

**UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN**

**ESCUELA DE POSGRADO**



---

**“RECRECIMIENTO VERTICAL DE UN DEPÓSITO DE  
RELAVES Y CONTROL DE SUS IMPACTOS AMBIENTALES  
NEGATIVOS”**

---

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: SOCIOLOGÍA  
TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR EN MEDIO  
AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

**TESISTA:**

HUGO MEDINA JANAMPA

**ASESOR:**

Dr. ÍTALO W. ALEJOS PATIÑO

**HUÁNUCO – PERÚ**

**2019**



## **DEDICATORIA**

A la memoria de mama Julia, mi difunta madre,  
al abnegado amor de mi esposa, mis hijos y nietos  
por acompañarme en todo momento, dándome valor  
aliciente y cariño; para lograr esta difícil tarea  
de la investigación, hasta lograr mi doctorado.

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestro divino Redentor y la virgencita, que siempre me han bendecido y protegido en su manto divino; tanto a mi como a mi familia y la humanidad entera; mis reconocimientos; por hacerme entender, que tan importante es la grandeza humana; y, cuán grande es el significado de aportar técnicas de ingeniería, con un granito de investigación.

## RESUMEN

El recrecimiento vertical de un depósito de relaves **tiene como objetivo**, evaluar el uso de relave en pasta que permita un mejor recrecimiento vertical de relaves y el control de sus impactos ambientales negativos, la metodología utilizada es la investigación descriptiva correlacional, con estudios geotécnicos y de resistencia de materiales para el recrecimiento vertical utilizando relaves en pasta. Son dos parámetros aparentemente opuestos; debido a que, un parámetro asegura la vida útil de la relavera; y el otro parámetro, vulnerabiliza la estabilidad del medio natural donde se construye la presa. El resultado del estudio, fue la disposición de relaves en pasta para el crecimiento vertical del antiguo depósito de relaves y el control de sus impactos ambientales negativos; sin necesidad del ensanchamiento del dique de arranque, ni utilizar material aluvial con intercalación de gravas arcillosas, gravas limosas, horizontes de limo ni arcillas ni turbas que, finalmente incrementan los costos de recrecimiento. Las Operaciones con Tecnología más Limpia, (OTML); son la causa-efecto del estudio geotécnico de resistencia de materiales y su comportamiento frente a los esfuerzos de tracción, compresión y cizallamiento del depósito de relaves de una planta de tratamiento de minerales de Oro; para lograr acciones ambientalmente amigables; y, evitar accidentes por rotura de la presa de relaves. Se concluye, que la utilización de relave en pasta económica, técnica y ambientalmente más amigable, ha dado muy buenos resultados en el recrecimiento vertical de la **Relavera 2007 de la Planta Andes de Minera AUREX S. A., donde se realizó la investigación**. La inclusión de la bibliografía sistemática y estructurada, es del **modelo APA**; cuyas citas en el texto, es de referencia breve entre paréntesis, más un párrafo añadido; y mostrada en forma alfabética al final del documento, en la bibliografía.

Palabra Clave: Relave en pasta, talud, plataforma de corona, contaminación ambiental, densidad.

## ABSTRACT

The vertical regrowth of a tailings deposit is aimed at evaluating the use of tailings in paste that allows a better vertical regrowth of tailings and the control of their negative environmental impacts, the methodology used is the correlational descriptive research, with geotechnical studies and resistance of materials for vertical regrowth using paste tailings. They are two seemingly opposite parameters; because, a parameter ensures the life of the tailings; and the other parameter, vulnerabilities the stability of the natural environment where the dam is built. The result of the study was the disposal of tailings in paste for the vertical growth of the old tailings deposit and the control of its negative environmental impacts; without the need to widen the starter dike, or use alluvial material with intercalation of clay gravels, silty gravels, silt horizons, clays or mobs that ultimately increase the costs of regrowth. Operations with Cleaner Technology, (OTML); they are the cause and effect of the geotechnical study of resistance of materials and their behavior against the tensile, compression and shear stresses of the tailings deposit of a Gold ore treatment plant; to achieve environmentally friendly actions; and, avoid accidents due to breakage of the tailings dam. It is concluded that the use of tailings in economic, technical and environmentally friendly paste has given very good results in the vertical regrowth of the 2007 Relavera of the Andes Plant of the AUREX S. A. Miner, where the research was carried out. The inclusion of systematic and structured literature is of the APA model; whose citations in the text are brief reference in parentheses, plus an added paragraph; and shown alphabetically at the end of the document, in the bibliography.

Keyword: Tailings paste, slope, crown platform, environmental pollution, density.

## RESUMO

O rebrote vertical de um depósito de rejeitos tem como objetivo avaliar o uso de rejeitos em pasta que permite um melhor rebrote vertical de rejeitos e o controle de seus impactos ambientais negativos, a metodologia utilizada é a pesquisa descritiva correlacional, com estudos geotécnicos e resistência de materiais para rebrota vertical usando rejeitos de pasta. São dois parâmetros aparentemente opostos; porque, um parâmetro garante a vida útil dos rejeitos; e o outro parâmetro, vulnerabilidades a estabilidade do ambiente natural onde a barragem é construída. O resultado do estudo foi a disposição de rejeitos em pasta para o crescimento vertical do antigo depósito de rejeitos e o controle de seus impactos ambientais negativos; sem a necessidade de ampliar o dique inicial ou usar material aluvial com intercalação de cascalho de argila, cascalho siltoso, horizonte de silte, argila ou mobs que acabam por aumentar os custos de regeneração. Operações com tecnologia mais limpa (OTML); são o efeito causa do estudo geotécnico da resistência dos materiais e seu comportamento contra as tensões de tração, compressão e cisalhamento do depósito de rejeitos de uma estação de tratamento de minério de ouro; alcançar ações ambientalmente amigáveis; e evitar acidentes devido à quebra da barragem de rejeitos. Conclui-se que o uso de rejeitos em pasta econômica, tecnicamente e ambientalmente mais amigável, deu bons resultados no rebrote vertical da Relavera da Usina Andina de 2007 da Minera AUREX S. A., onde a pesquisa foi realizada. A inclusão de literatura sistemática e estruturada é do modelo APA; cujas citações no texto são uma breve referência entre parênteses, além de um parágrafo adicional; e mostrado alfabeticamente no final do documento, na bibliografia.

Palavras-chave: Pasta de rejeitos, declive, plataforma de copa, poluição ambiental, densidade.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
RESUMO.....	vi
INDICE.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	x
<b>I. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b>	
1.1 Fundamentación del problema de investigación.....	1
1.2 Justificación.....	3
1.3 Importancia o propósito.....	4
1.4 Limitaciones.....	4
1.5 Formulación del problema de investigación general y específicos... 4	
1.5.1 Problema general.....	4
1.5.2 Problemas específicos.....	5
1.6 Formulación del objetivo general y específicos.....	5
1.6.1 Objetivo general.....	5
1.6.2 Objetivos específicos.....	5
1.7 Formulación de hipótesis general y específicas.....	6
1.7.1 Hipótesis general.....	6
1.7.2 Hipótesis específicas.....	6
1.8 Variables.....	6
1.8.1 Variable independiente.....	6
1.8.2 Variable dependiente.....	7
1.9 Operacionalización de variables.....	7
1.10 Definición de términos operacionales.....	8
<b>II. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Antecedentes .....	13
2.1.1 Nacionales .....	13
2.1.2 Internacionales .....	15
2.2 Bases teóricas .....	17

2.3	Bases conceptuales.....	18
2.3.1	Disposición de relave .....	18
2.3.2	Relaves como fuente de polución .....	19
2.3.3	Relaves provenientes de la planta concentradora .....	19
2.3.4	Efectos ambientales por fallas de taludes .....	20
2.3.5	Accidentes ocurridos en depósito de relaves .....	21
2.3.6	Factores geológicos y geotécnicos .....	22
2.3.7	Factores hidrológicos .....	25
2.4	Bases epistemológicas .....	26
<b>III. METODOLOGÍA</b>		
3.1	Ámbito.....	32
3.2	Población.....	33
3.3	Muestra.....	33
3.4	Nivel y tipo de estudio.....	34
3.4.1	Nivel del estudio.....	34
3.4.2	Tipo de estudio.....	35
3.5	Diseño de investigación.....	36
3.6	Técnicas e instrumentos.....	38
3.6.1	Técnicas.....	38
3.6.1.1	Técnicas de recolección de información.....	38
3.6.1.2	Análisis de información.....	43
3.6.2	Instrumentos.....	44
3.7	Validación y confiabilidad del instrumento.....	45
3.8	Procedimiento.....	46
3.8.1	Diseño del instrumento y selección de muestra.....	47
3.8.2	Aplicación del instrumento a la muestra seleccionada .....	48
3.8.3	Análisis de la información recolectada .....	48
3.8.4	Presentación de resultados .....	49
3.9	Plan de tabulación y análisis de datos.....	49
3.9.1	Plan de Tabulación.....	49
3.9.1.1	Requerimiento de maquinarias e infraestructura....	49
3.9.1.2	Cálculo del ángulo de reposo.....	51
3.9.1.3	Porcentaje de abatimiento de pasta.....	52
3.9.2	Análisis de Datos.....	53

3.9.2.1 Fuente primaria.....	53
3.9.2.1.1. Planta ECP (Espesador de cono profundo).....	54
3.9.2.1.2. Técnicas para la caracterización de pastas Minerales.....	56
3.9.2.2. Fuente secundaria.....	64
3.9.2.2.1 Validación y confiabilidad del instrumento.....	66
3.9.2.2.2 Investigaciones de campo.....	68
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
4.1 Análisis descriptivo.....	74
4.2 Análisis inferencial y contrastación de hipótesis.....	79
4.2.1 Análisis inferencial.....	79
4.2.2 Contrastación de hipótesis.....	80
4.2.2.1 Prueba de hipótesis .....	83
4.2.2.2 Objetivo de la prueba de hipótesis .....	83
4.3 Discusión de resultados.....	83
4.4 Aporte de la investigación.....	91
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>92</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>93</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>94</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>98</b>
<b>Anexo 01:</b> Matriz de consistencia.....	99
<b>Anexo 02:</b> Ubicación Planta AUREX S.A.....	100
<b>Anexo 03:</b> Calicatas para proporcionar información.....	102
<b>Anexo 04 :</b> Modelo 3D y Vista Satelital .....	103
<b>Anexo 05:</b> Detalles de la Planta Santa Filomena Sotrami S.A Plano P-4.....	108
<b>Anexo 06:</b> Resultados de Laboratorio Geosísmico y Estudios de Estabilidad física y geotécnica (CISMID) .....	109
<b>Anexo 07:</b> Sistema Hidrológico Minera AUREX S.A.....	136
<b>Anexo 08:</b> Recrecimiento vertical con descarga de relave en pasta.....	137
<b>NOTA BIOGRAFICA.....</b>	<b>143</b>

## **INTRODUCCIÓN**

El recrecimiento vertical de un depósito de relaves y control de sus impactos ambientales negativos, no solo es un título; es el motivo técnico preventivo expuesto en la presente tesis, para optar el Grado de Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.

La presente Tesis, es en sí, el norte preventivo orientado hacia trabajos de gestión y manejo ambiental; fundamentalmente a la IPER AMBIENTAL; acrónimo de la identificación de peligros inminentes y la evaluación de riesgos por acción, omisión o exposición en la vida de una presa de relaves.

Independiente a los efectos ambientales preventivos, para evitar la falla o ruptura del talud de un depósito de relaves, es asegurar el correcto diseño y construcción de la relavera, orientado a lograr una plataforma de corona amplia y suficiente para un futuro recrecimiento vertical de la presa de relaves; que asegure la continuidad de disposición de relaves en pasta, incrementando su vida útil, asegurando también la producción de la planta y la rentabilidad de la Empresa.

Sinónimo de asegurar la vida útil de la presa de relaves, es asegurar las inversiones; y, más importante aún, es el control de sus impactos ambientales negativos que acompañan a un depósito de relaves mineros, cuando está mal diseñado, mal construido y con defectos en la supervisión, monitoreo, manejo y mantenimiento.

**EL AUTOR**

## CAPÍTULO I

### DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Fundamentación del problema de investigación

La Tesis, está orientada hacia trabajos de gestión ambiental, supervisión constante y control del personal encargado, referidos a la identificación de peligros inminentes y evaluación de riesgos por acción o exposición; que afectan la estabilidad física de las represas y la movilidad de los contaminantes potenciales hacia las aguas subterráneas **(Decreto Supremo 040-2014-EM, 12 de noviembre)**.

En determinadas circunstancias, algunas condiciones geológicas adversas, no muy severas, pueden ser mitigadas mediante trabajos de ingeniería; que, a veces son muy costosos, por lo que, es mejor evitarlas, cambiando la ubicación a un lugar alternativo.

Se recomienda realizar un análisis detallado con fotografías aéreas con pares estereoscópicas (método muy costoso); otro más moderno y barato, es el análisis por Imágenes Satelitales **(Google Earth, 2017)**, o utilizar AutoCAD Civil 3D; que, nos permitan ver imágenes en tercera dimensión; y cruzar información con el reconocimiento del terreno, con algunas calcatas para proporcionar información relativa del lugar del proyecto.

Es de conocimiento de ingeniería, que **AutoCAD Civil 3D, (Jara, 2017, p. 1)**, sirve para el “Diseño de plataformas, posas y diques de contención.... y sirve para dimensionar la estructura y calcular los volúmenes...”

Para efectos de la presente tesis, este software, está relacionado con el movimiento de tierras, lograr la uniformidad de la plataforma de corona de la relavera, el comportamiento nivelado de la superficie de la relavera antigua; y, asegurar el comportamiento geotécnico del depósito de relaves, entre otras; cuya información brinda imágenes tridimensionales.

La necesidad de mantener un depósito de relaves, cuya vida útil, ha llegado a su etapa final; es asegurar la continuidad de las Operaciones de la Planta de Beneficio; y con él, asegurar la rentabilidad empresarial. Esta alternativa de recrecimiento vertical de un depósito de relaves, es un paliativo de qué hacer, mientras se ubique nueva área y/o nueva

Concesión de Beneficio, para la construcción de un depósito de relaves que reemplace al que ya concluyó con su vida útil.

En estos casos, hay que estructurar el principal instrumento de gestión, en cualquiera de sus (3) tres formas, Estudio de Impacto Ambiental detallado (EIA-d); que, corresponde a la Mediana y Gran Minería; Estudio de Impacto Ambiental semi-detallado (EIA-sd); que concierne a Pequeños Productores Mineros. Una DIA: Declaración de Impacto Ambiental; cuya realización atañe a Mineros Artesanales; quienes, también pueden solicitar a la Autoridad Competente, la presentación de un EIA semi-detallado; con criterios financiero-ambientales. **Lo novedoso** en estos últimos (4) cuatro años; en atención al Decreto Supremo 040-2014-EM, detallado abajo, **es el trabajo de Relaciones Comunitarias y Responsabilidad Social**, el tema más importante; **a través del Estudio de Impacto Social (EIS)**; el mismo que, debe ser realizado y estructurado, incluso, antes del EIA propiamente dicho.

El secreto profesional, con buenos resultados de campo, es que haya participación del TRINOMIO: ESTADO-COMUNIDAD-EMPRESA, que ayude a mantener las reglas de buena vecindad y la aprobación por la autoridad competente.

**(Art. 60°. DS-040-2014-EM, 12 noviembre de 2014).**

Para el caso específico de la presente Tesis, el Art. 60° nombrado anteriormente, asegura la realización del Proyecto de recrecimiento vertical del depósito de relaves y el control de sus impactos ambientales negativos, con la participación directa y armoniosa, tanto del Estado, como de la comunidad y la propia empresa.

Referente al control ambiental, **(Zuquete y Gandolfi, 1991)**, relacionan (22) veintidós fuentes de relaves en orden creciente de potencialidades de contaminación; en estas fuentes, los relaves de mineral, presentan potencialidades de contaminación muy fuerte.

Por tal motivo la presente investigación trata de aprovechar las relaveras existentes a partir del área de plataforma de corona, con la finalidad de ampliar la vida útil de la relavera anterior con un recrecimiento vertical, con el propósito de no utilizar otras áreas; las mismas que, ocasionarían otros impactos ambientales negativos en el área de influencia directa.

Asimismo, nos permite calcular con datos históricos la resistencia de la relavera anterior con la finalidad de garantizar la estabilidad del talud de la relavera, al utilizar relave en pasta para el recrecimiento vertical.

## 1.2 Justificación

La continuidad de la vida útil de una Planta de Tratamiento de Minerales (Concentradora o de Beneficio), depende de la presencia de un depósito de relaves que, debe estar en condiciones óptimas de volumen y estabilidad; estos aspectos técnico-económico y de control y cuidado ambiental, justifican la investigación.

El hecho de recrecer una relavera, conlleva cubrir la necesidad de contar con mayor capacidad de almacenamiento; precisando tener un lugar que, con amplitud, satisfaga los requerimientos dentro de la vida útil de la planta; y por defecto de la mina o las minas de su entorno, de donde procede el mineral para el tratamiento.

**(Rennat y Miller, 1997)**, argumenta que “los efectos ambientales de la falla de un talud comprenden tanto efectos directos como indirectos”.

- ✓ **“Los efectos directos**, comprenden pérdidas materiales y de vidas humanas; y la destrucción de todo componente ambiental, ya sea vida animal o vegetal, por el paso de los relaves y/o residuos descargados”.
- ✓ **“Los efectos indirectos**, incluyen daños aparentemente menores al medio ambiente; sin embargo, económicamente son muy significativos; debido a que, están directamente vinculadas con las indemnizaciones, los gastos por reparación de infraestructura destruida y pagos por remediación”.

El desarrollo de este proyecto de recrecimiento vertical de una relavera, para continuar depositando relaves, aunado a la evolución de su entorno ambiental, plantea una alteración de las condiciones de estabilidad del depósito; y de haber errores de firmeza estructural, la afectación del medio ambiente; por lo que, se trata de definirla y plantear soluciones técnicas para evitar, atenuar o prevenir tales alteraciones.

## 1.3 Importancia o propósito

La relevancia de la investigación radica en evitar la utilización de nuevas áreas al entorno de la planta concentradora, y simultáneamente controlar los costos de las operaciones de la mencionada planta.

Asimismo, se aprovecharía los aires de las relaveras antiguas con la finalidad de evitar los impactos ambientales negativos, en sus áreas de influencia directa y/o indirecta ambiental.

Del mismo modo, se asegura la continuidad de las operaciones mineras y/o de la comercialización del mineral de cabeza, producto de la explotación de minas y/o la compra de mineral de Mineros Formales.

#### **1.4 Limitaciones**

Dos limitaciones para el desarrollo del presente estudio:

1. Acceso a la información técnica de las empresas mineras donde se ha puesto en estudio de investigación.
2. La escasa literatura especializada para efectos de temas de estabilidad de presas de relaves, construidas en la industria minero-metalúrgica.

Sin embargo, estas limitaciones fueron superadas, por cuanto el autor del presente estudio de investigación, aparte de consultar literatura en universidades nacionales, ha conseguido literatura internacional; e independiente de estos (2) dos recursos bibliográficos, ha escrito literatura de su experiencia como operador ambiental.

Además, el Tesista, en su calidad de Gerente General de la Consultora Minero-energético-ambiental COMPUMET EIRL, ha participado en el diseño, estudios técnicos y construcción de las Relaveras denominadas “Relavera A” de Empresa SOTRAMI S. A.; y “Relavera 2007” de Empresa AUREX S. A.

#### **1.5 Formulación del problema de investigación general y específicos**

##### **1.5.1 Problema general**

- ¿En que medida el tipo de relave permite el recrecimiento vertical de un depósito de relaves y el control de sus impactos ambientales negativos?.

##### **1.5.2 Problemas específicos**

- ¿Cómo influyen los estudios de geomecánica realizados en la elección del tipo de relave, para el recrecimiento vertical de la relavera?
- ¿Cómo influye el comportamiento del talud de la relavera antigua en el control de los impactos ambientales negativos, durante el recrecimiento vertical?
- ¿De qué manera influye el volumen del depósito de relaves en recrecimiento vertical, en la continuidad de las operaciones de mina y planta de tratamiento?

## 1.6 Formulación del objetivo general y específicos

### 1.6.1 Objetivo general

- Evaluar, definir y elegir el tipo de relave que permita un mejor recrecimiento vertical de relaves y el control de sus impactos ambientales negativos.

### 1.6.2 Objetivos específicos

- Definir el **tipo de relave, en base a los estudios de geomecánica** y resultados de laboratorio, para calcular la densidad apropiada del relave, que nos permita recrecer verticalmente la relavera; y controlar sus impactos ambientales negativos.
- **Monitorear el comportamiento del talud** de la relavera antigua, para asegurar su estabilidad frente a posibles roturas de la presa, por efectos naturales o errores humanos; y, evitar accidentes ambientales con daños ecológicos y pérdidas de vida humana.
- Evitar la parada de la planta de tratamiento de minerales; **asegurando el volumen apropiado del depósito de relaves en recrecimiento vertical**, con un ángulo de reposo del relave en pasta a ser utilizado en el referido recrecimiento vertical. Este nuevo volumen de disposición de relaves, permitirá también continuar con las operaciones de minado o la compra de minerales de terceros; típica actividad en la industria minera del Oro.

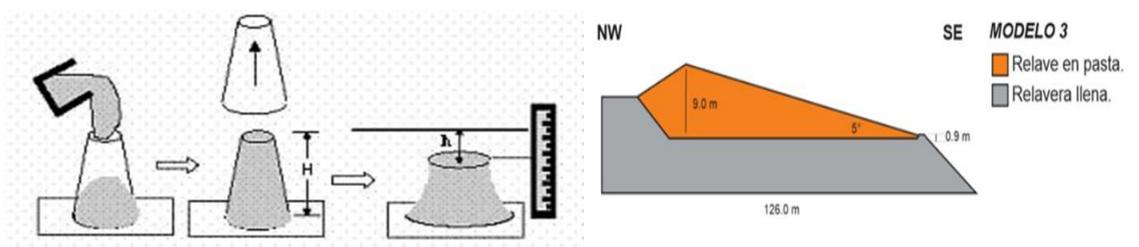
## 1.7 Formulación de hipótesis general y específicas

### 1.7.1 Hipótesis general

- Evaluando el correcto tipo de relave, posiblemente se elegirán el uso del relave en pasta y su correcto punto de descarga, para alcanzar el mejor ángulo de reposo que, verosímilmente, permitirá un mejor recrecimiento vertical de relaves y el control de sus impactos ambientales negativos.

### 1.7.2 Hipótesis específicas

- Calculando la densidad apropiada del relave, posiblemente se defina la elección de un relave en pasta que, permita un comportamiento geomecánico seguro de disposición.
- Logrando los resultados de monitoreo del talud de la relavera antigua, probablemente, se ratificará su comportamiento estable frente a fenómenos naturales o fallas humanas de control del depósito; o quizá se definan trabajos de reforzamiento del talud, con material de préstamo.
- Calculando el ángulo de reposo del relave utilizado, por el procedimiento del ensayo de abatimiento (Normativa Brasileña ABNT-NBR NM 67); y definiendo el punto correcto de descarga, para el recrecimiento vertical, aseguirmente, lograremos un cálculo de volumen favorable en la nueva vida útil de la relavera.



**Figura 0.** Muestra la Norma Brasileira ABNT-NBR NM 67. A la derecha, el Punto de descarga a 9.00 m; y 5° Ángulo de reposo de recrecimiento con relave en pasta.

## 1.8 Variables

### 1.8.1 Variable independiente

Recrecimiento vertical para relave en pasta.

Considerando variables discretas o discontinuas (N° de relaveras), variables cuantitativas (peso, precio) y variables continuas (peso).

### 1.8.2 Variable dependiente

Mitigacion del impacto ambiental con el recrecimiento vertical.

### 1.9 Operacionalización de variables

DEFINICIÓN DE VARIABLES	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS
<p><b>Variable Independiente</b></p> <p><b>Recrecimiento Vertical:</b> En el caso específico de relaveras, es la integración de capacidad de volumen, sobre la base de la corona de presa de relaves en actual actividad, que crecerá encima y aguas arriba.</p> <p><b>Descarga de Relave en Pasta:</b> Con ángulo de reposo de 5°, de un material con 1,6 g/cm<sup>3</sup> de densidad.</p>	<p>Es un factor que influye en el recrecimiento vertical de un depósito de relaves, asegurando el incremento de volumen y el control de sus impactos ambientales negativos; los mismos efectos, se lograrán con la descarga de relave en pasta, sobre área de relavera agotada.</p>	<p><b>Variable Independiente</b></p> <p>Recrecimiento vertical para relave en pasta</p> <p><b>Variable Dependiente</b></p> <p>Mitigacion del impacto ambiental con el recrecimiento vertical</p>	<p>Volumen del deposito</p> <p>Estudio geotécnico</p> <p>Eficiencia</p>	<p>¿Cuál será la cantidad en volumen de relave producido el que se depositará en el recrecimiento?</p> <p>¿Son estos, agentes adecuados para el crecimiento vertical de un depósito de relaves y el control de sus impactos ambientales?</p> <p>¿Cuál será el comportamiento físico-ambiental de los relaves en pasta?</p>
<p><b>Variable Dependiente</b></p> <p><b>Impactos ambientales negativos:</b> Cambio o alteración en el medio ambiente, que representa una ruptura en el equilibrio ecológico, causando graves daños y perjuicios.</p>				

## 1.10 Definición de términos operacionales

**Glosario de términos mineros (2006)**, Ministerio de Energía y Minas del Perú.

- 1.10.1 Aguas ácidas:** Son aguas producto del drenaje de las minas subterráneas, las mismas que contienen alto índice de oxidación y acidez.
- 1.10.2 Agitadores:** Máquinas industriales, que tienen la función de homogenizar el material del tratamiento de minerales, más reactivos, al momento del proceso de concentración.
- 1.10.3 Ciclones:** Máquina muy utilizada en las industrias para recoger polvos gruesos y así purificar gases contaminados con partículas. Es de eficiencia baja para corpúsculos muy finos. Consiste en un cilindro con fondo cónico (embudo) en el que los gases cargados de polvo entran en la sección cilíndrica, tangencialmente; la acción de la fuerza centrífuga tira las partículas de arena y polvo a las paredes, donde caen por gravedad y salen por el fondo del embudo. Los gases ya más limpios escapan por un tubo centrado en la parte superior.
- 1.10.4 Concentración de minerales:** Proceso por el cual, el “mineral de cabeza” extraído de las minas, sufre el tratamiento de separación de la MENA y ganga, económico y no económico respectivamente.
- 1.10.5 Concentrado:** Es el mineral que tiene valor económico; es conocido también como mineral beneficiado, listo para comercializar y llevarlo a la fundición.
- 1.10.6 Condensación:** Acción o efecto de condensar o condensarse; paso de un vapor del estado gaseoso al estado líquido.
- 1.10.7 Chancadora:** Máquina que se utiliza para triturar mineral y rocas de diferentes tamaños, procedentes de las minas, según granulometría requerida, para el siguiente proceso.
- 1.10.8 Decantación:** Operación que consiste en separar un líquido de las materias sólidas incorporadas al mismo, bien sea mediante sifones, bien inclinando la vasija que lo contiene. Para conseguir

realizar la decantación entre dos líquidos, es necesario que estos posean densidades bastantes diferentes.

**1.10.9 Depósito de relaves:** Ver relavera.

**1.10.10 Desbroce:** Es el proceso inicial del minado a cielo abierto; por el cual se descubre el mineral de un yacimiento minero, quitándole el material estéril que lo viene cubriendo.

**1.10.11 Diques:** Obstáculo o dársena que sirve para contener las aguas, para elevar su nivel o desviar su curso; se define también como una cavidad revestida de fábrica en la orilla de un río, con compuertas, para llenarla o vaciarla, donde se hacen entrar los buques para limpiarlos, carenarlos, cargar y descargar con comodidad.

**1.10.12 Disposición de relaves:** Es la descarga, depósito o colocación de residuos sólidos industriales, producidos por las plantas de beneficio de minerales (concentradoras, tratamiento y recuperación).

**1.10.13 Drenaje ácido de rocas:** Es el fenómeno de discurrir de aguas subterráneas con alto contenido de ácido.

**1.10.14 Floculantes:** Formación de agregados de partículas en suspensión coloidal mediante reactivos o sustancias químicas que forman puentes de enlace entre las partículas.

**1.10.15 Flotación:** Celdas industriales, que sirven para flotar el mineral rico en metal, dándoles las propiedades hídricas para que floten y se mantengan en la superficie con la ayuda de reactivos específicos; y deprimiendo el mineral estéril.

**1.10.16 Fundición:** Acción y efecto de fundir. Instalación metalúrgica donde se funden los metales o las aleaciones, ya sea para fabricar lingotes, ya sea para darles la forma con que se los va a utilizar.

**1.10.17 Geodinámica:** Rama de la geología que analiza los procesos que afectan al planeta, las causas que lo originan y las formas que de ellas resulta. La geodinámica se divide en dos campos de estudio: Geodinámica interna y externa. La externa se ocupa

del estudio de los procesos que tienen lugar en la capa más externa de la litosfera terrestre.

**1.10.18 Geomecánica:** Es la disciplina que estudia las características mecánicas de los materiales geológicos que conforman las rocas de formación. Esta disciplina, está basada en los conceptos y teorías de mecánica de rocas y mecánica de suelos; que relacionan el comportamiento de la formación, bajo los cambios de esfuerzos producto de las operaciones mineras.

**1.10.19 Hidrociclón:** Es una maquinaria o dispositivo que sirve para separar los sólidos de los líquidos, su funcionamiento se base en el uso del agua. Se denomina también “Cono Profundo”.

**1.10.20 Material aluvial:** Intercalación de gravas arcillosas, gravas limosas, horizontes de limo, arcillas y turbas. Son suelos de materiales transportados o depositados en las planicies costeras y valles interiores.

**1.10.21** Son aluviones estratificados de textura variable. Son suelos recientes o de reciente deposición y carecen de modificaciones de los agentes externos (agua, clima, etc.).

**1.10.22 Material arenoso:** Rocas detríticas sin consolidar, es decir, fragmentos minerales de sedimentos detríticos de tamaño comprendido entre los 2 y los 0.02mm, según el diámetro de los fragmentos que componen las arenas, se distinguen los siguientes tipos: arenas finas, de 0.02 a 0.2mm; arenas medias, de 0.2 a 0.5mm; y arenas gruesas de 0.5 a 2mm.

**1.10.23 Material arcilloso:** Roca sedimentaria detrítica, en la que la mayoría de sus fragmentos tienen un diámetro menor de 0.002mm. Son blandas, se les puede rayar con la uña, y plásticas, se endurecen al calentarlas. Contienen sílice, alúmina y los iones H<sup>+</sup> y OH<sup>-</sup>.

**1.10.24 Molienda:** La molienda es un proceso de uso común en la recuperación de minerales; se refiere a la pulverización o molido del material sólido o “mineral de cabeza”, extraído de una mina, a una granulometría apropiada.

- 1.10.25 Overflow:** Material fino, seleccionado en colectores para enviar a la relavera. Diferente y opuesto al Underflow.
- 1.10.26 Presa de relave:** Ver relavera.
- 1.10.27 Pulpa:** Es la mezcla de mineral fino más agua, en estado saturado.
- 1.10.28 Reactivos:** Cualquier sustancia empleada en una reacción química, para producir otra sustancia, o para determinar las calidades y cantidades de diversas especies químicas.
- 1.10.29 Relavera:** Es un depósito para disponer residuos sólidos industriales de Planta Concentradora, al cual se le denomina “relave”, siendo este último, económicamente inservible.
- 1.10.30 Relave:** Material residuo del proceso de concentración o beneficio; puede tener valor económico mínimo o ninguno. Relave o cola es un conjunto de desechos tóxicos del proceso minero de concentración de minerales, constituido por una mezcla de rocas molidas, agua y minerales de ganga (o sin valor comercial), aunque también se encuentran bajas concentraciones de Oro, Plata y/o metales pesados, tales como cobre, plomo, mercurio y metaloides como el arsénico.
- 1.10.31 Relave en pasta:** Material altamente desaguado por medio de espesadores tipo cono profundo o espesadores de alta densidad con altura de cama profunda. Esta tecnología permite llevar a cabo una separación sólido-líquido que recupera una importante cantidad de agua y obtiene un producto sólido de alta densidad/viscosidad, el cual debe ser transportado con apoyo de bombeo.
- 1.10.32 Represa:** Estanque, contención del agua o de pulpa, mediante un muro, barrera predefinida para fines industriales.
- 1.10.33 Sedimentación:** Acumulación de materias, más o menos finas, arrastradas por el viento o las aguas. Acción de posarse o depositarse, en el fondo de un recipiente, de las partículas sólidas en suspensión contenidas por un líquido.
- 1.10.34 Las rocas sedimentarias,** son rocas que se forman por acumulación de sedimentos, los cuales son partículas de

diversos tamaños que son transportadas por el agua, el hielo o el viento, y son sometidas a procesos físicos y químicos (diagénesis), que dan lugar a materiales consolidados.

**1.10.35 Taludes:** Inclinação o pendiente de un terreno o del parámetro de un muro.

**1.10.36 Tamizado:** Procedimiento para separar en diferentes tamaños, según la granulometría, las partículas componentes de una roca.

**1.10.37 Underflow:** Sustancia gruesa de la clasificación de relaves; que es clasificada para enviar al interior de una mina subterránea, para ser utilizada como relleno hidráulico.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

##### 2.1.1 Nacionales

Históricamente, hay antecedentes que conllevan a la necesidad de realizar investigación geotécnico-ambiental y de resistencia de materiales para la estabilidad de presas de relaves en la industria minero-metalúrgica.

Las experiencias abajo descritas, unidas a rebalses por exceso de depósito de relaves, al finalizar la vida útil de una presa, hacen que se desarrolle este trabajo de “recrecimiento vertical de depósitos de relave”. **(Medina, 2015)**

Dentro de los antecedentes más significativos, es la disposición empírica de relaves, hace años atrás; ya sea utilizando áreas libres al entorno de las Plantas Concentradoras o eligiendo lagunas o quebradas con cierta apariencia de depósitos para este fin.

Estas formas empíricas de contar con depósitos de relaves, han generado emergencias graves, tales como:

- ✓ Inundaciones de comunidades.
- ✓ Contaminación de lagos, lagunas y ríos importantes.
- ✓ Generación de material con sólidos en suspensión en altos porcentajes.
- ✓ Aguas ácidas, que han sido motivo de desaparición de flora y fauna del lugar.

Muy independientemente a la ubicación mal planteada del depósito, utilizando un lecho abierto; sin considerar las consecuencias centenarias pluviales, ni la resistencia del macizo rocoso que, por razones de diseño, deben ser lechos de roca ígnea y no sedimentaria; otros, son los excesos de disposición vertical, sin previo estudio; lo cual han hecho que, rebalse el relave, debilite el talud de la presa por erosión y sufra su consecuente ruptura. **(Medina, 2015).**

De acuerdo a los cálculos realizados en el **Punto 3.3. (Población y muestra)** de la presente tesis, utilizando la Fórmula de **(Ramos, 2012)**, se requerirá,

visitar a no menos (4) cuatro relaveras, entre relaveras de Oro y relaveras Polimetálicas, para averiguar su necesidad de recrecimiento vertical.

Estos antecedentes, permiten al investigador orientar el trabajo a una contribución socio-económica y técnico-ambiental valiosa para el desarrollo y continuidad de las operaciones de una concentradora o planta de beneficio, extendiendo la vida útil de su relavera, recreciendo verticalmente.

### **Producción de residuos sólidos mineros:**

El punto fundamental del presente trabajo de investigación referido al recrecimiento vertical de un depósito de relaves y control de sus impactos ambientales negativos, es precisamente la gestión y manejo de residuos sólidos industriales; específicamente residuos sólidos mineros, técnicamente conocidos como RELAVES.

Para cumplir con este requerimiento; y con el propósito de hallar más y mejor soporte técnico referente al tema de investigación, el investigador, no solo ha visitado, sino ha trabajado en más de las (4) cuatro relaveras siguientes:

#### **(Medina, 2015)**

1. Relavera de Compañía Minera Atacocha S. A. A. (CMA). Relave de mineral polimetálico.
2. Relaveras en Casapalca de CENTROMIN PERÚ S.A. Relave de mineral polimetálico.
3. Relavera de Minera Sotrami S. A. Relave de mineral de Oro.
4. Relavera de Minera AUREX S. A. Relave de mineral de Oro.

En estas visitas se ha definido la importancia que tiene el tipo de granulometría que debe tener el relave para recrecer.

- ✓ Visita a la Relavera de Minera Atacocha S. A. A., **antes *Compañía Minera Atacocha S. A. (CMA)***, empresa ***POLIMETÁLICA*** que opera en la Región Pasco; fundada en 1936; actualmente controlada por la Compañía Minera Milpo S.A. A. Ver en la figura N°1.

Atacocha, trata minerales de Plomo (Pb), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Plata (Ag) y Oro (Au), generando finalmente residuos sólidos industriales; los cuales, aún tiene dispuesto en esta relavera, en condición de pasivos ambientales mineros.

- ✓ Visitas a Relaveras de *la antigua Unidad Minera Casapalca (UMC) que fueran de Centromín Perú* (ahora pertenecen a la Empresa Minera Los

Quenuales S. A.), están en condición de pasivos ambientales; contienen relaves de mineral polimetálico.

- ✓ Lo importante para el caso de nuestra investigación es que, en esta Relavera Casapalca, no se hicieron trabajos de RECRECIMIENTO VERTICAL; al contrario, se hicieron trabajos de REMEDIACIÓN DE PASIVOS; porque, en una relavera de polimetálicos, no es recomendable realizar trabajos de recrecimiento vertical; por el tipo de relave dispuesto.
- ✓ La visita a la “Relavera 2007” de Minera AUREX S. A., es un acontecimiento mucho más ingenieril, debido a que, ya se tenía la alternativa de construcción de una relavera nueva, denominada “Relavera Manavale”, donde se dispondrá el relave en pasta, producto de la Planta de Empastado por el Método de Cono Profundo.

El Investigador, plantea el recrecimiento vertical de “Relavera 2007” con descarga de relave en pasta, antes de utilizar Manavale.

**(Medina, 2015)**, sostiene que, para entender la naturaleza de los residuos sólidos mineros, es fundamental tener conocimientos básicos de cómo fue extraída la materia prima de las minas, desde el mineral de cabeza.

Mineral de Cabeza, conocido así, al mineral extraído de las Minas y llevado a la Planta de Tratamiento, para la recuperación del material rico; este último, conocido como MENA; lo restante de este tratamiento, es el Residuo Sólido Minero, conocido como Ganga o RELAVE, depositado en un Depósito de Relaves o RELAVERA; que en algún momento requerirá de un RECRECIMIENTO VERTICAL; motivo de la presente tesis.

### **2.1.2 Internacionales**

#### **Características de los residuos sólidos mineros:**

**(Abraao, 1987, pp. 451)**, menciona que “los residuos sólidos mineros son considerados granulométricamente finos, variando de coloides a arena”. “En general, los más gruesos muestran características plásticas y los más finos pueden mostrar índices de plasticidad o no”. Aquí la diferencia de los relaves, producto del tratamiento de Minerales de Oro versus el tratamiento de Minerales Polimetálicos.

“Los residuos en general muestran características mineralógicas, geotécnicas y físico-químicas variables, en función al tipo de mineral procesado y del propio proceso de concentración adoptado”.

**Cuenca, L. (7 de mayo de 2015). Revista Futuro Renovable. Chile p. 1;** afirma que, “se trata de gigantescos depósitos de desechos tóxicos que contienen arsénico, plomo, mercurio, sales de cianuro y químicos propios del procesamiento minero que se acumulan en millones de toneladas. Las consecuencias sobre la vida humana y el medioambiente que estos confinamientos de material contaminante producen son incalculables”.

“El relave inerte tiende a provocar una contaminación física en los cuerpos de agua donde es lanzado; mientras que el activo provoca una contaminación físico-química. Es importante resaltar entre relaves activos o radiactivos, siendo los mismos incluidos los de alta contaminación”.

A nuestro criterio y experiencia, todos los relaves, sean activos o inertes, constituyen una de las fuentes de contaminación más peligrosa, por su tendencia de impactar negativamente y en forma directa el medio físico; donde están presentes rocas o materiales inconsolidados, aguas y superficie de suelos que, son base sustentable de la biosfera y la atmósfera; sin embargo, actualmente la industria minera, trabaja con Operaciones con Tecnología Más Limpia (OTML).

**(Zuquete y Gandolfi, 1991)** relacionan “(22) veintidós fuentes de relaves en orden creciente de potencialidades de contaminación; donde los relaves directos de minerales, presentan una fuerte potencialidad de contaminación”.

“La contaminación del medio físico y consecuentemente de la biosfera, la hidrosfera y la atmósfera, pueden ocurrir a través de uno o más de los siguientes factores:

- ✓ Contacto directo entre los relaves en los componentes del medio físico.
- ✓ Producción de gases de los relaves que pueden contaminar con mayor rapidez el medio físico a la biosfera y la atmósfera.
- ✓ Filtración de agua pluvial no local de disposición, por la cobertura o lateralmente.
- ✓ Radiación debido a desintegración de materiales radiactivos.

- ✓ Problemas con la naturaleza y condiciones de los materiales que constituyen la estructura del depósito; tales como recalques, fendas de la cobertura, alta permeabilidad, etc.
- ✓ Problemas de corrientes por errores de construcción.
- ✓ Deficiencia de las barreras protectoras, naturales y artificiales”.

En definitiva, **la presencia de los depósitos de relave** o relaveras, en el que se almacenan los residuos sólidos mineros, luego del tratamiento de recuperación de minerales, **SI representan fuentes de polución**, cuyo control y solución son las OTML (Operaciones con Tecnología Más Limpia).

## 2.2 Bases teóricas

**(Pérez Hernández, P. J. 2016)**, conoce como materia prima a la materia extraída de la naturaleza; y que, se transforma para elaborar materiales que más tarde se convertirán en bienes de consumo.

La extracción de minerales, requiere de procedimientos tan diversos, tales como el desbroce, producción de desmonte, transporte interno de minerales y su consecuente tratamiento y disposición de relaves, almacenamiento y operaciones auxiliares.

**(Aznar Acosta, J. 2010)**, afirma que, “de los minerales y las rocas, obtenemos muchas de las materias primas que utiliza el hombre.

Estos minerales útiles o minerales de interés económico, los podemos clasificar como: Minerales metálicos; los cuales, además de los elementos nativos, como el oro y la plata, son importantes, como materia prima para la industria.

El producto residual, después del tratamiento de recuperación, son los relaves. Para el control de impactos ambientales negativos, según **(Cabrejos Salinas, J. A. 2011)**, “el tema de producción, transporte, disposición y caracterización reológica de relaves espesados (relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales que son capaces de fluir), es la solución tecnológica, ante problemas como la escasa disponibilidad de agua para los procesos metalúrgicos en zonas áridas; inestabilidad de presas, por efectos de licuefacción de relaves, reducidos volúmenes y áreas de almacenamiento disponibles para presas de relaves, y la generación de agua ácida, entre otros”.

Para el caso específico de nuestro trabajo de investigación, nos referiremos al tratamiento de minerales de Oro y Plata; **puntualmente, a la disposición de este tipo de relaves en depósitos cuya vida útil, está a punto de agotarse**; y como seguir utilizando **el mencionado depósito con un recrecimiento vertical**, sin generar impactos negativos.

Los relaves (residuos sólidos mineros); son, una declarada mixtura de agua y sólidos, que facilita una racionalización de su manipuleo, transporte y disposición; el que pasa por tres (3) estados de comportamiento”.

**“Primer Estado:**

Estado inicial de relave con comportamiento líquido necesario para su transporte por vía hídrica; denominado pulpa”.

**“Segundo Estado:**

Estado intermedio, corresponde al proceso de sedimentación, con un comportamiento semilíquido a semi-viscoso”.

**“Tercer Estado:**

Estado en que ocurre un proceso de asentamiento, el que corresponde a un relave propiamente dicho, comportándose como un material arenoso o arcilloso, dependiendo de su granulometría”.

