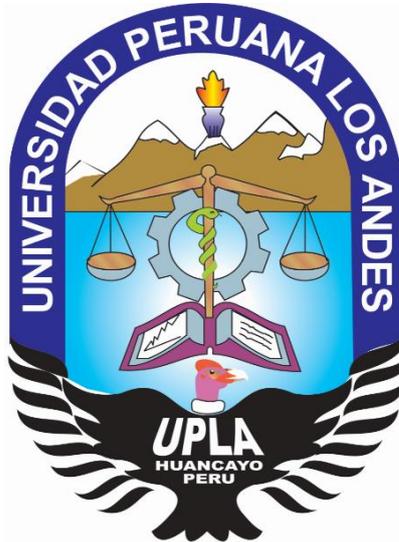


UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“ESTABILIDAD FÍSICA DE LA PRESA DE RELAVES PARA EL
NIVEL DE CRECIMIENTO HASTA LA COTA 4,320 M.S.N.M.
UTILIZANDO RELAVE CICLONEADO”**

PRESENTADO POR:

Bach. SUSAN SALAZAR ROMERO

LINEA DE INVESTIGACIÓN:

TRANSPORTE Y URBANISMO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

LIMA – PERÚ

2018

ASESORES

Mg. Gallardo Mendoza, Juan Carlos

Mg. Vignati Dueñas, Rene

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mi querida Hija Danna Luana, Arias Salazar quien es la razón de mi existencia y esfuerzo para lograr mis objetivos.

AGRADECIMIENTOS

Mi sincero agradecimiento a todas aquellas personas que desde su lugar me brindaron su apoyo incondicional, y que con sus vivencias me enseñaron que la VIDA está llena de posibilidades y que depende exclusivamente de nosotros el rumbo que tome ella.

Agradecer a Dios por permitir cumplir uno de mis metas trazadas a mis padres Zenón y Vigilda por darme la oportunidad de estudiar esta carrera, a mis hermanos por llenar mi vida de grandes momentos.

De manera especial y sincera al ingeniero Eugenio Gonzales, quien me brindo todo su apoyo y confianza para desarrollar la presente tesis. Su capacidad de guiar mis ideas ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de esta tesis, sino también en mi formación profesional, siempre estuvo ahí apoyándome, guiándome y compartiendo sus experiencias laborales.

A Cesar Campos por haber sido un excelente amigo y por apoyarme siempre de manera desinteresada e incondicional por haberme tenido la paciencia necesaria por motivarme a seguir adelante.

A Carlos Celestino, Henry Machacuay, grandes amigos que me brindaron su apoyo desinteresadamente.

Al Mg. Gallardo Mendoza, y Mg. Rene Vignati por el asesoramiento profesional.

A Jhon Arias mi compañero de vida por motivarme a seguir adelante en los momentos de desesperación y sobre todo por hacer de su familia, una familia para mí.

HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADOS

DR. CASIO AURELIO, TORRES LOPEZ.

PRESIDENTE

ING. IVAN ALONSO, ZAPATA ROJAS.

JURADO

ING. FELIPE LUIS, DURAND LOPEZ

JURADO

MG. GIAN FRANCO, PEREZ GARAVITO.

JURADO

MG. MIGUEL ANGEL, CARLOS CANALES

SECRETARIO DE DOCENTE

INDICE

Contenido	pág.
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCION.....	XV
ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS.....	XVII
CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACION.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2.1 Problema General.....	3
1.2.2 Problemas específicos.....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3.1 Ambiental y Social.....	3
1.3.2 Científica o Teórica.....	3
1.3.3 Metodológica.....	4
1.4. DELIMITACIONES.....	5
1.4.1 Espacial.....	5
1.4.2 Temporal.....	5
1.4.3 Económicas.....	5
1.5. LIMITACIONES.....	6
1.6. OBJETIVOS.....	6
1.6.1. Objetivos General.....	6
1.6.2. Objetivos Específicos.....	6
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	7
2.1. DATOS GENERALES.....	7
2.2. ANTECEDENTES.....	9
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	16
2.3.1. Tipos de fallas en taludes.....	17
2.3.2. Bases generales de diseño.....	19
2.3.3. Métodos de construcción de presas de relaves.....	26

2.3.4.	Tipos y Disposición de relaves	28
2.3.5.	Procesamiento de minerales.....	28
2.3.6.	Aspectos ambientales y de cierre.....	30
2.3.7.	Ensayos de Laboratorio realizados en el campo	32
2.3.8.	Clasificación del relave grueso mediante el hidrociclón D-15.	36
2.3.9.	Métodos de Análisis de Estabilidad de taludes.....	37
2.3.10.	Análisis de estabilidad de taludes bajo acción sísmica.....	45
2.3.11.	Diseño del crecimiento de la presa de relaves Tacaza	49
2.3.12.	Definición de Términos	54
2.4.	HIPÓTESIS	58
2.4.1.	Hipótesis General.....	58
2.4.2.	Hipótesis Específicos.....	58
2.5.	VARIABLES.....	58
2.5.1.	Variable independiente (x).....	58
2.5.2.	Variable Dependiente (Y).....	59
2.5.3.	Definición Operacional de la Variable	59
2.5.4.	Operacionalización de la Variable	60
CAPITULO III: METODOLOGIA		62
3.1	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	62
3.2	TIPO DE INVESTIGACIÓN	62
3.3	NIVEL DE INVESTIGACIÓN	62
3.4	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	62
3.5	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	63
3.5.1	Población:	63
3.5.2	Muestra	63
3.6	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.....	63
3.7	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	63
CAPITULO IV: RESULTADOS.....		65
4.1	GENERALIDADES	65
4.2	DISEÑO GEOTÉCNICO	66
4.2.1	SONDEOS GEOTÉCNICOS RECIENTES PARA EL CRECIMIENTO DE PRESAS DE RELAVES.....	66
4.2.2	SONDEOS GEOTÉCNICOS	67
4.2.3	ENSAYOS IN SITU	67
4.2.4	ENSAYOS DE LABORATORIO	70

