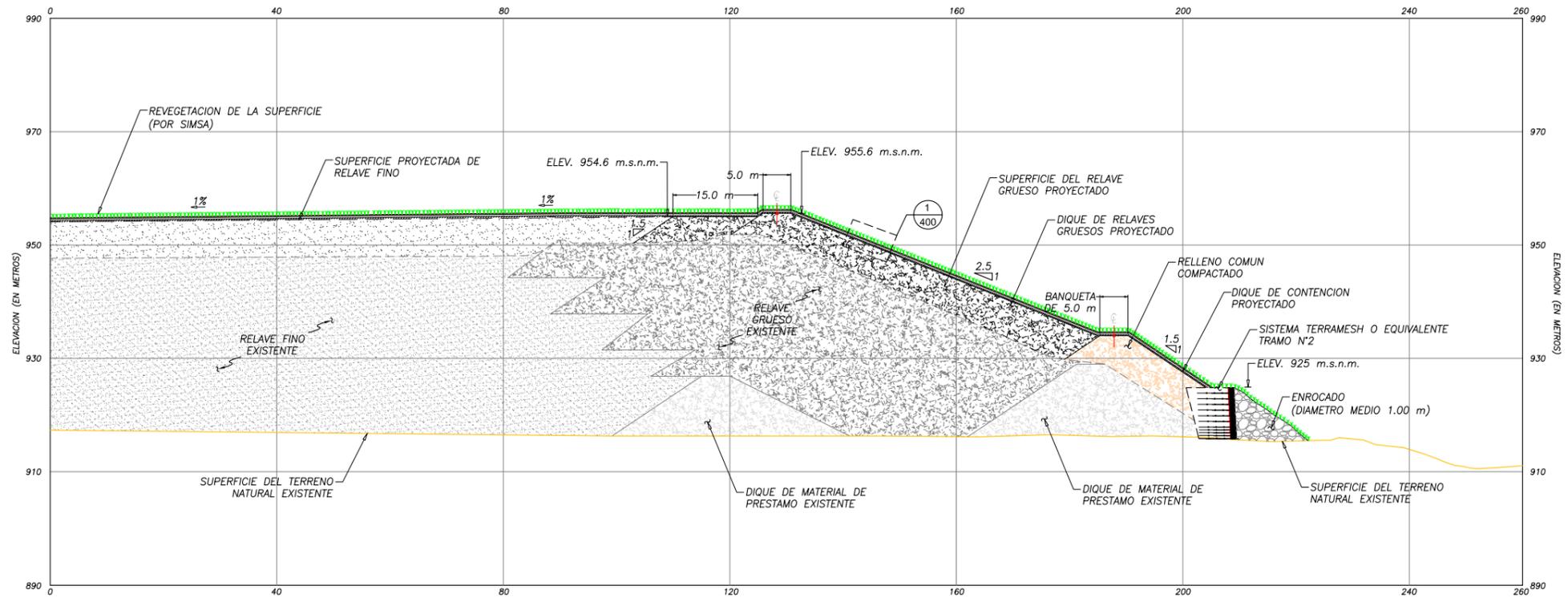
**B**  
**210**  
 DEPOSITO DE RELAVES  
 SECCION TRANSVERSAL  
 ESCALA VERTICAL = 1:500 (EN METROS)    ESCALA HORIZONTAL = 1:500 (EN METROS)



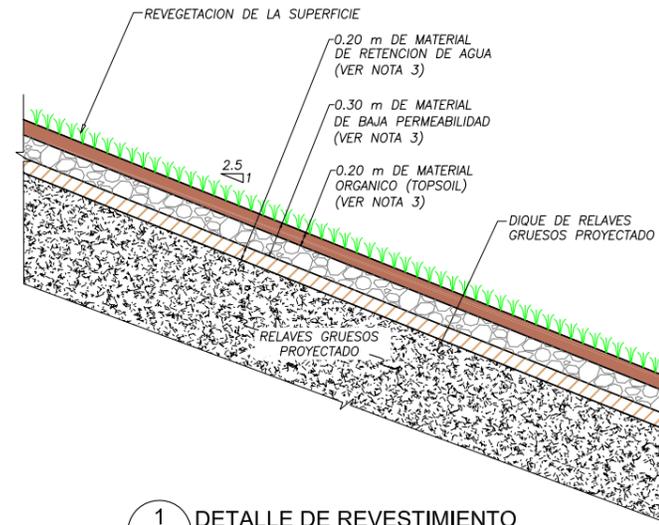
**C**  
**210**  
 DEPOSITO DE RELAVES GRUESOS  
 SECCION TRANSVERSAL  
 ESCALA VERTICAL = 1:500 (EN METROS)    ESCALA HORIZONTAL = 1:500 (EN METROS)

- NOTAS:**
1. TODAS LOS MATERIALES DEBERAN CUMPLIR CON LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS.
  2. TODO MATERIAL INADECUADO ENCONTRADO DURANTE LA CONSTRUCCION, DEBERA SER REMOVIDO, ESCARIFICADO Y REEMPLAZADO CON UN MATERIAL APROBADO POR SUPERVISION.
  3. LOS DATOS DE REPLANTEO DEBERAN SER APROBADOS POR LA SUPERVISION ANTES DE LA CONSTRUCCION. SI LA TOPOGRAFIA EXISTENTE ES DIFERENTE A LA MOSTRADA EN LOS PLANOS EL CONTRATISTA DEBERA AJUSTAR EL DISEÑO A LAS CONDICIONES DE CAMPO, PREVIA AUTORIZACION DE LA SUPERVISION.

PROYECTO:	INGENIERIA DE DETALLE PARA EL RECRECIMIENTO DEL DEPOSITO DE RELAVES
PLANO:	RECRECIMIENTO FINAL DEPOSITO DE RELAVES
SECCIONES LONGITUDINALES	
REV. No	<b>1</b>



DEPOSITO DE RELAVES  
SECCION TRANSVERSAL



1/400 DETALLE DE REVESTIMIENTO  
TIPICO PARA EL CIERRE



NOTAS:

1. TODAS LOS MATERIALES DEBERAN CUMPLIR CON LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS.
2. LOS DATOS DE REPLANTEO DEBERAN SER APROBADOS POR LA SUPERVISION ANTES DE LA CONSTRUCCION, SI LA TOPOGRAFIA EXISTENTE ES DIFERENTE A LA MOSTRADA EN LOS PLANOS EL CONTRATISTA DEBERA AJUSTAR EL DISEÑO A LAS CONDICIONES DE CAMPO, PREVIA AUTORIZACION DE LA SUPERVISION.
3. LA CONFIGURACION MOSTRADA DE LA COBERTURA CORRESPONDE AL DISEÑO CONCEPTUAL.

PROYECTO: INGENIERIA DE DETALLE PARA EL RECRECIMIENTO DEL DEPOSITO DE RELAVES

PLANO: CIERRE CONCEPTUAL SECCION TIPICA

REV. No  
1