Del presente trabajo de investigación, estos (3) Tres Estados de Comportamiento de Relaves, se ve en la “Relavera A” de Minera SOTRAMI S. A.; mientras que en la “Relavera 2007” de Minera AUREX S. A., el comportamiento es otro, por tratarse de un material procesado como Relave en Pasta, antes de ser dispuesto en el Depósito de Relaves.

## **2.3 Bases conceptuales**

### **2.3.1 Disposición de relaves:**

En cuanto a las formas del depósito (**Abraao, 1987, pp. 451**), cita que “los relaves pueden ser desechados de una unidad de beneficio en forma sólida, en pasta a granel y líquida o pulpa de agua con sólidos”.

El primer caso es transportado por vía carretera con camiones; el segundo y tercer caso, por medio de tubería, bombeados o por gravedad, caso más común debido al menor costo.

La disposición de relaves, puede ser en superficie o en cavidades subterráneas o en ambientes subacuáticos.

En la superficie los terrenos pueden ser formados como pilas de relaves si el caso es de desechos sólidos, o construir depósitos reservorios compuestos por diques (áreas planas o con pequeña inclinación), o barreras; el que merece consideraciones de decantación, segregado sedimentario, ángulo del depósito, sedimentación y clarificación de agua.

La decantación, depende de la densidad aparente del relave, una segregación sedimentaria y un proceso de clasificación de los materiales presentes en el relave, en función a la granulometría, forma parte de las partículas y densidad de las mismas. Siendo este proceso importante para la formación de playas y paredes en las barreras de la relavera.

El proyecto de disposición de relaves en recrecimiento vertical, debe tomar en cuenta criterios de naturaleza física de su fase sólida y las características químicas de su fase líquida.

Las propiedades combinadas de ambas fases del material, influyen en el tipo de sistema de disposición de relaves y las características de obras que serán necesarias.

### **2.3.2 Relaves como fuente de polución:**

Sabemos que la polución, es la contaminación del medio ambiente, en especial del aire, del agua, del suelo, producida por los residuos procedentes de la actividad humana o de procesos industriales o biológicos.

Para nuestro caso, se trata de la posibilidad de polución que puede generar la presencia de una relavera, sino recibe una gestión y manejo correctos.

El objetivo de nuestro trabajo de investigación es el control de los impactos ambientales negativos que puede ocasionar la rotura de un depósito de relaves, en su proceso de operaciones normales o su recrecimiento vertical.

Los relaves que seguirán depositándose en una relavera, en el proceso de recrecimiento vertical, pueden ser activos o inertes, dependiendo del tipo de mineral procesado en la planta. **(Crippen Berger, K. 2017).**

### **2.3.3 Relaves provenientes de la planta concentradora:**

El producto de relaves como consecuencia inevitable del proceso de beneficio o concentración de minerales (Tratamiento de recuperación de mena); necesariamente, tiene que ser depositado en una relavera.

(Zuquete y Gandolphi, 2004. pp. 37), muestra la siguiente Tabla N°1, como ejemplo de cantidades relativas medias de relaves, generados en el proceso de una planta brasilera:

**Tabla 1.** Productos de concentración de minerales y relaves en una tonelada de mineral.

Sustancia Mineral	Producto (Tn)	Relave (Tn)
Hierro	0,61	0,39
Carbonato	0,25	0,75
Fosfato	0,17	0,83
Cobre	0,03	0,97
Oro	0,00001	0,99999

**Fuente:** Zuquete y Gandolphi (2004)

#### 2.3.4 Efectos ambientales por fallas de taludes:

Como ya se expuso líneas arriba, la disposición vertical ascendente de relaves en una relavera, es peligrosa; debido a que puede producirse un rebosamiento y erosión de taludes, por efectos de la ruptura de la presa, generando un accidente ambiental.

(Haddad, E. 2014), define los accidentes ambientales como “eventos que afectan, directa o indirectamente, la seguridad y la salud de la comunidad involucrada y causan impactos negativos”.

“Los accidentes ambientales se pueden caracterizar de dos maneras diferentes:

- a. Desastres naturales:** Son las catástrofes provocadas por fenómenos de la naturaleza. En su mayoría no interviene la mano del hombre. En esta categoría están incluidos los terremotos, maremotos, huracanes, etc.
- b. Desastres tecnológicos:** Son las catástrofes provocadas por las actividades realizadas por el hombre, tales como los accidentes nucleares, las fugas de sustancias químicas, la rotura de una presa de relaves, etc.”

“Si bien las causas que originan estos dos tipos de catástrofes son independientes, algunas veces pueden estar relacionadas, como en el caso

de una fuerte tormenta que puede ocasionar daños en la estructura de una relavera”.

En tal situación, además de los daños directos provocados por el fenómeno natural, también puede haber otros problemas derivados de los impactos en las instalaciones de la planta afectada y su entorno.

Para el tema de nuestra investigación se afirma que, estos accidentes de origen tecnológico son previsible, con la estructuración de un plan de control e inspección diaria y un programa de contingencias y emergencias, para anticiparse a estos episodios, sin descuidar la preparación, a través de simulacros, para una correcta intervención durante la ocurrencia de éstos.

Las consecuencias de los accidentes en depósitos de relaves, están asociadas a diferentes tipos de impactos en el medio ambiente, las personas o el patrimonio (público y privado); pérdida de vidas humanas, daños a la salud humana, daños económicos, efectos psicológicos en la población, compromiso de la imagen de la empresa minera y el gobierno.

### **2.3.5 Accidentes ocurridos en depósito de relaves:**

“Uno de los ejemplos sobre accidentes de depósitos de relaves en el Perú, en estos últimos (10) diez años, es la rotura de la relavera de la empresa Caudalosa Chica en Huancavelica, ocurrido el 25 de junio de 2010; este accidente, muestra la crudeza de la contaminación ambiental en la minería actual”, en pleno Siglo XXI. **(Pinto Herrera, H. 2010)**.

Los relaves, de un total de 57 mil metros cúbicos de relaves la mitad (aprox. 25 mil metros cúbicos), contaminaron las aguas de los ríos Escalera, Huachocolpa, Lircay, Opamayo, Urubamba, Cachi y finalmente el río Mantaro. Para el presidente del Consejo Directivo del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), **(García, G. S. 2010)**, «La minera construyó los diques con material inadecuado, elevó su nivel de la presa sin autorización y carecía de un plan de contingencia». Y lo que es más grave, fue calificada como una relavera ilegal. **(Carnero, L. 1995)**, muestra la siguiente Tabla N°2 con el tema de siniestros:

**Tabla 2.** Accidentes por infiltración ocurrida en depósitos de relaves

AÑO	DEPOSITO	PAIS	CAUSA	
			DE RUPTURA	CONSECUENCIAS
1963	Louisville	Kentucky	Infiltración	Discurrimiento de 1 millón t de relave, a una distancia de 0,1 km.
1966	Gypsum	Texas E.U.A.	Infiltración	Discurrimiento de 200 mil t de relave a una distancia de 0,3 km.
1971	Phosphate	Florida E.U.A.	Infiltración	Discurrimiento de 8 millones t de relave a una distancia de 120 Km, obstruyendo el cauce del río Florida.
1974	Bafokeng	África del Sur	Infiltración	Discurrimiento de 5 millones 200 mil t de relave por más de 45 km, obstruyendo 11 muertos.

**Fuente:** Carnero, (1995)

### 2.3.6 Factores geológicos y geotécnicos:

(Rojas Linares, E. L. 2015), luego de haber definido la ubicación del sitio de la presa y seleccionado el tipo de presa, se procede al diseño de la estructura. “El diseño se iniciará con la selección de materiales y su distribución o zonificación dentro de la sección de la presa, así como el análisis de las condiciones de inicio, que pueden afectar el comportamiento de la estructura”.

“El proyecto de una presa de relaves considera los siguientes Análisis:

- Estabilidad contra el desbordamiento.
- Estabilidad contra el flujo incontrolado.
- Estabilidad contra la erosión interna.
- Estabilidad contra la licuefacción.”

“En la toma de decisiones, por elegir áreas nuevas para construir depósitos de relave, que reemplacen a las ya colmatadas, los peligros geológicos tienen mayor importancia en el Perú, que en la mayoría de los demás países.”

La Cordillera de los Andes se encuentra entre las cadenas de montañas más jóvenes del mundo, la cual continúa desarrollándose, por lo que ocurren procesos de desgaste y erosión de diversa índole con gran rapidez. La geomorfología en el Perú está determinada por un conjunto de procesos activos, en evolución, no se trata de aspectos históricos. **(Rojas Linares, E. L. 2015).**

Las características geológicas de cada lugar, **(Rennat, E., Miller, S. 1997)**, afectan la estabilidad física de las represas y la movilidad de los contaminantes potenciales hacia las aguas subterráneas.

En determinadas circunstancias, algunas condiciones geológicas adversas, si no son demasiado severas, pueden ser mitigadas mediante trabajos con diseños de ingeniería, que a veces son costoso, pero en otras es mejor evitarlas cambiando la ubicación a un lugar alternativo.

**(Luque y Rosado, 2014)**, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), a través de la Dirección de Geología Ambiental, continúa con el trabajo de inventario, cartografía y evaluación de área afectadas por Peligros Geológicos a nivel nacional, información de gran importancia básica para el conocimiento del medio físico en relación a la prevención de desastres y ordenamiento territorial del país.

Estos inventarios, están dentro del Programa Geocientífico Nacional: Proyecto GA-25 titulado “MAPAS DE RIESGOS GEOLÓGICOS POR REGIONES: LIMA, PASCO, JUNIN.”, que realizó estudios geológicos de campo y gabinete a Escala 1: 50 000, durante los años 2011-2012.

Estos trabajos han permitido identificar, georeferenciar y determinar el grado de peligrosidad de las ocurrencias recientes y antiguas, de procesos de movimientos en masa de los tipos: derrumbes, caídas de rocas, deslizamientos, flujos de detritos (huaycos, flujos de lodo, avalanchas de rocas o detritos), reptaciones y movimientos complejos (deslizamiento-flujos, derrumbe-flujos, etc.), así como también de zonas afectadas por procesos de erosión e inundación fluvial, erosión de laderas (cárcavas y procesos

avanzados de “bad lands”), procesos de hundimiento o karst u otros peligros geológicos e hidrológicos.

Frecuentemente se evalúa la profundidad de la Napa Freática, direcciones de flujo, gradientes, y usos actuales, como parte de los estudios ambientales de línea de base necesarios.

En ocasiones, también puede ser necesario realizar perforaciones o calicatas, como se detalla en el Punto 1.1.2., de la presente Tesis de Investigación; muy independiente, de ser el caso, a realizar un análisis detallado con fotografías aéreas con pares estereoscópicos (muy costosos), “lograr imágenes satelitales por Google Earth o AutoCAD Civil 3D; que, nos permitan ver imágenes en tercera dimensión”. **(Quisca Astocahuana, I. 2018).**

“Se necesita que las condiciones de suelo y roca que puedan afectar la estabilidad física sean identificadas junto con la extensión y profundidad de cualquiera de dichos depósitos”.

Los aspectos de diseño de presas para tratar los problemas de estabilidad que presentan estos materiales, incluyendo la excavación y remoción, influyen en las decisiones referentes a la selección de ubicación y costos de manejo de residuos.

Comentarios similares son aplicables a suelos sensibles a la humedad en regiones áridas o semiáridas que son propensos a colapsar bajo condiciones de saturación.

Es preferible evitar lugares en los que se encuentran subyacentes a suelo o roca con alto contenido de minerales solubles como el Yeso y Calizas Cársticas.

**Las siguientes condiciones geológicas, deben motivar la exclusión de un lugar para la construcción de relaveras:**

- La presencia de una falla activa, o una falla inactiva que pueda sufrir alteraciones por el peso y la infiltración proveniente de la instalación propuesta, ya sea por debajo o adyacente al lugar.
- La presencia de labores mineras subterráneas activas o abandonadas directamente debajo o adyacentes al lugar elegido.
- Un lugar geológicamente inestable, tal como un derrumbe o material dejado por un huayco. La presencia de un área relativamente plana en

medio de un terreno escarpado, puede ser un lugar atractivo, debe ser examinada con sumo cuidado.

- La presencia de altas presiones de agua subterránea, como lo indican algunas veces los manantiales artesianos en el área del lugar propuesto.
- grado de exposición de un lugar a peligros geológicos, incluyen huaycos y derrumbes; los que deberían ser evitados ya sea aguas arriba o aguas abajo del futuro depósito.
- A veces se puede inferir el peligro de grandes avalanchas de rocas por la evidencia geológica de la ocurrencia de casos semejantes, obtenida a partir de la evaluación del terreno.

### **2.3.7 Factores hidrológicos:**

Debido a la topografía abrupta que presenta gran parte del Perú y a la correspondiente escasez de áreas planas para la construcción de depósitos de almacenamiento de relaves mineros, muchos de dichos depósitos están ubicados junto a los ríos, cursos de agua o lagunas.

Este tipo de limitaciones, también son un motivo fundamental para pensar en un recrecimiento vertical de los depósitos de relaves, antes de pensar en localizar nuevas áreas de construcción de relaveras.

En el Perú, el régimen hidrológico de los cursos de agua varía considerablemente durante el año, alcanzando los valores más altos al empezar el verano (Estación de lluvias en la Sierra peruana).

**(Romero Ríos, D. 2012)**, “para realizar un estudio hidrológico, tomar el régimen pluvial de la zona de emplazamiento del depósito de relaves y las quebradas que inciden en ella; de modo que, se apliquen en el cálculo de los caudales de diseño de las obras de drenaje ante condiciones de precipitaciones máximas”.

“El estudio hidrológico, estima las descargas máximas, a partir de un análisis de frecuencia de las precipitaciones máximas en 24 horas; registradas, en las estaciones pluviométricas, ubicadas en áreas adyacentes a la zona del proyecto”.

“Los registros históricos de flujos y caudales son invaluable para predecir los eventos máximos de diseño y las contramedidas necesarias. En caso que

no existan datos adecuados, el profesional encargado del diseño debe trabajar en base a supuestos para el peor de los casos”.

## **2.4 Bases epistemológicas o bases filosóficas o bases antropológicas**

El abordaje de las Ciencias Ambientales que discutiré a continuación lo haré tomando posición y seleccionando tres enfoques epistemológicos que –en mi opinión- logran dar cuenta del tipo de conocimiento que construyen tales ciencias y su validez.

- ✓ **El primero de ellos es** el Enfoque Analítico que concibe las Ciencias Ambientales. Al referirnos al ambiente, podríamos hablar de los componentes biológicos y físico-químicos; pero el ambiente, también incluye al ser humano y todas sus manifestaciones materiales y subjetivas.

Consecuentemente, cuando hablamos de un enfoque analítico, estamos hablando no sólo de tomar en cuenta los diferentes planos de la realidad; sino, también de las interrelaciones que se generan entre estos factores.

- ✓ **El segundo es** el Enfoque Fenomenológico Hermenéutico que conciben las Ciencias Ambientales como Ciencias ligadas a las ciencias naturales, donde juegan un papel importante la Geología, Biología, Hidrología, Química, Zoología, Botánica, Geografía, Entomología, Física, entre otras, que van íntimamente ligadas a mi Proyecto de Investigación.
- ✓ **El tercero es** el Enfoque Crítico que aparece con la intervención del hombre; quien, actúa al interior de las Ciencias Ambientales y las Ciencias Naturales, en su requerimiento de cubrir sus necesidades de realización y desarrollos sociales y económicos.

Las ciencias ambientales son una disciplina científica interdisciplinaria; cuyo principal objetivo, es buscar y conocer las relaciones que mantiene el ser humano consigo mismo y con la naturaleza. Implica un área de estudio multidisciplinario que abarca distintos elementos como el estudio de problemas ambientales y la propuesta de modelos para el desarrollo sostenible; que es precisamente lo que busco relacionar en mi tesis doctoral, en mi calidad de ambientólogo o científico ambiental.

En la tesis, se cubrirá el espectro técnico, laboral y socio-económico del recrecimiento vertical de un depósito de relaves y el control de sus impactos ambientales negativos, enfocando tratamiento o recirculación de aguas residuales de tipo industrial, control y/o tratamiento de emisiones a la atmósfera (control de la calidad del aire), selección de suelos para la construcción de presas de relaves, que aseguren la estabilidad de sus taludes, etc.

El vínculo directo de la parte técnica y socio-económica, conlleva la implantación de Relaciones Comunitarias.

Mejor dicho, el Sistemas de Responsabilidad Social y Participación Ciudadana, a través del trinomio Estado-comunidad-empresa, para asegurar la permanencia de impactos ambientales positivos y la mejora de las prácticas agropecuarias, en las áreas de influencia directa ambiental.

Siendo las ciencias naturales o ciencias de la naturaleza, conocidas también como físico-naturales, la presente investigación, tienen por objeto, estudiar dichas alteraciones, siguiendo la modalidad del método experimental, incluyendo aspectos relativos a las acciones humanas.

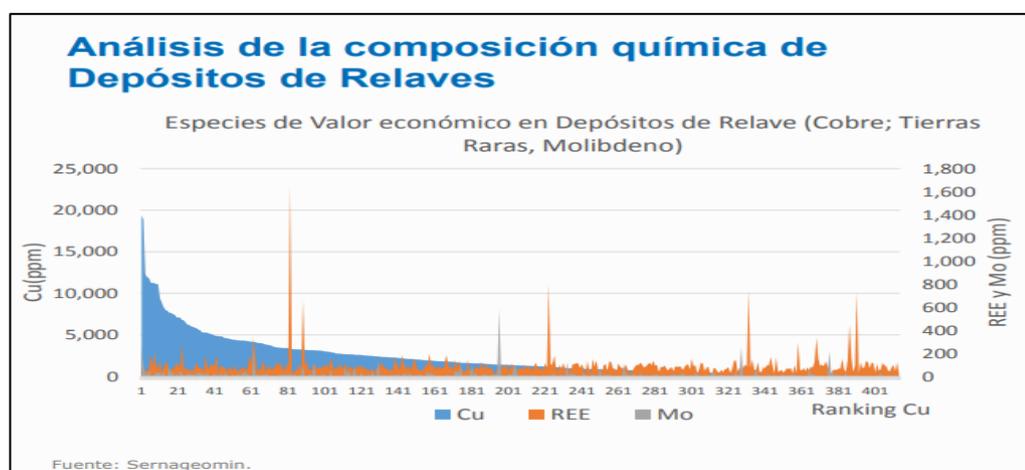
En consecuencia, la Tesis investiga precisamente esa inclusión de las acciones humanas sobre la naturaleza, basada en la tecnología limpia que, es parte del conocimiento científico especializado en el recrecimiento vertical de relaveras.

[https://es.wikipedia.org/wiki/Ciencias\\_naturales](https://es.wikipedia.org/wiki/Ciencias_naturales) “Como grupo, las ciencias naturales se distinguen de las ciencias ambientales, ciencias sociales o humanas y de otro tipo de saberes (identificación o diferenciación de las humanidades y artes); es un problema epistemológico”.

“No olvidemos que las ciencias naturales, por su parte, se apoyan en el razonamiento lógico y el aparato metodológico de las ciencias formales, especialmente de la matemática y la lógica, cuya relación con la realidad de la naturaleza es indirecta”.

“A diferencia de las ciencias aplicadas, las ciencias naturales son parte de la ciencia básica, pero tienen en ellas sus desarrollos prácticos, e interactúan con ellas y con el sistema productivo en los sistemas denominados de investigación y desarrollo (I+D) o investigación, desarrollo e innovación (I+D+I)”.

Como parte de la epistemología de relaves mineros (rama de la filosofía que estudia el fundamento, los límites, la metodología del conocimiento de presas de relaves), **(Moreno Fernández, I. 2016)**, hace tres años - a la fecha, junio de 2019, dentro del Programa Geoquímica de Relaves, en Chile, ha recogido 1,900 muestras de 500 depósitos muestreados; alcanzando a tener 250 resultados del análisis de la composición química de los depósitos de relaves. Aquí queda especificada la naturaleza de los relaves, su variedad como composición mineralógica, sus orígenes y procedencia, sean de minas polimetálicas, minas de oro o pasivos ambientales virreinales; y su orientación económica, hasta su implicancia de impacto ambiental contaminante; como puede observarse en la Figura 1. “Se estudian las composiciones, por el posible desarrollo de proyectos de recuperación económica del valor de las especies; o por connotación ambiental, que podrían ser transportados por el viento y constituir una fuente de contaminación eólica”.



**Figura 1.** Especificación de la naturaleza de los relaves y su variedad como composición mineralógica. **Fuente:** Moreno (2016).

**(Ministerio de Energía y Minas, 2014)**, dentro de los Propósitos y Alcances, en nuestro país (Perú), se cuenta con una Guía de Manejo de Relaves Mineros proveniente de la Industria Minero-Metalúrgica; que, ha sido preparada bajo el auspicio del Banco Mundial, en asociación con el Programa de Asistencia Técnica al Ministerio de Energía y Minas del Perú.

En este contexto, la Asistencia Técnica del Banco Mundial contempla la revisión, modernización y consolidación de asuntos ambientales relacionados a la actividad minera en el país.

Dentro de los requerimientos para esto tenemos:

- ✓ Identificación de las principales prácticas ambientales y su implementación en la actividad minero-metalúrgica con el objeto de mitigar la degradación ambiental generada por la industria.
- ✓ Esbozo de un programa general para implementar las prácticas ambientales en la industria minero-metalúrgica en forma sistemática y progresiva.

Se ha determinado que una de las primeras actividades relacionadas con estos objetivos es la preparación de una Guía para el Manejo de los Relaves Mineros provenientes de la Industria Minero-metalúrgica, la que viene dando una visión panorámica del planeamiento, diseño, operación, mantenimiento y cierre de los depósitos de relaves.

Esta guía, cumple con su propósito de ser usada como un documento de referencia y soporte técnico para ayudar en la preparación de los Estudios de Impacto Ambiental y los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) según lo requiere la regulación para la protección y gestión ambiental en las actividades mineras y metalúrgicas (**Decreto Supremo 040-2014-EM, del 5 de noviembre de 2014**).

En una perspectiva a largo plazo, esta Guía se propone ayudar a la industria, a los consultores, y al personal del Gobierno a comprender el amplio y complejo problema asociado con el manejo de los relaves, enfatizando no sólo las condiciones operacionales sino también aquéllas posteriores a la clausura. Para este fin, la Guía se orienta primariamente hacia lectores que tienen diversas experiencias técnicas con poco contacto con los tópicos tratados. A excepción de unos pocos factores de particular importancia, los detalles pertinentes a la investigación y análisis no son tratados explícitamente, pero se hace referencia a ellos en la literatura técnica respectiva.

El objeto de este documento está centrado específicamente en el manejo de los relaves de los procesos de flotación en la extracción metalúrgica de minerales metálicos, aunque muchos de los conceptos discutidos se aplican en principio a relaves no metálicos tales como los desechos finos del carbón.

Otras Guías se orientarán complementariamente hacia tópicos que incluyen procedimientos para el monitoreo de aguas, procedimientos para monitoreo de aire, entre otras.

Del mismo modo, se tienen procedimientos para la preparación de los PAMA, procedimientos para preparar los Estudios de Impacto Ambiental y Guías para drenaje ácido, plan de cierre, lixiviación, exploración, manejo del cianuro y otros reactivos químicos, manejo del agua, vegetación y calidad de aire, entre otros.

Se intenta a través de estas Guías, presentar la tecnología avanzada del manejo de relaves tal como se practica actualmente a nivel mundial; y, al mismo tiempo, mantener un balance con la naturaleza y niveles de tecnología apropiados para el Perú.

En ese sentido la tecnología apropiada, es aquella que, reconoce factores tales como el geográfico, climático y geológico que son muy peculiares en el Perú, así como los niveles de complejidad consistentes en su infraestructura y la disponibilidad de habilidades técnicas especializadas.

Adicionalmente, el costo del manejo de relaves puede tener una influencia significativa en la viabilidad económica de cualquier operación minera, y este factor debe ser considerado en el contexto de una nación en desarrollo con muchas necesidades sociales y económicas.

Estos impactos económicos variarán de acuerdo al tamaño y complejidad de cada operación minera individual.

Por estas razones, estas Guías, adoptan un punto de vista consistente con lo expresado en los requerimientos del programa al que se hizo referencia anteriormente:

Que, las prácticas ambientales en el manejo de relaves, deben ser implementadas progresivamente a lo largo del tiempo, con mejoras en tecnología que se desarrollen sistemáticamente hasta niveles más avanzados conforme al desarrollo técnico, socioeconómico y ambiental que el país realice.

En esta forma el desarrollo de la tecnología del manejo de relaves y las mejoras ambientales que se logren, continuarán de una manera sostenible.

En mérito a la experiencia que me asiste, en más de 40 años de trabajo, como consultor minero-energético-ambiental, en minas y plantas de tratamiento de minerales, vengo realizando la **investigación de un caso sui géneris en nuestro país y el extranjero**; como es el Recrecimiento vertical disponiendo Relave en Pasta, a una densidad de 1,60 g/cm<sup>3</sup>, en una relavera cuya vida útil, ha sido utilizada al 100%, tal es el caso de la Relavera 2007 de AUREX S. A.

La literatura, guías, tesis y otros argumentos filosóficos y epistemológicos existentes, sobre la gestión y manejo de relaves mineros, son el soporte fundamental y suficiente que acompaña mi vida práctica de campo.

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA

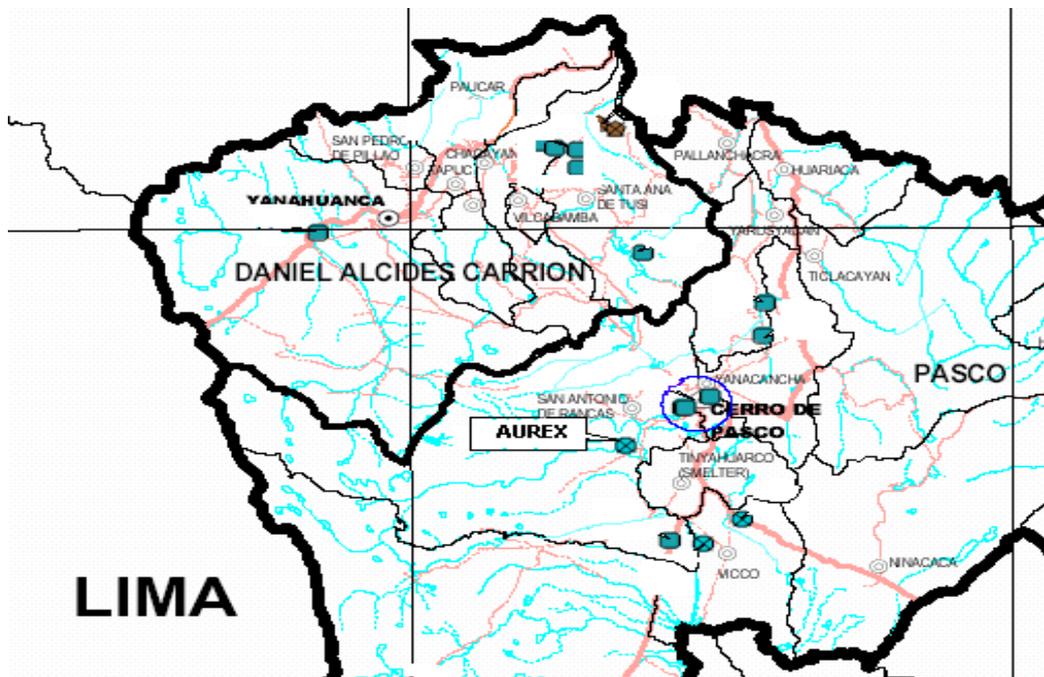
#### 3.1 Ámbito

Siendo el ámbito la palabra referida a una zona de actividad; en este caso, está puntualizada a un campo de acción técnico-ambiental; y, como veremos más adelante en el punto 3.3., **el ámbito del desarrollo de la tesis, es la Relavera 2007 de la Planta Andes de Minera AUREX S. A.,** elegido de 4 Relaveras visitadas, de un tamaño de población nacional muy grande y desconocido.

Políticamente, la ubicación de la planta, se localiza en los siguientes lugares, mostrados en la **Figura N° 1A:**

- Paraje: Uchucancha;
- Anexo: Comunidad Yurajhuanca;
- Distrito: Simón Bolívar de Rancas;
- Provincia: Pasco;
- Departamento y Región: Pasco.

**FIGURA N° 1A**  
**UBICACIÓN DE LA PLANTA ANDES DE AUREX S. A.**



La altitud media del área: 4,185 m.s.n.m.

### 3.2 Población

Es el universo que es afectado por la problemática estudiada. Es el modelo seleccionado que cumple con las características que nuestro tema requiere.

La población está constituida por el número de empresas mineras que han de requerir el recrecimiento vertical de su relavera que, se define 10% antes de finalizar la vida útil de la relavera antigua.

El investigador parte del aspecto práctico y real; mejor dicho, es tan grande el universo de depósitos de relave en todo el país que, no se conoce el tamaño de población: Población Desconocida de relaveras que requieren recrecimiento vertical; que será calculada en el Punto 3.3.

### 3.3 Muestra

Por las mismas características de la investigación, el tamaño de población es desconocida, por tener una enorme cantidad de relaveras en la industria minera peruana; y, para el cálculo del tamaño de muestra representativa, para el estudio de investigación, utilizaremos la siguiente fórmula, aplicada para estos casos:

$$x = \frac{Z_a^2 \times p \times q}{d^2}$$

**Fuente:** Estadística aplicada a la investigación: **Anthony Ramos**. UNEFM 2012.

**Donde se asume:**

X = Tamaño de muestra = ?

Z<sub>a</sub> = Nivel de Confianza = 95% = 1.96

p = Probabilidad de éxito o proporción esperada = 90% = 0.90

q = Probabilidad de fracaso = 1 – p = 1.00 – 0.90 = 0.10

d = Precisión (error máximo admisible) = 30% = 0.30

**Reemplazando en la Fórmula:**

$$X = \frac{(1.96)^2 \times 0.90 \times 0.10}{0.35} = \frac{3.8416 \times 0.90 \times 0.10}{0.09} = \frac{3.89}{0.09} = 4.32$$

**X = 4 Muestras (Población de Relaveras)**

Se requerirá, **visitar a no menos de 4 relaveras para averiguar su necesidad de recrecimiento vertical**, con disposición de relaves en pasta.

Entre estas 4 Muestras, están la Relavera 2007 de AUREX S. A.; Relavera Santa Filomena II, de SOTRAMI S. A., Relavera Cuatro horas, de MACDESA S. A., y Relavera Amanda, de Minera CATALINA HUANCA S. A.

**3.4 Nivel y tipo de estudio****3.4.1 Nivel del estudio**

De acuerdo a la formulación del objetivo general y específicos, el nivel del estudio, encierra los niveles de investigación aprehensivo, comprensivo e integrativo. El nivel aprehensivo analítico, del objetivo general, se logra al evaluar, definir y elegir comparativamente el tipo de relave que permita un mejor recrecimiento vertical de relaves y el control de sus impactos ambientales negativos.

Mientras que, el nivel comprensivo, en base a la documentación y objetivos específicos, explica de cómo definir el tipo de relave; y predecir accidentes ambientales por rotura del talud de la relavera por efectos sísmicos o defectos operacionales; proponiendo monitoreos del comportamiento del talud, evitando la parada de la planta y asegurando el volumen del nuevo depósito, proyectado para su recrecimiento vertical.

Así mismo, tanto el objetivo general como los objetivos específicos, sugieren la modificación de la relavera antigua, previa evaluación geomecánica y resultados de laboratorio, que definen su calidad de suelo donde descansarán ambas relaveras; la antigua y sobre ella la nueva en recrecimiento.

Estos 3 niveles, definen el tipo de investigación como descriptivo, documental y exploratorio, como se explica en el siguiente ítem.

### **3.4.2 Tipo de Estudio**

En nuestro caso se orienta al objetivo de la presente tesis que, es evaluar el uso de relave en pasta, que permita un mejor recrecimiento vertical de relaves y el control de sus impactos ambientales negativos

Define también el tipo de investigación, del problema planteado con la pregunta ¿en qué medida el uso de relave en pasta permite un mejor recrecimiento vertical del depósito de relaves y el control de sus impactos ambientales negativos?

Así mismo, logramos el tipo de estudio con la hipótesis trazada en el ítem 1.7.1. que indica que, una vez evaluando el uso de relave en pasta es posible que nos permita un mejor recrecimiento vertical de relaves y un mejor control de sus impactos ambientales negativos.

Con los argumentos descritos en el punto 3.4.1., se define el Tipo de la investigación de campo y laboratorio, como analítico, comparativo, explicativo, predictivo, proyectivo, interactivo y evaluativo; resumiéndose como de **tipo Descriptivo, documental y exploratorio.**

El estudio es exploratorio, porque es un estudio piloto, que se investiga por primera vez en el Perú; son muy poco investigados y será la solución de la problemática de áreas de construcción de nuevas presas de relaves mineros.

La tesis es documental, por que identifica bibliografía histórica de accidentes por rotura de taludes; su forma de soporte a la resistencia de tracción, compresión y cizallamiento; así como la gestión y manejo de la IPER ambiental.

La **investigación es descriptiva**, porque describen los hechos tal como son observados in situ.

### 3.5 Diseño de investigación

Este punto, trata del diseño del instrumento y selección de muestra; propiamente orientada, al diseño del depósito para recrecimiento vertical.

***Llamaremos instrumento, al relave en pasta***, para ser descargado en el depósito en recrecimiento vertical; y, ***selección de muestra, es la relavera 2007*** de la Planta Andes de Minería AUREX S. A. **que, recrecerá utilizando la disposición del mencionado relave en pasta.**

En el diseño de la presa de relaves en pasta, que recrecerá verticalmente sobre la relavera antigua que ya cumplió su vida útil, se requiere plasmar los siguientes datos:

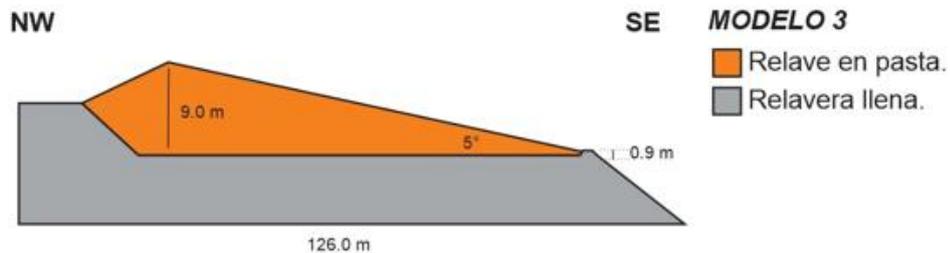
1. La densidad mínima para el diseño es de 1.6 g/cm<sup>3</sup>; el cual se logró con pruebas en el laboratorio; y para efectos de utilizar en el campo, la obtención de dicha densidad en la Planta del Espesador de Cono Profundo (ECP).
2. Gracias al Monitoreo de comportamiento estructural físico de la relavera antigua; se ha definido que el talud de la presa, cumple con el estándar de inclinación, relación Vertical: Horizontal, V: H = 2: 1, para el talud externo; y V: H = 1: 1, para el talud interno.

En base a Esfuerzos Axiales de Resistencia al Corte y Esfuerzo Cortante definir los Factores de Seguridad **FS > 1**, determinando los adecuados taludes externo e interno, mencionados en el punto 1. Para tener en cuenta las diferencias entre la presión de poros y aquellas que pueden existir realmente dentro del talud de la relavera que, soportará el depósito a recrecer.

Localizar la **superficie crítica** del depósito de relaves a recrecer; la misma que, puede estar ubicada completamente dentro del depósito o fuera de él; si pasa a través de material débil retenido por el depósito y

suelos de cimentaciones débiles; o, puede estar ubicada en cualquier posición entre estos límites.

- Determinar el Punto de Descarga del relave en pasta, para lograr el Ángulo de Reposo no mayor a  $5^\circ$  Sobre la Horizontal.



**Figura 3.** Muestra el tercer modelo; y considera un ángulo de abatimiento de  $5^\circ$  sobre la horizontal, partiendo del lado sur-oeste en dirección noroeste, hasta lograr una altura de 9 metros, luego de lograr esta altura se busca alcanzar la cota máxima del talud del lado noroeste que tiene una altura máxima de 8,5 metros. El volumen calculado en este modelo es de 109940,69 metros cúbicos y nos arroja una vida útil de 2.47 años.

Siendo el marco metodológico la explicación de los mecanismos utilizados para el análisis de nuestra problemática de investigación, esta parte de la tesis de investigación, es el resultado de la aplicación, sistemática y lógica, de los conceptos y fundamentos expuestos en el marco teórico.

La metodología para nuestro caso precisa, cómo se llevará a cabo la investigación, de manera que se pueda alcanzar un **diseño metodológico** suficientemente claro y definido; para ello, desarrollaremos el tipo de investigación, su enfoque, las fuentes de información, las técnicas de recopilación y el análisis de información, la población y muestra, culminando en el correspondiente procedimiento, en el marco de la **APA: American Psychological Association, 2019.**

### 3.6 Técnicas e instrumentos

#### 3.6.1 Técnicas:

El enfoque de este punto, son en sí las técnicas de recolección y análisis de información:

##### 3.6.1.1 Técnica de recolección de información

Se procede a la elección de (2) dos tipos de técnica: Técnica aplicada y Técnica descriptiva.

La **técnica aplicada**, fue mostrada en el Punto 3.3. (Población y muestra), donde queda calculada la visita, como estudio de campo, de 4 Relaveras; de las cuales se elegirá una, como modelo para el estudio de investigación de recrecimiento con relave en pasta.

La **técnica descriptiva**, se inicia con la justificación de la investigación que, demarca la continuidad de la vida útil de una Planta de Tratamiento de Minerales (Concentradora); la misma que, depende de la presencia de un depósito de relaves en condiciones óptimas de volumen y estabilidad.

Este hecho, conlleva a una mayor necesidad en la capacidad de almacenamiento de los relaves, precisándose **tener un lugar** que con amplitud satisfaga los requerimientos dentro de la vida útil de la planta; y por defecto de la mina o las minas de su entorno, de donde procede el mineral para tratamiento.

(Rannat y Miller, 1997), argumentan que, “los efectos ambientales de la falla de un talud comprenden tanto efectos directos como indirectos”.



**FIGURA 2.** Muestra la Rotura del Talud de un Depósito de Relaves por (2) dos efectos fundamentales: 1. Haber sobre pasado el 10% de alcance a la plataforma de corona y 2. Falta del control de su impermeabilización. (Quisca, I. 2018).

“Los efectos directos comprenden las pérdidas materiales y de vidas humanas, y la destrucción de toda estructura, ya sea vida animal o vegetal por el paso de los relaves y/o residuos descargados. Los efectos indirectos incluyen daños aparentemente menores al medio ambiente”.

**El desarrollo de este proyecto de recrecimiento vertical** de una relavera, para continuar depositando relaves, aunado a la evolución de su entorno ambiental, **plantea el estudio de las condiciones de estabilidad del depósito**; y de haber errores de firmeza estructural, el control de la afectación y alteración del medio ambiente; por lo que, se trata de definirla y plantear soluciones técnicas para evitar, atenuar o prevenir tales alteraciones.

Se justifica la elección del estudio de recrecimiento vertical de un depósito de relaves, resaltando los aspectos de validez y confiabilidad de resultados geotécnicos, referente a los análisis y ensayos de caracterizaciones físicas.

El objetivo de este análisis fue comprobar in situ el comportamiento del depósito de relaves (Relavera 2007), de la Planta de recuperación de Oro Andes de la Minera AUREX S. A.

Como se verá, este análisis se realiza bajo reales condiciones de trabajo; apoyado por los resultados del laboratorio geo-sísmico y estudios de estabilidad física y geotécnica, en el marco del informe presentado por el “Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres – CISMID”, a solicitud del Investigador.

Como parte de la Metodología de Campo y Gabinete; y luego de preparar el plan de trabajo, el personal técnico de la Consultora COMPUMET EIRL, de la cual es Gerente General el Investigador de la presente Tesis, Hugo Medina, se constituyó a la zona del proyecto para verificar in situ las condiciones físicas de “Relavera 2007”, como parte del procedimiento de Inspección Técnico-ocular del Proyecto.

Se tomaron **muestras de 40 cm de longitud cada uno**, en diferentes puntos de la cresta, el talud y el propio relave, los que fueron al CISMID, para ser sometidos a las pruebas correspondientes. Como se observa en la **Tabla 3**.

**Tabla 3.** Ensayos de caracterizaciones físicas laboratorio geotécnico. centro peruano japonés de investigaciones sísmicas y mitigación de desastres – CISMID

<b>Muestra</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Clasificación (SUCS)</b>	<b>Clasificación (AASHTO)</b>	<b>Contenido Humedad (%)</b>	<b>Densidad Húmeda (g/cm<sup>3</sup>)</b>
M – 3A	0,40 m	GC – GM	A – 1a (0)	0.7	2.02
M – 4A	0,40 m	GC – GM	A – 1b (0)	1.4	2.06
M – 4B	0,40 m	GM	A – 1b (0)	---	---
M – 4C	0,40 m	CL – ML	A – 4 (0)	15.0	1.75
M – 5B	0,40 m	GM	A – 1b (0)	1.0	2.00

**Fuente:** CISMID (2001)

**Tabla 4.** Ensayo de compresión triaxial relavera de la Planta Andes de AUREX S. A.

<b>MUESTRA (M-4A) – CORONA</b>					
<b>ESFUERZO AXIAL</b>	<b>RESISTENCIA AL CORTE (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>ESFUERZO O CORTANTE (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>FACTOR DE SEGURIDAD (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>CONDICIÓN</b>	<b>TALUD/PRESA</b>
1 Kg/cm <sup>2</sup>	2.037	2.240	0.909	<	NO adecuado
2 Kg/cm <sup>2</sup>	2.730	2.775	0.984	<	NO adecuado
3 Kg/cm <sup>2</sup>	3.478	3.462	1.005	>	ADECUADO
4 Kg/cm <sup>2</sup>	4.210	4.152	1.014	>	ADECUADO

**Fuente:** PLANTA ANDES DE AUREX S. A.

**Tabla 5.** Cálculo del factor de seguridad (FS) de talud de presa de la relavera planta de recuperación de Oro ANDES - AUREX S. A.

<b>MUESTRA (M-3A) – CORONA</b>			<b>CONDICIÓN: FS</b>	<b>TALUD/PRESA</b>
<b>RESISTENCIA AL CORTE (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>ESFUERZO CORTANTE (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>FACTOR DE SEGURIDAD (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		
0.753	0.628	1.119	>1	Adecuado
1.507	1.487	1.013		
3.014	3.067	0.982		

**Tabla 5A.** Cálculo del factor de seguridad (FS) de talud de presa de la relavera planta de recuperación de Oro ANDES - AUREX S. A.

<b>MUESTRA (M-5B) – TALUD</b>			<b>CONDICIÓN: FS</b>	<b>TALUD/PRESA</b>
RESISTENCIA AL CORTE (kg/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO CORTANTE (kg/cm <sup>2</sup> )	FACTOR DE SEGURIDAD (kg/cm <sup>2</sup> )		
0.781	0.711	1.098	<b>&gt;1</b>	Adecuado
1.562	1.759	0.888		
3.125	2.962	1.055		

**Tabla 5B.** Cálculo del factor de seguridad (FS) de talud de presa de la relavera planta de recuperación de Oro ANDES - AUREX S. A.

<b>MUESTRA (M-4B) – TALUD</b>			<b>CONDICIÓN: FS</b>	<b>TALUD/PRESA</b>
RESISTENCIA AL CORTE (kg/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO CORTANTE (kg/cm <sup>2</sup> )	FACTOR DE SEGURIDAD (kg/cm <sup>2</sup> )		
0.781	0.711	1.098	<b>&gt;1</b>	Adecuado
1.562	1.759	0.888		
3.125	2.962	1.055		

<b>MUESTRA (M-4A) – CORONA</b>			<b>CONDICIÓN: FS</b>	<b>TALUD/PRESA</b>
RESISTENCIA AL CORTE (kg/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO CORTANTE (kg/cm <sup>2</sup> )	FACTOR DE SEGURI DAD (kg/cm <sup>2</sup> )		
0.753	0.645	1.167	<b>&lt;1</b>	No adecuado
1.507	1.53	0.984		
3.014	3.091	0.975		

**Tabla 5C.** Cálculo del factor de seguridad (FS) de talud interior de presa de la relavera planta de recuperación de Oro ANDES - AUREX S. A.