4.2.5 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD FÍSICA DE LA PRESA DE RELAVES	74
CAPITULO V: DISCUSION DE RESULTADOS.....	85
CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES.....	89
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	90
MATRIZ DE CONSITENCIA	90
Anexos	

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	pág.
Tabla 1 Procedimiento Metodológico.....	4
Tabla 2 Presupuesto	5
Tabla 3 Factor de Zona Perú (E030).....	22
Tabla 4 Aceleración de diseño para diferentes periodos de retorno	23
Tabla 5 Estación meteorológica.....	23
Tabla 6 Temperatura promedio mensual	23
Tabla 7 Precipitación total mensual media periodo 1962 - 2005 (estación Pampahuta).	24
Tabla 8 Evaporación total mensual media para el periodo 2002-2005 (estación Pampahuta).....	24
Tabla 9 Precipitación máxima en 24 h estación Pampahuta.....	25
Tabla 10 Precipitación máxima en 24 h según distribuciones probabilísticas	26
Tabla 11 granulometría del relave grueso underflow ciclones	33
Tabla 12 Resultados de ensayos estándar en la presa de relaves.....	35
Tabla 13 Parámetros geotécnicos de los materiales recomendados	35
Tabla 14 Dimensiones del hidrociclón D-15	36
Tabla 15 Métodos que actualmente se usa para el análisis de estabilidad.....	40
Tabla 16 Factores de seguridad para la estabilidad de taludes – condiciones de evaluación estática	47
Tabla 17 Factores de seguridad para la estabilidad de taludes - evaluación sísmica.....	47
Tabla 18 Factores mínimos de seguridad para el talud aguas abajo (MEM).....	48
Tabla 19 Valores mínimos permisibles del factor de seguridad.....	49
Tabla 20 Comparación del depósito de relaves (actual).....	50
Tabla 21 Indicadores de las Variables	60
Tabla 22 Coordenadas de ubicación y profundidad de los sondeos.	67
Tabla 23 Ensayo de densidad de campo y contenido de humedad existente.....	68
Tabla 24 Ensayos densidad de campo y contenido de humedad - actual	68
Tabla 25 Ensayos de penetración estándar - SPT	69
Tabla 26 Ensayos de permeabilidad	69
Tabla 27 Ensayos de campo.....	70
Tabla 28 Resumen de ensayos especiales consolidado no drenado (CU)	71

Tabla 29 Criterios de diseño y características	72
Tabla 30 Análisis Volumétrico	73
Tabla 31 Valores mínimos permisibles del factor de seguridad.....	75
Tabla 32 Resultado de las corridas de la presa de relaves en condiciones estáticas y pseudo estatico.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Descripción	pág.
Figura 1 Condiciones de estabilidad de la presa de colas de Stava (dique superior), fallada en 1985, bajo cuatro hipótesis de posición de la superficie freática: A, B, C y D (Chandler y Tosatti, 1995).....	10
Figura 2 Se puede observar que el rio Agruio quedo cubierto de solidos etremadamente contaminado generado por el drenaje acido	11
Figura 3 Complejo de Stava	12
Figura 4 Desborde de la presa de relaves Fundao	13
Figura 5 Obreros trabajan en limpieza de relave.....	14
Figura 6 Cerro Tamboraque acumulacion de relaves a metros del rio Rímac.	15
Figura 7 Se puede observar muestra de cárcavas en el talud de la ppresa de relaves.	16
Figura 8 Tipos de falla en taludes.....	17
Figura 9 Falla de base y falla limitada por un estrato firme	18
Figura 10 Criterio de rotura de Mohr- Coulomb	19
Figura 11 Esfuerzo normal vs esfuerzo tangencial.....	19
Figura 12 Curvas de nivel detalladas del area del proyecto	20
Figura 13 Litología y fallas existentes en el area del Proyecto	21
Figura 14 Mapa de Zonificación Sísmica.....	22
Figura 15 Presa de relaves aguas arriba.....	27
Figura 16 Presa de relaves aguas abajo	27
Figura 17 Presa de relaves línea central	28
Figura 18 Procesamiento de minerales.....	29
Figura 19 Reología del relave y métodos de disposición	30
Figura 20 Gestión Ambiental Minera.....	31
Figura 21 Cierre de una presa de relaves, despues de la actividad minera.....	32
Figura 22 Esquema del hidrociclón D-15 para la separación de gruesos y finos.....	36
Figura 23 Proceso del esparcimiento del relave cicloneado mediante el Hidrociclon	37
Figura 24 Métodos de cálculo de estabilidad de taludes	38
Figura 25 Equilibrio de fuerzas actuantes	40
Figura 26 Formulación del método de Fellenius	41