MUESTRA (M-4C) – RELAVE			CONDICIÓN: FS	TALUD/PRESA
RESISTENCIA AL CORTE (kg/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO CORTANTE (kg/cm <sup>2</sup> )	FACTOR DE SEGURIDAD (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>&lt;1</b>	No adecuado/ Normal.
0.587	0.612	0.959		No problema por ser relave
1.075	1.078	0.997		
2.05	2.618	0.783		

**Fuente:** PLANTA ANDES DE AUREX S. A.

### 3.6.1.2 Análisis de información

El punto de partida en la técnica de análisis de información, es tomar en cuenta los estándares de estabilidad de taludes, construidos con material de tipo gravo-limosa, para relaveras de Oro, cuya relación H: V = 1: 2 (Talud exterior de la relavera) y H: V = 1: 1 (Talud interior de la presa); y el resumen de la información del CISMID, alcanzada en el punto 3.4.1. (Arriba), y los resultados de laboratorio aparecidos en el Anexo 05 de la presente tesis.

De la Tabla 3 (Arriba), para cumplir con los requerimientos de estabilidad y tiempo de secado apropiado de un relave en pasta, se requiere una Densidad mínima de 1.6 g/cm<sup>3</sup>, se analiza la Muestra M-C4; a 0,40 m de profundidad; en la Clasificación SUCS (CL-ML) y AASHTO (A-4(0)); con un Contenido de Humedad de 15%, determina una Densidad Húmeda de 1.75 g/cm<sup>3</sup>, óptimo para las exigencias prácticas de disposición de relave en pasta, para el recrecimiento vertical.

En el ensayo de Compresión Triaxial de la Plataforma de Corona, en la Relavera 2007, de la Planta Andes de AUREX S. A. (Tabla 4 Muestra M-4A - arriba), se logra el Factor de Seguridad del Talud de la Presa (FS).

En este último ensayo, los Esfuerzos Axiales de 3 y 4 Kg/cm<sup>2</sup>; nos dan la Resistencia al Corte de 3.478 y 4.210 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, con un Esfuerzo Cortante 3.462 y 4.152 Kg/cm<sup>2</sup>; que definen los FS de 1.005 y 1.014; ambos > 1, determinando **TALUD EXTERIOR** de la relavera **ADECUADO** en ambos casos.

El ensayo que se modela en la Tabla 5C (Muestra M-4C), es un ensayo hecho en la relavera en sí, para determinar el Factor de Seguridad del Talud Interior; nótese que, la resistencia al corte y el esfuerzo cortante, determinan un FS < 1 que, desde el punto práctico-teórico y de estándar, no es favorable; sin embargo, por ser Talud Interior y ser el COMPLEMENTO del Talud Exterior, no trae problemas de resistencia; al contrario, ayuda al soporte físico.

Finalmente, para el investigador, al igual que la opinión de los profesionales de la Consultora COMPUMET EIRL, la solución ideal del problema de cualquier tipo de recrecimiento erguido; en una relavera que ya tiene agotada su vida útil, es utilizar la propia plataforma de coronación como base.

### 3.6.2 Instrumentos

Los instrumentos utilizados en la investigación fueron las siguientes:

- ✓ Información preliminar bibliográfica referida a depósitos de relave, sus guías, sus estándares y modelos de construcción, informe técnico sustentatorio (ITS), estudio de impacto ambiental semi detallado (AIAsd), tesis universitaria, entre otras informaciones obtenidas en la biblioteca de la universidad nacional de ingeniería (UNI Lima), el Ministerio de Energía y Minas (MINEM Lima) e internet; presentadas en las referencias bibliográficas.
- ✓ Calicatas para proporcionar información de la calidad de suelo; mostradas en el Anexo 01 de la presente tesis.
- ✓ Resultados de Laboratorio Geotécnico del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres: CISMID, presentadas en el Anexo 05.
- ✓ Modelos técnicos cibernéticos y de campo; tales como el Modelo 3D y Vista Satelital (Anexo 03) y Detalles de una planta de tratamiento de oro y su relavera (Anexo 04).

- ✓ Sistema Hidrológico de Minera AUREX S. A., aparecido en el Anexo 06 de la presente tesis.
- ✓ Recrecimiento vertical con descarga de relave en pasta (Anexo 07).
- ✓ Matriz de Consistencia de la presente investigación. Anexo 08.

### 3.7 Validación y confiabilidad del instrumento

Los términos recrecimiento vertical de depósitos de relave y control ambiental, son (2) dos parámetros aparentemente opuestos; debido a que, el primer parámetro asegura la vida útil de la relavera; y, el segundo parámetro, vulnerabiliza la estabilidad del medio natural donde se construye la presa; **sin embargo, técnicamente ellos “conviven” indisoluble, ambiental y económicamente unidos.**

La vulnerabilización del área de influencia directa ambiental, se gestiona y controla con las OTML: Operaciones con Tecnología Más Limpia que, son el fundamento principal en las que se desarrolla el presente trabajo de investigación.

Las OTML, son la causa-efecto del presente trabajo de investigación, basado en el estudio geotécnico de resistencia de materiales y su comportamiento frente a los esfuerzos de tracción, compresión y cizallamiento de la Relavera 2007 de MINERA AUREX S. A.; cuyo recrecimiento es por descarga de relave en pasta; presa perteneciente a una Plantas de tratamiento de minerales de Oro; cuyos Relaves son de singular comportamiento, diferente al comportamiento de una relavera polimetálica.

La Tesis enfatiza el comportamiento geomecánico y sostenibilidad de taludes de los depósitos de relaves de oro que, repito, es muy diferente a los depósitos de relave de mineral polimetálico, desde sus propios orígenes de construcción, hasta la decisión de recrecimiento vertical.

La investigación define que, para lograr acciones ambientalmente amigables; y, evitar accidentes por rotura de la presa de relaves, es indispensable una visible acción de Gerencia y Gestión Ambiental; esto significa, acciones conscientes, desde la evaluación ambiental sin proyecto (EIA), la ejecución de las obras y el inicio de las operaciones de la planta de tratamiento de minerales, acompañadas de una

supervisión constante y control por parte del personal encargado de los trabajos realizados en la disposición de relaves.

Faltando 10% de altura interior de la presa construida (semi-final de la vida útil de la relavera), el desarrollo de la Tesis, demuestra que lo técnicamente recomendable para el Titular de la Actividad Minera, es recrecer dicho depósito verticalmente, mientras decida estructurar y tramitar el Estudio de Impacto Ambiental correspondiente, para lograr la Certificación Ambiental; así como, lograr la autorización de construcción de un nuevo depósito de relaves.

En el desarrollo del presente trabajo de investigación sobre proyecto de recrecimiento vertical de relaveras de Oro, se han realizado trabajos de investigación de campo, para la “Relavera 2007” de AUREX S. A. de su Planta Andes que, cuenta con infraestructura especializada para la generación de relave en pasta, denominada “Cono Profundo”.

Pruebas in-situ, toma de muestras e informes de los resultados del laboratorio geo-sísmico y estudios de estabilidad física y geotécnica, en el marco del informe presentado por el “Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres – CISMID”, a solicitud del Investigador, para lograr los parámetros de construcción, ángulo de reposo para disposición de relave y la toma de decisiones de la ejecución de obra y puesta en marcha del proyecto elegido.

En tiempo, economía, gestión y manejo ambiental, es totalmente ventajoso el recrecimiento vertical de un depósito de relaves, con en su método: Descarga de relave en pasta.

### **3.8 Procedimiento**

En este punto se presenta, en forma resumida, cada uno de los pasos realizados para la recolección de los datos, ***en función a los Objetivos Específicos*** de la Tesis; los cuales son:

- ✓ Calcular la densidad apropiada del relave, en base a resultados de laboratorio, cuyas muestras fueron obtenidas en los estudios de geomecánica.
- ✓ Monitorear la correcta construcción de la relavera antigua, para asegurar su comportamiento frente a posibles roturas por efectos naturales o

errores humanos, para un mejor control de impactos ambientales negativos.

- ✓ Definir el ángulo de reposo del relave a ser utilizado en el recrecimiento vertical, a partir del correcto punto de descarga; para calcular el volumen del depósito en recrecimiento vertical.

Estos puntos, serán desarrollados en el diseño del instrumento y selección de muestra, la aplicación del instrumento a la muestra seleccionada, el análisis de la información recolectada y la presentación de resultados.

### 3.8.1 Diseño del instrumento y selección de muestra (Diseño del depósito para recrecimiento vertical)

Como ya se dijo anteriormente, **llamaremos instrumento al Relave en Pasta**, para el depósito en recrecimiento vertical; y la **selección de muestra es la Relavera 2007** de la Planta Andes de Minera AUREX S. A. **que, recrecerá utilizando la disposición del mencionado Relave en Pasta.**

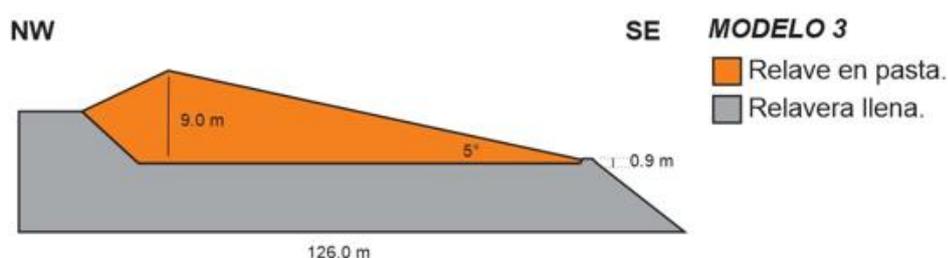
En el diseño de la presa de relaves en pasta, que recrecerá verticalmente sobre la relavera antigua que ya cumplió su vida útil, se requiere plasmar los siguientes datos:

- a. La densidad mínima para el diseño es de 1.6 g/cm<sup>3</sup>; el cual se logró con pruebas en el laboratorio; y para efectos de utilizar en el campo, la obtención de dicha densidad en la Planta del Espesador de Cono Profundo (ECP).
- b. Gracias al Monitoreo de comportamiento estructural físico de la relavera antigua; se ha definido que el talud de la presa, cumple con el estándar de inclinación, relación Vertical: Horizontal, V: H = 2: 1, para el talud externo; y V: H = 1: 1, para el talud interno.

En base a Esfuerzos Axiales de Resistencia al Corte y Esfuerzo Cortante definir los Factores de Seguridad **FS > 1**, determinando los adecuados taludes externo e interno, mencionados en el punto 1. Para tener en cuenta las diferencias entre la presión de poros y aquellas que pueden existir realmente dentro del talud de la relavera que, soportará el depósito a recrecer.

Localizar la **superficie crítica** del depósito de relaves a recrecer; la misma que, puede estar ubicada completamente dentro del depósito o fuera de él; si pasa a través de material débil retenido por el depósito y suelos de cimentaciones débiles; o, puede estar ubicada en cualquier posición entre estos límites.

- c. Determinar el Punto de Descarga del relave en pasta, para lograr el Ángulo de Reposo no mayor a  $5^\circ$  Sobre la Horizontal.



**Figura 3.** Muestra el tercer modelo; y considera un ángulo de abatimiento de  $5^\circ$  sobre la horizontal, partiendo del lado sur-oeste en dirección noroeste, hasta lograr una altura de 9 metros, luego de lograr esta altura se busca alcanzar la cota máxima del talud del lado noroeste que tiene una altura máxima de 8,5 metros. El volumen calculado en este modelo es de 109940,69 metros cúbicos y nos arroja una vida útil de 2.47 años.

### 3.8.2 Aplicación del instrumento a la muestra seleccionada

Este punto, en ingeniería definimos como el paso siguiente al diseño; denominado construcción. Para el caso del estudio de investigación, es la construcción del nuevo depósito en recrecimiento sobre la relavera antigua, donde **se descargará el relave en pasta que es el instrumento, dispuesto sobre la muestra seleccionada (Depósito antiguo: Relavera 2007).**

### 3.8.3 Análisis de la información recolectada

Para un relleno totalmente consolidado sujeto a las condiciones de infiltración continua, se determinará la presión del agua de poros a partir de una red de flujo, permitiendo de este modo que se calcule el esfuerzo efectivo.

Dentro de las consideraciones para el “Diseño de la Infraestructura de Recrecimiento Vertical de Relaves”, se tendrá lo siguiente:

- ✓ Ubicación del área de disposición, dentro de la relavera a recrecer.
- ✓ Balance Metalúrgico y calidad de suelo del área por recrecer.
- ✓ Condiciones climáticas e hidrológicas del área.
- ✓ Condiciones sísmicas del área del proyecto.
- ✓ Determinación de las condiciones geotécnicas.
- ✓ Características granulométricas del relave general.

#### **3.8.4 Presentación de resultados**

- ✓ Densidad del relave en pasta, 1.6 g/cm<sup>3</sup>;
- ✓ Relación Vertical: Horizontal, V: H = 2: 1, para el talud externo; y V: H = 1: 1, para el talud interno (FS > 1);
- ✓ Punto de Descarga del relave en pasta a 3/4 de la longitud de la hipotenusa (Triángulo Rectángulo, cuya hipotenusa va en el piso del área de plataforma de corona de la relavera antigua; desde donde se logra el **Ángulo de Reposo de 5° Sobre la Horizontal**.

### **3.9 Plan de tabulación y análisis de datos**

#### **3.9.1 Plan de tabulación**

En base a los datos obtenidos de la Relavera 2007 en el campo (Motivo del tema en estudio); y, para responder al problema y objetivos planteados, se presentad las tablas y cuadros de características y porcentajes, para la parte descriptiva de la investigación; los cuales, facilitan la observación de las tendencias de variables; tales como: Requerimientos de maquinaria e infraestructura; porcentaje de abatimiento de pasta; y, cálculo del ángulo de reposo a partir de la prueba de abatimiento, donde se considera la longitud de desplazamiento de pasta.

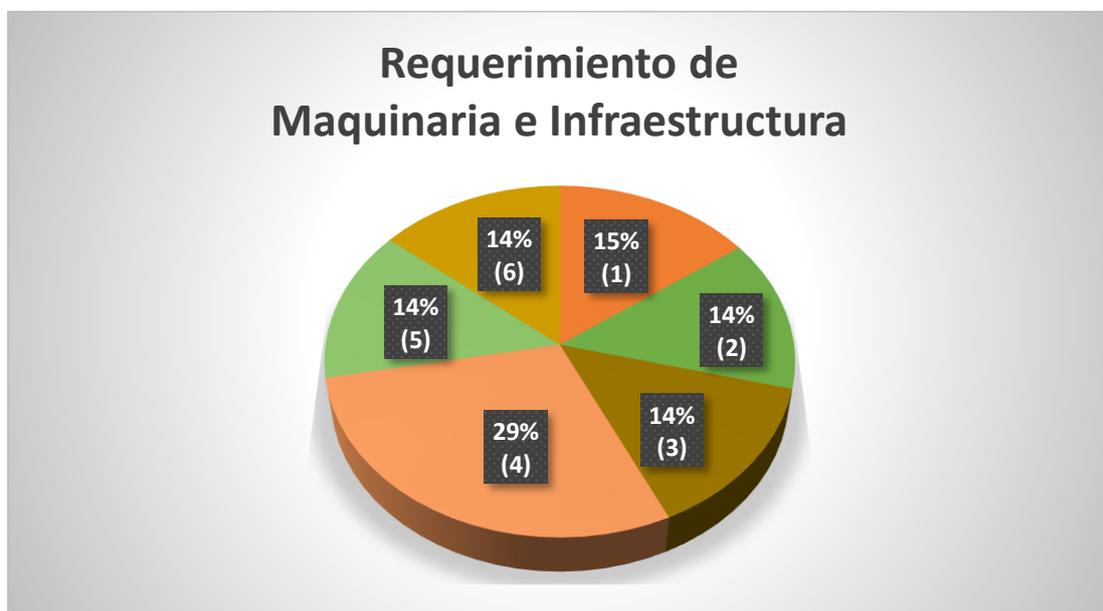
##### **3.9.1.1 Requerimiento de maquinaria e infraestructura**

En este punto, juegan papeles importantes los aparatos y la maquinaria móvil y estacionaria; así como la infraestructura, tal como aparece en el Cuadro siguiente:

#### **TABLA 5D: Requerimiento de maquinaria e infraestructura**

N°	Maquinaria e Infraestructura	Cantidad	Porcentaje
1	Espesador de Cono Profundo: ECP	1	15%
2	Bomba fija para relave en pasta	1	14%
3	Bomba desplazable para agua	1	14%
4	Relavera 2007 antigua y en recrecimiento	2	29%
5	300 m de tubería HDPE 4 Pulgadas	1	14%
6	50 m de tubería HDPE 2 Pulgadas	1	14%
Total			100.0%

El gráfico circular consecutivo (Torta o tarta estadística), nos alcanza la siguiente leyenda de requerimientos:



- (1) : Espesador de Cono Profundo: ECP.
- (2) : Bomba fija para relave en pasta.
- (3) : Bomba desplazable para agua.
- (4) : Relavera 2007 antigua y en recrecimiento.
- (5) : 300 m de tubería HDPE 4 Pulgadas de diámetro.
- (6) : 50 m de tubería HDPE 2 Pulgadas de diámetro.

### 3.9.1.2 Cálculo del ángulo de reposo

Para el cálculo práctico de campo y lograr el ángulo de reposo del relave en pasta, se ha utilizado un pequeño cilindro HDPE de 10 cm de diámetro por 10 cm de altura con un volumen total aproximado de 800 cm<sup>3</sup> reposado sobre un tablero de madera de 30 x 30 cm.

Este ángulo se obtiene con la altura de pasta abatida, dividida entre la altura del Cilindro HDPE, nos da el abatimiento de pasta; expresado en porcentaje, como Pendiente de Pasta; a partir de la cual, se halla el ángulo de reposo final de la pasta, con la cotangente de este resultado, logrando el ángulo de 5° sobre la horizontal (ángulo ideal práctico).

La **Tabla 6** (abajo), nos muestra varias alternativas de los descrito anteriormente, concluyendo en la afirmación práctica de (5°) cinco grados sobre la horizontal. **Para detalles, ver el punto 3.9.2.3. (a).**

**Tabla 6.** Prueba de Campo N° 1. Porcentaje de Abatimiento de Pasta.

Relavera 2007. Planta Andes. AUREX S. A.

Altura de Pasta abatida (cm)	Altura del cilindro HDPE (cm)	Abatimiento de la pasta	Pendiente de Pasta (en porcentaje)	Angulo de reposo de la Pasta (en grados)	Tiempo de reposo
8.00	10.0	0.80	80%	38.66° = 39° Red	30 seg
2.80	10.0	0.28	28%	15.65° = 16° Red	120 seg
1.73	10.0	0.17	17%	9.65° = 10° Red	240 seg
1.20	10.0	0.12	12%	6.84° = 7° (Red)	10 hr
0.90	10.0	0.09	9%	5.14° = 5° (Red)	20 hr

Fuente: AUREX S. A.

La cuarta dimensión (el tiempo) es determinante en el DISEÑO DE DESCARGA y COMPORTAMIENTO DE PASTA SOBRE EL DEPÓSITO, es por este motivo que, se ha tenido mucho cuidado en

estudiar los tiempos de “acción de pasta” 30 segundos inmediatamente después de la descarga; 120 segundos, 240 segundos, 10 horas y finalmente 20 horas. Luego de 20 horas, se ha aplicado una carga de 70 kg, estándar para este tipo de pruebas, logrando deformación cero en su ángulo de reposo.

### **3.9.1.3 Porcentaje de abatimiento de pasta**

**En el punto 3.9.2.3. (b)**, se muestra la **CANALETA DE KWAK**; para determinar el ángulo de reposo de relave en pasta.

Las dimensiones de este equipamiento de escala de pruebas de campo, fueron de 100 cm de largo, por 20 cm de ancho y 20 cm de altura; con un tabique movable, como compartimiento de alimentación.

En todos los ensayos, se utilizó 7 litros de volumen aproximado, considerando una altura de 18 cm en el compartimiento de alimentación de 20 por 20 cm.

Al retirar la puerta de alimentación, el largo máximo que pudo recorrer el relave en pasta, fue de 48 de 80 centímetros libres (60% del total), medido horizontalmente.

La Tabla t, nos ayuda a determinar tiempo de reposo; ángulo de reposo de la pasta; a partir del arcotangente del cociente de altura y longitud, teniendo como variables la altura de pasta, la longitud de desplazamiento de pasta; los cuales hay que dividirlos para lograr la pendiente de pasta; al cual, repito, se le extrae el arcotangente.

**Tabla 7.** Prueba de Campo N°2. Cálculo del Ángulo de Reposo a partir de la Prueba de Abatimiento Considera la Longitud de Desplazamiento de Pasta Relavera 2007. Planta Andes. Minera AUREX S. A.

Altura de pasta abatida (Y en cm)	Longitud de desplazamiento de pasta (X en cm)	Pendiente de pasta (Y/X)	Arcotangente del cociente de altura y longitud	Angulo de reposo de la Pasta (en grados)	Tiempo de reposo
8.00	4.5	1.77	atan(1.77)	60.53° = 61° Red	10 seg
2.80	5.0	0.56	atan(0.56)	29.25° = 29° Red	30 seg
2.50	7.0	0.35	atan(0.35)	19.29° = 19° Red	120 seg
2.0	10.0	0.20	atan(0.20)	11.31° = 11° Red	240 seg
<b>1.7</b>	<b>14.0</b>	<b>0.12</b>	<b>atan(0.12)</b>	<b>6.90° = 7° Red</b>	<b>10 hr</b>
<b>1.3</b>	<b>15.0</b>	<b>0.09</b>	<b>atan(0.09)</b>	<b>5.14° = 5° Red</b>	<b>20 hr</b>

Fuente: **Minera AUREX S. A.**

### **3.9.2 Análisis de datos**

Se refiere a las fuentes de la investigación o información; consideraremos la fuente primaria (información no elaborada) y fuente secundaria (información elaborada); en esta última parte, se presenta la información obtenida junto con las técnicas estadísticas obtenidas en mérito a que el universo de relaveras a nivel de todo el Perú, que requieren recrecer verticalmente, es muy grande; y la información de requerimientos es muy escasa.

#### **3.9.2.1 Fuente primaria**

Denominada también fuente exploratoria o investigación aplicada en el campo, no elaborada.

### 3.9.2.1.1 Planta ECP (Espesador de Cono Profundo): Para el Recrecimiento Vertical con Descarga de Relave en Pasta

A través del estudio de Ingeniería Básica, se tiene el detalle de la implementación de la planta de producción de pasta, donde se logra un relave con la densidad requerida de 1.6 g/cm<sup>3</sup>, utilizando un ECP.

Este estudio de Ingeniería Básica, en su momento, le ha permitido a AUREX S. A., iniciar la procura de máquinas mayores: Espesador, bombas de relaves espesados y en pulpa; e iniciar el proceso de licitación de construcción de la losa de concreto armado para el Espesador de Cono Profundo.

La decisión de descarga de relave en pasta en "Relavera 2007", se produjo en el marco del estudio completo de comportamiento del material por disponer y el ángulo de reposo que, permitirán el recrecimiento vertical. Ver Figura 3 (arriba).

Los estudios existentes, realizados anteriormente, han servido de antecedentes al presente estudio; estos son:

- ✓ Estudio Geotécnico de Cimentación por Ing. Jorge Díaz Collantes.
- ✓ Memoria de Cálculo del Espesador de Cono Profundo, por Ing. Christian Atao.
- ✓ Información técnica de bombas, aparatos y maquinaria del sistema de control por diferentes proveedores.

La descripción del Diseño para la Cimentación de Espesador de Cono Profundo, no es materia del presente estudio; a nosotros **NOS PRIORIZA EL PRODUCTO GENERADO POR EL CONO PROFUNDO**; mejor dicho, el **RELAVE EN PASTA** que, será descargado o dispuesto en la "Relavera 2007", para el recrecimiento vertical y asegurar el control de posibles impactos ambientales negativos.

Técnicamente es conocido que los relaves en pasta corresponden a una mezcla de agua con sólido, que contiene abundantes partículas finas y un bajo contenido de agua, de modo que esta mezcla tenga una consistencia espesa, similar a una pulpa de alta densidad.

La pasta de relave de la Planta Andes de AUREX S. A. es técnicamente definida como una buena pasta, porque tiene 15% de concentración en peso de partículas de tamaño menor a 20 micrones; y, la mejor propiedad de esta pasta es que, es eficientemente transportada por tuberías de 4 pulgadas de

diámetro, sin los problemas de segregación o sedimentación que ocurren normalmente en las pulpas de relaves.

Esta propiedad física permite una gran flexibilidad en el desarrollo del concepto del sitio de emplazamiento, una vez depositados los relaves, se dejan secar, luego de acopiar; permitiendo así, minimizar la superficie de suelo cubierto con relaves antiguos, de una relavera cuya vida útil ya ha sido utilizada. Estamos hablando de un nuevo tipo de recrecimiento vertical de presas de relave.

La consistencia alcanzada sobre el **ángulo de reposo de 5°**, logrado con las técnicas para la Caracterización de Pastas Minerales, permite que la pasta permanezca estable, aun estando varias horas sin moverse.

La pasta que viene disponiéndose en la "Relavera 2007", está conformada de una gran variabilidad de componentes como cuarzo, feldespatos, arcillas, micas y sales, producto restante del mineral tratado en la Planta Andes, mineral levantado de los Pasivos Coloniales, existentes al entorno de la mencionada planta.

Al disponer pasta de relaves en la superficie aproximadamente horizontal de "Relavera 2007", una muy pequeña fracción de agua drena y filtra, hasta alcanzar las cunetas de drenaje. La mayor parte de la humedad no es retenida en la pasta, porque ella, se evapora.

La flexibilidad que permiten las pastas al emplazamiento, dentro del depósito, en el caso de "Relavera 2007", es extendida a las técnicas de construcción aguas arriba, con consideraciones de diseño antisísmicos; de otra manera, sería prohibida su utilización.

Con la alternativa del tipo de pasta que tiene AUREX S. A., no se requiere una solución tipo embalse. Para este tipo de faenas de pequeña escala, la pasta, como ya indicamos líneas arriba, es transportada por una tubería de 4 pulgadas de diámetro: Polietileno de alta densidad y alta presión-**HDPE**; instaladas desde las instalaciones de operación del Espesador de Cono Profundo; y descargadas en el lugar de disposición final. Una vez depositada, se deja secar y se continúa el acopio, permitiendo el recrecimiento vertical.

Esta forma de acumular, permite minimizar la superficie de suelo cubierto con **relaves hasta piramidarlos** y realizar un cierre progresivo al cese de las operaciones de la Planta; de tal modo que, el depósito sea dejado sin requerir

medidas adicionales de cierre, por su calidad orgánica comprobada en los taludes de la Relavera 2000 de la misma Planta Andes de AUREX S. A.; relavera que, ya está en proceso de cierre y hoy reluce verde, por acciones de remediación.

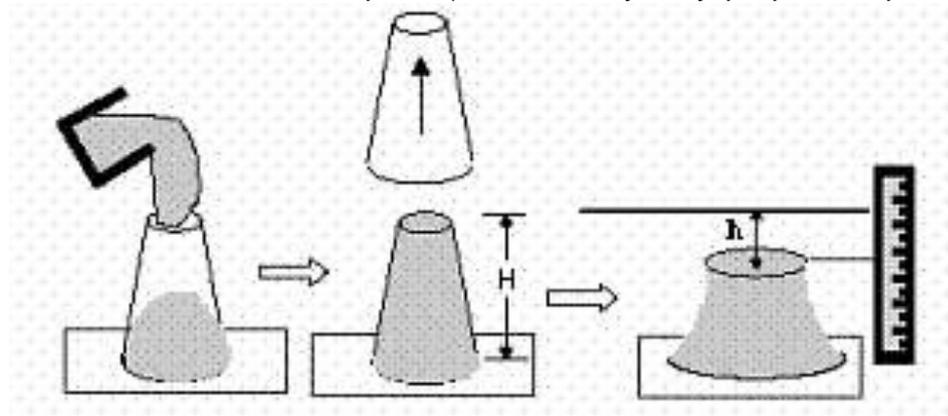
Cabe destacar que, debido a su alta densidad, las pastas son transportadas mediante el uso de una bomba de desplazamiento y dos bombas para remover el remante de agua sucedida en la relavera, con los esperados resultados positivos.

**Desde el punto de vista ambiental**, en la relavera antigua, base del recrecimiento, se desarrollan actividades de revegetación, en forma paralela a la operación de recrecimiento vertical; porque así lo permite la metodología de disposición y el bajo ángulo de reposo del relave en pasta.

### 3.9.2.1.2 Técnicas para la Caracterización de Pastas Minerales:

#### a. Ensayo de abatimiento

In situ, en el punto de descarga de pasta se ha realizado la primera prueba de campo, utilizando la metodología de “Ensayo de Abatimiento”, como puede ser observada en la Figura 4 (abajo) como se puede apreciar, este es un método muy simple que sirve para caracterizar la consistencia de pasta en su condición de mezcla sólido-líquido (más sólido y muy poquísimo porcentaje de



agua).

**Figura 4.** Procedimiento del ensayo de abatimiento

**Fuente:** Clayton et al (2003)

En este estudio fue usada la geometría cilíndrica a escala de laboratorio dada su mayor simplicidad y facilidad de operación.

Según la metodología empleada en el trabajo de Clayton et al. (2003), presenta un análisis comparativo de ambas geometrías empleadas en el ensayo de abatimiento.

Para el caso práctico de la Pasta utilizada en la “Relavera 2007” de AUREX S. A., se tomó como base el procedimiento de la **Normativa Brasileña ABNT–NBR NM 67** (1998).



Según esta normativa el tiempo de llenado del cono o cilindro debe ser de máximo 30 segundos y la temperatura ambiente ( $5^{\circ}\text{C}$ ); se registró este requerimiento como referencia, logrando los resultados esperados.

Según la Norma antes mencionada, se puede utilizar un cono o cilindro (Pueden ser tubos de PVC o HDPE, cuando se trata de pruebas físicas); en este caso, se ha preferido utilizar un cilindro de tubo HDPE. Una vez lleno el cilindro, éste es retirado cuidadosamente, registrándose la diferencia entre la altura inicial del cilindro y la altura del material (h). **Ver Tabla 6 (Arriba en 3.9.1.).**

Las dimensiones del cilindro de HDPE utilizado en este caso fue de 10 cm de diámetro por 10 cm de altura con un volumen total aproximado de  $800\text{ cm}^3$  reposado sobre un tablero de madera de 30 x 30 cm.

Este ángulo de reposo ( $5^{\circ}$  sobre la horizontal), se obtiene con la altura de abatimiento que, dividida entre la altura del Cilindro HDPE, nos da el abatimiento de pasta; expresado en porcentaje, como Pendiente de Pasta; a partir de la cual, se halla el Angulo de Reposo Final de la Pasta; gracias al Cálculo Trigonométrico, se halla la Cotangente de dicha pendiente porcentual.

Insisto que, el tiempo es determinante en el diseño de descarga y comportamiento de pasta sobre el depósito, es por este motivo que, se ha tenido mucho cuidado en estudiar los tiempos de “acción de pasta” 30 segundos inmediatamente después de la descarga; 120 segundos, 240

segundos, 10 horas y finalmente 20 horas. Luego de 20 horas, se ha aplicado una carga de 70 kg, estándar para este tipo de pruebas, logrando **deformación cero en su ángulo de reposo.**

**Nota:** Para el Diseño de disposición de relave en pasta, se consideran los ángulos de reposo, como producto del tiempo expuesto (10 a 20 horas) o considerar el promedio de ambos.

En este caso, COMPUMET ha decidido trabajar los modelos de descarga con 5° de ángulo de reposo; por el tiempo máximo de “no deformación” y la prueba de carga a la que fue sometida la muestra en investigación.

Otra forma de hallar el **ángulo de reposo de pasta** con pruebas de campo es el “Método de la Pendiente”, a partir de la “Prueba de Abatimiento”.

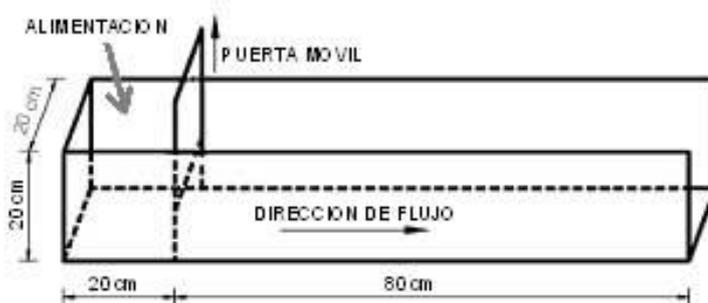
Aplicando lo siguiente:



Con este método, el arcotangente del resultado de la división del cateto opuesto sobre el cateto adyacente, nos da el ángulo de reposo de pasta. **Ver Tabla 7 (Arriba en 3.9.1.).**

### b. Ensayo de Canaleta

A continuación, en la Figura 5, se muestra la **CANALETA DE KWAK**; que por muchos años hizo pruebas para determinar el ángulo de reposo de relave en pasta.



**Figura 5.** Forma y dimensiones de la Canaleta de KWAK, utilizada para determinar el ángulo de reposo de un relave en pasta.

**Fuente:** Kwak et al (2005).

La metodología de “Ensayo de Canaleta” se hizo utilizando un prisma rectangular construido de material acrílico de 1 cm de espesor; mediante



el cual, se pudo determinar el ángulo de reposo de la pasta mineral de disposición en la “Relavera 2007”, materializando el Método de la Canaleta de KWAK.

Las dimensiones de este equipamiento de escala de laboratorio fueron las siguientes: 100 cm de largo, por 20 cm de ancho y 20 cm de altura; con un tabique movable, como compartimiento de alimentación.

El volumen de pasta utilizado en todos los ensayos fue de 7 litros aproximadamente, o sea considerando una altura de 18 cm en el compartimiento de alimentación de 20 por 20 cm. El largo máximo que pudo recorrer el material cuando la puerta de alimentación fue retirada, fue de 48 cm de 80 cm libres (60% del total), medido horizontalmente.

Se realizaron distintas pruebas para determinar la fluidez de la pasta, calculando su velocidad de desplazamiento, para ello se realizaron pruebas con ángulos de diferentes inclinaciones:  $10^\circ$ ,  $15^\circ$  y  $30^\circ$  respecto de la horizontal.

Al realizar este ensayo en el campo, se pudo observar mejor la velocidad de desplazamiento del relave en pasta de “Relavera 2007” (Longitud y Tiempo), bajo distintas situaciones que podrían ocurrir, en determinado Ángulo de Inclinación. **Ver la Tabla 8.**

**Tabla 8.** Pruebas Simuladas con Ángulos de inclinación pre-establecidos, en tiempos cronogramados, para lograr Longitudes de Desplazamiento y Disposición de Relave en Pasta.

Ángulo de inclinación	Tiempo de desplazamiento en segundos	Longitud de desplazamiento cm
10°	12.21	48 cm
15°	1.89	60 cm
30°	0.95	90 m

**Fuente:** Relavera (2007)

### c. Determinación de la Viscosidad

La viscosidad es una magnitud que representa la "resistencia a fluir" o densidad de un fluido. A mayor viscosidad, más espeso es el fluido y a menor viscosidad, menos espeso. Unidad de medida: Pa.s o mPa.s.

Para nuestro caso, la viscosidad del relave en pasta define el rozamiento interno entre las capas de fluido. A causa de la viscosidad es necesario ejercer una fuerza para obligar a una capa de fluido a deslizar sobre otra.

La viscosidad se manifiesta en la pasta-agua en movimiento lo que nos permite confirmar la definición de viscosidad, como la relación existente entre el esfuerzo cortante y la gradiente de velocidad. Esta viscosidad recibe el nombre de viscosidad absoluta o viscosidad dinámica; y la representaremos con la letra griega  $\mu$ .

Se ha determinado que el fluido de la pasta al momento de salir del tubo que lo expulsa, hacia la "Relavera 2007", es altamente viscoso por su consistencia y por la cantidad de floculantes (0.01%) que tiene en su composición.

Por ser altamente viscoso, el relave en pasta, se mueve con menos facilidad que un fluido de baja viscosidad; directamente proporcional a la intensidad de estas fuerzas aplicadas.

### d. Análisis de Estabilidad de taludes

Los análisis de estabilidad para depósitos de relaves, a pesar de que siguen los mismos procedimientos generales y emplean los mismos métodos básicos de cómputo que las presas de retención de agua, son frecuentemente más

complejos; de modo que, se requiere un amplio conocimiento de la presión de poros y de la conducta de resistencia para aplicar las técnicas convencionales en una manera racional.

Lo básico para el análisis de estabilidad, **Rennat (1997)**, es una apreciación de las diferentes fuentes de presión de poros y la forma en las que éstas afectan la resistencia al corte.

Además, las condiciones de carga en los depósitos de relaves, son muchas veces diferentes de aquellas experimentadas por presas convencionales de agua, dando un énfasis diferente a las diversas condiciones que deben ser consideradas en el análisis.

El análisis de estabilidad, es un procedimiento de pruebas sucesivas:

- ✓ Se escoge una superficie potencial de deslizamiento y se determina su factor de seguridad contra deslizamiento.
- ✓ Se selecciona diferentes superficies y se repite el análisis hasta que se encuentre la superficie que tiene el factor más bajo de seguridad, conocido como superficie crítica.
- ✓ El factor calculado de seguridad contra el deslizamiento a lo largo de la superficie crítica, es el factor de seguridad indicado para el talud.
- ✓ El factor de seguridad FS, para un talud, se define generalmente como la relación de resistencia al corte disponible con respecto al esfuerzo cortante sobre la superficie de falla crítica.

#### **e. Monitoreo de la calidad de suelo**

Desde la construcción y durante la vida de la relavera, el “Monitoreo de la Calidad de Suelo”, tiene que ser programada y realizada celosamente.

Este hecho, asegura la vida de la relavera, su recrecimiento vertical y la seguridad ambiental de su entorno, frente a posibles rupturas o fallas que pudieran aparecer; no solo por las presiones del agua de poro, sino fundamentalmente, por la influencia del comportamiento pluvial y/o la ocurrencia de fenómenos sísmicos.

#### **f. Comportamiento Pluvial (Meteorología):**

El comportamiento pluvial, incluye la temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento y la evapotranspiración.

Para la construcción de una relavera; o para la infraestructura de recrecimiento vertical, se tiene que analizar las variaciones espaciales y

temporales de condiciones climáticas, meteorológicas y ecológicas del área del proyecto, mediante la caracterización de las principales variables Climáticas.

Se incide en el comportamiento de parámetros determinantes para la seguridad de la relavera y el ambiente de su entorno; dentro de ellos tenemos la precipitación pluvial y la temperatura, requiriéndose información sobre variables de importancia más específica, como el caso de vientos, y humedad relativa.

El presente ítem incidirá en el análisis de la Precipitación, variable sobre la cual se evalúan volúmenes e intensidades de lluvia para períodos climáticos normales y de lluvia excesiva en la época de verano (lluvioso en la sierra peruana), sobre la base de condiciones promedio; y de ocurrencia de tormentas; datos obtenidos del Centro Climatológico de la Región.

Para el proyecto de recrecimiento vertical, se considerará la marcada manifestación pluvial en el área, la cual plantea severas limitaciones en las actividades de construcción, durante la estación de lluvias; que, de ser torrenciales, podrían traer consigo erosiones lamentables.

Por el contrario, aunque menos restrictivas para los trabajos de construcción, las condiciones climáticas de la época de hastío o estación seca, tienen incidencias mayores en cuanto a la generación de polvo por la acción de los vientos; y la presencia de particulado en el aire.

#### **g. Presencia de movimientos tectónicos**

En nuestro país, el temor que representa un sismo es indudablemente la condición más importante de evaluar antes de la construcción de una relavera o la construcción de una infraestructura para recrecimiento vertical de un depósito de relaves; por esto es importante, tomar en cuenta la información técnica e historial correspondientes.

Técnicamente, el Perú forma parte del borde occidental de América del Sur, donde la actividad sísmica más importante está asociada al proceso de subducción de la Placa de Nazca (oceánica) bajo la Placa Sudamericana (continental), generando con relativa frecuencia terremotos de gran magnitud. Un segundo tipo de sismicidad es el producido por las deformaciones corticales, presentes a lo largo de la Cordillera Andina, con sismos menores, tanto en magnitud como en frecuencia.

El Perú siempre ha sido sacudido por grandes sismos, hasta hoy, el de mayor magnitud, ocurrió el 28 de octubre de 1746, con una intensidad de 8.4 grados, mientras que, en el Siglo XX, el más destructor fue el 24 de mayo de 1940 con 8.2 grados.

Recordemos el terremoto de 7 Grados en la Escala de Richter, ocurrido el 24 de agosto de 2011, el mismo que se sintió a las 12:46 horas en gran parte de la selva peruana, hecho que informó el Instituto Geofísico del Perú (IGP); el sismo se sintió con fuerza en las Regiones de Loreto, San Martín, Madre de Dios, Junín y Huancayo.

Estos antecedentes, exigen que, desde el diseño y la construcción de la relavera y la infraestructura de recrecimiento vertical, se tomen las correspondientes precauciones estructurales de tensión, compresión, cizallamiento y el comportamiento elastoplástico del vaso por recrecer.

#### **h. Comportamiento del depósito en el tiempo.**

La garantía del comportamiento del depósito en el tiempo es cumplir con el estudio de impacto ambiental, el diseño, estándares y procedimientos de construcción, su plan de cierre y su programa de seguimiento y mantenimiento de la infraestructura y el propio depósito.

Por norma, las empresas mineras están obligadas a informar cualquier evento inusual relacionado con el aumento de infiltración, inestabilidad, la falta de borde libre de líquido, etc. que afecte o pueda afectar la estabilidad del depósito.

Cualquier cambio o traspaso de propiedad o responsabilidad para operación de un depósito de relaves mineros, el Titular debe notificar al Ministerio de Energía y Minas; inmediatamente, sobre estas nuevas condiciones.

Para garantizar la estabilidad de un depósito en el tiempo, es recomendable que, durante las inspecciones participe el diseñador, junto con el jefe de planta y el ingeniero de seguridad o ambientalista.

Por lo menos cada dos años, se debe revisar e informar de las condiciones en que se encuentran los instrumentos y dispositivos de monitoreo; y exigir su funcionamiento apropiado. Dicho trabajo debe realizarse con un cronograma formal, aprobado por la gerencia de operaciones.

La secuencia y frecuencia de la lectura de los instrumentos de monitoreo de los dispositivos de observación debería seguir las instrucciones dadas por el diseñador.

Estas instrucciones eventualmente pueden ser adaptadas a prioridades que cambian de acuerdo con la edad de la infraestructura.

La interpretación de los datos procesados, para el caso de nuestra investigación, será efectuada sin demora. Los datos y la información serán cuidadosamente identificados y archivados para una evaluación y referencia durante las inspecciones periódicas.

Se **recomendará efectuar una inspección anual completa** de todos los aspectos de los depósitos de relaves incluyendo la infraestructura de recrecimiento vertical, la presa, la poza, el sistema de recuperación y los procedimientos de inspección que se están empleando.

Junto con esta inspección anual, se revisará toda performance, control de calidad, calidad de agua y datos de monitoreo para asegurar que la instalación esté siendo construida y esté funcionando de acuerdo con el propósito del diseñador.

Esta variable se basa estrictamente al diseño, la construcción y el control de la infraestructura de recrecimiento vertical y de la propia relavera, durante el proceso de las operaciones de concentrado de minerales.