Figura 27 Formulación del método de Bishop Simplificado.....	43
Figura 28 Formulación del método de Janbu	44
Figura 29 Formulación del método de Morgenstern y Price	45
Figura 30 ubicación de la presa de relaves Tacaza.....	53
Figura 31 Diagrama del proceso metalúrgico y conformación del dique de presas con material cicloneado	59
Figura 32 análisis de estabilidad física de la presa de relaves Tacaza a la cota 4,320 sección de análisis A-A - falla de tipo circular - talud global - análisis estático – dique con relave grueso empleado por el modelo Bishop	76
Figura 33 Análisis de estabilidad física de la presa de relaves Tacaza a la cota 4,320 Sección de análisis A-A' - falla de tipo circular - talud global - análisis pseudo-estático– dique con relave grueso empleado por el modelo Bishop.....	77
Figura 34 Análisis de estabilidad física de la presa de relaves Tacaza a la cota 4,320 Sección de análisis B-B - falla de tipo circular - talud global - análisis estático – dique con relave grueso empleado por el modelo Spencer	78
Figura 35 Análisis de estabilidad física de la presa de relaves Tacaza a la cota 4,320 sección de análisis B-B' - falla de tipo circular - talud global - análisis pseudo-estático– dique con relave grueso empleado por el modelo Spencer	79
Figura 36 Análisis de Estabilidad Física de la Presa de Relaves Tacaza a la Cota 4,320 Sección de Análisis A-A' - Falla de Tipo Circular - Talud global - Análisis Estático – Dique con material de cantera empleando por el modelo Bishop.....	80
Figura 37 análisis de estabilidad física de la presa de relaves Tacaza a la cota 4,320 sección de análisis A-A' - falla de tipo circular - talud global - análisis pseudo-estático – dique con material de cantera empleado por el modelo Bishop.....	81
Figura 38 Análisis de estabilidad física de la presa de relaves Tacaza a la cota 4,320 sección de análisis B-B' - falla de tipo circular - talud global - análisis estático – dique con material de cantera empleado por el modelo Spencer	82
Figura 39 Análisis de estabilidad física de la presa de relaves Tacaza a la cota 4,320 sección de análisis B-B' - falla de tipo circular - talud global - análisis pseudo-estático – dique con material de cantera empleando por el modelo de Spencer	83

RESUMEN

La presente investigación responde al siguiente **problema general** ¿De qué manera influye la construcción de diques de presas con relave cicloneado en la estabilidad física de la presa de relaves desde la cota 4,316 m.s.n.m. hasta 4,320 m.s.n.m.?, **objetivo general** es Determinar la influencia de la construcción del dique de presas con relave cicloneado en la estabilidad física de la presa de relaves de la cota 4,316 m.s.n.m. hasta 4,320 m.s.n.m. la **hipótesis general** que debe verificarse es: La construcción de diques de presas con relave cicloneado influirá positivamente en la estabilidad física de la presa de relaves en el nivel de crecimiento de la cota 4,316 m.s.n.m. hasta 4,320 m.s.n.m.

El **método de investigación** es científico, **tipo de investigación** es aplicada, con un **nivel de investigación** explicativo-descriptivo, y el **diseño de investigación** es cuasi-experimental, la **población** está constituida por las compañías Mineras como; Minera Colquisiri S.A, Minera Condestable S.A, Minera los Quenuales S.A Minera Condestable, Minera Volcan S.A.A y Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. empresas mineras que vienen utilizando el mismo tratamiento de relaves. Y el tipo de muestreo es intencionado o no probabilístico, y que para este estudio se estableció el dique de la presa de relaves de la compañía Minera Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A es representativo de la población considerada.

Como conclusión para la construcción de diques de presas con relave cicloneado influirá positivamente en la estabilidad física de la presa de relaves en el nivel de crecimiento de la cota 4,316 m.s.n.m. hasta 4,320 m.s.n.m.

Palabras claves: Dique de presas, análisis de estabilidad física, relave grueso (cicloneado), factor de seguridad, propiedades geotécnicas.

ABSTRACT

This investigation responds to the following general problem How influence the construction of dams with tailings cicloneado on the physical stability of the dam of tailings from the dimension 4,316 m.s.n.m up to 4320 msnm. general objective is to, Determine the influence of the dam construction of dams with tailings cicloneado on the physical stability of the dam from tailings of the dimension 4,316 m.s.n.m up to 4320 msnm. the general hypothesis that should be checked is The construction of dams with cicloneado tailings dams will positively influence the physical stability of the dam of tailings in the level growth of the cota 4,316 m.s.n.m up to 4320 msnm.

The method of research is scientific, research is applied, with a level of research explanatory-descriptive and the design of research is quasi-experimental, the population is constituted by the mining companies as Minera Colquisiri S.A. Minera Condestable S.A., Minera los Quenuales S.A. Minera Condestable, Minera Volcan S.A. A mining companies that are using the same tailings treatment And the type of sample is intentional or not probabilistic, and for this study established the company tailings dam Mining consortium of engineers executors miners S.A is representative of the population.

Conclusion for the construction of dams with tailings dams cicloneado will positively affect the physical stability of the tailings dam in the level of growth of the cota 4,316 m.s.n.m up to 4,320 m.s.n.m.

Key words: Dam of preys, analysis of stability, thick tailings (cicloneado), factor of security, properties geotechnical.

INTRODUCCION

La presente investigación, se realizó con la finalidad de determinar la estabilidad física de la presa de relaves utilizando en su construcción relave grueso (producto del cicloneado). El proyecto de factibilidad para el crecimiento de la presa de relaves Tacaza desde la cota 4,316 msnm hasta la cota 4,320 msnm, ubicado en el paraje de Choroma, distrito de Santa Lucía, provincia de Lampa, región Puno, con altitud promedio de 4,300 msnm, se realizó para Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. en el mes de marzo de 2018.

El continuo crecimiento en las tasas de producción de la industria minera Polimetálica durante las últimas décadas requiere el recrecimiento de las presas existentes y la construcción de nuevos depósitos de relaves a bajos costos; el colapso de estas estructuras puede causar daños e impactos al ecosistema circundante y a la población, los principales agentes contaminantes que contienen los relaves son: cianuro, mercurio, plomo, entre otros metales pesados.

Tenemos como antecedentes nacionales como es el caso de la Compañía Minera Caudalosa, el 26 de junio del 2010 se produjo el colapso de presa de relaves y los desechos mineros afectaron los ríos Totorá Pampa (Huachocolpa), Escalera y Opamayo, originando una catástrofe a la zona del proyecto y área circundante. (Sánchez Camac, 2010).

Actualmente el Perú cuenta con 176 minas metálicas en operación con un número desconocido de depósitos de relaves activos e inactivos. De estas minas, 54 producen más de 100 ton/día y sólo 26 más de 500 ton/día. Siete de éstas son operaciones a tajo abierto y las minas subterráneas completan la diferencia.

La presente investigación se justificó con fines de reducir el costo para la conformación o construcción del dique de presa de relaves, prevenir riesgos de desprendimientos o derrumbes de presas de relave y reducir el impacto ambiental, es así que se plantea que la presa de relaves Tacaza sea estable físicamente para el nivel recrecimiento desde la cota 4,316 msnm hasta la cota 4,320.0 msnm utilizando relave grueso (overflow) producto del cicloneo de los relaves provenientes de la planta concentradora, dado que la compañía minera requiere ampliar la vida útil del proyecto para continuar con el almacenamiento de relaves finos (underflow) en la presa de relaves, De acuerdo a Comisión Internacional de Grandes Represas (ICOLD) y la guía DAM SAFETY GUIDELINES 2007, presentan que los factores de seguridad para la estabilidad de taludes en condiciones de evaluación estática debe ser mayor que 1 tal como se muestra en la tabla N° 17 y de acuerdo a las corridas de la

sección más crítica de la presa de relaves, los resultados obtenidos son mayores que la unidad como se muestran en la tabla N° 32, asegurando la estabilidad física de la presa de relaves, para ello se empleó dos modelos que actualmente son recomendados: Bishop y Spencer.

La presente investigación se encuentra organizada en 5 capítulos como se describen a continuación.

El Capítulo I, se desarrolla lo siguiente: Planteamiento del problema, justificación, delimitaciones, limitaciones y objetivos.

El Capítulo II, trata acerca antecedentes la revisión de la información generada, en la cual se menciona los antecedentes internacionales y nacionales basados en casos similares prácticas y teóricas sobre el análisis de estabilidad.

El Capítulo III, trata acerca de la metodología de la investigación, donde se describe la metodología de la investigación el tipo de investigación, nivel de investigación, diseño de la investigación, población y muestra.

El Capítulo IV, trata acerca del resultado de la investigación y discusión de resultados numéricos.

El Capítulo V, discusión de resultados, conclusiones, recomendaciones y resumen de las conclusiones.

El Capítulo III, trata acerca de la metodología de la investigación, donde se describe la metodología de la investigación el tipo de investigación, nivel de investigación, diseño de la investigación, población y muestra.

El Capítulo IV, trata acerca del resultado de la investigación y discusión de resultados numéricos.

El Capítulo V, discusión y análisis de los resultados del análisis de estabilidad física.

Finalmente se presenta las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

BACH.
SUSAN, SALAZAR ROMERO

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

c'	:	Cohesión del terreno.
ϕ	:	Ángulo de fricción
FS	:	Factor de Seguridad
γ_{tot}	:	Peso específico húmedo
γ_s	:	Peso específico saturado seco
ICOLD	:	Comisión Internacional de Grandes Represas.
IGP	:	Instituto Geofísico del Perú
$^{\circ}\text{C}$:	Grados Celsius
Km	:	Kilómetros
m.s.n.m.	:	Metros Sobre el Nivel del Mar
m	:	Metros
m/s	:	Metros por Segundo
mm	:	milímetros
m^2	:	Metros Cuadrados
m^3	:	Metros Cúbicos
TMD	:	toneladas métricas diarias
P _{máx} 24 h	:	Precipitación máxima en 24 horas
MEM	:	Ministerio de Energía y Minas.
MINAM	:	Ministerio del Ambiente
OEFA	:	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
DGAAM	:	Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros
w	:	Contenido de humedad expresado en %
W _w	:	Peso del agua existente en la masa del suelo
W _s	:	Peso de las partículas.

CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El continuo crecimiento en las tasas de producción de la industria minera Polimetálica durante las últimas décadas requiere el recrecimiento de las presas existentes y la construcción de nuevos depósitos de relaves a bajos costos; el colapso de estas estructuras puede causar daños e impactos al ecosistema circundante y a la población, los principales agentes contaminantes que contienen los relaves son: cianuro, mercurio, plomo, entre otros metales. En países altamente sísmicos, las presas de relaves presentan un grado de vulnerabilidad ante la eventual licuefacción de las arenas. (Figuerola et al. 2017). Asimismo, la carencia de criterios técnicos de diseño y construcción de los depósitos de relaves, han ocasionado el desprendimiento o derrumbe de las presas de relaves, esto ha causado la contaminación de ríos y lagunas ocasionando desastres socio ambientales, de las cuales se tiene registro del evento ocurrido tanto en el entorno nacional e internacional; estos a su vez han ocasionado gastos económicos adicionales para las empresas mineras.

En Canadá, el 2014 ocurrió el rompimiento de la presa de relaves Mount Polley de la empresa minera Imperial Metals Corp. Cerca de ocho millones de metros cúbicos de derivados de oro y cobre se vertieron en un par de lagos glaciales en la región de Columbia Británica, lo que interrumpió temporalmente los suministros locales de agua potable.

Chile, es país altamente sísmico donde la construcción de presas de relaves mediante el método aguas arriba no está permitido, debido a la vulnerabilidad de las presas ante la eventual licuefacción de las arenas. El caso más emblemático ocurrido en 1965 en la mina El Soldado, donde se produce la falla de la presa El Cobre N° 1 dejando un saldo de más de 200 víctimas; es por ello que las presas de relaves en Chile han sido construidas mayormente mediante el método de crecimiento aguas abajo.

En el Perú, también existen casos documentados, como es el caso de la presa de relaves Torito con 78 m de altura, el cual cambió de un crecimiento aguas abajo a uno de línea central, presentando hasta la fecha un adecuado comportamiento. Como referencia de presas de línea central de gran altura se pueden mencionar la presa Cerro Verde en Perú, que alcanzaría una altura máxima de 260 m (Obermayer y Alexieva, 2011), además de presas ubicadas en Norteamérica, Thompson Creek en Canadá (golder.com) que alcanzaría

una altura de 220 m y la de Highland Copper Valley en EEUU (Scott et al., 2007) que alcanzaría una altura máxima de 169 m.