### **3.9.2.2 Fuente secundaria**

Llamada también información elaborada, se orienta a información bibliográfica, documentos o fórmulas empíricas; en este punto, desarrollaremos el tratamiento estadístico para la **prueba de hipótesis**, utilizando los métodos y las técnicas de la estadística descriptiva e inferencial, a través de un Análisis Correlacional que está referido a la formulación de hipótesis técnicos y consecutivos concerniente al procedimiento sistemático de la prueba de hipótesis estadístico que, para obtener las características del grupo, se apoya en las medidas de tendencia central, dispersión y forma.

La estadística descriptiva, encargada de recolectar, clasificar, ordenar, analizar y representar datos, se encuentra descrito, en forma amplia y clara, en los puntos 2.5. en adelante (Capítulo II), de la presente Tesis de Investigación.

Mientras que la estadística inferencial o inductiva, como veremos a continuación, tratará de inferir características generales de una población, a partir de pruebas realizadas en (2) dos muestras de relaveras proyectadas “Relavera A” y “Relavera 2007”, ambas relaveras de Oro, para su recrecimiento vertical y su control de impactos ambientales.

Se trata de la validación de hipótesis nula de una población de 80 relaveras a nivel nacional (**dato aducido; lo real es desconocido, por tener un universo muy grande**) que, requieren recrecer verticalmente, para incrementar su volumen de recepción de relave; con una desviación estándar de 5% y una media nula esperada de 81 depósitos de relave; con una muestra de 49 relaveras evaluadas para el mismo objetivo.

Seguiremos (4) cuatro pasos puntuales:

**Paso 1.-** Establecemos la hipótesis nula ( $H_0$ ) y alternativa ( $H_1$ ):

$$H_0: \mu = 80$$

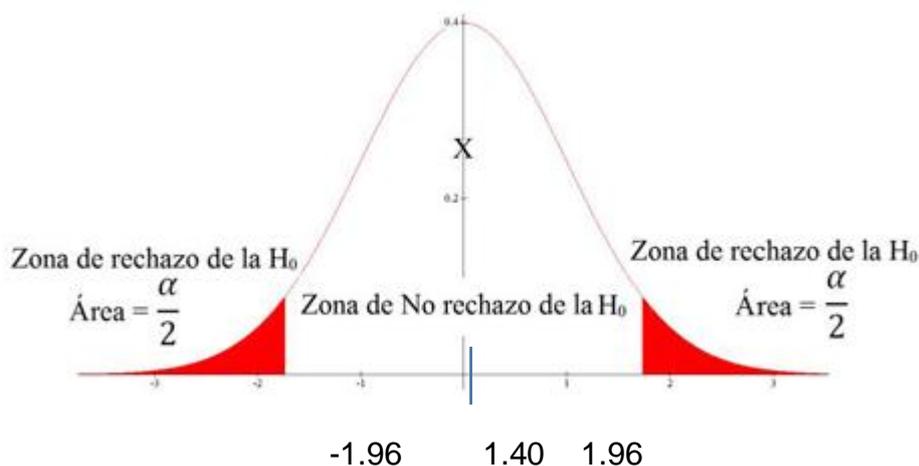
$$H_1: \mu > 80 \dots (81)$$

**Paso 2.-** Se establece los Valores Críticos ( $Z_c$ ), con el valor de significancia ( $\alpha$ ) igual a 0.05, lo que nos permite utilizando la Tabla de distribución de norma, obtener los siguiente:

$$Z = -1.96$$

$$Z = 1.96$$

Estos valores, nos permite lograr la Prueba de (2) dos Colas, a través del gráfico de aceptación o rechazo de la hipótesis nula:



**Paso 3.-** Buscamos el Valor de Prueba (Z prueba), utilizando la Fórmula para muestras grandes > de 30 relaveras:

$$Z_{prueba} = \frac{\bar{A} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

$$Z_{prueba} = \frac{81 - 80}{5 / \sqrt{49}} = \frac{1}{5/7} = \frac{7}{5} = 1.40$$

Z prueba, ubicado en la Zona de Aceptación (No rechazo) de la  $H_0$

**DECISIÓN:** Se acepta  $H_0$  y se rechaza  $H_1$

**CONCLUSIÓN:** Se puede afirmar que las relaveras que requieren recrecimiento vertical son 80 a Nivel Nacional, con una significación del 5%.

### 3.9.2.2.1 Validación y confiabilidad del instrumento

Los términos recrecimiento vertical de depósitos de relave y control ambiental, son (2) dos parámetros aparentemente opuestos; debido a que, el primer parámetro asegura la vida útil de la relavera; y, el segundo parámetro, vulnerabiliza la estabilidad del medio natural donde se construye la presa; sin embargo, técnicamente ellos “conviven” indisoluble, ambiental y económicamente unidos.

La vulnerabilización del área de influencia directa ambiental, se gestiona y controla con las OTML: Operaciones con Tecnología Más Limpia que, son el

fundamento principal en las que se desarrolla el presente trabajo de investigación.

Las OTML, son la causa-efecto del presente trabajo de investigación, basado en el estudio geotécnico de resistencia de materiales y su comportamiento frente a los esfuerzos de tracción, compresión y cizallamiento de la Relavera 2007 de MINERA AUREX S. A.; cuyo recrecimiento es por descarga de relave en pasta; presa perteneciente a una Plantas de tratamiento de minerales de Oro; cuyos Relaves son de singular comportamiento, diferente al comportamiento de una relavera polimetálica.

La Tesis enfatiza el comportamiento geomecánico y sostenibilidad de taludes de los depósitos de relaves de oro que, repito, es muy diferente a los depósitos de relave de mineral polimetálico, desde sus propios orígenes de construcción, hasta la decisión de recrecimiento vertical.

La investigación define que, para lograr acciones ambientalmente amigables; y, evitar accidentes por rotura de la presa de relaves, es indispensable una visible acción de Gerencia y Gestión Ambiental; esto significa, acciones conscientes, desde la evaluación ambiental sin proyecto (EIA), la ejecución de las obras y el inicio de las operaciones de la planta de tratamiento de minerales, acompañadas de una supervisión constante y control por parte del personal encargado de los trabajos realizados en la disposición de relaves.

Faltando 10% de altura interior de la presa construida (semi-final de la vida útil de la relavera), el desarrollo de la Tesis, demuestra que lo técnicamente recomendable para el Titular de la Actividad Minera, es recrecer dicho depósito verticalmente, mientras decida estructurar y tramitar el Estudio de Impacto Ambiental correspondiente, para lograr la Certificación Ambiental; así como, lograr la autorización de construcción de un nuevo depósito de relaves. En el desarrollo del presente trabajo de investigación sobre proyecto de recrecimiento vertical de relaveras de Oro, se han realizado trabajos de investigación de campo, para la "Relavera 2007" de AUREX S. A. de su Planta Andes que, cuenta con infraestructura especializada para la generación de relave en pasta, denominada "Cono Profundo".

Pruebas in-situ, toma de muestras e informes de los resultados del laboratorio geo-sísmico y estudios de estabilidad física y geotécnica, en el marco del informe presentado por el "Centro Peruano Japonés de Investigaciones

Sísmicas y Mitigación de Desastres – CISMID”, a solicitud del Investigador, para lograr los parámetros de construcción, ángulo de reposo para disposición de relave y la toma de decisiones de la ejecución de obra y puesta en marcha del proyecto elegido.

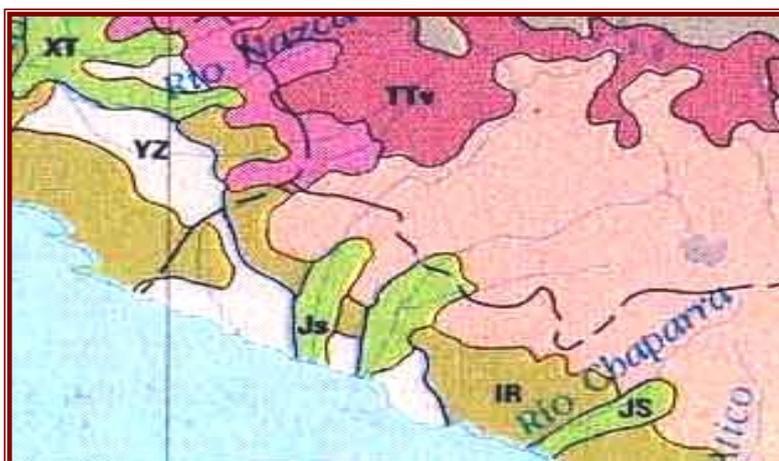
En tiempo, economía, gestión y manejo ambiental, es totalmente ventajoso el recremento vertical de un depósito de relaves, con en su método: Descarga de relave en pasta.

### 3.9.2.2 Investigaciones de Campo

#### a. La calidad del tipo suelo

Se refleja en el Informe Técnico Sustentatorio (ITS) y el Expediente Técnico de Modificación y Mejora Tecnológica, desarrollado por el Tesista, en su calidad de Gerente General de la Consultora Minero-energético-ambiental COMPUMET EIRL; sobre la estabilidad física de la **Relavera 2007**; que, contiene el diseño de su recremento vertical con **relave en pasta**, utilizado en la Planta Andes de Minería AUREX S. A., aprobado por la Dirección Regional de Energía y Minas de Pasco.

**En los estudios complementarios que el investigador hizo**, al interior de las (4) Cuatro Muestras, logró ubicar que el suelo donde están construidas ciertas relaveras, corresponden a la clase de suelo tipo Fluviosoles Eútricos-secos (sedimentario – no recomendable), tal como se puede ver en la Figura 5A; suelos originados por sedimentos aluvionales provenientes de avalanchas producidas durante la época de lluvias en las quebradas secas, hace miles de años atrás. Otros suelos que se localizan son los Regosoles Eútricos (secos), en las pampas eriazas del valle del Yauca, constituidos por materiales arenosos, de origen eólico.



**Figura 5A.** Área del Proyecto en el Mapa de Suelos del Perú  
**Fuente:** IGN (1989)

El uso de estas tierras en el área donde se construyan relaveras y sean motivo de recrecimiento vertical, está considerada como **tierra de protección, inapropiada para este tipo de infraestructura**; para fines agrícolas SI, mientras tenga existencia de agua, por las características del tipo de suelo; tal como se observa en el Valle Acaville, 5 Km aguas abajo de Relavera A de la Planta Santa Filomena de SOTRAMI S. A.; que, si es de tierras agrícolas, a partir de la Hacienda Convento hacia Yauca.

Muy diferente a este tipo suelo, se tiene el material, in situ, de la Planta Andes, cuya relavera fue motivo de investigación para la presente Tesis.

**El Tipo de Suelo de Relavera 2007, Planta Andes de Minera AUREX S. A.**, motivo de recrecimiento vertical, con relave en pasta, se encuentra dentro del cuaternario; área conformada por material aluvial: Intercalación de gravas arcillosas, gravas limosas, horizontes de limo, arcillas y turbas.

Este tipo de; materiales, definen la elección del material de préstamo, para la construcción del dique de arranque, su crecimiento y su definición final de recrecimiento vertical; y la influencia en los Pasivos Coloniales (para el caso de Relavera 2007); que, luego de ser tratadas en la planta de beneficio, generarán los correspondientes relaves con contenido de estos no metálicos. La magnitud y el alcance de las investigaciones de campo, donde se muestran los Resultados del Laboratorio geo-sísmico y estudios de estabilidad física y geotécnica; y los requerimientos y condiciones del lugar donde se ubican las presas en recrecimiento, serán monitoreados, para los controles ambientales; a fin de satisfacer las condiciones reales del lugar; y los objetivos de la presente investigación que, incluyen lo siguiente:

- ✓ Calidad de suelo, el talud y el área donde se realizará el crecimiento vertical de la “Relavera 2007” de AUREX S. A. Muestra los resultados del Laboratorio Geo-sísmico de la UNI.
- ✓ La investigación incluye la litología aparecida en el Informe Técnico Sustentatorio y Expediente Técnico de Modificación y Mejora Tecnológica, aprobados por la Dirección Regional de Energía y Minas: DREM Pasco.

**b. Litología de Relavera 2007 (MINERA AUREX S. A. – Cerro de Pasco)**

De acuerdo al análisis de muestras recogidas en campo y, contrastando con lo descrito en cartas de INGEMMET, la Litología del área de la referida “Relavera 2007”, se ubica en los Pisos del Grupo Pucará del Jurásico inferior, Formación Casapalca del Cretáceo Superior e inicios del Paleoceno y Grupo Goyllarisquizga del Cretáceo inferior, constituido por areniscas y cuarcitas de grano fino a gravo-limoso medio con estratificación cruzada, las que están intercaladas en la base con pequeños lentes de carbón y estratos de Lutitas de color verde grisáceo y marrón.

**c. Sistemas hidrológicos de la zona**

**Para el caso de “Relavera 2007”**, en el sistema hidrológico, el curso principal de agua, comprendido dentro de los límites de la concesión minera AUREX, es el riachuelo Quiulacocha y el río San Juan; que muestra en la Lámina P-04, la Cuenca del Río San Juan.

El río San Juan es producto de los deshielos de las lagunas de Gorgorín y Alcacocha, tiene una longitud de 30,00 Km. atraviesa las localidades San Antonio de Rancas y los poblados Yurajhuanca y Sacrafamilia.

El río Quiulacocha en su recorrido de 8,20 Km hasta la zona de estudio (4200 m.s.n.m.), tiene su origen en la laguna de Venenococha, es alimentada también por las quebradas que desaguan las lagunas de Quiulacocha y Patarcocha.

Además del drenaje natural de esas fuentes de agua recibe en forma permanente los vertidos de unidades mineras, situadas aguas arriba de la Planta ANDES, y las aguas servidas de la ciudad de Cerro de Pasco, teniendo un caudal promedio de 0.745 m<sup>3</sup>/seg; la extensión de la cuenca total, por la que drena el río Quiulacocha es de 41.0 Km.

El área del proyecto se encuentra constituida en un tramo del río Quiulacocha; y se ubica en el extremo inferior y margen izquierdo de la cuenca, donde se inicia la altiplanicie de Bombón, apoyado en una ladera de pendiente media de 0,09%.

La hidrografía de este tramo, ha sido ya alterada por la disposición de relaves en la laguna Quiulacocha, desde hace muchos años atrás por la desaparecida Empresa Minera del Centro: CENTROMIN PERÚ.

Con el fin de evitar las filtraciones de los elementos contaminantes de los relaves al cauce del río; y permitir la construcción de la “Relavera 2007”, el curso original del río Quiulacocha fue desviado mediante un canal de derivación desde aguas arriba, en una longitud total de 748,70 m.

Referente al recurso de agua subterránea, en el área de estudio, no existe un acuífero o algún afloramiento de aguas subterráneas. El nivel freático se encuentra a una profundidad de 1.50m.

#### **d. Comportamiento Pluvial (Meteorología)**

El comportamiento pluvial, incluye la temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento y la evapotranspiración.

Para la construcción de una relavera; o para la infraestructura de recrecimiento vertical, se tiene que analizar las variaciones espaciales y temporales de condiciones climáticas, meteorológicas y ecológicas del área del proyecto, mediante la caracterización de las principales variables Climáticas.

Se incide en el comportamiento de parámetros determinantes para la seguridad de la relavera y el ambiente de su entorno; dentro de ellos tenemos la precipitación pluvial y la temperatura, requiriéndose información sobre variables de importancia más específica, como el caso de vientos, y humedad relativa.

El presente ítem incidirá en el análisis de la Precipitación, variable sobre la cual se evalúan volúmenes e intensidades de lluvia para períodos climáticos normales y de lluvia excesiva en la época de verano (lluvioso en la sierra peruana), sobre la base de condiciones promedio; y de ocurrencia de tormentas; datos obtenidos del Centro Climatológico de la Región.

Para el proyecto de recrecimiento vertical, se considerará la marcada manifestación pluvial en el área, la cual plantea severas limitaciones en las actividades de construcción, durante la estación de lluvias; que, de ser torrenciales, podrían traer consigo erosiones lamentables.

Por el contrario, aunque menos restrictivas para los trabajos de construcción, las condiciones climáticas de la época de hastío o estación seca, tienen incidencias mayores en cuanto a la generación de polvo por la acción de los vientos; y la presencia de particulado en el aire.

#### **e. Presencia de movimientos tectónicos**

En nuestro país, el temor que representa un sismo es indudablemente la condición más importante de evaluar, antes de la construcción de una relavera o la construcción de una infraestructura para recrecimiento vertical de un depósito de relaves; por esto, es importante tomar en cuenta la información técnica e historial correspondientes.

Técnicamente, el Perú forma parte del borde occidental de América del Sur, donde la actividad sísmica más importante está asociada al proceso de subducción de la Placa de Nazca (oceánica) bajo la Placa Sudamericana (continental), generando con relativa frecuencia terremotos de gran magnitud. Un segundo tipo de sismicidad es el producido por las deformaciones corticales, presentes a lo largo de la Cordillera Andina, con sismos menores, tanto en magnitud como en frecuencia.

El Perú siempre ha sido sacudido por grandes sismos, hasta hoy, el de mayor magnitud, ocurrió el 28 de octubre de 1746, con una intensidad de 8.4 grados, mientras que, en el Siglo XX, el más destructor fue el 24 de mayo de 1940 con 8.2 grados.

Recordemos el terremoto de 7 Grados en la Escala de Richter, ocurrido el 24 de agosto de 2011, el mismo que se sintió a las 12:46 horas en gran parte de la selva peruana, hecho que informó el Instituto Geofísico del Perú (IGP); el sismo se sintió con fuerza en las Regiones de Loreto, San Martín, Madre de Dios, Junín y Huancayo.

Estos antecedentes, exigen que, desde el diseño y la construcción de la relavera y la infraestructura de recrecimiento vertical, se tomen las correspondientes precauciones estructurales de tensión, compresión, cizallamiento y el comportamiento elastoplástico del vaso por recrecer.

#### **f. Comportamiento del depósito en el tiempo**

La garantía del comportamiento del depósito en el tiempo es cumplir con el estudio de impacto ambiental, el diseño, estándares y procedimientos de construcción, su plan de cierre y su programa de seguimiento y mantenimiento de la infraestructura y el propio depósito.

Por norma, las empresas mineras están obligadas a informar cualquier evento inusual relacionado con el aumento de infiltración, inestabilidad, la falta de

borde libre de líquido, etc. que afecte o pueda afectar la estabilidad del depósito.

Cualquier cambio o traspaso de propiedad o responsabilidad para operación de un depósito de relaves mineros, el Titular debe notificar al Ministerio de Energía y Minas; inmediatamente, sobre estas nuevas condiciones.

Para garantizar la estabilidad de un depósito en el tiempo, es recomendable que, durante las inspecciones participe el diseñador, junto con el jefe de planta y el ingeniero de seguridad o ambientalista.

Por lo menos cada dos años, se debe revisar e informar de las condiciones en que se encuentran los instrumentos y dispositivos de monitoreo; y exigir su funcionamiento apropiado. Dicho trabajo debe realizarse con un cronograma formal, aprobado por la gerencia de operaciones.

La secuencia y frecuencia de la lectura de los instrumentos de monitoreo de los dispositivos de observación debería seguir las instrucciones dadas por el diseñador.

Estas instrucciones eventualmente pueden ser adaptadas a prioridades que cambian de acuerdo con la edad de la infraestructura.

La interpretación de los datos procesados, para el caso de nuestra investigación, será efectuada sin demora. Los datos y la información serán cuidadosamente identificados y archivados para una evaluación y referencia durante las inspecciones periódicas.

Se **recomendará efectuar una inspección anual completa** de todos los aspectos de los depósitos de relaves incluyendo la infraestructura de recrecimiento vertical, la presa, la poza, el sistema de recuperación y los procedimientos de inspección que se están empleando.

Junto con esta inspección anual, se revisará toda performance, control de calidad, calidad de agua y datos de monitoreo para asegurar que la instalación esté siendo construida y esté funcionando de acuerdo con el propósito del diseñador.

Esta variable se basa estrictamente al diseño, la construcción y el control de la infraestructura de recrecimiento vertical y de la propia relavera, durante el proceso de las operaciones de concentrado de minerales.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Análisis descriptivo

Para el caso de nuestra investigación, referida al recrecimiento vertical de un depósito de relaves y control de sus impactos ambientales negativos, el análisis descriptivo, se hará en base a la disposición de datos de muestra, de una población desconocida, por lo mismo que se tiene una enorme cantidad de relaveras en la industria minera peruana.

Se dispone de datos de la población y muestra, descritos en los **puntos 3.2. y 3.3.** de la presente tesis; y antes de abordar análisis estadísticos complejos, como un primer paso presentaremos información que permita visualizar de manera sistemática y resumida, el tipo de variables que hemos manejado durante el estudio.

Recordemos que, la población está constituida por el número de empresas mineras que han de requerir el recrecimiento vertical de su relavera que, se define 10% antes de finalizar la vida útil de la relavera antigua.

Población desconocida de relaveras que requieren recrecimiento vertical; que fue **Calculada en el Punto 3.3.**, utilizando la siguiente fórmula, aplicada para estos casos:

$$x = \frac{Z_a^2 \times p \times q}{d^2}$$

**Fuente:** Estadística aplicada a la investigación: **Anthony Ramos.** UNEFM 2012.

El resultado logrado es:

**X = 4 Muestras (Población de Relaveras)**

Esto significa que, se requerirá, **visitar a no menos de 4 relaveras para averiguar su necesidad de recrecimiento vertical**, con disposición de relaves en pasta.

Entre estas 4 Muestras, están la Relavera 2007 de AUREX S. A.; Relavera Santa Filomena II, de SOTRAMI S. A., Relavera Cuatro horas, de MACDESA S. A., y Relavera Amanda, de Minera CATALINA HUANCA S. A.

**Tabla de necesidad de recrecimiento vertical de relaveras de oro en estudio 10% antes de finalizar la vida útil de la relavera**

N°	Nombre de la relavera	Requerimiento: R (*) Cuantificación	Porcentaje R
1	Relavera 2007. Planta Andes. AUREX S. A.	3	38%
2	Relavera Filomena II. SOTRAMI S. A.	2	25%
3	Relavera Cuatro Horas. MACDESA S. A.	2	25%
4	Relavera Amanda. CATALINA HUANCA S. A.	1	12%
Total			100%

**(\*) Tabla de Requerimiento R, cuantificado**

Cuantificación R	Prioridad de recrecimiento
3	Recrecimiento inmediato
2	Recrecimiento a corto plazo (hasta 1 año)
1	En ejecución, ya está recreciendo.

La interpretación en tortas o tartas de la necesidad de recrecimiento es la siguiente:



En el análisis descriptivo, procederemos igual con el requerimiento de maquinaria e infraestructura; donde el requerimiento de aparatos y maquinaria móvil y estacionaria son sumamente importantes; tanto; así como la infraestructura, tal como aparece en la siguiente tabla:

**Tabla de requerimiento de maquinaria e infraestructura**

N°	Maquinaria e Infraestructura	Cantidad	Porcentaje
1	Espesador de Cono Profundo: ECP	1	15%
2	Bomba fija para relave en pasta	1	14%
3	Bomba desplazable para agua	1	14%
4	Relavera 2007 antigua y en recrecimiento	2	29%
5	300 m de tubería HDPE 4 Pulgadas	1	14%
6	50 m de tubería HDPE 2 Pulgadas	1	14%
Total			100%

El siguiente gráfico circular (Torta o tarta estadística), nos alcanza la siguiente leyenda de requerimientos:



**LEYENDA:**

- (1) : Espesador de Cono Profundo: ECP.
- (2) : Bomba fija para relave en pasta.
- (3) : Bomba desplazable para agua.
- (4) : Relavera 2007 antigua y en recrecimiento.
- (5) : 300 m de tubería HDPE 4 Pulgadas de diámetro.
- (6) : 50 m de tubería HDPE 2 Pulgadas de diámetro.

El ángulo de reposo de pasta en grados, porcentualizado, es también, un excelente análisis descriptivo, para asegurar la estabilidad del recrecimiento vertical de un depósito de relaves y control de sus impactos ambientales negativos, utilizando relave en pasta.

La siguiente tabla, basada en la Tabla 6. Prueba de Campo N° 1. Porcentaje de Abatimiento de Pasta. Relavera 2007. Planta Andes. AUREX S. A., punto 3.9.1.2., nos muestra varias alternativas de lo **peligroso que es mantener pendientes de pasta, en ángulos mayores a (5°)** cinco grados sobre la horizontal.

**Tabla del porcentaje de estabilidad en ángulos de reposo de relaves en pasta**

Valores	Abatimiento de la pasta	Ángulo de reposo	Tiempo de deslizamiento	Porcentaje independiente de estabilidad (**)
1	0.80	39°	30.0 seg	4%
2	0.28	16°	2.0 min	12%
3	0.17	10°	4.0 min	20%
4	0.12	12°	10.0 hr	28%
5	0.09	5°	20.0 hr	36%
Total				100%

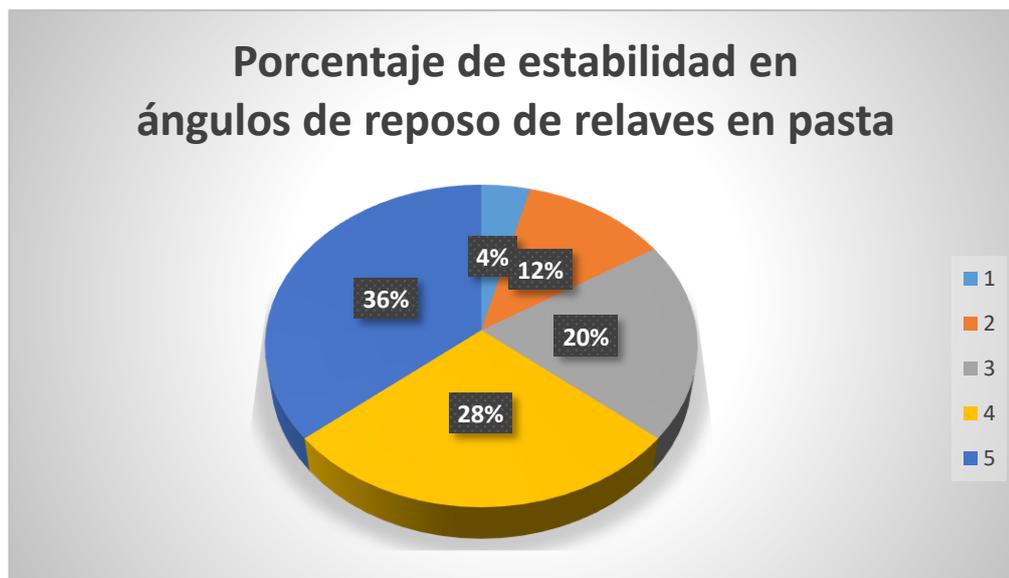
**(\*\*) Tabla de estabilidad:**

Valores	Condición del relave	Interpretación numérica porcentual de estabilidad por condición
1	Muy inestable	10-29%
2	Inestable	30-49%
3	Estable	50-69%
4	Muy estable	70-89%
5	Almamente estable	90-100%

**NOTA:**

1. Se asume 10% de estabilidad al menor tiempo de deslizamiento del relave.
2. Se elige el ángulo de reposo de 5° sobre la horizontal, por su alto porcentaje de seguridad, en cuanto a la estabilidad, secado y dureza del relave dispuesto en el depósito.

A continuación, se muestra la torta estadística del porcentaje de estabilidad en ángulos de reposo de relaves en pasta:



## 4.2 Análisis inferencial y contrastación de hipótesis

### 4.2.1 Análisis Inferencial

La descripción se aplica a condiciones de certeza, en lugar de los problemas estadísticos de censo. En este caso, empleamos las muestras del universo de la población de relaveras en todo el país (desconocido por ser muy amplio); que podrían requerir de recrecimiento vertical; convirtiéndose esta descripción, en una inferencia de gestión y manejo operativo-ambiental.

Aplicando la inferencia por evidencias inductivas, surge el cálculo estadístico inferencial, explicado en el Punto 3.6.2. de relaveras con la misma ocurrencia de haber concluido su vida útil, llegando a 80 por validación de hipótesis nula; lo que me permite inferir que “las relaveras que hayan concluido con su vida útil, tienen que recrecer verticalmente”, como una generalización.

Sin embargo, por la definición de variables, descrito en el Punto 3.2.; y, por evidencia enumerativa o inducción completa, se evidencia la constatación de 4 Muestras de relaveras, 2 relaveras Polimetálicas y 2 relaveras de Oro; las que fueron visitadas por el Tesista, como parte de su investigación.

De las 2 relaveras de Oro, fue elegida una; en este caso, la Relavera 2007, debido a que AUREX S. A., ya contaba con el Proyecto y Financiamiento aprobados, para someterlo a prueba; contando con el asesoramiento de la Consultora COMPUMET EIRL, de la cual el Tesista, es su actual Gerente.

Por las características de construcción de los 2 tipos de presa, ambos **requieren de un dique de arranque**; luego del cual:

- ✓ El depósito de relaves Polimetálico, crece con “material arenoso-grueso”, producto del relave seleccionado por la maquina denominada Ciclón, logrando un talud H: V = 2: 1; sin ninguna compactación, lo que **infiere que**, los depósitos polimetálicos no son recomendables para un recrecimiento vertical adicional a la vida útil de la relavera; salvo que el talud sea reforzado con diques verticales de concreto armado.
- ✓ La presa de relaves de Oro, se construye con “material gravo limoso-arenoso”, capas cada 30 centímetros, regado uniforme y compactado con una Máquina de 20 Toneladas; características que **nos admiten inferir que, las relaveras de Oro, son apropiadas para el recrecimiento vertical**, sobre la plataforma de corona de una relavera cuya vida útil a llegado a su parte final.

Otra certeza analizada, es el comportamiento del relave en pasta, con una densidad de 1.6 gr/cm<sup>3</sup>, debido a las muestras analizadas en el campo, descritas en el Punto 4.2., los que **nos permiten inferir** el ángulo de reposo logrado de 5° sobre la horizontal y un secado dentro de las 20 horas de dispuesto el relave en pasta.

Finalmente, el control de los impactos ambientales negativos; se logra, gracias a lo siguiente:

1. Las condiciones estándar de construcción de la “relavera base” (relavera antigua que requiere recrecer); nos da seguridad de un correcto comportamiento físico;
2. La capacitación, experiencia y habilidades blandas y duras de los operadores de la relavera, permitirán monitoreos y controles del Punto 1, para extremar conciencia de evitar accidentes ambientales.

#### **4.2.2 Contrastación de Hipótesis**

**En el punto 3.9.2.2, se desarrollan las pruebas de hipótesis**, a través del tratamiento estadístico, utilizando los métodos y técnicas de la estadística descriptiva e inferencial; que en mérito a la hipótesis general, se ha evaluado el correcto tipo de relave, haciéndose realidad la **elección del uso de relave en pasta** y su correcto punto de descarga, para alcanzar el ángulo de reposo de 5° sobre la horizontal que a permitido el recrecimiento vertical de relaves,

hasta un punto de descarga de 9 m, en forma gradual e intermitente; lo que a permitido el control de los posibles impactos ambientales negativos, propios de este tipo de actividades.

En virtud de hipótesis específica del presente estudio, se ha logrado calcular la densidad apropiada del relave, logrando positivamente definir la elección del relave en pasta que ha permitido un comportamiento geomecánico seguro de disposición.

Esta hipótesis contrastada efectivamente, es gracias a pruebas en el Espesador de Cono Profundo con que cuenta AUREX S. A., en su Planta Andes; considerando las condiciones de proceso para la óptima floculación con pruebas de laboratorio determinando el tipo de floculante, concentración de sólidos en la alimentación y dosificación para maximizar el ratio de tratamiento del Tamaño de Partículas Depositadas por m<sup>2</sup> (TPD/m<sup>2</sup>).

El objetivo es determinar las condiciones de floculación adecuada que permita la máxima claridad del líquido y máximas densidades en la descarga con el mínimo de dosificación que permita seleccionar las condiciones de alimentación para la operación del espesador.

Determinadas las condiciones de alimentación sigue una serie de ratios de tratamiento para determinar la máxima carga posible bajo condiciones óptimas de floculación en términos de TPD/m<sup>2</sup> (Tamaño de Partículas Depositadas por m<sup>2</sup>).

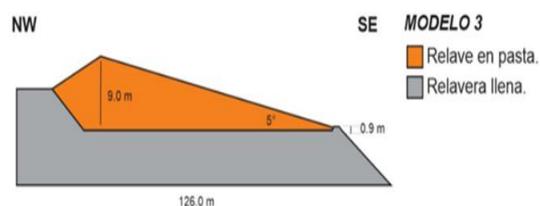
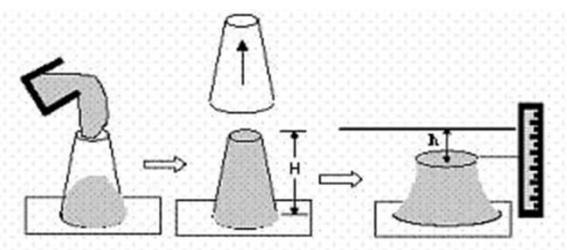
Durante estas series, se mantiene constante el nivel de sólidos y se monitorea la densidad del Underflow, manteniendo el balance alimentación descarga.

Muestras del rebose, descarga y alimentación fueron tomadas con la mayor frecuencia posible para determinar cualquier variación en las características de la alimentación que puedan afectar la floculación y en consecuencia la claridad del rebose y espesamiento. Típicamente, cambios en la distribución granulométrica, tipo de mineral y pH, han tenido un gran impacto en la definición del tipo de relave.

La probabilidad de la hipótesis específica referida a lograr resultados de monitoreo del talud de la relavera antigua, ha quedado ratificada con los resultados del Laboratorio Geotécnico del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) – Anexo 5 de la presente Tesis.

Con esta información, queda también definido el comportamiento estable del talud de la relavera antigua (infraestructura base para el recrecimiento vertical), frente a fenómenos naturales o fallas humanas de control del depósito; dejando descartado los trabajos de reforzamiento del talud de Relavera 2007, con material de préstamo.

La información del CISMID, arriba mencionada, ha permitido también el Cálculo del ángulo de reposo del relave utilizado, por el procedimiento del ensayo de abatimiento (Normativa Brasileña ABNT-NBR NM 67); y ha definido también, el punto correcto de descarga, para el recrecimiento vertical, aseQUIblemente, logrando el cálculo de volumen favorable en la nueva vida útil de la relavera.



Como hemos visto, el análisis inferencial y contrastación de hipótesis, es la última etapa del proceso de investigación, todas las anteriores, comprendidas en la descripción del trabajo de campo, concurren hacia la realización de este importante desarrollo temático.

Es más, el análisis de la investigación, está orientado a:

- ✓ Indicar si existen variaciones entre los sujetos del grupo:

En nuestro caso los sujetos del grupo, son los diversos depósitos de relave, tanto relaveras polimetálicas, como relaveras de Oro; cuyo tipo y magnitud de “Crecida de Presa”, luego del “Dique de Arranque”, son diametralmente opuestos, como ya se comentó líneas arriba.

Mientras que la **relavera polimetálica**, tiene su crecida de presa aguas abajo con el propio relave seleccionado por un Ciclón, su condición, posiblemente, ya no es recomendable para recrecer una vez concluida su vida útil (convirtiéndose en un tema de investigación).

La **relavera de oro**, desde el dique de arranque, compacta el talud cada 30 cm horizontalmente, con regado permanente, utilizando una Compactadora de 20 Toneladas, respetando los ángulos de reposo

externo e interno del talud, con relación H: V (2: 1 externo y 1: 1 interno respectivamente), como se ha explicado líneas arriba (punto anterior).

Para dar fortaleza y seguridad en el recrecimiento por descarga de relave en pasta, a partir de la plataforma de corona, la recrecida es aguas arriba, mejor dicho, hacia el interior de la presa de relaves, aprovechando la condición del ángulo mínimo de reposo ( $5^\circ$ ), que ofrece el relave en pasta depositado.

- ✓ Describir las diferencias existentes comparando dos grupos de individuos. Una de las diferencias técnico-físicas, para el recrecimiento vertical de relaveras, es el tipo de material a depositarse en la presa; el relave convencional saturado (A: S = 1: 1), agua y sólidos uno a uno; versus el relave en pasta (A: S = 0.1: 0.9), agua un décimo y sólidos nueve décimos.

#### **4.2.2.1 Prueba de hipótesis**

La hipótesis general e hipótesis específica que plantean la solución a la falta de volumen de un depósito de relaves, cuya vida útil, está a escasos 10% final, es aprobada, gracias al experimento de hipótesis, como procedimiento basado en la evidencia de muestras y teoría de la probabilidad que, ha sido practicado, para la estructuración de la presente Tesis.

La solución del incremento de la vida útil de una relavera, en forma práctica ya se tiene comprobado y con buenos resultados operativos y ambientales; en la "Relavera 2007" de la Planta ANDES de Minera AUREX S. A.; Planta de Tratamiento de Mineral de Oro.

#### **4.2.2.2 Objetivo de la Prueba de Hipótesis:**

El objetivo de la prueba de hipótesis, no es cuestionar el valor calculado del estadístico (muestral); sino, es hacer un juicio con respecto a la diferencia entre estadístico de muestra y un valor planteado del parámetro.

### **4.3 Discusión de resultados**

En función al objetivo general, los resultados del estudio de investigación fueron 100% óptimos; debido a que, se ha logrado evaluar, definir y elegir el tipo de relave. En este caso, es el RELAVE EN PASTA que, definitivamente, permite un mejor recrecimiento vertical de relaves y el control de sus impactos ambientales negativos; por su óptima densidad ( $1.6 \text{ g/cm}^3$ ) que permite un excelente ángulo de reposo ( $5^\circ$  sobre la horizontal); y, el tiempo de secado

parametrado dentro de las 20 horas de haber sido descargado el relave en pasta.

En cuanto a los resultados, en función a los objetivos específicos, se ha logrado calcular la densidad apropiada del relave (arriba mencionada), en base a resultados de laboratorio, cuyas muestras fueron obtenidas en los estudios de geomecánica.

Para la descarga del relave en pasta con la mencionada densidad, se prepara el material en la Planta de Secado por Cono Profundo, tal como se ve en la Figura 9 (vista líneas más abajo).

Un óptimo resultado, gracias a la actividad de monitorear la correcta construcción de la relavera antigua, se ha logrado con los resultados del grado de inclinación del talud estándar de la relavera ( $V: H = 1: 2$  exterior; y  $V: H = 1: 1$  interior), que asegura su comportamiento frente a posibles roturas por efectos naturales o errores humanos, para un mejor control de impactos ambientales negativos.

Como se menciona en el primer párrafo del presente numeral 4.1. (Resultados), se ha definido el ángulo de reposo del relave ( $5^\circ$  sobre la horizontal), a ser utilizado en el recrecimiento vertical, a partir del correcto punto de descarga (detallado en la Figura 3: Arriba; y el Anexo 07 – Modelo 3- de la presente tesis); que nos permitirá calcular el volumen del nuevo depósito en recrecimiento vertical.

En esta parte de la tesis, discusión de los resultados, es meritorio destacar que los óptimos efectos del recrecimiento vertical de relaveras, se ha dado en depósitos de relaves de Oro; más no así en relaveras polimetálicas.

Estas últimas requieren de una investigación más exhaustiva que asegure la estabilidad del talud de la relavera antigua; en cuya área, se construirá la nueva infraestructura de recrecimiento con relave en pasta.

Recordemos que, luego del dique de arranque, la relavera polimetálica, requiere de un Ciclón selector de granulometría para el talud; en el cual, no se realizan trabajos de compactación cada 30 cm, como se hace en la construcción de la presa para relaves de Oro, construido con grava limosa con arena, conglomerado y arcilla que, garantizan una estabilidad a los esfuerzos de corte, tracción, compresión y cizallamiento.

Históricamente, la necesidad del requerimiento vertical de una relavera, surge en las inspecciones de campo que el autor de la investigación, realizó a diferentes relaveras; en su condición de Jefe del Programa de Seguridad e Higiene Minera; la Figura 6, muestra las relaveras de la Minera Atacocha que, ha reforzado el talud de sus relaveras, con muros de concreto armado. En esas nuevas condiciones, si se pueden realizar trabajos de recrecimiento vertical.



**Figura 6.** Muestra el recrecimiento vertical de la Relavera Atacocha, polimetálica, utilizando la Técnica de Concreto Armado. No es tema de la presente Tesis.

**Fuente: trabajo de investigación**

En las condiciones mostradas en la **Figura 6**, la Plataforma de Corona, área superior al costado del muro de concreto, es un área de excelentes condiciones para que la relavera, pueda recrecer verticalmente, utilizando los aires y sin necesidad de seguir creando impactos ambientales negativos, por tiempos no menores de 3 a 4 años.

La siguiente, es la toma de otra visita inspectiva de prevención que, nos da una explicación, de la inspiración que ha llevado al autor de la Tesis, plantear el Recrecimiento Vertical de Relaveras; en esta figura, por ejemplo, se muestra una serie de áreas en forma de Andenes que, muy bien, se podía aprovechar para disponer relave en pasta; sin embargo no es recomendable por ser un depósito de relaves polimetálicos; cuyo talud es posiblemente vulnerable a crear impactos ambientales negativos, por ruptura del talud; mejor dicho, es motivo de investigación específica.



**Figura 7.** Muestra la remediación ambiental que Centromín Perú, hizo en las Relaveras de su Unidad de Producción Casapalca. No recomendable recrecimiento vertical; a no ser, utilizando Relave en Pasta.

**Fuente:** trabajo de investigación

Al igual que las anteriores, la Figura 8, muestra una imagen de otra inspección preventiva de las áreas de Plataforma de Corona de una relavera; en este caso es la de la Relavera 2007 de Minera AUREX S. A.; que cuenta con más de 2 relaveras utilizables y disponibles para lograr un Recrecimiento Vertical; una de ellas (Relavera 2000), está cumpliendo el proceso de Plan de Cierre; mientras que la “Relavera 2007”, está en Plan de Cierre Progresivo.

Este hecho fue un importante motivo, para materializar el planteamiento como Tesis de Investigación, el Recrecimiento Vertical utilizando relave en pasta y su Control de Impactos Ambientales Negativos.



**Figura 8.** Muestra los trabajos de Remediación Ambiental con revegetación en el Talud Exterior de la Relavera 2007 de la Planta Andes de AUREX S. A.

Ventaja de trabajar recrecimiento vertical, por descarga de relave en pasta, con la remediación ambiental en paralelo.

**Fuente: trabajo de investigación**



**Figura 9.** Muestra al Investigador, explicando en forma práctica, el recrecimiento vertical de la “Relavera 2007” por descarga de relave en pasta, producto de la generación de pasta en la Planta de Secado por Cono Profundo (Cilindro al fondo).

**Fuente: trabajo de investigación**

Pasado los años, luego de muchas visitas a diferentes relaveras del país, se ha recomendado utilizar relave en pasta en Minera AUREX S. A., quienes decidieron construir la Planta de Secado de Relaves por Cono Profundo. Aquí se ubicó el Área de Corona de la Relavera 2007 de la Planta Andes de la antes mencionada empresa Minera, para disponer Relave en Pasta para el Recrecimiento Vertical de dicha Relavera.



**Figura 10.** Muestra la “Relavera A” de la Minera SOTRAMI S. A. (otra posible relavera para recrecimiento vertical), donde se puede apreciar Área de Corona del Depósito de Relaves, a escasos 10% de su vida útil.

**Fuente: Trabajo de investigación**

El autor de la presente tesis, recomendó realizar Recrecimiento Vertical utilizando Relave en Pasta; la Relavera 2007 de la Planta Andes, Empresa AUREX S. A., lo ha discutido y aprobado para su ejecución. Actualmente se viene trabajando cumpliendo los detalles de ingeniería y la puesta en marca de la Planta de Espesador de Cono Profundo.



**Figura 11.** Muestra al Investigador, realizando en forma práctica, el Procedimiento de la Normativa Brasileña ABNT–NBR NM 67 (1998)

**Fuente: trabajo de investigación**

Este procedimiento técnico, a partir de la densidad del relave, decide la disposición del relave en pasta, en función al CONO que se muestra en la

siguiente figura que decide la inclinación de disposición máximo  $5^\circ$  sobre la horizontal.



**Figura 12.** Muestra la calidad de Pasta que permitirá calcular el % de abatimiento

**Fuente: trabajo de investigación**

El investigador, autor de la presente tesis, en la Figura 12, logra los objetivos preestablecidos sobre el abatimiento y comportamiento del relave en pasta, cuyo ángulo de reposo es de  $5^\circ$  sobre la horizontal.