Los métodos de análisis que pueden considerarse modernos, se inician en 1954 con el de Bishop, para fallas circulares, y en 1956 el de Janbú, para superficies no circulares. La complejidad del cálculo ya era inquietante, y las sofisticaciones posteriores llegaron a hacer casi tónica la aplicación práctica, hasta que la aparición del ordenador convirtió en rutina metodologías consideradas casi imposibles, como la basada en Elementos Finitos. Hoy existen en el mercado numerosos programas informáticos que cubren suficientemente las necesidades de un profesional, aunque se hace necesario indicar que los buenos programas (software) suelen ser caros, pero de igual forma pueden ser obtenidos gratuitamente en la Web con el riesgo de obtener softwares dañados y con ello cometer algún error inadvertido. Una práctica muy saludable, previa a la compra de un software o uso por primera vez en un problema real, es solicitarle que calcule varios deslizamientos ya ocurridos para comprobar si los resultados se ajustan a lo evidenciado sobre el terreno.

La experiencia que se tiene de inestabilidad de presas de relaves está asociado a las siguientes causas: por deslizamiento del talud, por infiltración, operación inadecuada y mal manejo en la depositación de relaves, entre otros .En la mayoría de las presas de relaves, el manejo del agua dentro del depósito es un factor determinante del nivel de seguridad con que se opera. (Roberto Rodríguez1, 2009)

La Compañía Minera, requiere ampliar la vida útil de su presa de relaves Tacaza, para continuar con el almacenamiento de cicloneados (overflow) debido a que la presa de relaves ya alcanzó la cota de corona. Se considera construir el crecimiento de la presa de relaves con relaves grueso, proveniente de la planta metalúrgica para el diseño se considerará el método de crecimiento de línea central desde la cota 4,316 msnm hasta la cota 4,320 msnm, alcanzando una altura máxima de 4 m (equivalente a un 10% de la altura del depósito actual). Para ello se planteará criterios técnicos, que eviten alteración del ambiente, conflictos sociales y que sea económicamente viable.

1.2. FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema General

¿De qué manera influye la construcción de diques de presas con relave cicloneado en la estabilidad física de la presa de relaves desde la cota 4,316 m.s.n.m. hasta 4,320 m.s.n.m.?

1.2.2 Problemas específicos

- a) ¿De qué manera influye las características geotécnicas del relave cicloneado, en la construcción del dique de presas de relave en la estabilidad física de la presa de relaves?
- b) ¿En qué medida, los métodos de equilibrio límite garantizaran la construcción del dique de presas de relave en la estabilidad física de la presa de relaves?

1.3. JUSTIFICACIÓN

1.3.1 Social

Además de la justificación técnica para la construcción del dique de presas de relaves con material cicloneado (relave grueso), existe actualmente un compromiso ambiental y social en la reducción del impacto ambiental, de acuerdo al estudio del impacto ambiental (EIA) del titular minero.

Dado que la vulnerabilidad de la población circundante, como flora y fauna, son áreas productivas (agricultura y ganadería), se ven amenazadas por la posible contaminación por la ausencia de criterios técnicos de la estabilidad física de la presa de relaves se requiere esta estructura sea estable; para cumplir con la responsabilidad social con las comunidades del ámbito del proyecto.

1.3.2 Teórica

El relave grueso generado por el producto cicloneo de la Planta de Proceso Metalúrgicos contienen cianuro, mercurio, plomo entre otros metales pesados, sin embargo las presas inestables podrían causar el colapso de estas estructuras causando así daños e impactos al ecosistema circundante y afectar en su medida a la población. El diseño de la presa de relaves, previa revisada por un especialista, donde se diseñara utilizando la más alta tecnología en conservación y protección del medio ambiente.

Hoy en día el tema de análisis de estabilidad de presas de relave, está adquiriendo una mayor importancia debido a que las actividades mineras generan grandes cantidades de relaves mineros.

El sector minero metalúrgico ha venido provocando diferentes tipos de impactos en el medio natural (local, regional, global), impactos sobre el medio social e impactos sobre el sector productivo y la economía.

En tanto es importante diseñar una presa de relaves que cumpla con los estándares establecidos por el Ministerio de Energía y Minas, ICOLD, CDA y práctica estandarizada en la ingeniería geotécnica. Donde indican parámetros de diseño y las actividades de construcción, operación, cierre y post cierre del mismo, ya que el espacio impactado debe ser cerrado y rehabilitado, logrando que ésta alcance o vuelva a las condiciones iniciales halladas.

1.3.3 Metodológica

Para el análisis de estabilidad física de la presa de relaves está basado en un proceso de normas, manuales de operaciones y manejo de contingencias y reglamentos que cumplan con el diseño de la presa de relaves durante la operación y construcción de la presa de relaves. Debiendo cumplir con los parámetros siguientes:

Tabla 1 Procedimiento Metodológico

OBJETIVO GENERAL		
Determinar la influencia de la construcción del dique de presas con relave cicloneado en la estabilidad física de la presa de relaves de la cota 4,316 m.s.n.m. hasta 4,320 m.s.n.m.		
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	PROCESO METODOLÓGICO	RESULTADOS OBTENIDOS
<p>O.E.1 Determinar la influencia de los parámetros geotécnicos del relave cicloneado, en la estabilidad física de la presa de relaves, para el crecimiento de la cota 4,316 m.s.n.m. hasta 4,320 m.s.n.m.</p>	<p>Para el diseño del crecimiento de la presa de relaves desde la cota de la cresta de 4,316 m.s.n.m. hasta 4,320 m.s.n.m; se ha evaluado las características topográficas y sobre la base de las investigaciones geotécnicas ejecutadas en el área de ubicación de la presa de relaves, han servido para definir las propiedades geotécnicas de los materiales.</p>	<p>Para el análisis de estabilidad física de la presa de relaves se ha tomado como referencia la geometría interna del dique de arranque del crecimiento de la presa de relaves y los parámetros de resistencia.</p> <p>Asimismo, las características y geometría de la estructura estabilizante fueron obtenidas del informe de construcción del crecimiento y estabilización de la presa de relaves.</p> <p>Los valores de los parámetros geotécnicos de los materiales ensayados son los siguientes: del relave grueso y relave fino.</p>

OBJETIVO GENERAL		
Determinar la influencia de la construcción del dique de presas con relave cicloneado en la estabilidad física de la presa de relaves de la cota 4,316 m.s.n.m. hasta 4,320 m.s.n.m.		
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	PROCESO METODOLÓGICO	RESULTADOS OBTENIDOS
<p>O.E.2 Mediante el empleo de los métodos de equilibrio límite, determinar el factor de seguridad (FS) de la presa de relaves de la cota 4,316 m.s.n.m. hasta 4,320 m.s.n.m.</p>	<p>Los métodos de equilibrio límite para el cálculo de estabilidad son los más utilizados en la práctica común, debido a su sencillez, y porque el valor del coeficiente de seguridad obtenido no dista demasiado del valor real. Para la determinación de los factores (FS) en el diseño del crecimiento de la presa de relaves Tacaza, se emplea el método de equilibrio límite.</p>	<p>De acuerdo a las características geotécnicas de los materiales y la configuración propuesta de la presa de relaves, e ha obtenido los resultados del análisis de estabilidad física, los factores de seguridad obtenidos son mayores que el mínimo requerido de 1.5 para condiciones estáticas y 1.0 para condiciones pseudo-estáticas.</p>

Fuente: *Elaboración propia*

1.4. DELIMITACIONES

1.4.1 Espacial

La zona de estudio se ubica en el valle del río Verde, en la quebrada Sayocomana, afluente del río Verde por su margen derecha, entre las cotas 4,270 a 4,370 msnm. Ubicado en el paraje de Choroma, distrito de Santa Lucía, provincia de Lampa, región Puno, con altitud promedio de 4,300 msnm.

1.4.2 Temporal

El tiempo de la investigación tuvo una duración de seis meses, inició el sábado 27 de enero hasta el 10 de junio del 2018.

1.4.3 Económicas

El presupuesto para la siguiente tesis contempla de las siguientes actividades principales las mismas se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 2 Presupuesto

Ítem	Descripción de las actividades	Cant	Und.	Costo	Total
				Unitario	
				S/.	
1.1	Asesoramiento profesional	1	Glob	5994	5994
1.2	Diseño de Planos	1	Glob	1000	1000
1.3	Impresión, anillado de documentos	1	Glob	400	400
1.4	Fotocopias de documentos y ploteos de planos	1	Glob	150	150

Ítem	Descripción de las actividades	Cant	Und.	Costo	Total
				Unitario	
				S/.	S/.
1.5	Planos Formato Digital	1	Und.	150	150
1.8	Software AutoCAD civil 2018	1	Und	1000	1000
1.9	Software Slide V.6	1	Und	1000	1000
				Subtotal	S/9,694.00
				10%	S/969.40
				Total	S/10,663.40

Fuente: Elaboración propia

1.5. LIMITACIONES

- Tiempo insuficiente para el desarrollo de la tesis y realizar muestras detalladamente.
- La construcción de presas de relaves con relaves cicloneado requiere un análisis particular para cada yacimiento minero, es decir, las características mineralógicas de los yacimientos mineros a nivel nacional son diferentes, asimismo como la ocurrencia de fenómenos naturales.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. Objetivos General

Determinar la influencia de la construcción del dique de presas con relave cicloneado en la estabilidad física de la presa de relaves de la cota 4,316 m.s.n.m. hasta 4,320 m.s.n.m.

1.6.2. Objetivos Específicos

- a) Determinar la influencia de los parámetros geotécnicos del relave cicloneado, en la estabilidad física de la de la presa de relaves.
- b) Mediante el empleo de los métodos de equilibrio limite, determinar el factor de seguridad (FS) de la presa de relaves.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1.DATOS GENERALES

Todo proyecto que se realiza con fines productivos, por lo general implica alguna alteración sobre el medio ambiente físico, biológico, socio económico y/o cultural, que hasta hace algunos años no se tomaba en cuenta; sin embargo hoy, debido a los grandes problemas ambientales que se tiene en el mundo, se exigen que todos los proyectos no sólo deben ser factibles técnica, económica y financieramente; sino también social y ambientalmente viables, así como sostenibles en el tiempo.

Actividad de la Compañía Minera

El Proyecto Minero Metalúrgico Tacaza, es un yacimiento con minerales de sulfuros de cobre (Calcosina, Calcopirita, producto de las soluciones hidrotermales, cuya estructura tipo manto (estratoligado), se encuentra hospedado en lavas andesíticas del grupo Tacaza. Los minerales valiosos extraídos producto de las actividades de exploración, desarrollo, preparación y explotación a realizarse dentro de las áreas de la concesión mineras San Salvador, mediante el proceso de concentración por flotación, utilizando equipos y maquinarias adecuados y requeridos, para el procesamiento eficiente de los minerales. La estructura mineralizada del yacimiento Tacaza, es un cuerpo sub horizontal (Manto), estrato ligado, hospedado en secuencia volcánica del grupo Tacaza (lavas andesíticas y aglomerados volcánicos).

Donde el material de desecho de la concentradora, denominado relave (fino), será enviado por escurrimiento natural mediante canaletas o tubería de polietileno grado 10 de 5" de diámetro.