Con este experimento, se asegura la eliminación de impactos ambientales negativos y el incremento de volumen por recrecimiento vertical.



**Figura 13.** Muestra el proceso de medida para lograr la altura de abatimiento

**Fuente: Trabajo de investigación**

Esta figura que ayuda la altura que se logrará en el comportamiento piramidal del relave en pasta, en micro. Este hecho se refleja en el Campo, sobre el

Área de Coronado de la Relavera Antigua, donde se dispondrá el Relave en Pasta.



**Figura 14.** Muestra el comportamiento de la pasta descargada, luego de 20 horas de disposición, también se ve el comportamiento de dicha pasta con sometimiento de carga; y no sufre alteraciones en su pendiente o ángulo de reposo:  $9\% = 5^\circ$  sobre la horizontal.

**Fuente:** Trabajo de investigación

A esta prueba de resistencia y secamiento del relave en pasta, el autor de la tesis, le llama prueba de rigor; debido a que es la que define el tiempo de secado y que tipo de carga puede superar, alcanzando el 9% de inclinación que significa el  $5^\circ$  sobre la horizontal.



**Figura 15.** Profesional de la Consultora COMPUMET EIRL, realizando el “Ensayo de Canaleta de KWAK”

**Fuente:** Trabajo de investigación

La mejor forma de lograr la velocidad de disposición del relave en pasta es con el ensayo de Canaleta de Kwak; en la Figura 14, se ve al Ingeniero Steven Salinas, Asistente del Tesista, realizando la prueba de velocidad de disposición del relave; que también define la inclinación o grado de inclinación de la disposición.

#### **4.4 Aporte de la investigación**

El principal aporte de la presente investigación, es la **GENERACIÓN DE UN NUEVO MÉTODO DE DISPOSICIÓN DE RELAVES, DENOMINADO RECRECIMIENTO VERTICAL DE UNA RELAVERA CUYA VIDA ÚTIL A LLEGADO A COLMATAR EL 100% DE SU CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO.**

Esta investigación es considerada un estudio inédito, inspirado por el Tesista, a raíz del requerimiento de áreas nuevas para la construcción de depósitos de relaves y cómo controlar los negativos impactos ambientales; permitiendo de este modo, mitigar dichos impactos ambientales, propios de la cimentación de nuevas relaveras.

Lo novedoso del tema, es que, la Tesis ha logrado la utilización de plataforma de corona de relaveras antiguas; cuyas áreas servirán para el mencionado recrecimiento vertical; asegurando la continuidad de las operaciones mineras y/o la compra de mineral de cabeza, para afirmar las operaciones de la planta de tratamiento de Oro.

Si bien es cierto que este tipo de recrecimiento, se recomienda ejecutar en relaveras de Oro; se deja la opción de realizar estudios de investigación para recrecer sobre plataformas de corona de relaveras Polimetálicas; un buen camino sería reforzar el talud de estas últimas con muros de concreto armado; como lo hizo la Minera Atacocha S. A., en sus relaveras de Chicrín, Aurora y otras de su propiedad, dejando la opción favorable de recrecimiento vertical. Otro aporte que queda definido, es que se ha reducido costos de diseño, construcción y localización de nuevas áreas para depósito de relave nuevos, evitando mayores impactos ambientales negativos.

## CONCLUSIONES

1. Se concluye que, el cálculo de la densidad apropiada (1.6 g/cm<sup>3</sup>), para el recrecimiento vertical de la Relavera 2007 de Minera AUREX S. A., ha definido la elección de Relave en Pasta que, descargado a un tercio de la longitud de la base, utilizando caballetes sucesivos de 1.80 m verticalmente, hasta alcanzar los 9.00 m de altura, ha logrado un ángulo de reposo de 5° sobre la horizontal; permitiendo un comportamiento geomecánico seguro de disposición de dicho relave en pasta y una vida útil del depósito de relaves de 2.7 años adicionales.
2. Se arriba que, los resultados de laboratorio, referente al monitoreo del talud, de la Relavera 2007 de Minera AUREX S. A., indican que el Factor de Seguridad es Mayor a 1 (FS > 1); ratificando el comportamiento estable de dicho talud, frente a fenómenos naturales o fallas humanas de control del depósito; sin necesidad de realizar trabajos de reforzamiento del talud, con material de préstamo.
3. Se confirma la conclusión número uno, referente al ángulo de reposo del relave en pasta, logrado en los exámenes de campo, por el procedimiento del ensayo de abatimiento (Normativa Brasileña ABNT-NBR NM 67); que, sumado al tiempo de secado de 20 horas, asegura la estabilidad de la disposición del relave en pasta, asegurando el control de impactos ambientales negativos.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que, para utilizar relave en pasta en el recrecimiento vertical de relaveras de Oro, se trabaje con densidades de 1.6 g/cm<sup>3</sup>, descargado en un punto ubicado a un tercio de la longitud de la base (hipotenusa de un triángulo rectángulo); cuya altura, representan cinco caballetes sucesivos de 1.80 m, hasta alcanzar los 9.00 m; con el cual se logra un ángulo de reposo de 5° sobre la horizontal; permitiendo un comportamiento seguro de disposición y una vida útil del depósito, calculado en base al área de corona de la antigua relavera, sobre la cual se recrece.
2. Se aconseja tener siempre presente los resultados de laboratorio, referente al monitoreo del talud de la antigua relavera sobre la cual se está recreciendo; procurando mantener el Factor de Seguridad Mayor a 1 (FS > 1); ratificando el comportamiento estable de dicho talud, frente a fenómenos naturales o fallas humanas de control del depósito; sin necesidad de realizar trabajos de reforzamiento del talud antiguo.
3. Se exhorta realizar, previamente, los correspondientes exámenes de campo, por el procedimiento del ensayo de abatimiento (Normativa Brasileña ABNT-NBR NM 67); que, sumado al tiempo de secado de 20 horas, aseguren la estabilidad de la disposición del relave en pasta; y permitan el control de impactos ambientales negativos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abraao. (1987). Mining Science and Technology-Wang: Basic Conception of Tailings Dams Projet. London.
2. Andes Asociados (2014). *Ingeniería de Detalle para el Crecimiento del Depósito de Relaves Chuspic*. Perú.
3. American Psychological Association (APA), (2019). El marco metodológico de la tesis ¿Cómo elaborarlo? Recuperado de <http://normasapa.net/marco-metodologico-tesis/>
4. Aznar Acosta, J. (2010). La Unidad de los Minerales y su Obtención. Consejería de Educación y Universidades. Canarias. España.
5. Cabrejos Salinas, J. A. (2011). Estudio de Pre factibilidad para la Recuperación de Agua a Partir de Relaves de Gran Minería de Cobre Mediante la Tecnología de Relaves Espesados (Tesis para optar el Título de Ingeniero Metalurgista: Universidad Nacional de Ingeniería: UNI). Lima. Perú.
6. Carnero, L. (1995). Accidentes por infiltración ocurrida en depósitos de relaves. Lima. Perú.
7. Crippen Berger, K. (2017). *Best Practices for Tailings Dam Design*. British Columbia. Canadá.
8. Cruz, A. (2017). *Lima en Peligro de una Hecatombe. Grave Problema de los Relaves de Tamboraque*. Lima. Perú.
9. Cuenca, L. (7 de mayo de 2015). Revista Futuro Renovable. Entrevistas a Lucio Cuenca y Andrei Tchernitchin sobre los Peligros de los Relaves Mineros. Chile.
10. Dávila Ordoñez, N. R., Paitán Quispe, A., (2014). *Estudio de los Parámetros de Operación de Espesador de Pasta para Disposición de Relaves en la UM Cerro Lindo Milpo*. Perú.
11. De La Cruz Fernández, S. E. (2017). *Evaluación del Fallo de Presas de Relaves con el Método del Árbol de Fallos*. Madrid. España
12. Decreto Supremo 040-2014-EM, de 5 de noviembre, Reglamento de Protección y Gestión Ambiental. Ministerio de Energía y Minas. Diario Oficial El Peruano, 1163198-1, de 12 de noviembre de 2014, pp. 537419 a 537448. Recuperado de <https://diariooficial.elperuano.pe/Normas>. La

cita en el texto: Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero.

13. Diario Perú 21 (2015). *Sismo de magnitud 7.6 escala de Richter que, se percibió al Sur-oeste de Ucayali*. Información del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Lima.
14. Díaz Álvarez, C. E. (2015). *Diseño de Presas de Relaves. Seguridad y Ambiente*. Perú.
15. García, G. S. (2010). Presidenta del Consejo Directivo del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), declara sobre el Accidente Ambiental por Rotura de Relavera el 25 de junio de 2010, en Huancavelica.
16. Grenier, E., Rogers, M. F. (2019). *Falla de la Presa de Relaves de Brumadinho en Brasil*. Brasil
17. Haddad, E. (2014). *Prevenção, preparação e resposta rápida a emergências químicas no Estado de São Paulo*. Brasil.
18. Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., Baptista Lucio, P. (2015). *Metodología de la Investigación*. México.
19. Jara Carrera, G. (2017) *¿Qué es y para qué sirve AutoCAD Civil 3D?* Lima. Perú.
20. Lara Montani, J. L. (2015). *Casos Históricos de Presas de Relaves de Aguas Arriba Falladas*. Perú.
21. Lavin, A. (2015). *La Observación*. España.
22. León Benavides, J. (2017). *Relaves Mineros: Optimizando la Gestión para una Industria Ecoamigable*. Rumbo Minero. Lima. Perú.
23. Lozada, J. (2014). *Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria*. Ecuador.
24. Luque Poma, G., Rosado Seminario, M. (2014). Zonas Críticas por Peligros Geológicos en la Región Lima. Perú.
25. McLeod, H., Bjelkevik, A. (2017). *Tailings Dam Design: Technology Update*. Praga, Republica Checa.
26. Medina Janampa, H. (2015). *Estudio Geotécnico Ambiental de Estabilización de Taludes en la Presa de Relaves La Esperanza de la Mina*

- San Vicente* (Tesis para optar el Grado Académico de Maestro)  
Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión: UNDAC. Perú.
27. Medina Janampa, H. (2019). *Compendio Legislativo Minero-ambiental peruano*. Lima. Perú.
  28. Moreno Fernández, I. (2016). Estado actual de los Relaves en Chile. Chile.
  29. Pérez Hernández, P. J. (2016). *Materias primas y la minería*. España.
  30. Pinto Herrera, H. (2010). Desastre ecológico y ambiental en Huancavelica (Proyecto de Investigación presentado a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos). Lima. Perú.
  31. Quisca Astocahuana, I. (2018). *Modelamiento Numérico 3D de una Presa de Gran Altura con Almacenamiento de Relaves*. Perú
  32. Ramos, A. (2012). Estadística Aplicada a la Investigación. UNEFM. Santa Ana de Coro. Venezuela.
  33. Ramos Galván, C. (2015). *Prueba de Hipótesis*. Universidad Tecnológica de Torreón. México.
  34. Rennat, E., Miller, S. (1997). *Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Depósitos de Desechos Sólidos de Mina*. Lima. Perú 1997.
  35. Rojas Linares, E. L. (2015). *Diseño de Presas de Relave*. Perú.
  36. Romero Ríos, D. (2012). Estudio Hidrológico e Hidrogeológico del Depósito de Relaves. Lima. Perú.
  37. Sacasas, C., Pereira G. J., Fernández, H. M. (2016). *Modelación de la aptitud ingeniero-geológica de los suelos*. (Minería y Geología, vol. 32, núm. 2, abril-junio). Cuba.
  38. Valencia López, V. E. (2015). *Revisión Documental en el Proceso de Investigación*. Colombia.
  39. Zuquete, L. V., Gandolfi, N. (2004). *Floresta Ombrófila Mista Aluvial (Margem do Rio)*. Brasil.

## WEBGRAFÍA

### – Página web

- Google Earth. Nueva Perspectiva (15 de mayo de 2019). Recuperado de <https://www.google.com/intl/es/earth/>
- Google Eart. Para localizar Rancas, donde se ubica la “Relavera 2007” (20 de mayo de 2019). Recuperado de [https://satellites.pro/Mapa del Mundo#-10.705937,-76.308337,17](https://satellites.pro/Mapa_del_Mundo#-10.705937,-76.308337,17)
- Guía para el Cálculo del Tamaño Óptimo de la Muestra (1 de junio de 2018). Recuperado de <https://es.slideshare.net/maule/guia-tamao-de-la-muestra>
- Prueba de Hipótesis Sobre la Desviación Estándar de una Población (7 de junio de 2018). Recuperado de <https://youtu.be/YGef8hSWhUo>
- Validación de Hipótesis Estadística (14 de junio de 2018). Recuperado de <https://youtu.be/tCLeJCuBSZM>

# **ANEXOS**

## ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN
<p><b>Problema General</b></p> <p>¿En que medida el uso de relave en pasta permite un mejor recrecimiento vertical del depósito de relaves y el control de sus impactos ambientales negativos?</p>	<p><b>Objetivo General</b></p> <p>Evaluar el uso de relave en pasta que permita un mejor recrecimiento vertical de relaves y el control de sus impactos ambientales negativos.</p>	<p><b>Hipótesis General</b></p> <p>Evaluando el uso de relave en pasta es posible que nos permita un mejor recrecimiento vertical de relaves y un mejor control de sus impactos ambientales negativos</p>	<p><b>Variable Independiente</b></p> <p>Recrecimiento vertical para relave en pasta</p>	<p>Volumen del deposito</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Área (m2): Inicio</li> <li>• Infraestructura Crecimiento vertical.</li> <li>• Cantidad de relave producido.</li> <li>• Superficie superior - corona de la presa de relaves.</li> <li>• Densidad del Relave en Pasta = 1,6 g/cm3; disposición superior hacia aguas abajo.</li> </ul>	<p><b>Tipo de investigación:</b> Investigación aplicada.</p> <p><b>Nivel de investigación:</b> Descriptivo – Correlacional</p>
<p><b>Problemas Específico</b></p> <p>¿Cómo influye en el volumen del depósito de relaves en recrecimiento vertical, con la disposición de relaves en pasta para mitigar los impactos ambientales?</p> <p>¿En qué medida el estudio para el manejo geotécnico y de resistencia de materiales influye en el recrecimiento vertical de un depósito de relave sin vida útil?</p> <p>¿Cuál será la eficiencia del recrecimiento vertical para disposición final del relave en pasta en la mitigación del impacto ambiental?</p>	<p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p>Calcular el volumen del depósito de relaves, con la disposición de relaves en pasta en el recrecimiento vertical para la mitigación del impacto ambiental.</p> <p>Analizar la influencia del estudio para el manejo geotécnico y de resistencia de materiales en el recrecimiento vertical de un depósito de relave en pasta</p> <p>Evaluar la eficiencia del recrecimiento vertical en la disposición final del relave en pasta</p>	<p><b>Hipótesis Específicas</b></p> <p>Calculando eficientemente el volumen del depósito de relaves con la disposición de relaves en pasta en el recrecimiento vertical, es posible el aprovechamiento de las áreas y la mitigación de los impactos ambientales negativos. Analizando el estudio para el manejo geotécnico y de resistencia de materiales en el recrecimiento vertical de un depósito de relave en pasta, es posible aprovechar las relaveras y mitigar el impacto ambiental negativo.</p> <p>Evaluando la eficiencia del recrecimiento vertical en la disposición final del relave en pasta, es posible la mitigación del impacto ambiental negativo.</p>	<p><b>Variable Dependiente</b></p> <p>Mitigacion del impacto ambiental negativo en el recrecimiento vertical</p>	<p>Estudio geotécnico</p> <p>Eficiencia</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis de suelos.</li> <li>• Análisis del material de préstamo para la construcción de la Presa.</li> <li>• Resistencia del Talud de la Presa: Resistencia a la Tracción, Compresión y Cizallamiento.</li> <li>• Aprovechamiento de áreas ya utilizadas por la relavera sin vida útil.</li> <li>• Mitigación de los impactos ambientales negativos.</li> </ul>	<p><b>Diseño Metodológico de la investigación:</b> Descriptivo, transversal, correlacional.</p>

**ANEXO 02****UBICACIÓN DE LA PLANTA AUREX S. A.**

**UBICACIÓN DE “RELAVERA 2007”  
EMPRESA AUREX S. A.**

**PLANTA : ANDES**  
**COMUNIDAD : YURAJHUANCA**  
**DISTRITO : SIMÓN BOLIVAR**  
**PROVINCIA : CERRO DE PASCO**  
**DEPARTAMENTO : PASCO**  
**REGIÓN : PASCO**

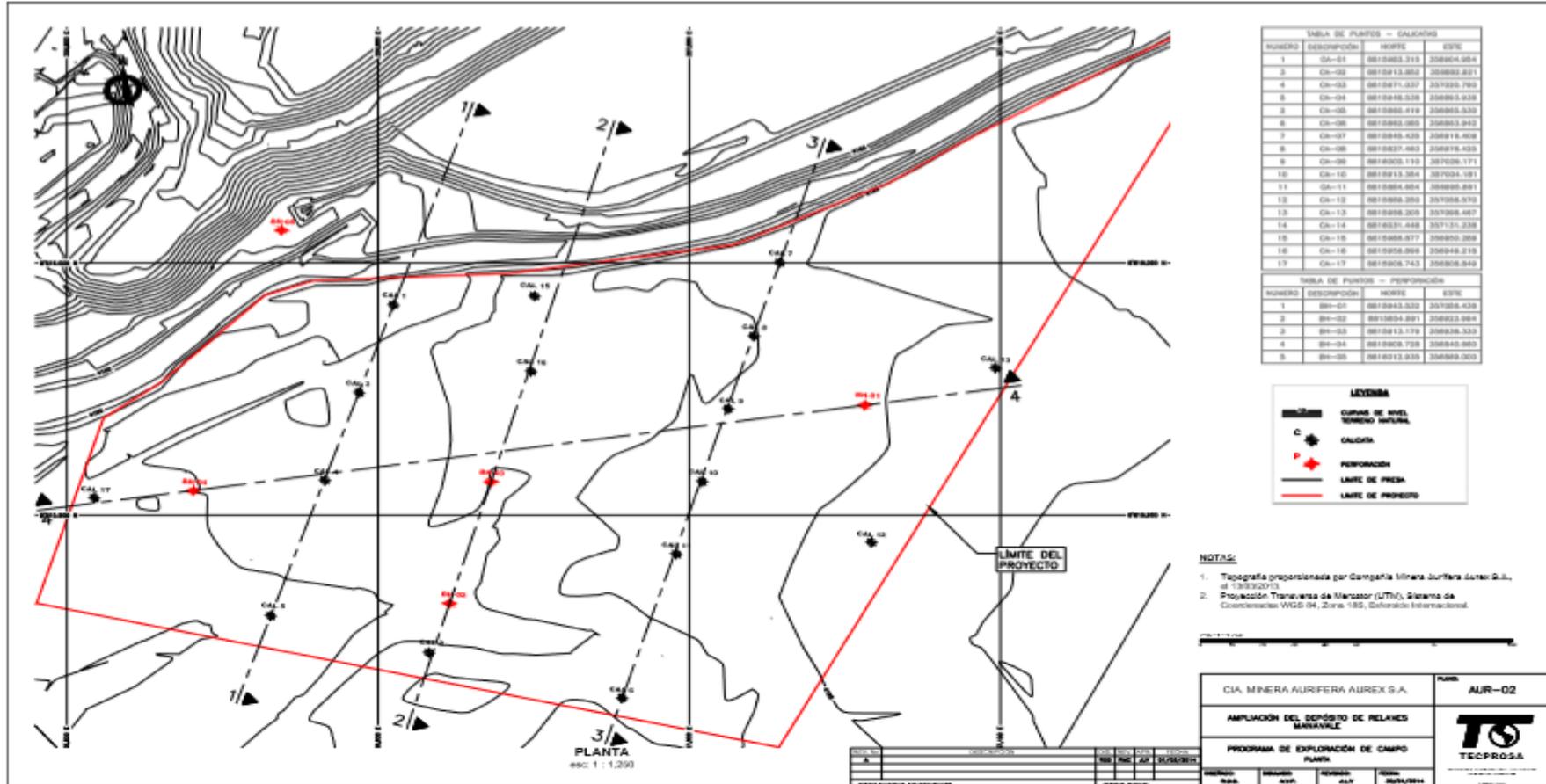




## ANEXO 03

### CALICATAS PARA PROPORCIONAR LA INFORMACIÓN

### CALICATAS PARA PROPORCIONAR INFORMACIÓN PARA LA TOMA DE DECISIONES GEOMECÁNICAS



## ANEXO 04

### MODELO 3D Y VISTA SATELITAL

MODELAMIENTO NUMÉRICO 3D E IMÁGENES SATELITALES DE UNA PRESA CON ALMACENAMIENTO DE RELAVES.

SE MUESTRAN LAS IMÁGENES SATELITALES DE “RELAVERA A” Y “RELAVERA 2007” PROYECTOS DE RECRECIMIENTO VERTICAL

Actualmente, se dispone de numerosos modelos numéricos y softwares desarrollados y disponibles para el modelamiento y simulación de la rotura de las presas de almacenamiento de agua.

Sin embargo, estas herramientas ingenieriles son limitadas a determinados tipos de presas de tierra y enrocado de composición simple (presas de cuerpos de materiales sueltos homogéneos o presas de materiales sueltos con núcleo central impermeable) como son los depósitos de relave.

En el caso del modelamiento y simulación numérica de la rotura de las presas de relaves, **Quisca, Ismael (2018)**, el proceso físico de la rotura de una presa de relaves es aún más complejo que el proceso de rotura de una presa de almacenamiento de agua.

De hecho, autores como Blight (1997); Jeyapalan et al. (1983); Rico et al. (2007, 2008) y Clemente et al. (2013), reportan sobre la carencia de metodologías y programas computacionales específicos para el modelamiento de la rotura para los diferentes tipos de presas de relaves, confirman la necesidad de realizar investigaciones sobre el tema.

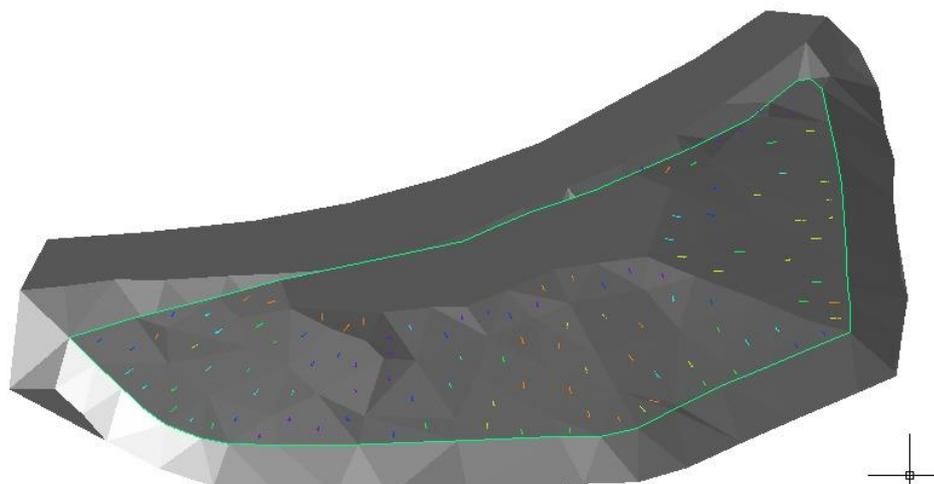
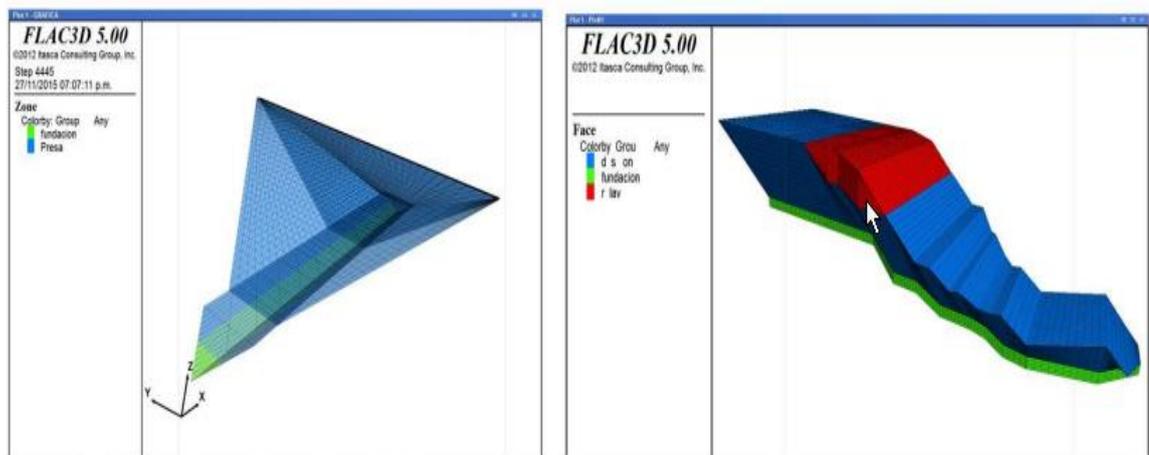


IMAGEN 3D

MODELAMIENTO DE RECREDIMIENTO VERTICAL DE UNA RELAVERA

**Medina, Hugo (2018)**, el cuerpo de la presa (fundación del cuerpo de recrecimiento vertical de relavera), es de enrocado con material aluvial; y, el material del depósito de relaves es producto del tratamiento metalúrgico de Oro, tradicional o relave en pasta (deshumedecido) – en los (2) dos proyectos de recrecimiento vertical: Relavera A y Relavera 2007; cuyos valores de parámetros de resistencia son mayores con respecto a los parámetros de los relaves convencionales de tratamiento Polimetálico. Para determinar el volumen de materiales del cuerpo de la presa y del volumen de relaves que se desprendería de la hipotética rotura de la presa, considerando la acción sísmica, se estableció el modelo geotécnico de la presa, relaves y fundación, a fin de construir el modelo numérico tridimensional con el software FLAC3D-3D.

Para el siguiente modelamiento, el **Ing. Dr. Samuel Ismael Quisca Astocahuana**, consideró un modelo de Mor para el cuerpo de la presa y el modelo elástico para la fundación (cimiento o dique de arranque) de la presa. Los parámetros geotécnicos utilizados en el cuerpo de la presa fueron: Densidad 1700, módulo de rigidez al corte (shear elastic modulus)  $G$  de 108, módulo volumétrico elástico (elastic bulk modulus)  $K$  de  $2 \times 108$ . En la fundación de presa: Densidad 2100,  $G$  de  $5 \times 108$  y  $K$  de  $1 \times 108$ . La aceleración sísmica horizontal utilizada fue de 0.22g. Figura 20 y 21



En la figura 20 superior izquierda, se observa la Discretización del dominio computacional de la presa del depósito de relave deshumedecido. Discretización del dominio computacional total del depósito de desmonte de mina y del relave filtrado, figura 21 lateral derecha.

**IMÁGENES SATELITALES CON LINEAMIENTOS O SERIE DE DETALLES QUE PERMITEN SER CORROBORADOS EN CAMPO**



**IMAGEN GOOGLE EARTH N°1 – ACTUALIZADO AL 29 DE MARZO DE 2017. Muestra la Relavera A de SOTRAMI S. A., en Vista Airbus Imagen 2018 CNES, con detalles que Ayudan al Investigador y/o al Ingeniero de Planeamiento, definir un determinado Diseño**



**IMAGEN GOOGLE EARTH N°2 – ACTUALIZADO AL 21 DE JULIO DE 2017. Muestra la Relavera 2007 de AUREX S. A., en Vista Airbus Imagen 2018 CNES, con detalles. Ayudan al Investigador y/o al Ingeniero de Planeamiento, definir un determinado Diseño**

**Para el modelamiento y cálculo del volumen** en la construcción de la infraestructura del recrecimiento vertical de “Relavera A” y “Relavera 2007”, se hace uso de diversas herramientas computacionales, a partir de coordenadas topográficas. Como primer paso, es la configuración de nuestro programa con los estándares utilizados en la obtención de datos, UTM WGS84 18S.

En primer lugar, dado que ya existe el depósito de relaves, como fundación, se han analizado al detalle y aprobado los estudios previamente existentes; tales como los levantamientos topográficos, estudios geotécnicos, geológicos, geofísicos, hidrológicos y sísmicos. Para el modelamiento, se toma como base la información antes mencionada, creando de esta forma una “base de datos” que, nuestro software utilizará como apoyo dentro de sus cálculos.

Para crear los datos de la superficie del depósito proyectado para recrecer, se toman los mismos puntos UTM de la relavera original que, servirá de fundación o base; y, se varía la cota, obteniéndose de esta manera una capa superior que, se ubicará a cierta altura de la base existente.

Con estas dos capas obtenidas, se realiza el cálculo del volumen, interpolando los datos de la capa inferior con la capa superior.

Este volumen hallado sería el volumen máximo que podría ser ocupado por el material vertido en el “Nuevo Depósito de Relaves Proyectado en el Recrecimiento Vertical del Depósito de Relaves”; este material, puede ser de diversa consistencia (relave convencional o relave en pasta), siendo el segundo más óptimo porque se aprovecha el comportamiento de este relave para acumularlo en forma de cono.

Los cálculos se realizan haciendo uso del software CivilCad, en este caso; muy similar al FLACT-3D; sin embargo, este último se utiliza para modelamientos de fallamiento o rotura de presa de relaves.

Los procedimientos descritos, los detallamos a continuación.

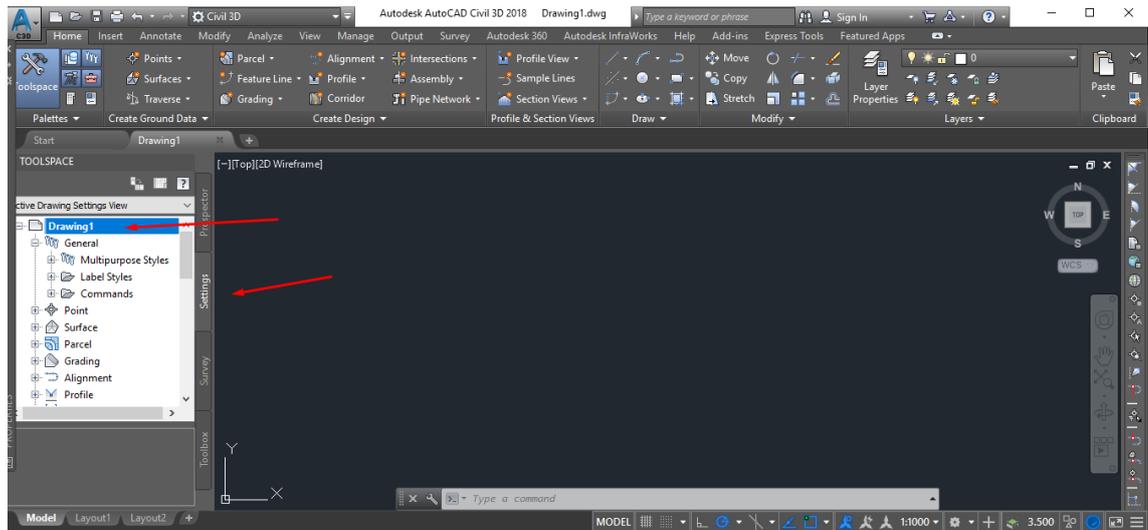
Keywords: KML, KMZ, UTM, WGS84, CSV, CIVILCAD, DATUM

## CÁLCULO Y PRESENTACIÓN DE UN DEPÓSITO DE RELAVES

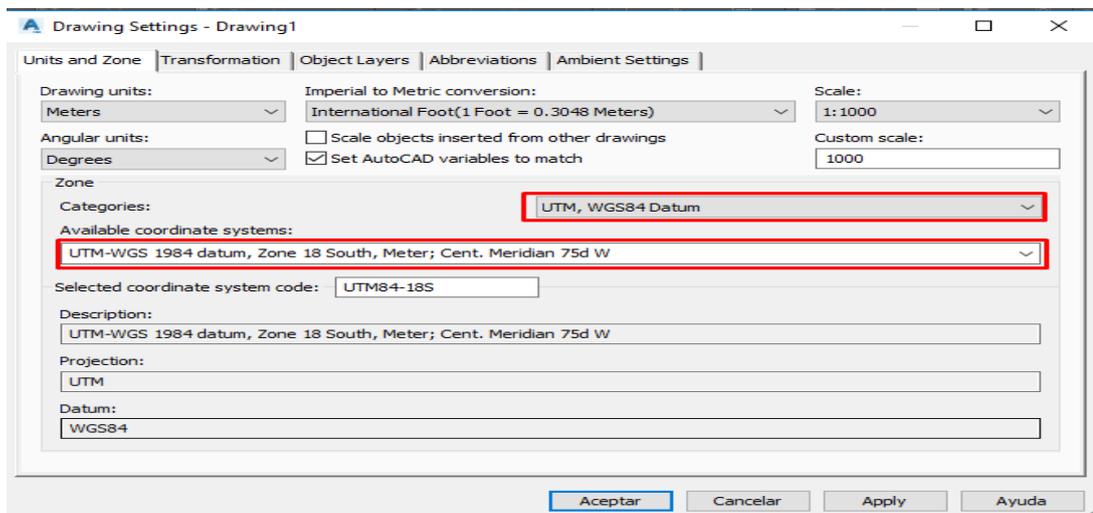
### CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE CIVILCAD:

Como primer paso que debemos realizar, para la utilización de las coordenadas obtenidas, como ya mencionamos líneas arriba, es la configuración de nuestro programa con los estándares utilizados en la obtención de datos; en nuestro caso, UTM WGS84 18S.

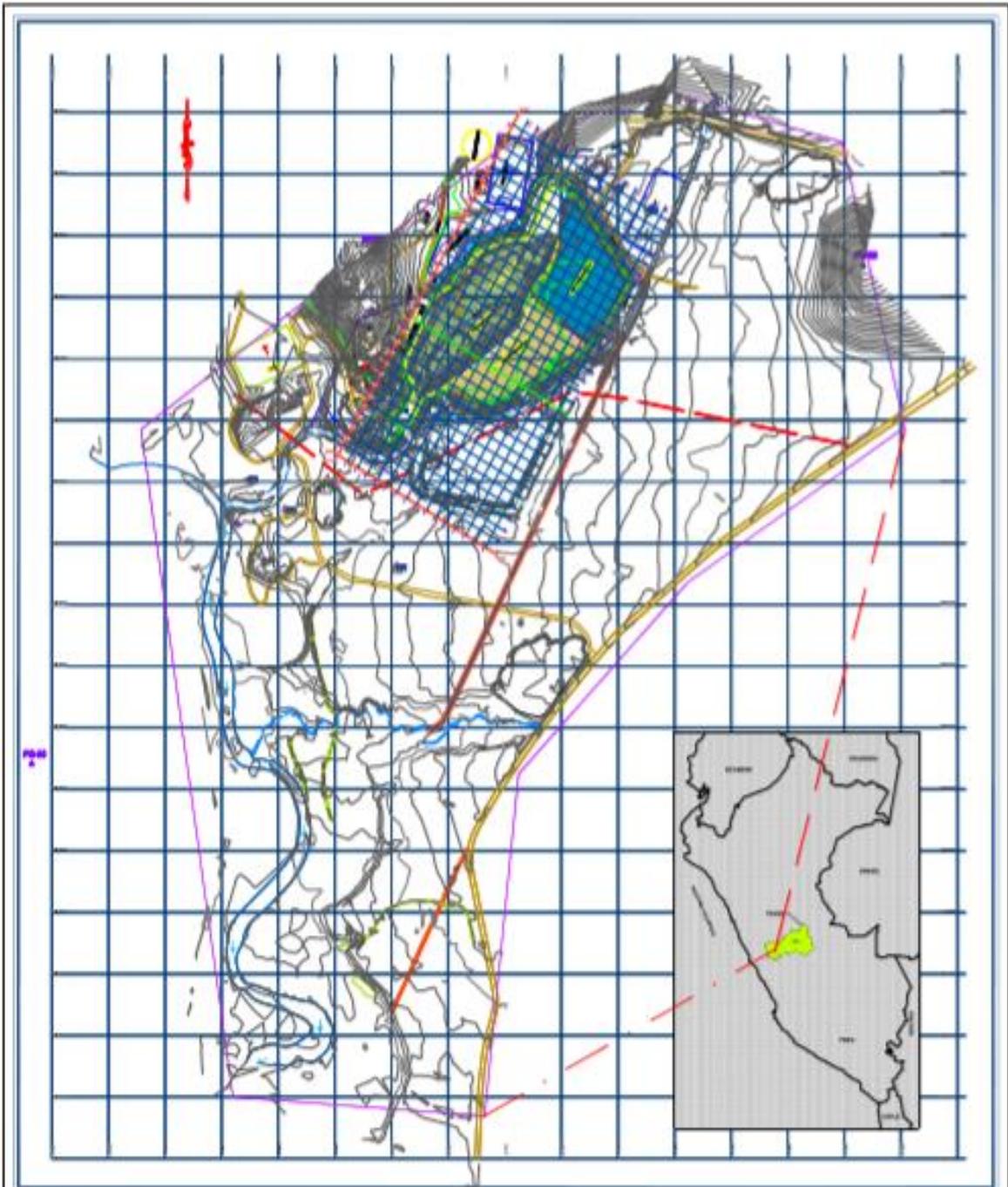
Esto se logra ingresando al menú “settings” que se encuentra en la ventana flotante de la parte izquierda de la pantalla principal.



En el menú Drawing1, hacer botón derecho y elegir “Edit Drawing Setting”, y arrojará la siguiente pantalla. Configurar con los datos de los recuadros en rojo. Seguir la indicación del Programa, hasta lograr los objetivos.



**ANEXO 05**  
**DETALLES DE LA PLANTA ANDES AUREX S.A.**  
**(PLANO P-1)**



<b>UBICACIÓN:</b> LIMA VALLECAJILLA DISTRITO: MARI BARRIO: EL PUEBLO PUNO DEPARTAMENTO PUNO	 <b>PLANTA ANDES - AUREX S.A.</b>	 <b>EMPRESA CONSULTORA                  COMPUMET E.I.R.L.</b>
	<b>PROYECTO:</b> SERVICIOS Y MANTENIMIENTO RECONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE ELABORACIÓN DE PASTA DE PULPERA	<b>CONTRATADO:</b> INGENIERO INGENIERO INGENIERO INGENIERO
<b>REVISADO POR:</b> INGENIERO INGENIERO INGENIERO INGENIERO	<b>PROYECTADO POR:</b> INGENIERO INGENIERO INGENIERO INGENIERO	<b>FECHA:</b> 15/05/2010 16/05/2010 17/05/2010 18/05/2010 19/05/2010 20/05/2010 21/05/2010 22/05/2010 23/05/2010 24/05/2010 25/05/2010 26/05/2010 27/05/2010 28/05/2010 29/05/2010 30/05/2010 31/05/2010 01/06/2010 02/06/2010 03/06/2010 04/06/2010 05/06/2010 06/06/2010 07/06/2010 08/06/2010 09/06/2010 10/06/2010 11/06/2010 12/06/2010 13/06/2010 14/06/2010 15/06/2010 16/06/2010 17/06/2010 18/06/2010 19/06/2010 20/06/2010 21/06/2010 22/06/2010 23/06/2010 24/06/2010 25/06/2010 26/06/2010 27/06/2010 28/06/2010 29/06/2010 30/06/2010 01/07/2010 02/07/2010 03/07/2010 04/07/2010 05/07/2010 06/07/2010 07/07/2010 08/07/2010 09/07/2010 10/07/2010 11/07/2010 12/07/2010 13/07/2010 14/07/2010 15/07/2010 16/07/2010 17/07/2010 18/07/2010 19/07/2010 20/07/2010 21/07/2010 22/07/2010 23/07/2010 24/07/2010 25/07/2010 26/07/2010 27/07/2010 28/07/2010 29/07/2010 30/07/2010 31/07/2010 01/08/2010 02/08/2010 03/08/2010 04/08/2010 05/08/2010 06/08/2010 07/08/2010 08/08/2010 09/08/2010 10/08/2010 11/08/2010 12/08/2010 13/08/2010 14/08/2010 15/08/2010 16/08/2010 17/08/2010 18/08/2010 19/08/2010 20/08/2010 21/08/2010 22/08/2010 23/08/2010 24/08/2010 25/08/2010 26/08/2010 27/08/2010 28/08/2010 29/08/2010 30/08/2010 31/08/2010 01/09/2010 02/09/2010 03/09/2010 04/09/2010 05/09/2010 06/09/2010 07/09/2010 08/09/2010 09/09/2010 10/09/2010 11/09/2010 12/09/2010 13/09/2010 14/09/2010 15/09/2010 16/09/2010 17/09/2010 18/09/2010 19/09/2010 20/09/2010 21/09/2010 22/09/2010 23/09/2010 24/09/2010 25/09/2010 26/09/2010 27/09/2010 28/09/2010 29/09/2010 30/09/2010 01/10/2010 02/10/2010 03/10/2010 04/10/2010 05/10/2010 06/10/2010 07/10/2010 08/10/2010 09/10/2010 10/10/2010 11/10/2010 12/10/2010 13/10/2010 14/10/2010 15/10/2010 16/10/2010 17/10/2010 18/10/2010 19/10/2010 20/10/2010 21/10/2010 22/10/2010 23/10/2010 24/10/2010 25/10/2010 26/10/2010 27/10/2010 28/10/2010 29/10/2010 30/10/2010 31/10/2010 01/11/2010 02/11/2010 03/11/2010 04/11/2010 05/11/2010 06/11/2010 07/11/2010 08/11/2010 09/11/2010 10/11/2010 11/11/2010 12/11/2010 13/11/2010 14/11/2010 15/11/2010 16/11/2010 17/11/2010 18/11/2010 19/11/2010 20/11/2010 21/11/2010 22/11/2010 23/11/2010 24/11/2010 25/11/2010 26/11/2010 27/11/2010 28/11/2010 29/11/2010 30/11/2010 01/12/2010 02/12/2010 03/12/2010 04/12/2010 05/12/2010 06/12/2010 07/12/2010 08/12/2010 09/12/2010 10/12/2010 11/12/2010 12/12/2010 13/12/2010 14/12/2010 15/12/2010 16/12/2010 17/12/2010 18/12/2010 19/12/2010 20/12/2010 21/12/2010 22/12/2010 23/12/2010 24/12/2010 25/12/2010 26/12/2010 27/12/2010 28/12/2010 29/12/2010 30/12/2010 31/12/2010

## ANEXO 06

## RESULTADOS DE LABORATORIO GEOSISMICO Y ESTUDIOS DE ESTABILIDAD FÍSICA Y GEOTÉCNICA (CISMID)



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES**  
**SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID**



### LABORATORIO GEOTÉCNICO

#### ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

(ASTM - D3080)

Informe : LG15-027  
 Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.  
 Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta de Beneficio Andes.

Fecha : diciembre, 2015.

Ubicación : CP. Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar de Rancas. Region Pasco.

Sondaje : ---  
 Muestra : M - 3A  
 Prof. (m) : ---  
 Estado : Remoldeado

Velocidad : 0.25 mm/min  
 AASHTO : A-1a (0)  
 SUCS : GC - GM / Grava arcillo limosa con arena  
 Hoja : 1 de 4

#### ESFUERZO NORMAL : 1 kg/cm<sup>2</sup>

##### Datos del espécimen

Diámetro : 6 cm  
 Altura : 2 cm

##### Contenido de humedad

Humedad : 0.7 %

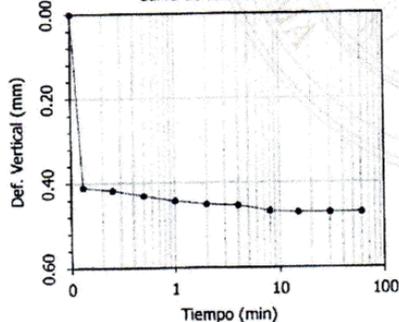
##### Aplicación del esfuerzo normal

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
0	0.000	20.000	2.010
0.13	0.410	19.590	2.052
0.25	0.417	19.583	2.053
0.5	0.430	19.570	2.054
1	0.442	19.558	2.056
2	0.450	19.550	2.056
4	0.453	19.547	2.057
8	0.467	19.533	2.058
15	0.470	19.530	2.059
30	0.470	19.530	2.059
60	0.470	19.530	2.059

##### Aplicación del esfuerzo cortante

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado
0.00	0.000	19.530	2.059	0.000	0.000
0.05	0.000	19.530	2.059	0.083	0.083
0.10	0.005	19.525	2.059	0.132	0.132
0.20	0.030	19.500	2.062	0.205	0.205
0.35	0.044	19.486	2.063	0.281	0.281
0.50	0.060	19.470	2.065	0.331	0.331
0.75	0.080	19.450	2.067	0.380	0.380
1.00	0.087	19.443	2.068	0.430	0.430
1.25	0.090	19.440	2.068	0.469	0.469
1.50	0.090	19.440	2.068	0.516	0.516
1.75	0.090	19.440	2.068	0.539	0.539
2.00	0.090	19.440	2.068	0.562	0.562
2.50	0.090	19.440	2.068	0.595	0.595
3.00	0.090	19.440	2.068	0.628	0.628
3.50	0.076	19.454	2.067	0.638	0.638
4.00	0.050	19.480	2.064	0.651	0.651
4.50	0.030	19.500	2.062	0.654	0.654
5.00	0.014	19.516	2.060	0.661	0.661
6.00	0.000	19.530	2.059	0.648	0.648
7.00	-0.005	19.535	2.058	0.638	0.638
8.00	-0.010	19.540	2.057	0.635	0.635
9.00	-0.020	19.550	2.056	0.628	0.628
10.00	-0.035	19.565	2.055	0.628	0.628
11.00	-0.035	19.565	2.055	0.628	0.628
12.00	-0.035	19.565	2.055	0.628	0.628

Curva de asentamiento



##### Observación :

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Material que pasa el tamiz N° 4, humedad = 0.7%, densidad seca = 2.01g/cm<sup>3</sup>. Los datos del remoldeo han sido obtenidos del ensayo peso volumétrico (datos del peso volumétrico: humedad = 0.7%; densidad húmeda = 2.02g/cm<sup>3</sup>). Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.

DAVID LUNA DURÁN





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID**



**LABORATORIO GEOTÉCNICO**

**ENSAYOS DE CORTE DIRECTO**

(ASTM - D3080)

Informe : LG15-027  
Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.  
Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta de Beneficio Andes.

Fecha : diciembre, 2015

Ubicación : CP. Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar de Rancas. Region Pasco.

Sondaje	---	Velocidad	: 0.25 mm/min
Muestra	M - 3A	AASHTO	: A-1a (0)
Prof. (m)	---	SUCS	: GC - GM / Grava arcillo limosa con arena
Estado	Remoldeado	Hoja	: 2 de 4

**ESFUERZO NORMAL : 2 kg/cm<sup>2</sup>**

**Datos del espécimen**

Diámetro : 6 cm  
Altura : 2 cm

**Contenido de humedad**

Humedad : 0.7 %

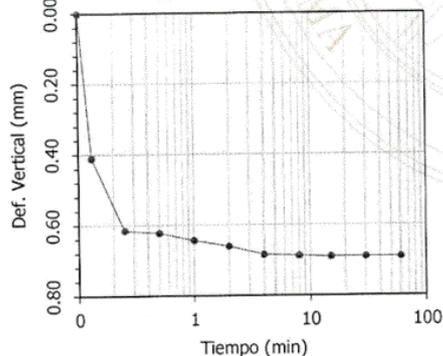
**Aplicación del esfuerzo normal**

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
0	0.000	20.000	2.010
0.13	0.410	19.590	2.052
0.25	0.615	19.385	2.074
0.5	0.622	19.378	2.075
1	0.643	19.357	2.077
2	0.660	19.340	2.079
4	0.684	19.316	2.081
8	0.687	19.313	2.082
15	0.690	19.310	2.082
30	0.690	19.310	2.082
60	0.690	19.310	2.082

**Aplicación del esfuerzo cortante**

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado
0.00	0.000	19.310	2.082	0.000	0.000
0.05	0.010	19.300	2.083	0.297	0.149
0.10	0.020	19.290	2.084	0.397	0.198
0.20	0.030	19.280	2.085	0.529	0.264
0.35	0.045	19.265	2.087	0.628	0.314
0.50	0.080	19.230	2.091	0.694	0.347
0.75	0.100	19.210	2.093	0.793	0.397
1.00	0.115	19.195	2.094	0.859	0.430
1.25	0.130	19.180	2.096	0.926	0.463
1.50	0.140	19.170	2.097	0.992	0.496
1.75	0.150	19.160	2.098	1.048	0.524
2.00	0.170	19.140	2.100	1.107	0.554
2.50	0.195	19.115	2.103	1.240	0.620
3.00	0.215	19.095	2.105	1.312	0.656
3.50	0.240	19.070	2.108	1.372	0.686
4.00	0.240	19.070	2.108	1.421	0.711
4.50	0.230	19.080	2.107	1.448	0.724
5.00	0.220	19.090	2.106	1.487	0.744
6.00	0.210	19.100	2.105	1.497	0.749
7.00	0.195	19.115	2.103	1.487	0.744
8.00	0.190	19.120	2.103	1.471	0.735
9.00	0.187	19.123	2.102	1.478	0.739
10.00	0.184	19.126	2.102	1.487	0.744
11.00	0.184	19.126	2.102	1.487	0.744
12.00	0.184	19.126	2.102	1.487	0.744

Curva de asentamiento



**Observación :**

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Material que pasa el tamiz N° 4, humedad = 0.7%, densidad seca = 2.01g/cm<sup>3</sup>. Los datos del remoldeo han sido obtenidos del ensayo peso volumétrico (datos del peso volumétrico: humedad = 0.7%; densidad húmeda = 2.02g/cm<sup>3</sup>). Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.

DAVID LUNA DURAN



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID**



**LABORATORIO GEOTÉCNICO**

**ENSAYOS DE CORTE DIRECTO**

(ASTM - D3080)

Informe : LG15-027  
Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.  
Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta de Beneficio Andes.

Fecha : diciembre, 2015

Ubicación : CP. Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar de Rancas. Region Pasco.

Sondaje	---	Velocidad	: 0.25 mm/min
Muestra	M - 3A	AASHTO	: A-1a (0)
Prof. (m)	---	SUCS	: GC - GM / Grava arcillo limosa con arena
Estado	Remoldeado	Hoja	: 3 de 4

**ESFUERZO NORMAL : 4 kg/cm<sup>2</sup>**

**Datos del espécimen**

Diámetro : 6 cm  
Altura : 2 cm

**Contenido de humedad**

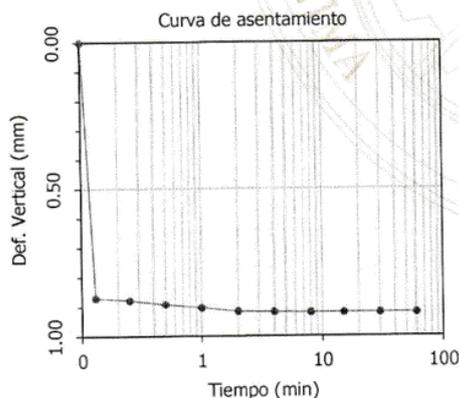
Humedad : 0.7 %

**Aplicación del esfuerzo normal**

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
0	0.000	20.000	2.010
0.13	0.870	19.130	2.102
0.25	0.878	19.122	2.102
0.5	0.892	19.108	2.104
1	0.903	19.097	2.105
2	0.916	19.084	2.107
4	0.918	19.082	2.107
8	0.920	19.080	2.107
15	0.920	19.080	2.107
30	0.920	19.080	2.107
60	0.920	19.080	2.107

**Aplicación del esfuerzo cortante**

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado
0.00	0.000	19.080	2.107	0.000	0.000
0.05	0.020	19.060	2.109	0.496	0.124
0.10	0.030	19.050	2.110	0.671	0.168
0.20	0.048	19.032	2.112	0.959	0.240
0.35	0.070	19.010	2.115	1.091	0.273
0.50	0.090	18.990	2.117	1.256	0.314
0.75	0.110	18.970	2.119	1.421	0.355
1.00	0.130	18.950	2.122	1.521	0.380
1.25	0.150	18.930	2.124	1.653	0.413
1.50	0.160	18.920	2.125	1.785	0.446
1.75	0.170	18.910	2.126	1.878	0.469
2.00	0.190	18.890	2.128	2.039	0.510
2.50	0.205	18.875	2.130	2.215	0.554
3.00	0.230	18.850	2.133	2.413	0.603
3.50	0.250	18.830	2.135	2.545	0.636
4.00	0.260	18.820	2.136	2.644	0.661
4.50	0.265	18.815	2.137	2.793	0.698
5.00	0.270	18.810	2.137	2.876	0.719
6.00	0.270	18.810	2.137	2.975	0.744
7.00	0.270	18.810	2.137	3.058	0.764
8.00	0.270	18.810	2.137	3.064	0.766
9.00	0.270	18.810	2.137	3.067	0.767
10.00	0.270	18.810	2.137	3.067	0.767
11.00	0.270	18.810	2.137	3.067	0.767
12.00	0.270	18.810	2.137	3.067	0.767



**Observación :**

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Material que pasa el tamiz N° 4, humedad = 0.7%, densidad seca = 2.01g/cm<sup>3</sup>. Los datos del remoldeo han sido obtenidos del ensayo peso volumétrico (datos del peso volumétrico: humedad = 0.7%; densidad húmeda = 2.02g/cm<sup>3</sup>). Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.

**DAVID LUNA DURÁN**  
 INGENIERO CIVIL - CIP 43988



AV. TÚPAC AMÁRU N° 1150 - LIMA 25 - PERÚ - Apartado Postal 31-250 Lima 31  
Teléfono (+51) 1 482-0804, (+51) 1 482-0777 - FAX: (+51) 1 481-0170

Correos: [labgeoc@uni.edu.pe](mailto:labgeoc@uni.edu.pe) / [director@uni.edu.pe](mailto:director@uni.edu.pe) - Web: <http://www.cismid-uni.org>

JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES**  
**SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID**



**LABORATORIO GEOTÉCNICO**

**ENSAYOS DE CORTE DIRECTO**

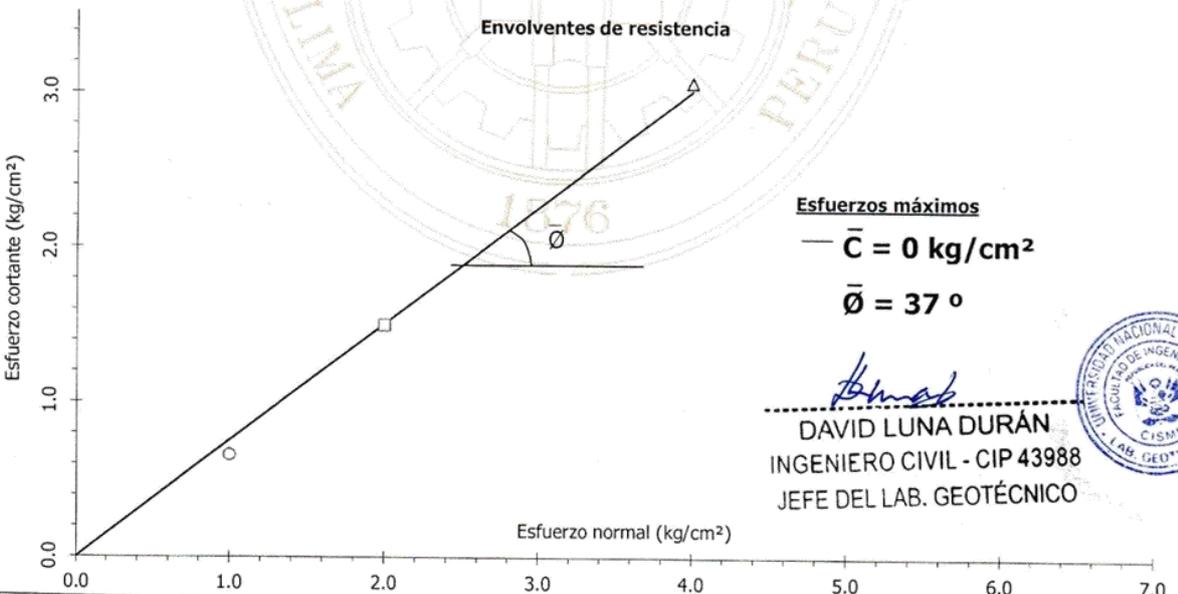
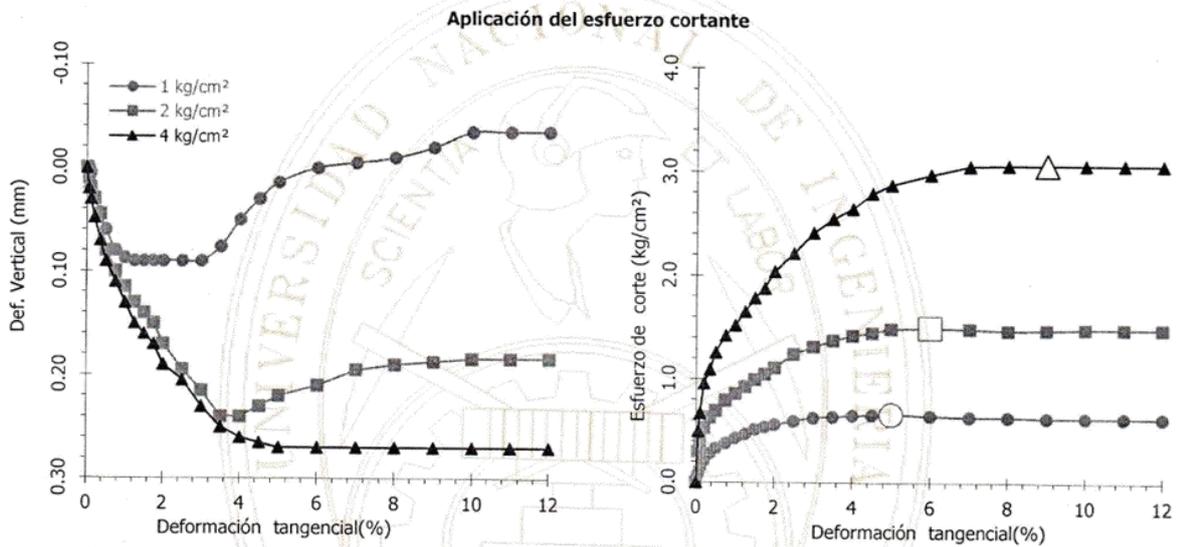
(ASTM - D3080)

Informe : LG15-027  
 Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.  
 Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta de Beneficio Andes.

Fecha : diciembre, 2015

Ubicación : CP. Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar de Rancas. Region Pasco.

Sondaje	---	Velocidad	: 0.25 mm/min
Muestra	M - 3A	AASHTO	: A-1a (0)
Prof. (m)	---	SUCS	: GC - GM / Grava arcillo limosa con arena
Estado	Remoldeado	Hoja	: 4 de 4



*David Luna Durán*  
 DAVID LUNA DURÁN  
 INGENIERO CIVIL - CIP 43988  
 JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID**



**LABORATORIO GEOTÉCNICO**

**ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FÍSICAS**

(ASTM - D2216; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe : LG15-027  
Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.  
Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta de Beneficio Andes.

Fecha : diciembre, 2015

Ubicación : CP. Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar de Rancas. Region Pasco.

Sondaje : ---  
Muestra : M - 3A  
Profundidad (m) : ---

Hoja : 1 de 1

Granulometría por tamizado - D422		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	100.0
1"	25.400	70.0
¾"	19.050	58.0
3/8"	9.525	43.0
Nº 4	4.750	36.7
Nº 10	2.000	32.6
Nº 20	0.850	29.4
Nº 40	0.425	23.9
Nº 60	0.250	19.7
Nº 140	0.106	13.9
Nº 200	0.075	12.6

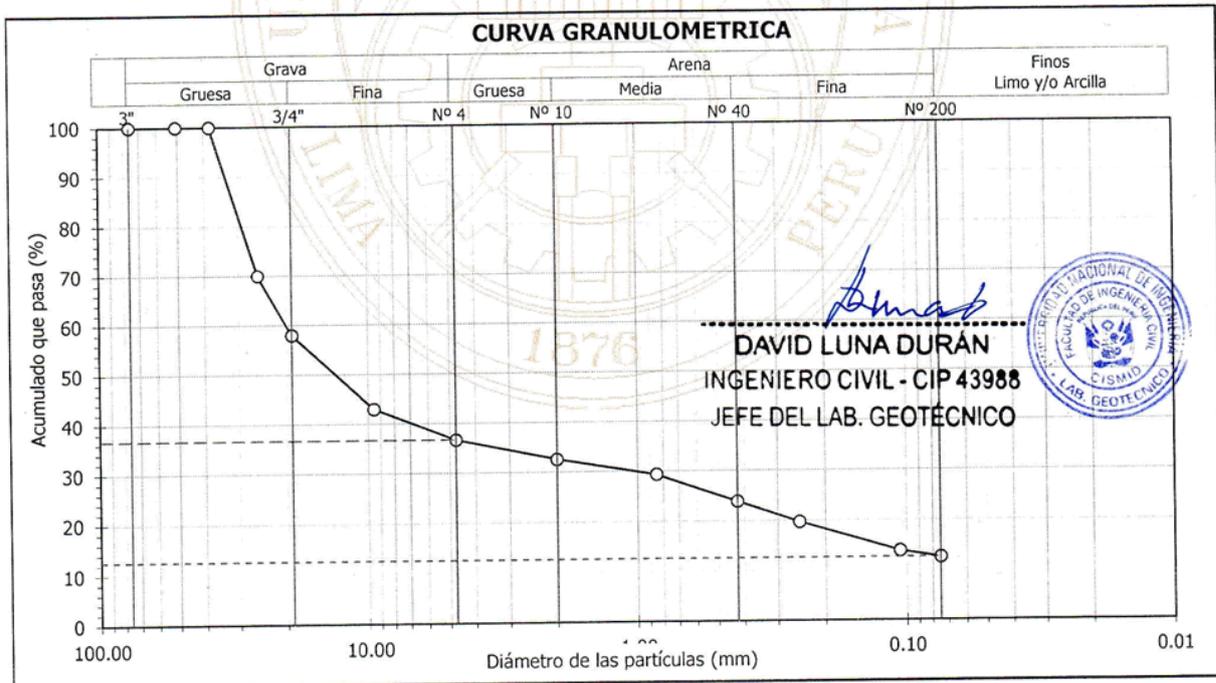
Contenido de humedad - D2216	(%)	0.7
Límite Líquido	(%)	21
Límite de consistencia	Límite Plástico D4318	(%) 15
	Índice de Plasticidad	(%) 6
	Límite de Contracción - D427	(%) ---
Resultados de granulometría por tamizado	Coefficiente de Uniformidad (Cu)	---
	Coefficiente de Curvatura (Cc)	---
	Grava [ Nº 4 < $\phi$ < 3" ]	(%) 63.3
	Arena [ Nº 200 < $\phi$ < Nº 4 ]	(%) 24.1
	Finos [ $\phi$ < Nº 200 ]	(%) 12.6

Clasificación - D3282 / D2487

AASHTO

SUCS

**A-1a (0) GC - GM Grava arcillo limosa con arena**





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES**  
**SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID**



**LABORATORIO GEOTÉCNICO**

**ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FÍSICAS**

(ASTM - D2216; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe : LG15-027  
 Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.  
 Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta de Beneficio Andes.

Fecha : diciembre, 2015

Ubicación : CP. Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar de Rancas. Region Pasco.

Sondaje : ---  
 Muestra : M - 4A  
 Profundidad (m) : ---

Hoja : 1 de 1

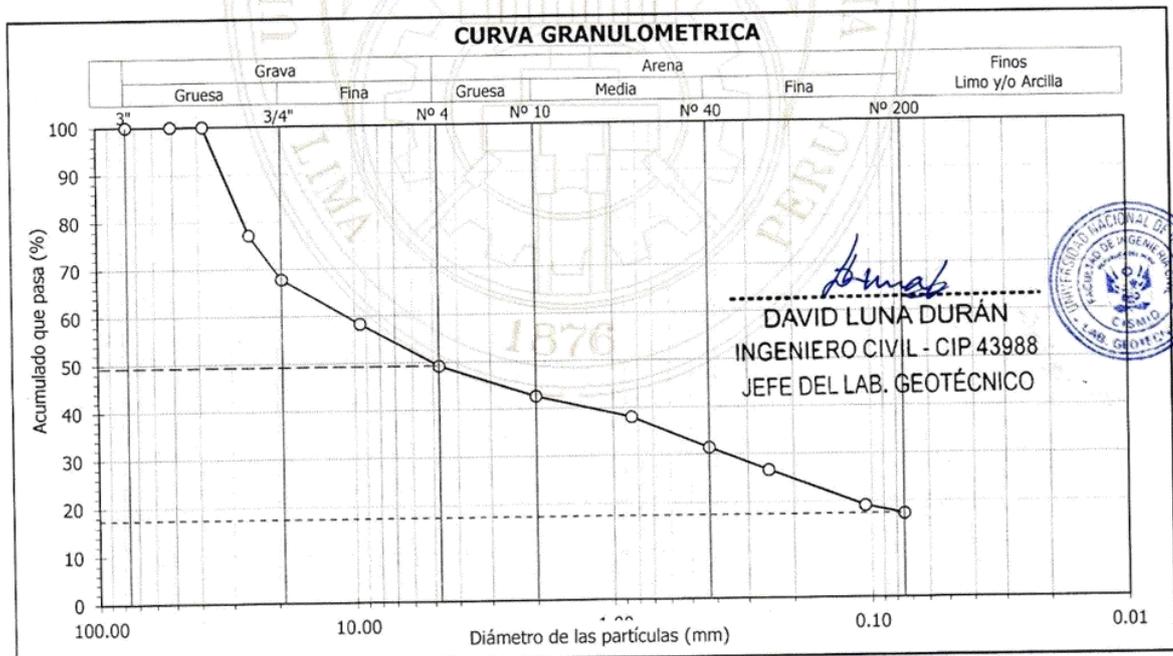
Granulometría por tamizado - D422		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	100.0
1"	25.400	77.2
¾"	19.050	67.8
3/8"	9.525	58.3
Nº 4	4.750	49.3
Nº 10	2.000	42.7
Nº 20	0.850	38.1
Nº 40	0.425	31.5
Nº 60	0.250	26.7
Nº 140	0.106	19.1
Nº 200	0.075	17.4

Contenido de humedad - D2216		(%)	1.4
Límites de consistencia	Límite Líquido	(%)	20
	Límite Plástico D4318	(%)	15
	Índice de Plasticidad	(%)	5
Resultados de granulometría por tamizado	Límite de Contracción - D427	(%)	---
	Coefficiente de Uniformidad (Cu)		---
	Coefficiente de Curvatura (Cc)		---
	Grava [ Nº 4 < $\phi$ < 3" ]	(%)	50.7
	Arena [ Nº 200 < $\phi$ < Nº 4 ]	(%)	31.9
Finos [ $\phi$ < Nº 200 ]	(%)	17.4	

Clasificación - D3282 / D2487

AASHTO SUCS

**A-1b (0) GC - GM Grava arcillo limosa con arena**



*David Luna Durán*  
**DAVID LUNA DURÁN**  
 INGENIERO CIVIL - CIP 43988  
 JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





**LABORATORIO GEOTÉCNICO**

**ENSAYOS DE CORTE DIRECTO**  
(ASTM - D3080)

Fecha : diciembre, 2015

Informe : LG15-027  
 Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.  
 Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta de Beneficio Andes.

Ubicación : CP. Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar de Rancas. Region Pasco.

Sondaje : ---  
 Muestra : M - 4A  
 Prof. (m) : ---  
 Estado : Remoldeado

Velocidad : 0.25 mm/min  
 AASHTO : A-1b (0)  
 SUCS : GC - GM / Grava arcillo limosa con arena  
 Hoja : 1 de 4

**ESFUERZO NORMAL : 1 kg/cm<sup>2</sup>**

**Datos del espécimen**

Diámetro : 6 cm  
 Altura : 2 cm

**Contenido de humedad**

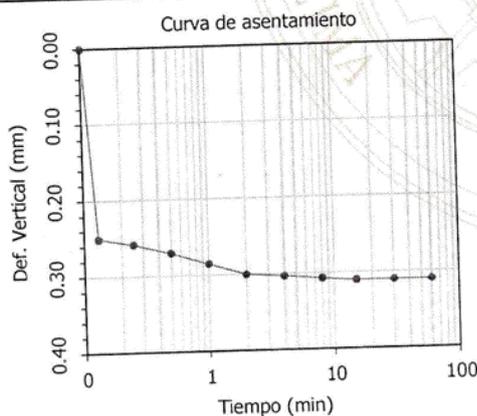
Humedad : 1.4 %

**Aplicación del esfuerzo normal**

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
0	0.000	20.000	2.030
0.13	0.250	19.750	2.056
0.25	0.258	19.742	2.057
0.5	0.270	19.730	2.058
1	0.285	19.715	2.059
2	0.300	19.700	2.061
4	0.303	19.697	2.061
8	0.307	19.693	2.062
15	0.310	19.690	2.062
30	0.310	19.690	2.062
60	0.310	19.690	2.062

**Aplicación del esfuerzo cortante**

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado
0.00	0.000	19.690	2.062	0.000	0.000
0.05	0.010	19.680	2.063	0.132	0.132
0.10	0.028	19.662	2.065	0.185	0.185
0.20	0.060	19.630	2.068	0.264	0.264
0.35	0.085	19.605	2.071	0.347	0.347
0.50	0.110	19.580	2.074	0.430	0.430
0.75	0.145	19.545	2.077	0.529	0.529
1.00	0.180	19.510	2.081	0.588	0.588
1.25	0.208	19.482	2.084	0.651	0.651
1.50	0.218	19.472	2.085	0.684	0.684
1.75	0.254	19.436	2.089	0.701	0.701
2.00	0.260	19.430	2.090	0.711	0.711
2.50	0.263	19.427	2.090	0.721	0.721
3.00	0.260	19.430	2.090	0.727	0.727
3.50	0.230	19.460	2.086	0.711	0.711
4.00	0.215	19.475	2.085	0.678	0.678
4.50	0.205	19.485	2.084	0.668	0.668
5.00	0.206	19.484	2.084	0.661	0.661
6.00	0.210	19.480	2.084	0.661	0.661
7.00	0.215	19.475	2.085	0.661	0.661
8.00	0.220	19.470	2.085	0.654	0.654
9.00	0.230	19.460	2.086	0.645	0.645
10.00	0.230	19.460	2.086	0.645	0.645
11.00	0.230	19.460	2.086	0.645	0.645
12.00	0.230	19.460	2.086	0.645	0.645



**Observación :**

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Material que pasa el tamiz N° 4, humedad = 1.4%, densidad seca = 2.03g/cm<sup>3</sup>. Los datos del remoldeo han sido obtenidos de la responsabilidad del solicitante. Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.

*David Luna Durán*  
**DAVID LUNA DURÁN**

INGENIERO CIVIL - CIP 43988  
 JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO



**LABORATORIO GEOTÉCNICO**

**ENSAYOS DE CORTE DIRECTO**

(ASTM - D3080)

Informe : LG15-027  
 Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.  
 Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta de Beneficio Andes.

Fecha : diciembre, 2015

Ubicación : CP. Yurajhuanca, Distrito Simon Bolivar de Rancas, Region Pasco.

Sondaje	---	Velocidad	: 0.25 mm/min
Muestra	M - 4A	AASHTO	: A-1b (0)
Prof. (m)	---	SUCS	: GC - GM / Grava arcillo limosa con arena
Estado	Remoldeado	Hoja	: 2 de 4

**ESFUERZO NORMAL : 2 kg/cm<sup>2</sup>**

**Datos del espécimen**

Diámetro : 6 cm  
 Altura : 2 cm

**Contenido de humedad**

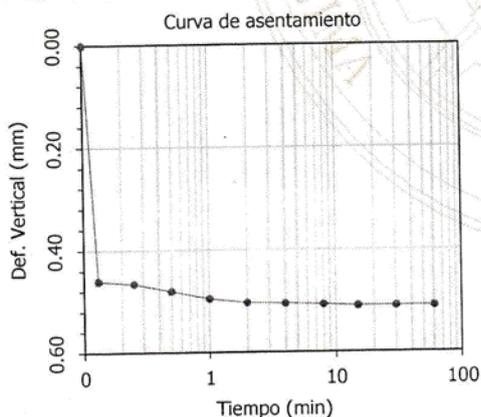
Humedad : 1.4 %

**Aplicación del esfuerzo normal**

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
0	0.000	20.000	2.030
0.13	0.460	19.540	2.078
0.25	0.465	19.535	2.078
0.5	0.480	19.520	2.080
1	0.495	19.505	2.082
2	0.503	19.497	2.082
4	0.505	19.495	2.083
8	0.507	19.493	2.083
15	0.510	19.490	2.083
30	0.510	19.490	2.083
60	0.510	19.490	2.083

**Aplicación del esfuerzo cortante**

Tiempo (min)	Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Esfuerzo	
	Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado
0	0.00	0.000	19.490	2.083	0.000	0.000
0.13	0.05	0.015	19.475	2.085	0.347	0.174
0.25	0.10	0.030	19.460	2.086	0.469	0.235
0.5	0.20	0.060	19.430	2.090	0.628	0.314
1	0.35	0.080	19.410	2.092	0.760	0.380
2	0.50	0.093	19.397	2.093	0.826	0.413
4	0.75	0.100	19.390	2.094	0.926	0.463
8	1.00	0.120	19.370	2.096	1.025	0.512
15	1.25	0.140	19.350	2.098	1.091	0.545
30	1.50	0.140	19.350	2.098	1.157	0.578
60	1.75	0.140	19.350	2.098	1.230	0.615
1.3	2.00	0.130	19.360	2.097	1.273	0.636
2.5	2.50	0.130	19.360	2.097	1.289	0.645
3.0	3.00	0.110	19.380	2.095	1.405	0.702
3.5	3.50	0.110	19.380	2.095	1.454	0.727
4.0	4.00	0.110	19.380	2.095	1.478	0.739
4.5	4.50	0.090	19.400	2.093	1.487	0.744
5.0	5.00	0.065	19.425	2.090	1.497	0.749
6.0	6.00	0.050	19.440	2.089	1.521	0.760
7.0	7.00	0.040	19.450	2.088	1.527	0.764
8.0	8.00	0.045	19.445	2.088	1.530	0.765
9.0	9.00	0.050	19.440	2.089	1.530	0.765
10.0	10.00	0.050	19.440	2.089	1.530	0.765
11.0	11.00	0.050	19.440	2.089	1.530	0.765
12.0	12.00	0.050	19.440	2.089	1.530	0.765



**Observación :**

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Material que pasa el tamiz N° 4, humedad = 1.4%, densidad seca = 2.03g/cm<sup>3</sup>; los datos del remoldeo han sido obtenidos del ensayo peso volumétrico (datos del peso volumétrico: humedad = 1.4%; densidad húmeda = 2.06g/cm<sup>3</sup>). Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.

DAVID LUNA DURÁN  
 INGENIERO CIVIL - CIP 43988



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID**



**LABORATORIO GEOTÉCNICO**

**ENSAYOS DE CORTE DIRECTO**

(ASTM - D3080)

Informe : LG15-027  
Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.  
Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta de Beneficio Andes.

Fecha : diciembre, 2015

Ubicación : CP. Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar de Rancas. Region Pasco.

Sondaje	---	Velocidad	: 0.25 mm/min
Muestra	M - 4A	AASHTO	: A-1b (0)
Prof. (m)	---	SUCS	: GC - GM / Grava arcillo limosa con arena
Estado	Remoldeado	Hoja	: 3 de 4

**ESFUERZO NORMAL : 4 kg/cm<sup>2</sup>**

**Datos del espécimen**

Diámetro : 6 cm  
Altura : 2 cm

**Contenido de humedad**

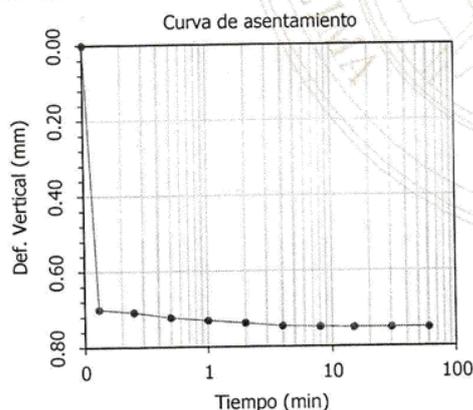
Humedad : 1.4 %

**Aplicación del esfuerzo normal**

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
0	0.000	20.000	2.030
0.13	0.700	19.300	2.104
0.25	0.708	19.292	2.105
0.5	0.722	19.278	2.106
1	0.730	19.270	2.107
2	0.737	19.263	2.108
4	0.746	19.254	2.109
8	0.748	19.252	2.109
15	0.750	19.250	2.109
30	0.750	19.250	2.109
60	0.750	19.250	2.109

**Aplicación del esfuerzo cortante**

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado
0.00	0.000	19.250	2.109	0.000	0.000
0.05	0.008	19.242	2.110	0.436	0.109
0.10	0.018	19.232	2.111	0.628	0.157
0.20	0.025	19.225	2.112	0.892	0.223
0.35	0.070	19.180	2.117	1.190	0.297
0.50	0.085	19.165	2.119	1.388	0.347
0.75	0.100	19.150	2.120	1.630	0.407
1.00	0.120	19.130	2.122	1.818	0.455
1.25	0.130	19.120	2.124	1.983	0.496
1.50	0.135	19.115	2.124	2.116	0.529
1.75	0.140	19.110	2.125	2.215	0.554
2.00	0.145	19.105	2.125	2.330	0.583
2.50	0.150	19.100	2.126	2.479	0.620
3.00	0.152	19.098	2.126	2.611	0.653
3.50	0.155	19.095	2.126	2.744	0.686
4.00	0.155	19.095	2.126	2.826	0.707
4.50	0.155	19.095	2.126	2.899	0.725
5.00	0.158	19.092	2.127	2.975	0.744
6.00	0.150	19.100	2.126	3.051	0.763
7.00	0.135	19.115	2.124	3.084	0.771
8.00	0.130	19.120	2.124	3.091	0.773
9.00	0.130	19.120	2.124	3.091	0.773
10.00	0.130	19.120	2.124	3.091	0.773
11.00	0.130	19.120	2.124	3.091	0.773
12.00	0.130	19.120	2.124	3.091	0.773



**Observación :**

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Material que pasa el tamiz N° 4, humedad = 1.4%, densidad seca = 2.03g/cm<sup>3</sup>, los datos del remoldeo han sido obtenidos del ensayo peso volumétrico (datos del peso volumétrico: humedad = 1.4%; densidad húmeda = 2.06g/cm<sup>3</sup>). Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.

DAVID LUNA DURAN

INGENIERO CIVIL - CIP 43988

JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID



LABORATORIO GEOTÉCNICO

ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

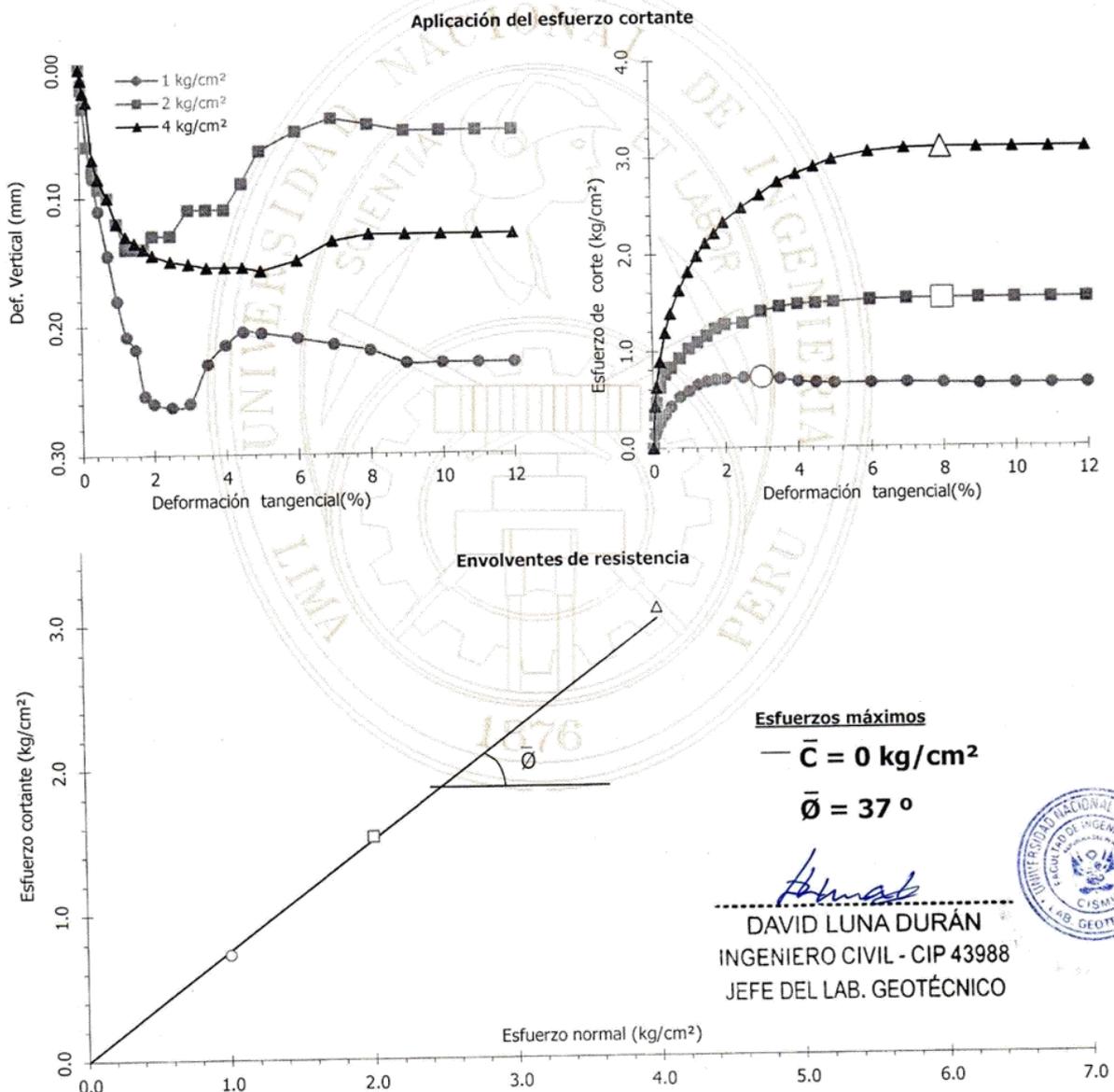
(ASTM - D3080)

Informe : LG15-027  
Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.  
Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta de Beneficio Andes.

Fecha : diciembre, 2015

Ubicación : CP. Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar de Rancas. Region Pasco.

Sondaje	---	Velocidad	: 0.25 mm/min
Muestra	M - 4A	AASHTO	: A-1b (0)
Prof. (m)	---	SUCS	: GC - GM / Grava arcillo limosa con arena
Estado	Remoldeado	Hoja	: 4 de 4





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID**



**LABORATORIO GEOTÉCNICO**

**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL**

Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N° : LG15-027  
Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.  
Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta de Beneficio Andes.

Fecha : diciembre, 2015

Ubicación : CP. Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar de Rancas. Region Pasco.

Sondaje : --- Hoja : 1 de 5  
Muestra : M - 4A AASHTO : A-1b (0)  
Profundidad (m) : --- SUCS : GC - GM // Grava arcillo limosa con arena  
Estado : Remoldeado Velocidad : 0.2 mm/min

**ESFUERZO AXIAL : 1 kg/cm<sup>2</sup>**

Presión de celda ( $\sigma_3$ ) : 2 kg/cm<sup>2</sup> Esfuerzo efectivo inicial ( $\bar{\sigma}_3$ ) : 1 kg/cm<sup>2</sup>  
Contra presión : 1 kg/cm<sup>2</sup> Parámetro "B" : 96 %

Etapa	Instalación del espécimen	Especimen consolidado	Final de la compresión
Diámetro (cm)	10.00	9.96	---
Altura (cm)	20.35	20.35	17.90
Humedad (%)	4.0	---	7.8
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.03	2.05	---

**Cuadro de detalle al aplicar el esfuerzo desviador**

Deformación (%)	Esf. Desv. (kg/cm <sup>2</sup> )	Presión Poros (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_3$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_1$ (kg/cm <sup>2</sup> )	p (kg/cm <sup>2</sup> )	q (kg/cm <sup>2</sup> )	q/p	Oblicuidad ( $\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$ )
0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.29	0.01	0.99	1.28	1.13	0.14	0.13	1.29
0.10	0.48	0.02	0.98	1.46	1.22	0.24	0.20	1.49
0.20	0.82	0.04	0.96	1.78	1.37	0.41	0.30	1.85
0.35	1.34	0.07	0.93	2.27	1.60	0.67	0.42	2.45
0.50	1.87	0.07	0.93	2.80	1.87	0.94	0.50	3.01
0.75	2.93	0.06	0.94	3.87	2.40	1.46	0.61	4.11
1.00	3.74	0.00	1.00	4.74	2.87	1.87	0.65	4.74
1.25	4.18	-0.07	1.07	5.25	3.16	2.09	0.66	4.90
1.50	4.27	-0.13	1.13	5.40	3.27	2.14	0.65	4.78
1.75	4.32	-0.18	1.18	5.50	3.34	2.16	0.65	4.66
2.00	4.32	-0.21	1.21	5.53	3.37	2.16	0.64	4.57
2.50	4.32	-0.28	1.28	5.60	3.44	2.16	0.63	4.38
3.00	4.32	-0.34	1.34	5.66	3.50	2.16	0.62	4.22
3.50	4.32	-0.37	1.37	5.69	3.53	2.16	0.61	4.15
4.00	4.32	-0.41	1.41	5.73	3.57	2.16	0.61	4.06
4.50	4.32	-0.44	1.44	5.76	3.60	2.16	0.60	4.00
5.00	4.32	-0.48	1.48	5.80	3.64	2.16	0.59	3.92
6.00	4.32	-0.53	1.53	5.85	3.69	2.16	0.59	3.82
7.00	4.37	-0.57	1.57	5.94	3.75	2.18	0.58	3.78
8.00	4.32	-0.61	1.61	5.93	3.77	2.16	0.57	3.68
9.00	4.32	-0.64	1.64	5.96	3.80	2.16	0.57	3.63
10.00	4.37	-0.66	1.66	6.03	3.84	2.18	0.57	3.63
11.00	4.37	-0.68	1.68	6.05	3.86	2.18	0.57	3.60
12.00	4.37	-0.70	1.70	6.07	3.88	2.18	0.56	3.57

**Observaciones :**

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Material menor de 3/4", mínima humedad remoldeable = 4.0% (humedad proporcionada = 1.44%), densidad seca = 2.03g/cm<sup>3</sup>, los datos de remoldeo han sido obtenidos del ensayo peso volumétrico (datos del peso volumétrico: humedad = 1.4%; densidad húmeda = 2.06g/cm<sup>3</sup>). Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.

AV. TÚPAC AMARU N° 1150 - LIMA 25 - PERÚ - Apartado Postal 31-250 Lima 31  
Teléfono (+51) 1 482-0804 , (+51) 1 482-0777 - FAX: (+51) 1 481-0170

Correos: [labgeoc@uni.edu.pe](mailto:labgeoc@uni.edu.pe) / [director@uni.edu.pe](mailto:director@uni.edu.pe) - Web: <http://www.cismid-uni.org>

DAVID LUNA DURÁN  
INGENIERO CIVIL - CIP 43988  
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO



120  
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES**  
**SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID**



**LABORATORIO GEOTÉCNICO**  
**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL**

Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N° : LG15-027  
 Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.  
 Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta de Beneficio Andes.

Fecha : diciembre, 2015

Ubicación : CP. Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar de Rancas. Region Pasco.