La deposición de relaves será efectuada mediante el método de Segregación Idealizada de tamaño de partículas y de descarga paralela en dos puntos en forma manual, aguas abajo, la descarga para la conformación del dique de presas se realizará por medio de ciclones D15, el mismo que irán cambiando de ubicación a lo largo del dique o muro de arranque, donde el overflow (Finos) ingresará a la cancha de relaves y el underflow (Gruesos), pasarán a conformar el dique de la presa, esta deberá cumplir con un talud apropiada y natural.

Criterios para el Diseño de la Estabilidad del Depósito de Relaves.

En general, el análisis de estabilidad de taludes consiste en la determinación del factor de seguridad al desplazamiento, FS, para un conjunto de condiciones de borde y parámetros que definen el problema en el instante del análisis.

Los análisis han sido desarrollados usando el programa de estabilidad Rocscience, módulo SLIDE 6.0 aplicando los métodos de Bishop, Spencer y Janbu. A continuación, se presentan los mínimos factores de seguridad para las condiciones de funcionamiento del depósito de relaves:

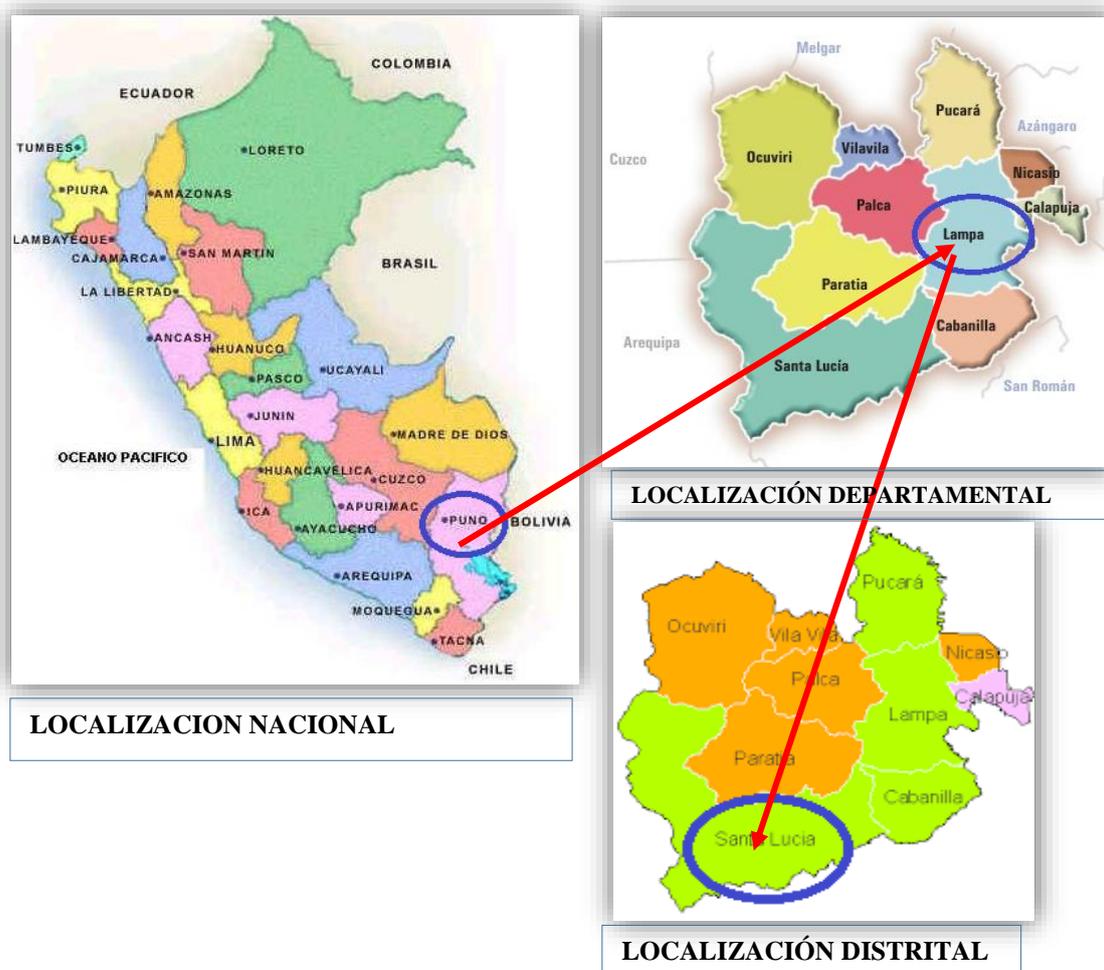
- Condición Estática : Factor de Seguridad mayor de **1.50**
- Condición Pseudo Estático : Factor de Seguridad mayor de **1.00**
- Final de la Construcción : Factor de Seguridad mayor de **1.30**

Ubicación la Presa de Relaves Tacaza

El área de estudio está localizado en el sur del territorio peruano, en el caserío de Choroma, distrito de Santa Lucia, provincia de Lampa, departamento de Puno, entre las cotas 4280 y 4350 msnm aproximadamente, encontrándose delimitado por las siguientes coordenadas:

N 8°272,250, E 315,750

N 8°270,500, E 314,500



2.2. ANTECEDENTES

Internacionales

Según los Boletines del Comité Internacional de Grandes Presas (ICOLD), presenta las causas más comunes de fallas de las estructuras de presas de relaves: en las cuales analizaron 251 casos ocurridos en todo el mundo, donde identificaron el deslizamiento del talud, rotura del dique. El deslizamiento de un talud ocurre cuando los esfuerzos de corte en una superficie que delimita un bloque de suelo, exceden la resistencia al corte del material.