Sondaje : --- Hoja : 2 de 5  
 Muestra : M - 4A AASHTO : A-1b (0)  
 Profundidad (m) : --- SUCS : GC - GM // Grava arcillo limosa con arena  
 Estado : Remoldeado Velocidad : 0.2 mm/min

**ESFUERZO AXIAL : 2 kg/cm<sup>2</sup>**

Presión de celda ( $\sigma_3$ ) : 3 kg/cm<sup>2</sup> Esfuerzo efectivo inicial ( $\bar{\sigma}_3$ ) : 2 kg/cm<sup>2</sup>  
 Contra presión : 1 kg/cm<sup>2</sup> Parámetro "B" : 96 %

Etapa	Instalación del espécimen	Especimen consolidado	Final de la compresión
Diámetro (cm)	10.00	9.94	---
Altura (cm)	20.35	20.35	17.95
Humedad (%)	4.0	---	6.6
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.03	2.05	---

**Cuadro de detalle al aplicar el esfuerzo desviador**

Deformación (%)	Esf. Desv. (kg/cm <sup>2</sup> )	Presión Poros (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_3$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_1$ (kg/cm <sup>2</sup> )	p (kg/cm <sup>2</sup> )	q (kg/cm <sup>2</sup> )	q/p	Oblicuidad ( $\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$ )
0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	2.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.32	0.02	1.98	2.30	2.14	0.16	0.08	1.16
0.10	0.52	0.03	1.98	2.50	2.24	0.26	0.12	1.26
0.20	1.07	0.03	1.97	3.05	2.51	0.54	0.21	1.54
0.34	1.47	0.03	1.97	3.44	2.71	0.74	0.27	1.75
0.49	2.02	0.02	1.98	4.00	2.99	1.01	0.34	2.02
0.74	2.56	0.03	1.98	4.54	3.26	1.28	0.39	2.30
0.98	2.91	0.06	1.94	4.84	3.39	1.45	0.43	2.50
1.23	3.39	0.10	1.90	5.30	3.60	1.70	0.47	2.78
1.47	3.86	0.14	1.86	5.72	3.79	1.93	0.51	3.07
1.72	4.38	0.17	1.83	6.21	4.02	2.19	0.54	3.39
1.97	4.84	0.20	1.80	6.64	4.22	2.42	0.57	3.68
2.46	5.32	0.25	1.75	7.07	4.41	2.66	0.60	4.04
2.95	5.70	0.30	1.70	7.40	4.55	2.85	0.63	4.35
3.44	5.71	0.35	1.66	7.36	4.51	2.85	0.63	4.45
3.93	5.85	0.37	1.63	7.48	4.56	2.93	0.64	4.60
4.42	5.95	0.38	1.63	7.57	4.60	2.97	0.65	4.66
4.91	5.94	0.36	1.65	7.59	4.62	2.97	0.64	4.61
5.90	5.98	0.33	1.68	7.65	4.66	2.99	0.64	4.57
6.88	6.01	0.28	1.73	7.73	4.73	3.00	0.64	4.48
7.86	6.08	0.24	1.77	7.85	4.81	3.04	0.63	4.45
8.85	6.16	0.19	1.82	7.97	4.89	3.08	0.63	4.39
9.83	6.18	0.12	1.89	8.06	4.97	3.09	0.62	4.28
10.81	6.20	0.06	1.95	8.15	5.05	3.10	0.61	4.19
11.79	6.27	0.00	2.01	8.27	5.14	3.13	0.61	4.13

**Observaciones :**

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Material menor de 3/4", mínima humedad remoldeable = 4.0% (humedad proporcionada = 1.44%), densidad seca = 2.03g/cm<sup>3</sup>, los datos de remoldeo han sido obtenidos del ensayo peso volumétrico (datos del peso volumétrico: humedad = 1.4%; densidad húmeda = 2.06g/cm<sup>3</sup>). Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.

AV. TÚPAC AMARU N° 1150 - LIMA 25 - PERÚ - Apartado Postal 31-250 Lima 31  
 Teléfono (+51) 1 482-0804 , (+51) 1 482-0777 - FAX: (+51) 1 481-0170  
 Correos: [labgeoc@uni.edu.pe](mailto:labgeoc@uni.edu.pe) / [director@uni.edu.pe](mailto:director@uni.edu.pe) - Web: <http://www.cismid-uni.org>

*David Luna Durán*  
**DAVID LUNA DURÁN**  
 INGENIERO CIVIL - CIP 43988  
 JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





121  
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES**  
**SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID**



**LABORATORIO GEOTÉCNICO**  
**ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL**

Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N° : LG15-027  
 Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.  
 Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta Beneficio Andes.

Fecha : diciembre, 2015

Ubicación : CP. Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar de Rancas. Region Pasco.

Sondaje : --- Hoja : 3 de 5  
 Muestra : M - 4A AASHTO : A-1b (0)  
 Profundidad (m) : --- SUCS : GC - GM // Grava arcillo limosa con arena  
 Estado : Remoldeado Velocidad : 0.2 mm/min

**ESFUERZO AXIAL : 4 kg/cm<sup>2</sup>**

Presión de celda ( $\sigma_1$ ) : 5 kg/cm<sup>2</sup> Esfuerzo efectivo inicial ( $\bar{\sigma}_3$ ) : 4 kg/cm<sup>2</sup>  
 Contra presión : 1 kg/cm<sup>2</sup> Parámetro "B" : 97 %

Etapa	Instalación del espécimen	Especimen consolidado	Final de la compresión
Diámetro (cm)	10.00	9.91	---
Altura (cm)	20.35	20.35	17.95
Humedad (%)	4.0	---	5.4
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.03	2.07	---

**Cuadro de detalle al aplicar el esfuerzo desviador**

Deformación (%)	Esf. Desv. (kg/cm <sup>2</sup> )	Presión Poros (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_3$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_1$ (kg/cm <sup>2</sup> )	p (kg/cm <sup>2</sup> )	q (kg/cm <sup>2</sup> )	q/p	Oblicuidad ( $\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$ )
0.00	0.00	0.00	4.00	4.00	4.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.49	0.08	3.92	4.41	4.17	0.25	0.06	1.13
0.10	1.48	0.13	3.87	5.35	4.61	0.74	0.16	1.38
0.20	2.50	0.16	3.84	6.34	5.09	1.25	0.25	1.65
0.34	3.53	0.26	3.74	7.27	5.50	1.76	0.32	1.94
0.49	4.55	0.32	3.68	8.23	5.95	2.27	0.38	2.24
0.74	5.61	0.43	3.57	9.18	6.37	2.80	0.44	2.57
0.98	6.20	0.52	3.48	9.68	6.58	3.10	0.47	2.78
1.23	6.65	0.63	3.37	10.02	6.69	3.32	0.50	2.97
1.47	6.95	0.73	3.27	10.22	6.75	3.48	0.52	3.13
1.72	7.26	0.80	3.20	10.46	6.83	3.63	0.53	3.27
1.97	7.56	0.86	3.14	10.70	6.92	3.78	0.55	3.41
2.46	7.75	0.90	3.10	10.85	6.98	3.88	0.56	3.50
2.95	7.94	0.92	3.08	11.02	7.05	3.97	0.56	3.58
3.44	8.04	0.92	3.08	11.12	7.10	4.02	0.57	3.61
3.93	8.13	0.93	3.07	11.20	7.14	4.07	0.57	3.65
4.42	8.22	0.93	3.07	11.30	7.19	4.11	0.57	3.68
4.91	8.36	0.92	3.08	11.44	7.26	4.18	0.58	3.71
5.90	8.50	0.90	3.10	11.60	7.35	4.25	0.58	3.74
6.88	8.71	0.90	3.10	11.81	7.46	4.36	0.58	3.81
7.86	9.03	0.87	3.13	12.16	7.64	4.51	0.59	3.89
8.85	9.09	0.84	3.16	12.25	7.71	4.55	0.59	3.87
9.83	9.45	0.79	3.21	12.67	7.94	4.73	0.60	3.94
10.81	9.81	0.74	3.26	13.07	8.16	4.91	0.60	4.01
11.79	10.10	0.72	3.28	13.38	8.33	5.05	0.61	4.08

**Observaciones :**

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Material menor de 3/4", mínima humedad remoldeable = 4.0% (humedad proporcionada = 1.44%), densidad seca = 2.03g/cm<sup>3</sup>, los datos de remoldeo han sido obtenidos del ensayo peso volumétrico (datos del peso volumétrico: humedad = 1.4%; densidad húmeda = 2.06g/cm<sup>3</sup>). Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.

AV. TÚPAC AMARU N° 1150 - LIMA 25 - PERÚ - Apartado Postal 31-250 Lima 31 .....  
 Teléfono (+51) 1 482-0804, (+51) 1 482-0777 - FAX: (+51) 1 481-0170  
 Correos: [labgeoc@uni.edu.pe](mailto:labgeoc@uni.edu.pe) / [director@uni.edu.pe](mailto:director@uni.edu.pe) - Web: <http://www.cismid-uni.org>  
**DAVID LUNA DURÁN**  
 INGENIERO CIVIL - CIP 43988  
 JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID



## LABORATORIO GEOTÉCNICO

### ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

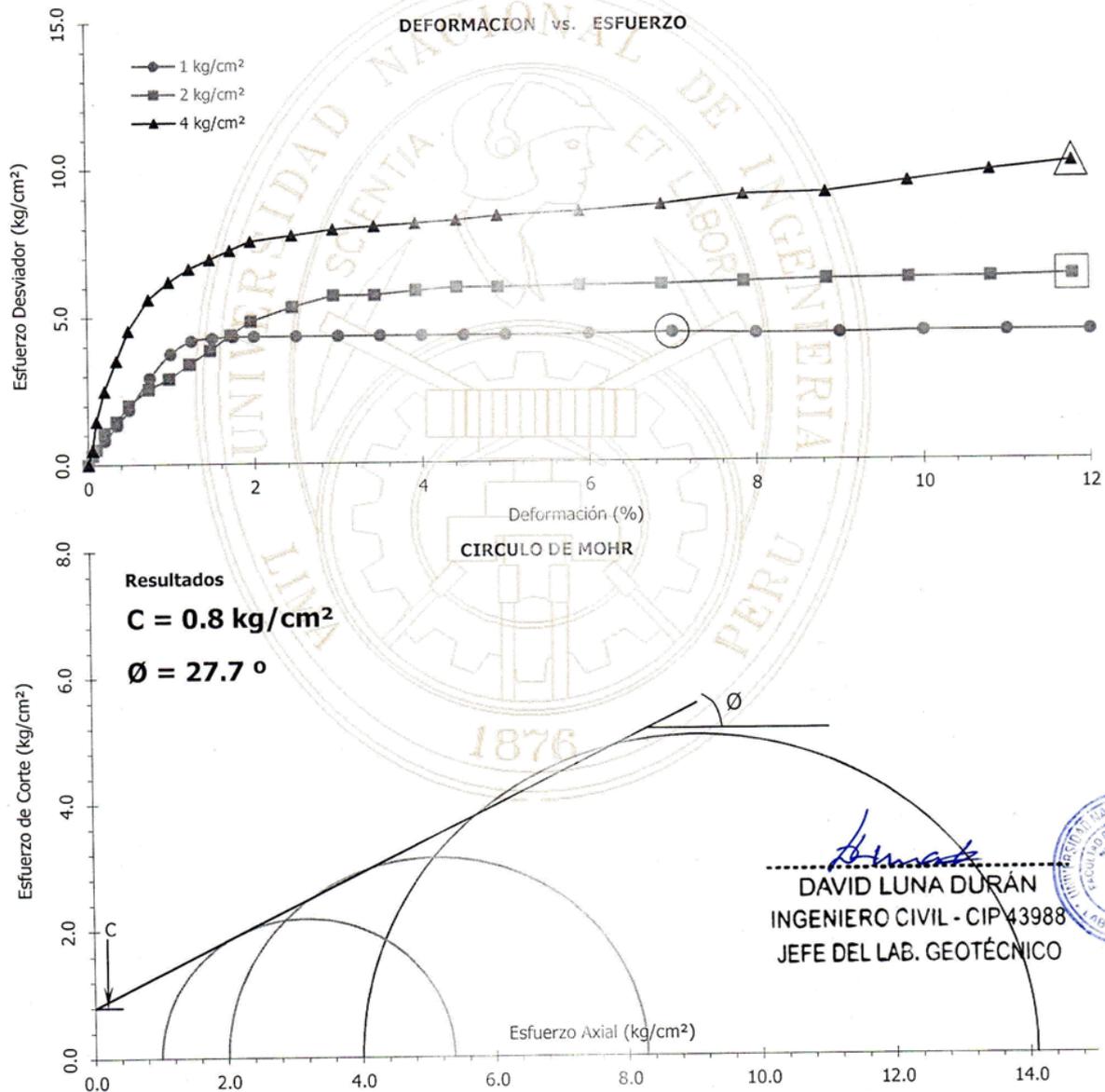
Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N° : LG15-027  
Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.  
Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta de Beneficio Andes.

Fecha : diciembre, 2015

Ubicación : CP. Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar de Rancas. Region Pasco.

Sondaje : --- Hoja : 4 de 5  
Muestra : M - 4A AASHTO : A-1b (0)  
Profundidad (m) : --- SUCS : GC - GM // Grava arcillo limosa con arena  
Estado : Remoldeado Velocidad : 0.2 mm/min





LABORATORIO GEOTÉCNICO

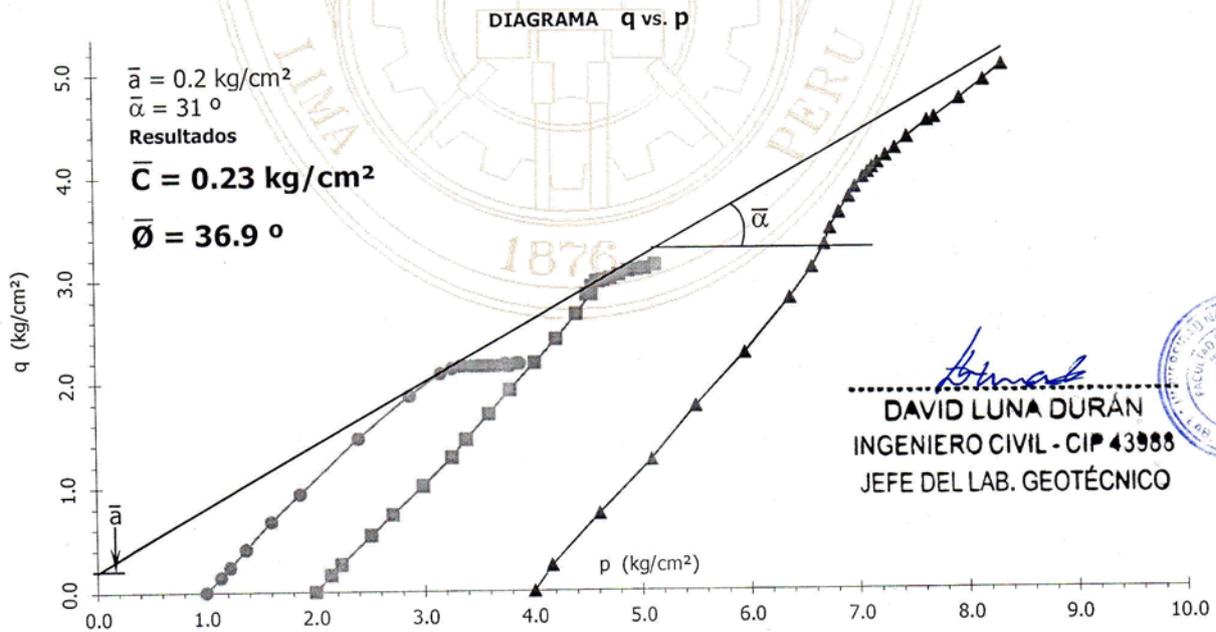
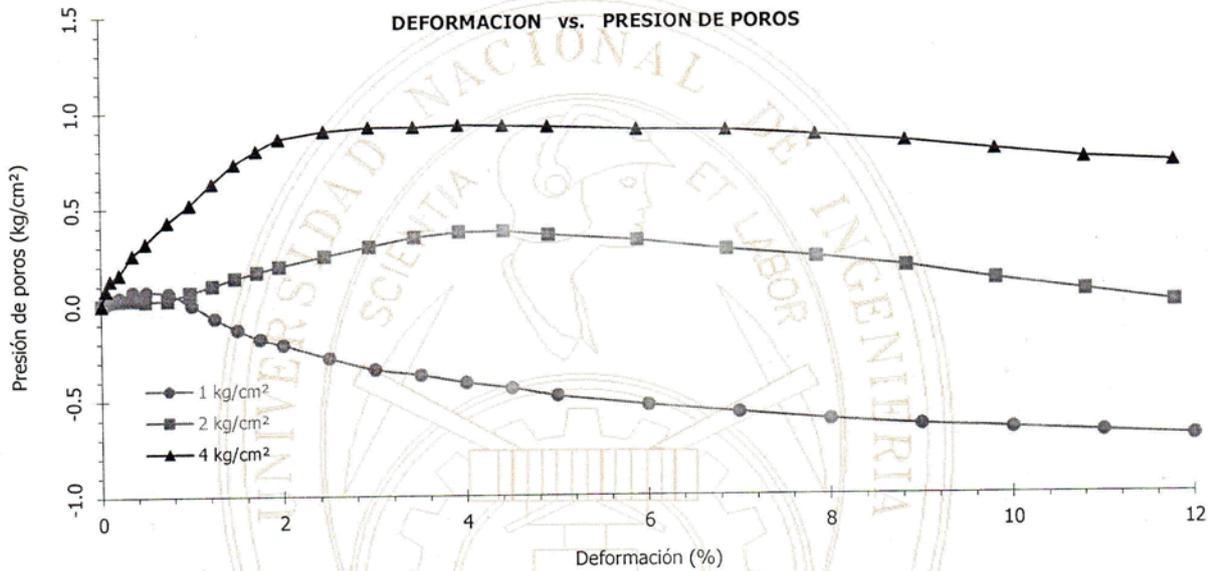
ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N° : LG15-027  
Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.  
Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta de Beneficio Andes.  
Ubicación : CP. Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar de Rancas. Region Pasco.

Fecha : diciembre, 2015

Sondaje : --- Hoja : 5 de 5  
Muestra : M - 4A AASHTO : A-1b (0)  
Profundidad (m) : --- SUCS : GC - GM // Grava arcillo limosa con arena  
Estado : Remoldeado Velocidad : 0.2 mm/min



*David Luna Durán*  
DAVID LUNA DURÁN  
INGENIERO CIVIL - CIP 43988  
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID**



**LABORATORIO GEOTÉCNICO**

**ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FÍSICAS**

(ASTM - D2216; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe : LG15-027  
Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.  
Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta de Beneficio Andes.

Fecha : diciembre, 2015

Ubicación : CP. Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar de Rancas. Region Pasco.

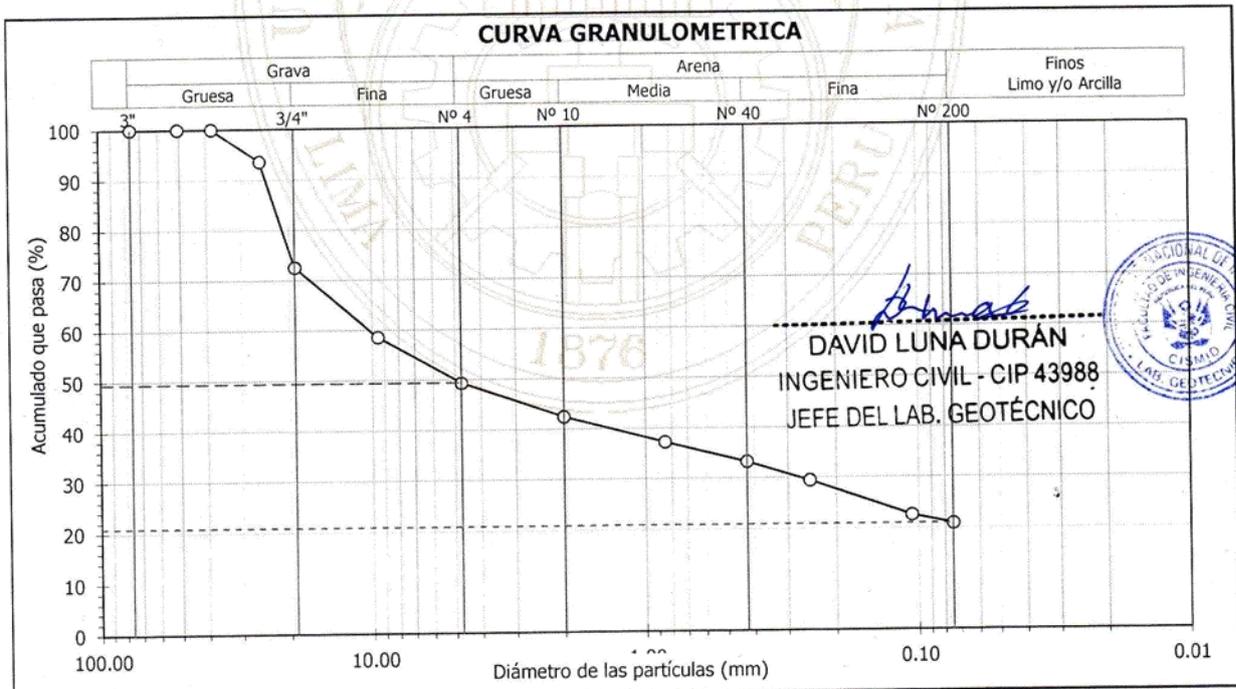
Sondaje : ---  
Muestra : M - 4B  
Profundidad (m) : ---

Hoja : 1 de 1

Granulometría por tamizado - D422		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	100.0
1"	25.400	93.6
¾"	19.050	72.6
3/8"	9.525	58.6
Nº 4	4.750	49.4
Nº 10	2.000	42.5
Nº 20	0.850	37.3
Nº 40	0.425	33.3
Nº 60	0.250	29.5
Nº 140	0.106	22.6
Nº 200	0.075	20.9

Contenido de humedad - D2216		(%)	0.8
Límites de consistencia	Límite Líquido	(%)	18
	Límite Plástico	D4318 (%)	NP
	Índice de Plasticidad	(%)	NP
Resultados de granulometría por tamizado	Límite de Contracción - D427	(%)	---
	Coefficiente de Uniformidad (Cu)		---
	Coefficiente de Curvatura (Cc)		---
	Grava [ Nº 4 < $\phi$ < 3" ]	(%)	50.6
	Arena [ Nº 200 < $\phi$ < Nº 4 ]	(%)	28.5
	Finos [ $\phi$ < Nº 200 ]	(%)	20.9

Clasificación - D3282 / D2487	
AASHTO	SUCS
<b>A-1b (0)</b>	<b>GM Grava limosa con arena</b>



Observación : La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID



LABORATORIO GEOTÉCNICO

**ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FÍSICAS**

(ASTM - D2216; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Fecha : diciembre, 2015

Informe : LG15-027  
Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.  
Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta de Beneficio Andes.

Ubicación : CP. Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar de Rancas. Region Pasco.

Hoja : 1 de 1

Sondaje : ---  
Muestra : M - 4C  
Profundidad (m) : ---

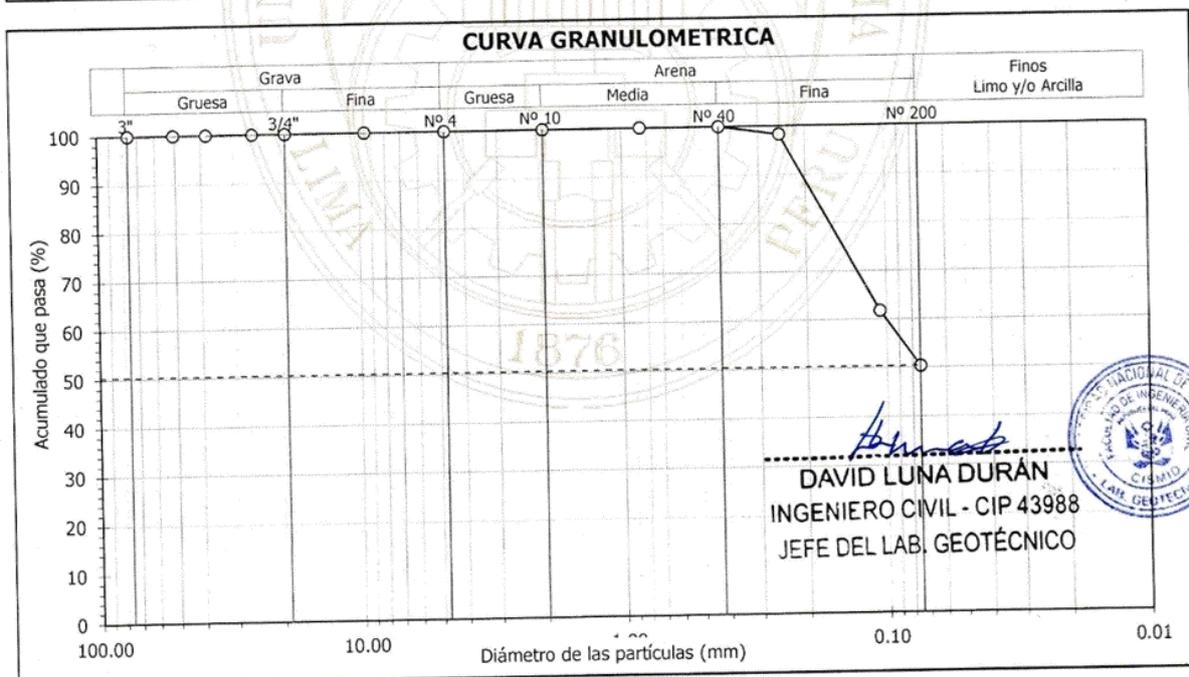
Granulometría por tamizado - D422		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
¾"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
Nº 4	4.750	100.0
Nº 10	2.000	100.0
Nº 20	0.850	100.0
Nº 40	0.425	100.0
Nº 60	0.250	98.3
Nº 140	0.106	61.8
Nº 200	0.075	50.4

Contenido de humedad - D2216		(%)	15.0
Límites de consistencia	Límite Líquido	(%)	24
	Límite Plástico D4318	(%)	20
	Índice de Plasticidad	(%)	4
Límite de Contracción - D427		(%)	---
Resultados de granulometría por tamizado	Coeficiente de Uniformidad (Cu)		---
	Coeficiente de Curvatura (Cc)		---
	Grava [ Nº 4 < $\phi$ < 3" ]	(%)	0.0
	Arena [ Nº 200 < $\phi$ < Nº 4 ]	(%)	49.6
	Finos [ $\phi$ < Nº 200 ]	(%)	50.4

Clasificación - D3282 / D2487

AASHTO SUCS

**A-4 (0) CL - ML Arcilla limosa arenosa**



Observación : La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL****CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID****LABORATORIO GEOTÉCNICO****ENSAYOS DE CORTE DIRECTO**

(ASTM - D3080)

Informe : LG15-027  
Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.  
Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta de Beneficio Andes.

Fecha : diciembre, 2015

Ubicación : CP. Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar de Rancas. Region Pasco.

Sondaje : ---  
Muestra : M - 4C  
Prof. (m) : ---  
Estado : Remoldeado

Velocidad : 0.25 mm/min  
AASHTO : A-4 (0)  
SUCS : CL - ML / Arcilla limosa arenosa  
Hoja : 1 de 4

**ESFUERZO NORMAL : 1 kg/cm<sup>2</sup>****Datos del espécimen**

Diámetro : 6 cm  
Altura : 2 cm

**Contenido de humedad**

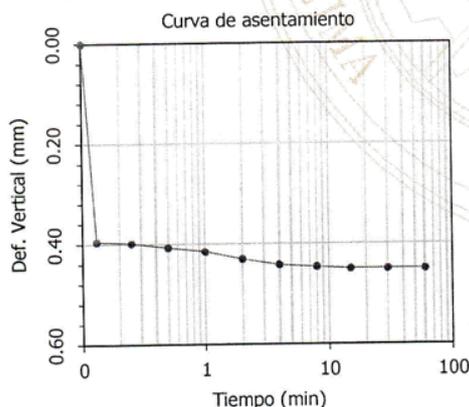
Humedad : 15 %

**Aplicación del esfuerzo normal**

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
0	0.000	20.000	1.520
0.13	0.395	19.605	1.551
0.25	0.398	19.602	1.551
0.5	0.407	19.593	1.552
1	0.415	19.585	1.552
2	0.430	19.570	1.554
4	0.442	19.558	1.554
8	0.446	19.554	1.555
15	0.450	19.550	1.555
30	0.450	19.550	1.555
60	0.450	19.550	1.555

**Aplicación del esfuerzo cortante**

Deformación (%)		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Esfuerzo	
Horizontal	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado
0.00	0.000	19.550	1.555	0.000	0.000
0.05	0.003	19.547	1.555	0.099	0.099
0.10	0.010	19.540	1.556	0.132	0.132
0.20	0.020	19.530	1.557	0.165	0.165
0.35	0.035	19.515	1.558	0.208	0.208
0.50	0.065	19.485	1.560	0.248	0.248
0.75	0.090	19.460	1.562	0.288	0.288
1.00	0.105	19.445	1.563	0.324	0.324
1.25	0.114	19.436	1.564	0.347	0.347
1.50	0.134	19.416	1.566	0.374	0.374
1.75	0.150	19.400	1.567	0.390	0.390
2.00	0.170	19.380	1.569	0.397	0.397
2.50	0.185	19.365	1.570	0.420	0.420
3.00	0.207	19.343	1.572	0.446	0.446
3.50	0.220	19.330	1.573	0.463	0.463
4.00	0.243	19.307	1.575	0.496	0.496
4.50	0.270	19.280	1.577	0.522	0.522
5.00	0.280	19.270	1.578	0.552	0.552
6.00	0.300	19.250	1.579	0.595	0.595
7.00	0.322	19.228	1.581	0.605	0.605
8.00	0.340	19.210	1.583	0.612	0.612
9.00	0.355	19.195	1.584	0.612	0.612
10.00	0.380	19.170	1.586	0.612	0.612
11.00	0.380	19.170	1.586	0.612	0.612
12.00	0.380	19.170	1.586	0.612	0.612

**Observación :**

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Material que pasa el tamiz N° 4, humedad = 15.0%, densidad seca = 1.52g/cm<sup>3</sup>, los datos del remoldeo han sido obtenidos del ensayo peso volumétrico (datos del peso volumétrico: humedad = 15.0%; densidad húmeda = 1.75g/cm<sup>3</sup>). Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.

DAVID LUNA DURÁN

INGENIERO CIVIL - CIP 43988

AV. TÚPAC AMARU N° 1150 - LIMA 25 - PERÚ - Apartado Postal 31-250 Lima 31

Teléfono (+51) 1 482-0804, (+51) 1 482-0777 - FAX: (+51) 1 481-0170 JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO

Correos: [labgeoc@uni.edu.pe](mailto:labgeoc@uni.edu.pe) / [director@uni.edu.pe](mailto:director@uni.edu.pe) - Web: <http://www.cismid-uni.org>



**LABORATORIO GEOTÉCNICO**

**ENSAYOS DE CORTE DIRECTO**

(ASTM - D3080)

Informe : LG15-027  
Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.  
Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta de Beneficio Andes.

Fecha : diciembre, 2015

Ubicación : CP. Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar de Rancas. Region Pasco.

Sondaje --- Velocidad : 0.25 mm/min  
Muestra M - 4C AASHTO : A-4 (0)  
Prof. (m) --- SUCS : CL - ML / Arcilla limosa arenosa  
Estado Remoldeado Hoja : 2 de 4

**ESFUERZO NORMAL : 2 kg/cm<sup>2</sup>**

**Datos del espécimen**

Diámetro : 6 cm  
Altura : 2 cm

**Contenido de humedad**

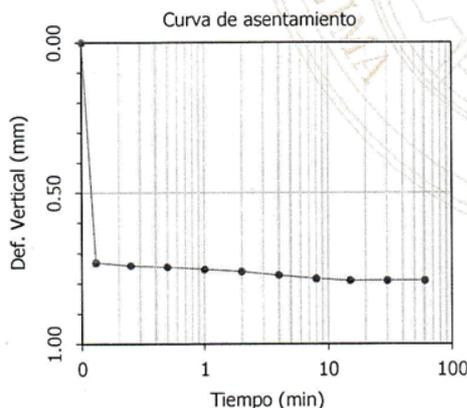
Humedad : 15 %

**Aplicación del esfuerzo normal**

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
0	0.000	20.000	1.520
0.13	0.730	19.270	1.578
0.25	0.740	19.260	1.579
0.5	0.745	19.255	1.579
1	0.753	19.247	1.580
2	0.760	19.240	1.580
4	0.772	19.228	1.581
8	0.784	19.216	1.582
15	0.790	19.210	1.583
30	0.790	19.210	1.583
60	0.790	19.210	1.583

**Aplicación del esfuerzo cortante**

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado
0.00	0.000	19.210	1.583	0.000	0.000
0.05	0.010	19.200	1.583	0.132	0.066
0.10	0.020	19.190	1.584	0.198	0.099
0.20	0.035	19.175	1.586	0.297	0.149
0.35	0.060	19.150	1.588	0.397	0.198
0.50	0.080	19.130	1.589	0.479	0.240
0.75	0.095	19.115	1.590	0.562	0.281
1.00	0.120	19.090	1.593	0.628	0.314
1.25	0.130	19.080	1.593	0.671	0.336
1.50	0.140	19.070	1.594	0.721	0.360
1.75	0.160	19.050	1.596	0.760	0.380
2.00	0.173	19.037	1.597	0.810	0.405
2.50	0.205	19.005	1.600	0.926	0.463
3.00	0.236	18.974	1.602	0.959	0.479
3.50	0.260	18.950	1.604	0.992	0.496
4.00	0.275	18.935	1.606	1.051	0.526
4.50	0.280	18.930	1.606	1.058	0.529
5.00	0.286	18.924	1.607	1.068	0.534
6.00	0.300	18.910	1.608	1.074	0.537
7.00	0.305	18.905	1.608	1.074	0.537
8.00	0.310	18.900	1.609	1.078	0.539
9.00	0.310	18.900	1.609	1.078	0.539
10.00	0.310	18.900	1.609	1.078	0.539
11.00	0.310	18.900	1.609	1.078	0.539
12.00	0.310	18.900	1.609	1.078	0.539



**Observación :**

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Material que pasa el tamiz N° 4, humedad = 15.0%, densidad seca = 1.52g/cm<sup>3</sup>, los datos del remoldeo han sido obtenidos del ensayo peso volumétrico (datos del peso volumétrico: humedad = 15.0%; densidad húmeda = 1.75g/cm<sup>3</sup>). Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.

DAVID LUNA DURÁN  
INGENIERO CIVIL - CIP 43988

AV. TÚPAC AMARU N° 1150 - LIMA 25 - PERÚ - Apartado Postal 31-250 Lima 31  
Teléfono (+51) 1 482-0804, (+51) 1 482-0777 - FAX: (+51) 1 481-0170

Correos: [labgeoc@uni.edu.pe](mailto:labgeoc@uni.edu.pe) / [director@uni.edu.pe](mailto:director@uni.edu.pe) - Web: <http://www.cismid-uni.org>

JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID**



**LABORATORIO GEOTÉCNICO**

**ENSAYOS DE CORTE DIRECTO**

(ASTM - D3080)

Informe : LG15-027

Fecha : diciembre, 2015

Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.

Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera Santa 2007. Planta de Beneficio Andes.

Ubicación : CP. Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar Rancas. Region Pasco.

Sondaje : ---  
Muestra : M - 4C  
Prof. (m) : ---  
Estado : Remoldeado

Velocidad : 0.25 mm/min  
AASHTO : A-4 (0)  
SUCS : CL - ML / Arcilla limosa arenosa  
Hoja : 3 de 4

**ESFUERZO NORMAL : 4 kg/cm<sup>2</sup>**

**Datos del espécimen**

Diámetro : 6 cm  
Altura : 2 cm

**Contenido de humedad**

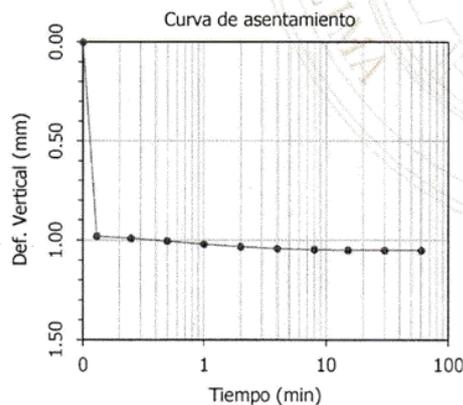
Humedad : 15 %

**Aplicación del esfuerzo normal**

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
0	0.000	20.000	1.520
0.13	0.980	19.020	1.598
0.25	0.990	19.010	1.599
0.5	1.004	18.996	1.600
1	1.020	18.980	1.602
2	1.033	18.967	1.603
4	1.042	18.958	1.604
8	1.047	18.953	1.604
15	1.050	18.950	1.604
30	1.050	18.950	1.604
60	1.050	18.950	1.604

**Aplicación del esfuerzo cortante**

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado
0.00	0.000	18.950	1.604	0.000	0.000
0.05	0.010	18.940	1.605	0.496	0.124
0.10	0.015	18.935	1.606	0.618	0.155
0.20	0.040	18.910	1.608	0.807	0.202
0.35	0.065	18.885	1.610	0.959	0.240
0.50	0.075	18.875	1.611	1.058	0.264
0.75	0.100	18.850	1.613	1.190	0.297
1.00	0.120	18.830	1.615	1.279	0.320
1.25	0.130	18.820	1.615	1.355	0.339
1.50	0.142	18.808	1.616	1.405	0.351
1.75	0.160	18.790	1.618	1.454	0.364
2.00	0.175	18.775	1.619	1.494	0.374
2.50	0.210	18.740	1.622	1.620	0.405
3.00	0.240	18.710	1.625	1.818	0.455
3.50	0.275	18.675	1.628	2.116	0.529
4.00	0.320	18.630	1.632	2.281	0.570
4.50	0.355	18.595	1.635	2.413	0.603
5.00	0.380	18.570	1.637	2.512	0.628
6.00	0.390	18.560	1.638	2.595	0.649
7.00	0.400	18.550	1.639	2.605	0.651
8.00	0.403	18.547	1.639	2.611	0.653
9.00	0.408	18.542	1.640	2.618	0.654
10.00	0.410	18.540	1.640	2.618	0.654
11.00	0.410	18.540	1.640	2.618	0.654
12.00	0.410	18.540	1.640	2.618	0.654



**Observación :**

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Material que pasa el tamiz N° 4, humedad = 15.0%, densidad seca = 1.52g/cm<sup>3</sup>, los datos del remoldeo han sido obtenidos del ensayo peso volumétrico (datos del peso volumétrico: humedad = 15.0%; densidad húmeda = 1.75g/cm<sup>3</sup>). Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.

DAVID LUNA DURÁN

INGENIERO CIVIL - CIP 43988



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID



## LABORATORIO GEOTÉCNICO

### ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

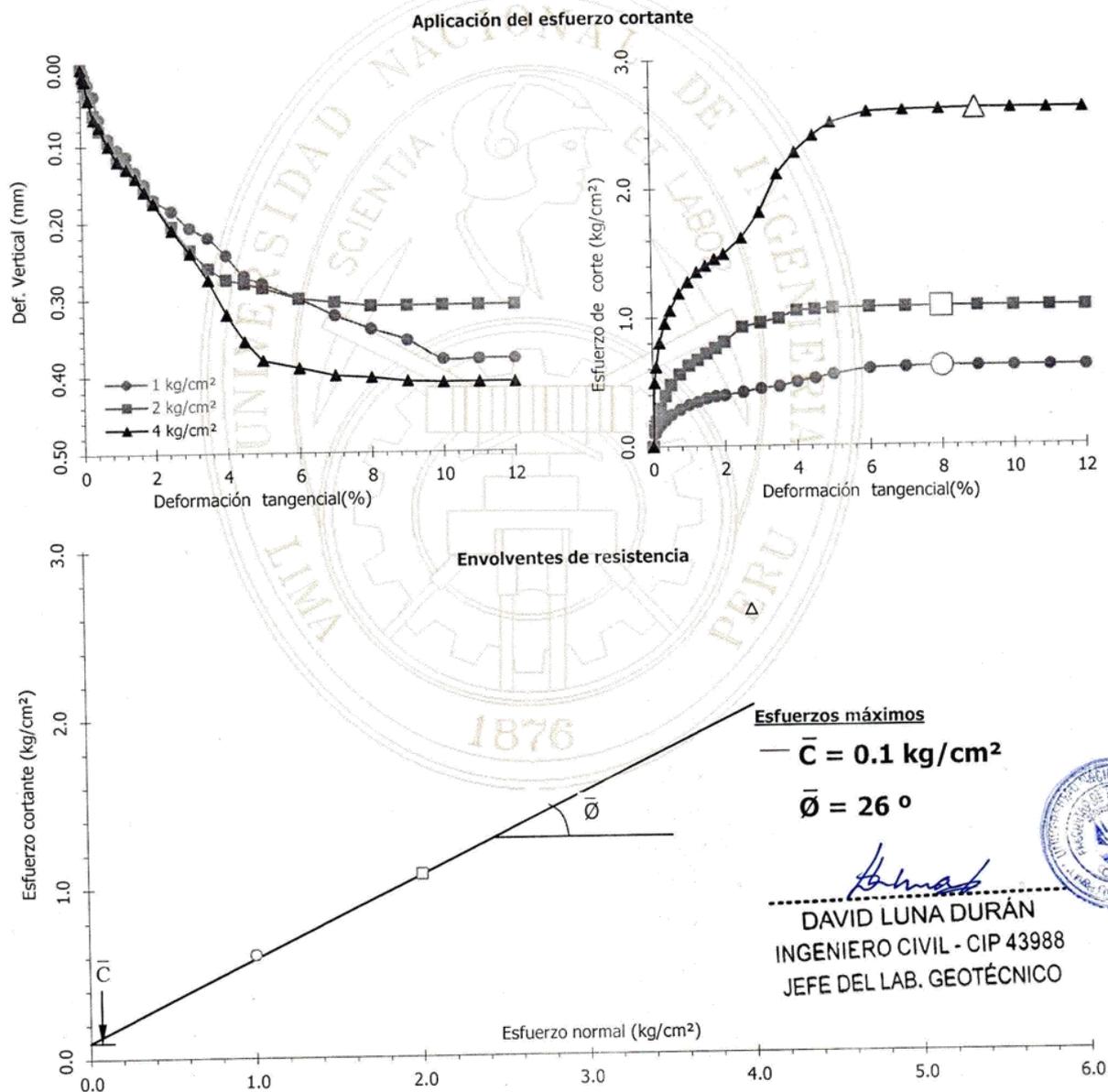
(ASTM - D3080)

Informe : LG15-027  
Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.  
Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta de Beneficio Andes.

Fecha : diciembre, 2015.

Ubicación : CP. Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar de Rancas. Region Pasco.

Sondaje	---	Velocidad	: 0.25 mm/min
Muestra	M - 4C	AASHTO	: A-4 (0)
Prof. (m)	---	SUCS	: CL - ML / Arcilla limosa arenosa
Estado	Remoldeado	Hoja	: 4 de 4



AV. TÚPAC AMARU N° 1150 - LIMA 25 - PERÚ - Apartado Postal 31-250 Lima 31  
Teléfono (+51) 1 482-0804 , (+51) 1 482-0777 - FAX: (+51) 1 481-0170

Correos: [labgeoc@uni.edu.pe](mailto:labgeoc@uni.edu.pe) / [director@uni.edu.pe](mailto:director@uni.edu.pe) - Web: <http://www.cismid-uni.org>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID



LABORATORIO GEOTÉCNICO

ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FÍSICAS

(ASTM - D2216; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe : LG15-027  
Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.  
Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta de Beneficio Andes.

Fecha : diciembre, 2015

Ubicación : CP. Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar de Rancas. Region Pasco.

Hoja : 1 de 1

Sondaje : ---  
Muestra : M - 5B  
Profundidad (m) : ---

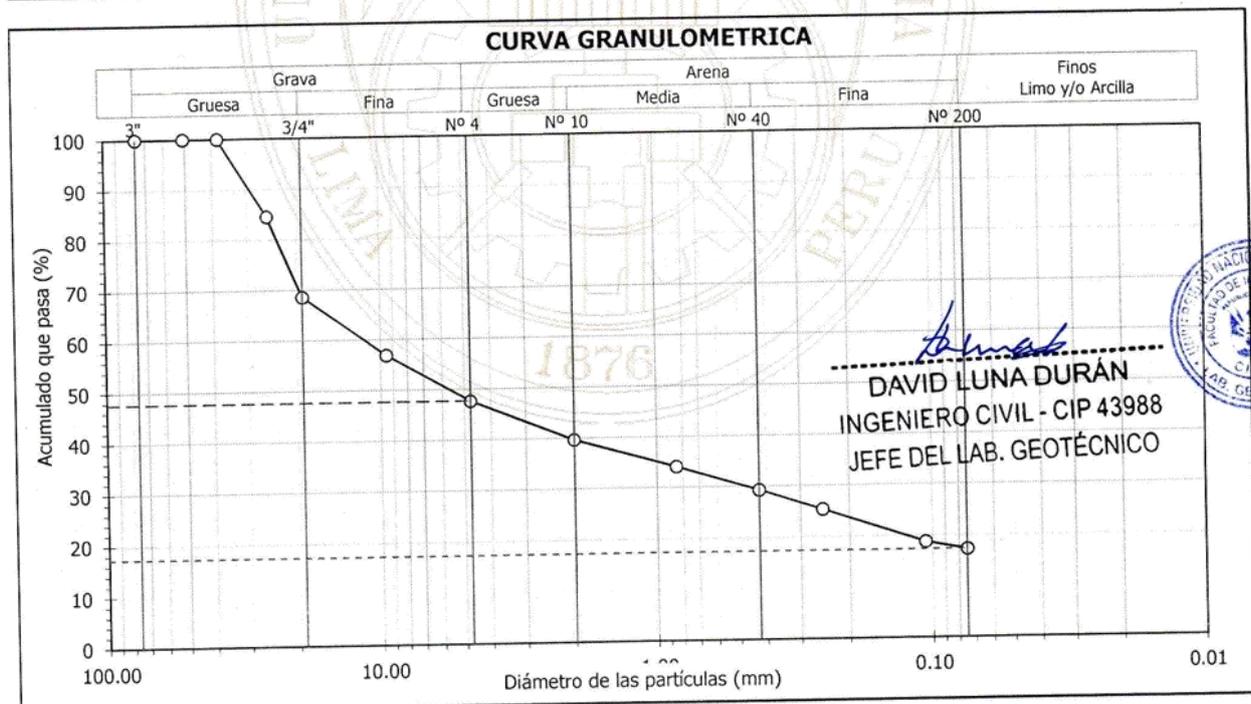
Granulometría por tamizado - D422		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	100.0
1"	25.400	84.6
¾"	19.050	68.6
3/8"	9.525	56.9
Nº 4	4.750	47.7
Nº 10	2.000	39.7
Nº 20	0.850	34.1
Nº 40	0.425	29.3
Nº 60	0.250	25.4
Nº 140	0.106	18.8
Nº 200	0.075	17.3

Contenido de humedad - D2216		(%)	1.0
Límites de consistencia	Límite Líquido	(%)	NP
	Límite Plástico	D4318 (%)	NP
	Índice de Plasticidad	(%)	NP
Resultados de granulometría por tamizado	Límite de Contracción - D427	(%)	---
	Coefficiente de Uniformidad (Cu)		---
	Coefficiente de Curvatura (Cc)		---
	Grava [ Nº 4 < $\phi$ < 3" ]	(%)	52.3
	Arena [ Nº 200 < $\phi$ < Nº 4 ]	(%)	30.3
Finos [ $\phi$ < Nº 200 ]	(%)	17.3	

Clasificación - D3282 / D2487

AASHTO SUCS

**A-1b (0) GM Grava limosa con arena**



Observación : La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES**  
**SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID**



**LABORATORIO GEOTÉCNICO**

**ENSAYOS DE CORTE DIRECTO**

(ASTM - D3080)

Informe : LG15-027

Fecha : diciembre, 2015

Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.

Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta de Beneficio Andes.

Ubicación : CP. Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar de Rancas. Region Pasco.

Sondaje : ---

Velocidad : 0.25 mm/min

Muestra : M - 5B

AASHTO : A-1b (0)

Prof. (m) : ---

SUCS : GM / Grava limosa con arena

Estado : Remoldeado

Hoja : 1 de 4

**ESFUERZO NORMAL : 1 kg/cm<sup>2</sup>**

**Datos del espécimen**

Diámetro : 6 cm

Altura : 2 cm

**Contenido de humedad**

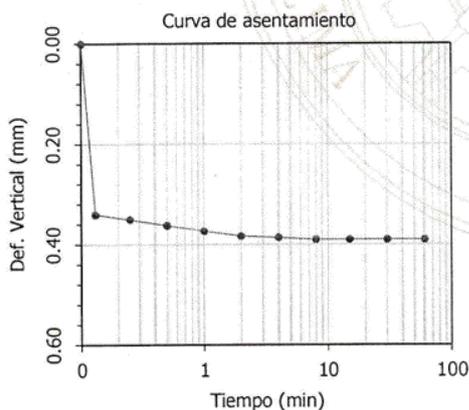
Humedad : 1 %

**Aplicación del esfuerzo normal**

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
0	0.000	20.000	1.980
0.13	0.340	19.660	2.014
0.25	0.350	19.650	2.015
0.5	0.362	19.638	2.017
1	0.373	19.627	2.018
2	0.383	19.617	2.019
4	0.386	19.614	2.019
8	0.390	19.610	2.019
15	0.390	19.610	2.019
30	0.390	19.610	2.019
60	0.390	19.610	2.019

**Aplicación del esfuerzo cortante**

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado
0.00	0.000	19.610	2.019	0.000	0.000
0.05	0.020	19.590	2.022	0.099	0.099
0.10	0.045	19.565	2.024	0.142	0.142
0.20	0.070	19.540	2.027	0.185	0.185
0.35	0.110	19.500	2.031	0.238	0.238
0.50	0.150	19.460	2.035	0.264	0.264
0.75	0.221	19.390	2.042	0.297	0.297
1.00	0.220	19.390	2.042	0.340	0.340
1.25	0.250	19.360	2.046	0.374	0.374
1.50	0.270	19.340	2.048	0.413	0.413
1.75	0.285	19.325	2.049	0.453	0.453
2.00	0.310	19.300	2.052	0.463	0.463
2.50	0.328	19.282	2.054	0.496	0.496
3.00	0.340	19.270	2.055	0.529	0.529
3.50	0.345	19.265	2.056	0.562	0.562
4.00	0.350	19.260	2.056	0.595	0.595
4.50	0.350	19.260	2.056	0.618	0.618
5.00	0.345	19.265	2.056	0.628	0.628
6.00	0.330	19.280	2.054	0.668	0.668
7.00	0.308	19.302	2.052	0.694	0.694
8.00	0.300	19.310	2.051	0.704	0.704
9.00	0.290	19.320	2.050	0.711	0.711
10.00	0.275	19.335	2.048	0.711	0.711
11.00	0.275	19.335	2.048	0.711	0.711
12.00	0.275	19.335	2.048	0.711	0.711



**Observación :**

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Material que pasa el tamiz N° 4, humedad = 1.0%, densidad seca = 1.98g/cm<sup>3</sup> los datos del remoldeo han sido obtenidos del ensayo peso volumétrico (datos del peso volumétrico: humedad = 1.0%; densidad húmeda = 2.00g/cm<sup>3</sup>). Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.

DAVID LUNA DURÁN

INGENIERO CIVIL - CIP 43988





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES**  
**SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID**



**LABORATORIO GEOTÉCNICO**

**ENSAYOS DE CORTE DIRECTO**

(ASTM - D3080)

Informe : LG15-027

Fecha : diciembre, 2015

Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.

Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta de Beneficio Andes.

Ubicación : CP, Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar de Rancas. Region Pasco.

Sondaje : ---

Velocidad : 0.25 mm/min

Muestra : M - 5B

AASHTO : A-1b (0)

Prof. (m) : ---

SUCS : GM / Grava limosa con arena

Estado : Remoldeado

Hoja : 2 de 4

**ESFUERZO NORMAL : 2 kg/cm<sup>2</sup>**

**Datos del espécimen**

Diámetro : 6 cm

Altura : 2 cm

**Contenido de humedad**

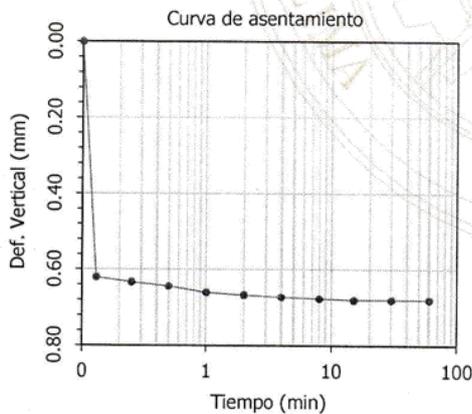
Humedad : 1 %

**Aplicación del esfuerzo normal**

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
0	0.000	20.000	1.980
0.13	0.620	19.380	2.043
0.25	0.633	19.367	2.045
0.5	0.644	19.356	2.046
1	0.660	19.340	2.048
2	0.667	19.333	2.048
4	0.672	19.328	2.049
8	0.676	19.324	2.049
15	0.680	19.320	2.050
30	0.680	19.320	2.050
60	0.680	19.320	2.050

**Aplicación del esfuerzo cortante**

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado
0.00	0.000	19.320	2.050	0.000	0.000
0.05	0.007	19.313	2.050	0.264	0.132
0.10	0.020	19.300	2.052	0.364	0.182
0.20	0.040	19.280	2.054	0.519	0.259
0.35	0.060	19.260	2.056	0.645	0.322
0.50	0.080	19.240	2.058	0.721	0.360
0.75	0.100	19.220	2.060	0.850	0.425
1.00	0.110	19.210	2.061	0.926	0.463
1.25	0.118	19.202	2.062	0.992	0.496
1.50	0.120	19.200	2.063	1.091	0.545
1.75	0.120	19.200	2.063	1.157	0.578
2.00	0.120	19.200	2.063	1.190	0.595
2.50	0.120	19.200	2.063	1.266	0.633
3.00	0.120	19.200	2.063	1.421	0.711
3.50	0.120	19.200	2.063	1.487	0.744
4.00	0.115	19.205	2.062	1.537	0.769
4.50	0.100	19.220	2.060	1.587	0.793
5.00	0.080	19.240	2.058	1.626	0.813
6.00	0.044	19.276	2.054	1.719	0.859
7.00	0.030	19.290	2.053	1.735	0.868
8.00	0.004	19.316	2.050	1.752	0.878
9.00	0.000	19.320	2.050	1.759	0.879
10.00	-0.018	19.338	2.048	1.759	0.879
11.00	-0.018	19.338	2.048	1.759	0.879
12.00	-0.018	19.338	2.048	1.759	0.879



**Observación :**

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Material que pasa el tamiz N° 4, humedad = 1.0%, densidad seca = 1.98g/cm<sup>3</sup>, los datos del remoldeo han sido obtenidos del ensayo peso volumétrico (datos del peso volumétrico: humedad = 1.0%; densidad húmeda = 2.00g/cm<sup>3</sup>). Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.

DAVID LUNA DURÁN

INGENIERO CIVIL - CIP 43988

JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID**



**LABORATORIO GEOTÉCNICO**

**ENSAYOS DE CORTE DIRECTO**

(ASTM - D3080)

Informe : LG15-027  
Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.  
Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta de Beneficio Andes.

Fecha : diciembre, 2015

Ubicación : CP. Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar de Rancas. Region Pasco.

Sondaje : ---  
Muestra : M - 5B  
Prof. (m) : ---  
Estado : Remoldeado

Velocidad : 0.25 mm/min  
AASHTO : A-1b (0)  
SUCS : GM / Grava limosa con arena  
Hoja : 3 de 4

**ESFUERZO NORMAL : 4 kg/cm<sup>2</sup>**

**Datos del espécimen**

Diámetro : 6 cm  
Altura : 2 cm

**Contenido de humedad**

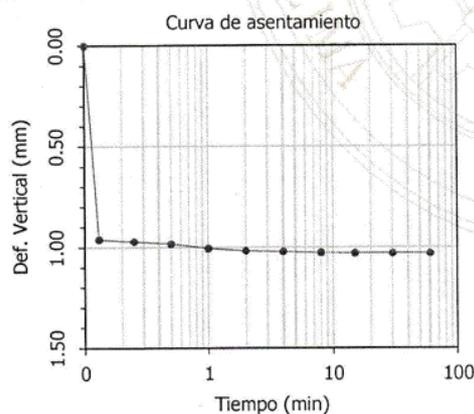
Humedad : 1 %

**Aplicación del esfuerzo normal**

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
0	0.000	20.000	1.980
0.13	0.960	19.040	2.080
0.25	0.970	19.030	2.081
0.5	0.982	19.018	2.082
1	1.004	18.996	2.085
2	1.017	18.983	2.086
4	1.021	18.979	2.087
8	1.027	18.973	2.087
15	1.030	18.970	2.088
30	1.030	18.970	2.088
60	1.030	18.970	2.088

**Aplicación del esfuerzo cortante**

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado
0.00	0.000	18.970	2.088	0.000	0.000
0.05	0.000	18.970	2.088	0.463	0.116
0.10	0.010	18.960	2.089	0.628	0.157
0.20	0.020	18.950	2.090	0.826	0.207
0.35	0.030	18.940	2.091	1.025	0.256
0.50	0.060	18.910	2.094	1.223	0.306
0.75	0.080	18.890	2.096	1.421	0.355
1.00	0.120	18.850	2.101	1.587	0.397
1.25	0.162	18.808	2.106	1.752	0.438
1.50	0.230	18.740	2.113	1.851	0.463
1.75	0.260	18.710	2.117	1.983	0.496
2.00	0.290	18.680	2.120	2.049	0.512
2.50	0.310	18.660	2.122	2.241	0.560
3.00	0.335	18.635	2.125	2.413	0.603
3.50	0.364	18.606	2.128	2.644	0.661
4.00	0.400	18.570	2.133	2.760	0.690
4.50	0.430	18.540	2.136	2.876	0.719
5.00	0.460	18.510	2.139	2.925	0.731
6.00	0.460	18.510	2.139	2.942	0.735
7.00	0.470	18.500	2.141	2.952	0.738
8.00	0.470	18.500	2.141	2.958	0.740
9.00	0.480	18.490	2.142	2.962	0.740
10.00	0.500	18.470	2.144	2.962	0.740
11.00	0.500	18.470	2.144	2.962	0.740
12.00	0.500	18.470	2.144	2.962	0.740



**Observación :**

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Material que pasa el tamiz N° 4, humedad = 1.0%, densidad seca = 1.98g/cm<sup>3</sup>, los datos del remoldeo han sido obtenidos del ensayo peso volumétrico (datos del peso volumétrico: humedad = 1.0%; densidad húmeda = 2.00g/cm<sup>3</sup>). Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.

DAVID LUNA DURÁN

INGENIERO CIVIL - CIP 43988

JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID



LABORATORIO GEOTÉCNICO

ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

(ASTM - D3080)

Informe : LG15-027

Fecha : diciembre, 2015

Solicitante : COMPUMET E. I. R. L.

Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera 2007. Planta de Beneficio Andes.

Ubicación : CP. Yurajhuanca. Distrito Simon Bolivar de Rancas. Region Pasco.

Sondaje ---

Velocidad : 0.25 mm/min

Muestra M - 5B

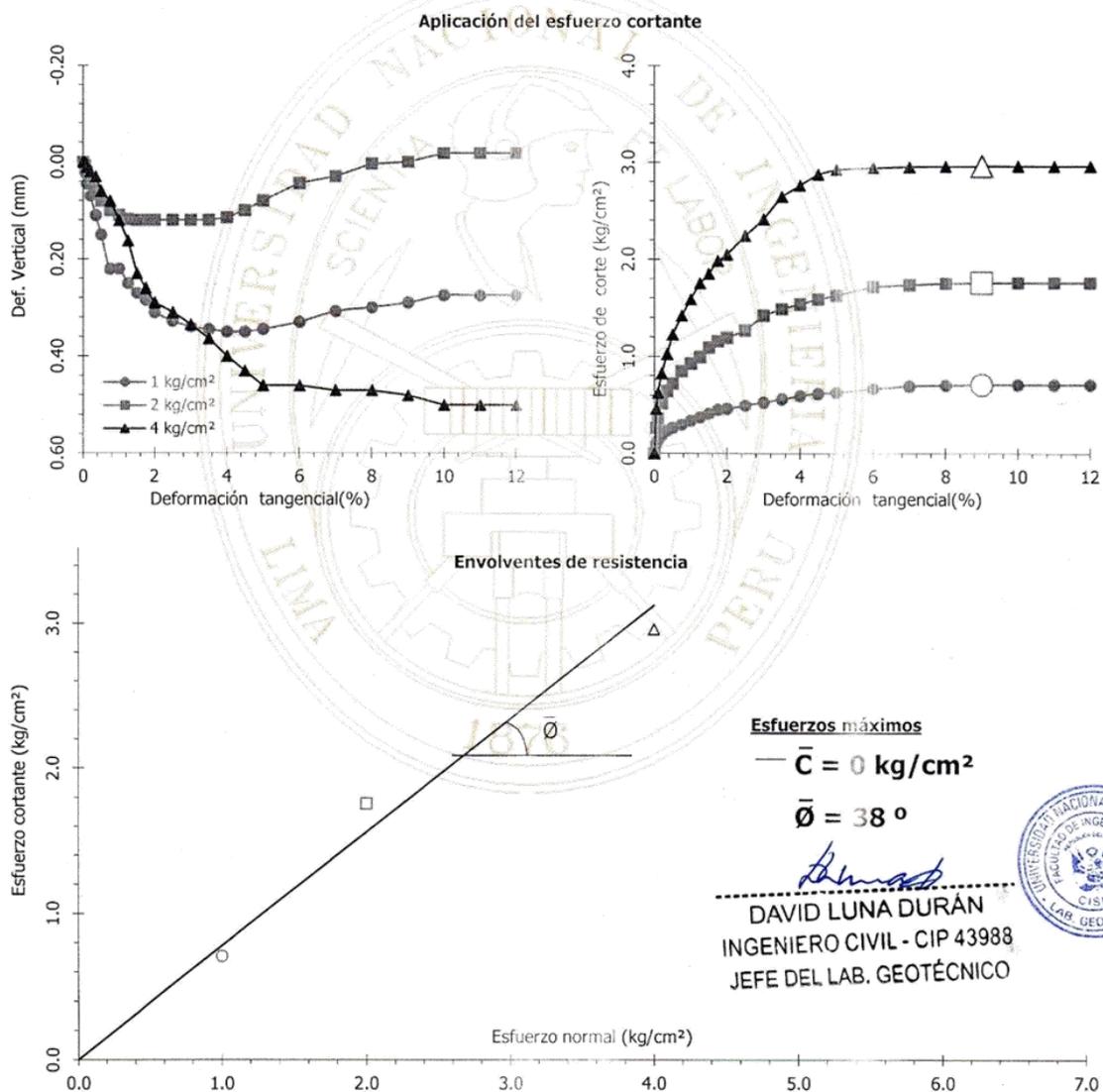
AASHTO : A-1b (0)

Prof. (m) ---

SUCS : GM / Grava limosa con arena

Estado Remoldeado

Hoja : 4 de 4





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES**  
**SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - CISMID**  
**LABORATORIO GEOTÉCNICO**



**ENSAYOS DE LABORATORIO**

Informe N° : LG15-027  
 Solicitante : COMPUMET E. I. R. L. Fecha : Febrero, 2015  
 Proyecto : Estabilidad de Talud - Relavera Santa Filomena II  
 Ubicación : Planta de Beneficio Santa Filomena II, Dist. Sancos, Prov. Lucanas, Dpto. Ayacucho

**PESO VOLUMÉTRICO**

Sondaje	Muestra	Profundidad (m)	Clasificación (SUCS)	Clasificación (AASHTO)	Contenido de humedad (%)	Densidad húmeda (g/cm³)
---	M - 3A	---	GC - GM	A-1a (0)	0.7	2.02
---	M - 4A	---	GC - GM	A-1b (0)	1.4	2.06
---	M - 4C	---	CL - ML	A-4 (0)	15.0	1.75
---	M - 5B	---	GM	A-1b (0)	1.0	2.00

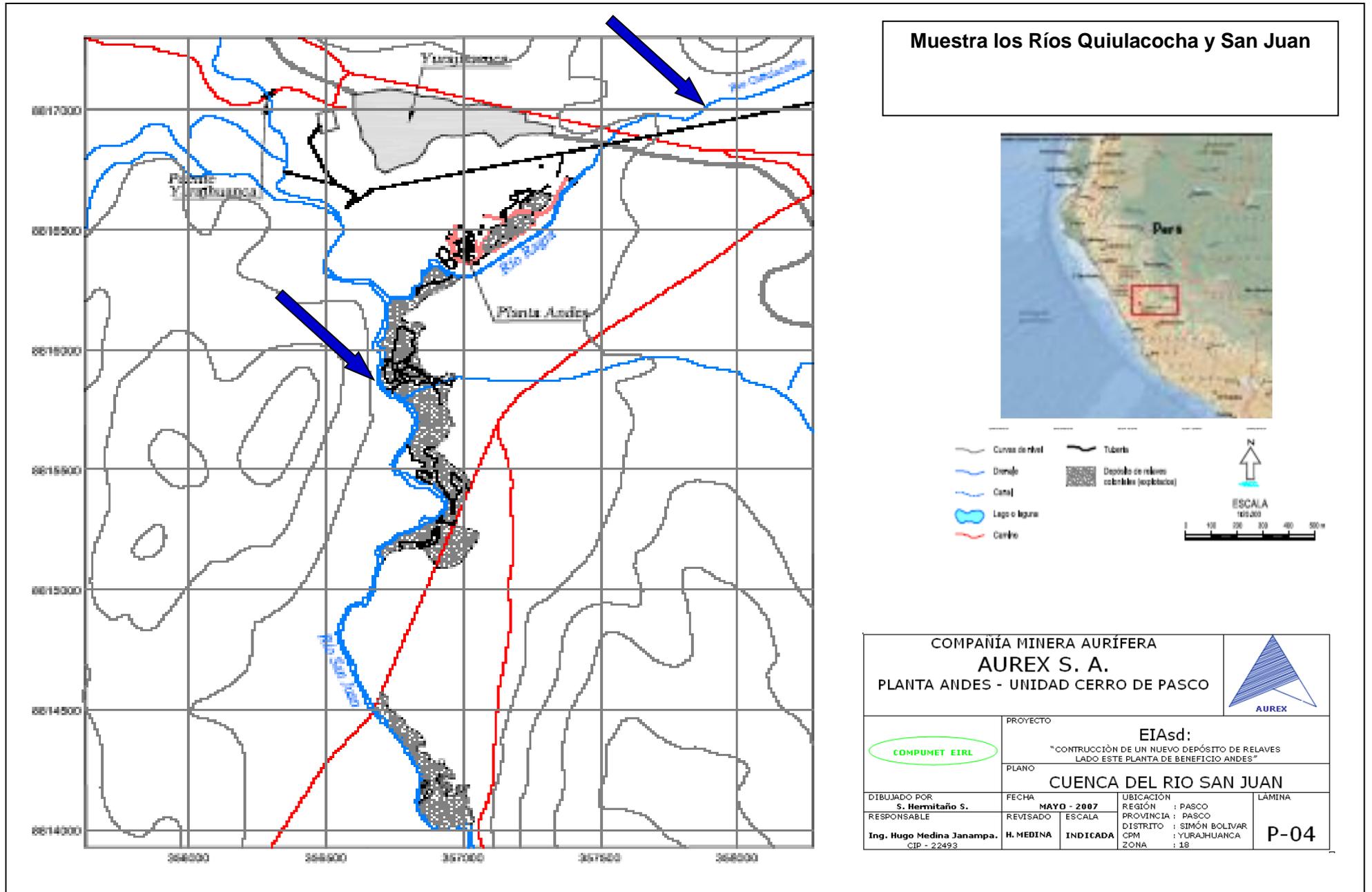
**Observaciones :**

Las muestras han sido identificadas y entregadas por el solicitante.

*David Luna Durán*  
 DAVID LUNA DURÁN  
 INGENIERO CIVIL - CIP 4398  
 JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO



**ANEXO 07: SISTEMA HIDROBIOLÓGICO DE LA MINERA AUREX S.A.**



Muestra los Ríos Quilacocha y San Juan



Curvas de nivel      Tubería  
 Drenaje                Depósito de relaves  
 Canal                    cobertiles (septáculos)  
 Lago o laguna  
 Cerro

ESCALA  
 100:000  
 0 100 200 300 400 500m

COMPANHIA MINERA AURIFERA <b>AUREX S. A.</b> PLANTA ANDES - UNIDAD CERRO DE PASCO			
		PROYECTO <b>EIA sd:</b> "CONSTRUCCIÓN DE UN NUEVO DEPÓSITO DE RELAVES LADO ESTE PLANTA DE BENEFICIO ANDES"	
PLANO <b>CUENCA DEL RIO SAN JUAN</b>		UBICACIÓN : PASCO REGIÓN : PASCO PROVINCIA : PASCO DISTRITO : SIMÓN BOLIVAR CPM : YURAJHUANCA ZONA : 18	
DIBUJADO POR <b>S. Hermitaño S.</b>	FECHA <b>MAYO - 2007</b>	REVISADO <b>H. MEDINA</b>	ESCALA <b>INDICADA</b>
RESPONSABLE <b>Ing. Hugo Medina Janampa.</b> CIP - 22493	LAMINA <b>P-04</b>		



**MODELO 4 -**

**Volumen:** 43776,39 m<sup>3</sup>  
**Vida Util:** 358,97 días  
 11,58 meses  
 0,98 años

**-40%**  
 26265,83 m<sup>3</sup>  
 215,38 días  
 6,95 meses  
 0,59 años



**VOLUMEN POR UTILIZAR (Ref. Modelo 5)  
 COMPLEMENTO (Modelo 4)**

	al 100%	fs. - 40%
Volumen	54989,80 m <sup>3</sup>	32993,88 m <sup>3</sup>
Vida Util	450,92 días	0,27 días
	14,55 meses	0,01 meses
	1,24 años	0,00 años



**MODELO 5**

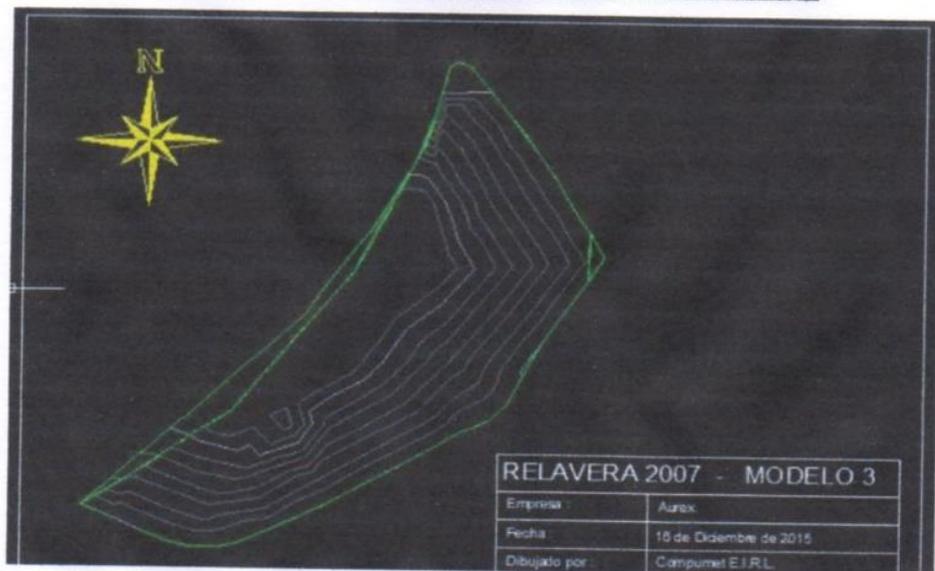
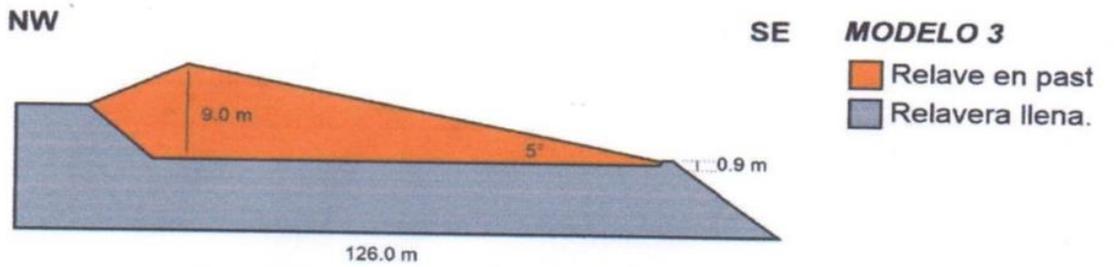
**Volumen:** 54989,80 m<sup>3</sup>  
**Vida Util:** 450,92 días -  
 14,55 meses  
 1,24 años

**-40%**  
 32993,88 m<sup>3</sup>  
 270,55 días  
 8,73 meses  
 0,74 años



**MODELO 3 - ANGULO DE REPOSO DE LA PASTA = 5°**

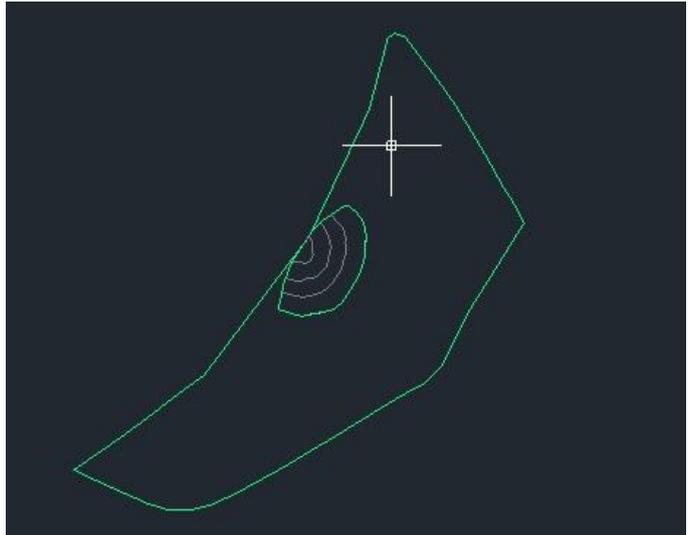
<b>Volumen:</b>	183234,48 m <sup>3</sup>	<b>-40%</b>	109940,69 m <sup>3</sup>
<b>Vida Util:</b>	1502,52 días		901,51 días
	48,47 meses		29,08 meses
	4,12 años		2,47 años



## MEMORIA DESCRIPTIVA – RESUMEN DISPOSICIÓN DE RELAVE EN PASTA - RELAVERA 2007 EMPRESA AUREX

La determinación de la capacidad o vida útil de la relavera 2007 para acumular el relave en pasta que se verterá, lo determinamos haciendo un cálculo del volumen proyectado sobre una superficie de una superficie de perímetro irregular que aproximadamente tiene una superficie de 40056,65 metros cuadrados.

El volumen a calcular parte del principio del comportamiento del relave en pasta, consideramos en  $5^\circ$  el ángulo de abatimiento. El ángulo de  $5^\circ$  lo aplicaremos a los diversos modelos que pretenden determinar cuál será el más adecuado relacionado a su vida útil.

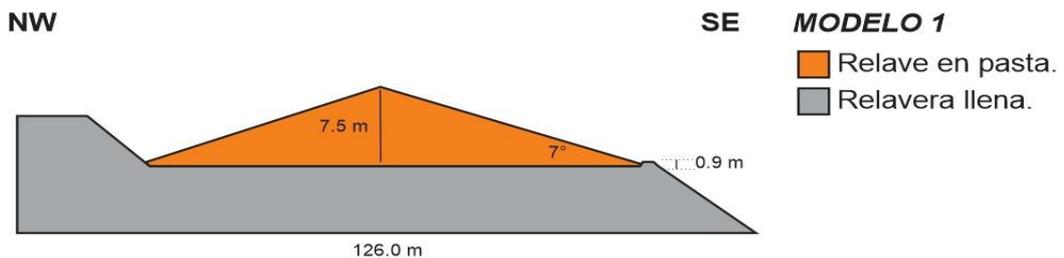


### MODELOS CALCULADOS.

Se puede resumir en tres los posibles modelos a calcular sobre la superficie arriba mencionada y mostrada.

En el primer modelo se está considerando  $7^\circ$  grados sobre la horizontal, partiendo del perímetro hacia un punto medio del área total. En este modelo se logra formar un modelo similar a un cono con una altura máxima de 7,5 metros.

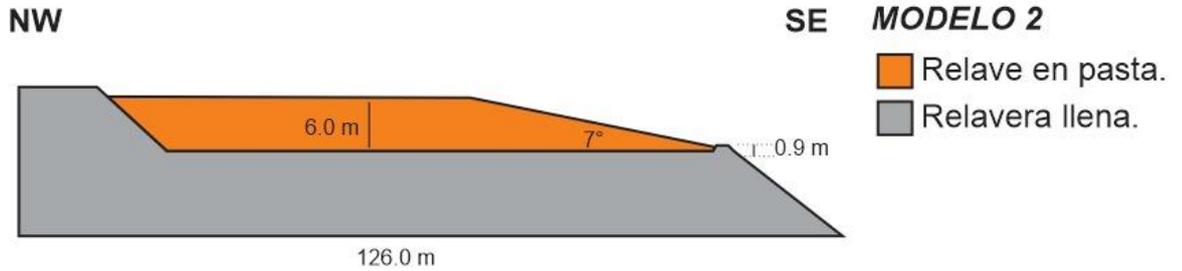
El volumen calculado es de 76089,00 metros cúbicos y nos da una vida útil de 1,71 años.



El segundo modelo parte tomando  $7^\circ$  como ángulo sobre la horizontal, Partiendo del lado sur-este en dirección nor-oeste hasta conseguir un altura de 6 metros, Luego

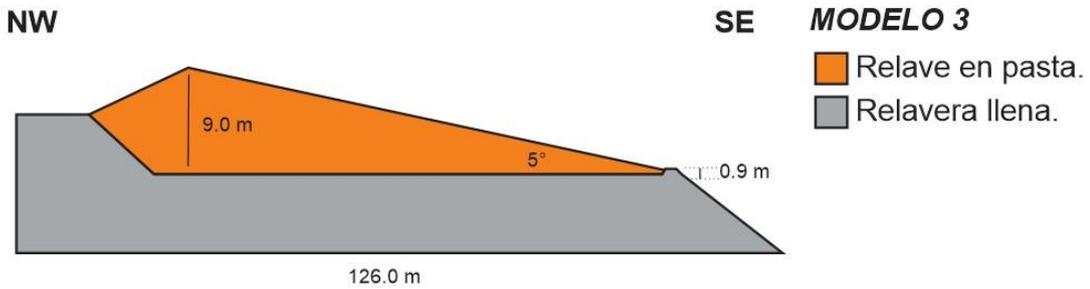
de esta altura se considera una superficie paralela a la superficie de la relavera hasta llegar al talud nor-oeste.

El volumen calculado en este modelo es de 72912,90 metros cúbicos y nos arroja una vida útil de 1,64 años.



El tercer modelo considera un ángulo de abatimiento de 5° sobre la horizontal, partiendo del lado sur-oeste en dirección nor-oeste hasta lograr una altura de 9 metros, luego de lograr esta altura se busca alcanzar la cota máxima del talud del lado nor-oeste que tiene una altura máxima de 8,5 metros.

El volumen calculado en este modelo es de 109940,69 metros cúbicos y nos arroja una vida útil de 2,47 años.



**CONCLUSIONES.**

De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye.

**RESUMEN 1:**

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
<b>Volumen en m3 :</b>	76089,00	72912,90	109940,69
<b>Vida Útil en años :</b>	1,71	1,64	2,47

**RESUMEN 2:**

	<b>Modelo 3</b>	<b>Utilizado (*)</b>	<b>Por Utilizar (**)</b>
<b>Volumen en m3 :</b>	109940,69	43776,39	66164,30
<b>Vida Útil en años :</b>	2,47	0,98	1,49

(\*) Utilizado : del modelo 4

(\*\*) Por Utilizar : Modelo 3 -  
Utilizado

**RESUMEN 3:**

	<b>Modelo 3</b>	<b>Utilizado (*)</b>	<b>Por Utilizar (**)</b>
<b>Volumen en m3 :</b>	109940,69	43776,39	32993,88
<b>Vida Útil en años :</b>	2,47	0,98	0,74

(\*) Utilizado : del modelo 4

(\*\*) Por Utilizar : del modelo 5

- En el cuadro resumen 1, se observa que el modelo 3 es el óptimo por lograr mayor acumulación en volumen y tener mayor vida útil.
- El cuadro resumen 2, nos muestra el tiempo que queda por utilizar considerando el tiempo en meses que se viene acumulando el relave en pasta. Se ha calculado que el volumen de relave en pasta que se acumuló es de 43776,39 metros cúbicos. Resumiendo, quedaría **1,49 años de vida útil** según este cuadro.
- Un tercer resumen se logra calculando directamente el área no utilizada hasta la fecha, sacando un volumen aproximado de 32993,88 metros cúbicos que se lograrían en poco más de 7 meses, es decir según este cuadro resumen **el tiempo de vida útil es de 7,4 meses.**

## NOTA BIOGRÁFICA



**HUGO MEDINA JANAMPA**

Environmental and Safety Loss Control Designer of ILCI EE. UU.; Magíster en Gestión del Sistema Ambiental; candidato a Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible; Ingeniero de Minas Colegiado; Funcionario en CENTROMIN PERÚ, Minas Cerro de Pasco, Cobriza y Casapalca, Jefe de Mina en Empresa Minera Atacocha S. A., Funcionario de Compañía Minera Milpo S. A. A., por AURORA QUARRIN S. A.; Gerente de Seguridad y Medio Ambiente Toquepala SPCC.

Ex Funcionario del Ministerio de Energía y Minas del Perú; y Principal Asesor Internacional del Proyecto de Asistencia Técnica PERCAN: Perú-Canadá, desarrollando PROGRAMAS DE SEGURIDAD, SALUD Y MEDIOAMBIENTE.

Gerente General de la Consultora Minero Energético Ambiental: COMPUMET EIRL, con la cual, realicé trabajos de Estudios de Impacto Ambiental para la Relavera 2017 de Minera AUREX S. A.; Relavera A de la Minera SOTRAMI S. A., Relavera Santa Rosa de Perú Minerals S. A. y he solucionado problemas socio-ambientales por el tema de la Relavera Chumpe de la UM Yauricocha de Centromín Perú, participé directamente en la Construcción de la Relavera Quebrada Honda de UM Toquepala de Southern Perú Copper Corporation.

Estos trabajos y los requerimientos de áreas disponibles para construcción de nuevas relaveras, PRODUCCIÓN DE RELAVES; han definido la investigación sobre crecimiento vertical de una relavera, a partir del área de corona de la presa, antes que pase a constituir un pasivo ambiental y sin vida industrial útil.



**ACTA DE DEFENSA DE TESIS DE DOCTOR**

En el Auditorio de la Escuela de Posgrado; siendo las 16:00h, del día miércoles 24 DE JULIO DE 2019; el aspirante al Grado de Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Hugo MEDINA JANAMPA, procedió al acto de Defensa de su Tesis titulado: "RECRECIMIENTO VERTICAL DE UN DEPÓSITO DE RELAVES Y CONTROL DE SUS IMPACTOS AMBIENTALES NEGATIVOS", ante los miembros del Jurado de Tesis señores:

Dr. Abner A. FONSECA LIVIAS	Presidente
Dr. Víctor Pedro CUADROS OJEDA	Secretario
Dr. Lorenzo PASQUEL LOARTE	Vocal
Dra. Ana María MATOS RAMÍREZ	Vocal
Dr. Gerardo GARAY ROBLES	Vocal

Asesor de tesis: Dr. Ítalo ALEJOS PATIÑO (Resolución N° 0180-2016-UNHEVAL/EPG-D)

Respondiendo las preguntas formuladas por los miembros del Jurado y público asistente.

Concluido el acto de defensa, cada miembro del Jurado procedió a la evaluación del aspirante a Doctor, teniendo presente los criterios siguientes:

- a) Presentación personal.
- b) Exposición: el problema a resolver, hipótesis, objetivos, resultados, conclusiones, los aportes, contribución a la ciencia y solución a un problema social y recomendaciones.
- c) Grado de convicción y sustento bibliográfico utilizados para las respuestas a las interrogantes del Jurado y público asistente.
- d) Dicción y dominio de escenario.

Así mismo, el Jurado planteó a la tesis las observaciones siguientes:

.....  
.....  
.....

Obteniendo en consecuencia el Doctorando la Nota de Excelente (16)  
Equivalente a Bueno, por lo que se declara APROBADO  
(Aprobado ó desaprobado)

Los miembros del Jurado firman la presente ACTA en señal de conformidad, en Huánuco, siendo las 6:20 p.m. horas del 24 de julio de 2019.

.....  
PRESIDENTE  
DNI N° 22412906

.....  
SECRETARIO  
DNI N° 22511531

.....  
VOCAL  
DNI N° 22417842

.....  
VOCAL  
DNI N° 22429490

.....  
VOCAL  
DNI N° 07559836

Leyenda:  
19 a 20: Excelente  
17 a 18: Muy Bueno  
14 a 16: Bueno

(Resolución N° 01988-2019-UNHEVAL/EPG-D)

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS ELECTRÓNICAS DE POSGRADO

1. IDENTIFICACIÓN PERSONAL (especificar los datos del autor de la tesis)

Apellidos y Nombres: MESINA JANAMPA, HUGO.

DNI: 00456582 Correo electrónico: \_\_\_\_\_

Teléfonos Casa \_\_\_\_\_ Celular \_\_\_\_\_ Oficina \_\_\_\_\_

2. IDENTIFICACION DE LA TESIS

Posgrado	
Doctorado:	<u>MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE</u>

Grado Académico obtenido:

DOCTOR

Título de la tesis:

RECRECIMIENTO VERTICAL DE UN DEPOSITO DE RELAJES Y CONTROL DE SUS IMPACTOS AMBIENTALES NEGATIVOS

Tipo de acceso que autoriza el autor:

Marcar "X"	Categoría de Acceso	Descripción de Acceso
<input checked="" type="checkbox"/>	PÚBLICO	Es público y accesible el documento a texto completo por cualquier tipo de usuario que consulta el repositorio.
<input type="checkbox"/>	RESTRINGIDO	Solo permite el acceso al registro del metadato con información básica, mas no al texto completo.

Al elegir la opción "Público" a través de la presente autorizo de manera gratuita al Repositorio Institucional – UNHEVAL, a publicar la versión electrónica de esta tesis en el Portal Web repositorio.unheval.edu.pe, por un plazo indefinido, consintiendo que dicha autorización cualquiera tercero podrá acceder a dichas páginas de manera gratuita, pudiendo revisarla, imprimirla o grabarla, siempre y cuando se respete la autoría y sea citada correctamente.

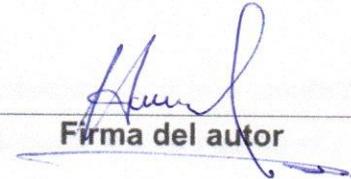
En caso haya marcado la opción "Restringido", por favor detallar las razones por las que se eligió este tipo de acceso: \_\_\_\_\_

Asimismo, pedimos indicar el periodo de tiempo en que la tesis tendría el tipo de acceso restringido:

( ) 1 año      ( ) 2 años      ( ) 3 años      ( ) 4 años

Luego del periodo señalado por usted(es), automáticamente la tesis pasara a ser de acceso público.

Fecha de firma: 19/10/19

  
Firma del autor