Chandler y Tosatti (1995) analizaron la estabilidad del talud de la presa superior de Stava fallada en 1985. El análisis se realizó para cuatro posiciones hipotéticas de la superficie freática (A, B, C y D) que se muestran en la figura 1. Los factores de seguridad que se obtienen para la superficie de deslizamiento mostrada son: 1.35, 1.21, 1.04 y 0.76, considerando cada una de las superficies A, B, C y D, respectivamente. (Roberto Rodríguez¹, 2009).

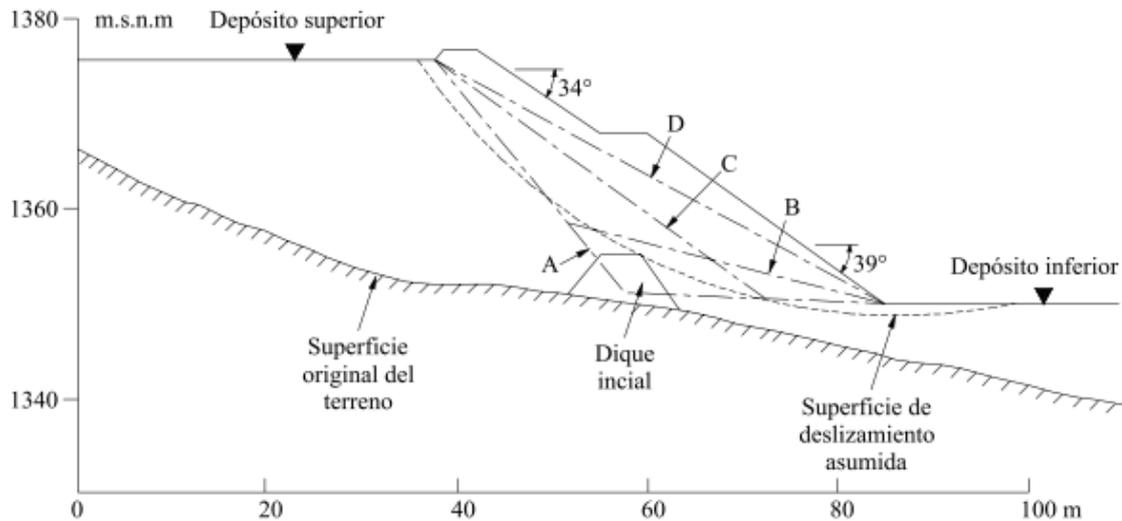


Figura 1 Condiciones de estabilidad de la presa de colas de Stava (dique superior), fallada en 1985, bajo cuatro hipótesis de posición de la superficie freática: A, B, C y D (Chandler y Tosatti, 1995).

Fuente: Los grandes desastres medioambientales producidos por la actividad minero-metalúrgica a nivel mundial: causas y consecuencias ecológicas y sociales.

Otra técnica utilizada para el control de la granulometría es la de los hidrociclones, que separan el caudal de en una fracción gruesa y otra fina. Los relaves gruesos se utilizan para el crecimiento de la presa, y la pulpa se va directamente al vaso en la parte central del dique de presas.

Hoy en día las compañías mineras diseñan sus presas de relave con un sistema de subdrenaje con el único fin de controlar el nivel freático y captar las aguas de infiltración y si existe alguna abertura del geotextil o geo membrana del vaso de la presa de relaves, esta cumplirá la función de proteger y será direccionado directamente hacia la poza de drenaje.

EN ESPAÑA:

El 25 de abril de 1998 se produjo la rotura de la presa de relaves en Aznalcóllar (Sevilla). De acuerdo a la composición mineralógica se determinó que el relave procesado contenía pirita (FeS_2) la cual genera agua ácida muy tóxicos, normalmente contienen altas concentraciones de metales pesados. La presa de relaves se desbordó sobre los ríos Agrio y Guadiamar a lo largo de 40 Km quedando afectado la superficie de área 4.402 los lodos invadieron la región externa del Parque Nacional y desembocaron en el Guadalquivir en el área del Coto de Doñana, llegando a alcanzar parte del Océano Atlántico, en Sanlúcar

de Barrameda, los vertidos tóxicos de Aznalcóllar han arrasado siembras entre fauna, flora y suelos. Las pérdidas agrícolas se sitúan del orden de los 1.800 millones de pesetas. Las pérdidas afectadas han sido fundamentalmente de: 1225 Ha Eucaliptos, 1193 Ha Cereal y oleaginosas, 985 Ha Pastizales, 542 Ha Arrozales, 485 Ha Zonas palustres inundadas, 304 Ha Frutales y olivares, 220 Ha Algodón, 78 Ha Vegetación de ribera, 77 Ha Graveras, 52 Ha Dehesa clara y 43 Ha Cultivos. La vida acuática quedó muy gravemente afectada, por la gran cantidad de la extrema acidez). (Aguilar, y otros, 2000).



Figura 2 Se puede observar que el río Agruio quedo cubierto de solidos extremadamente contaminado generado por el drenaje acido

Fuente: El desastre ecológico de Aznalcóllar

EN ITALIA:

La presa de residuos mineros de Stava colapso en el año 1985. Chandler y Tosatti plantearon como ejemplo sobre la falla iniciada por un problema en una tubería de decantación, siendo el factor más probable la falla y la fuga de agua del conducto de decantación de la presa superior.

El tubo de acero estaba directamente apoyado sobre la superficie de los residuos mineros recientemente vertidos. Y como se continuó con crecimiento de la presa quedando inmerso en la masa de relaves, y por el peso de las nuevas capas, el tubo fue arrastrado hacia abajo. Esto permitió que el agua transportada por el tubo directamente a los residuos mineros haciendo que la superficie freática en ese sitio se elevara. En la siguiente figura se muestra el esquema de la reparación realizada para salvar un tramo de conducto de decantación obstruido en la presa superior planteada por Chandler y Tosatti, en 1995.

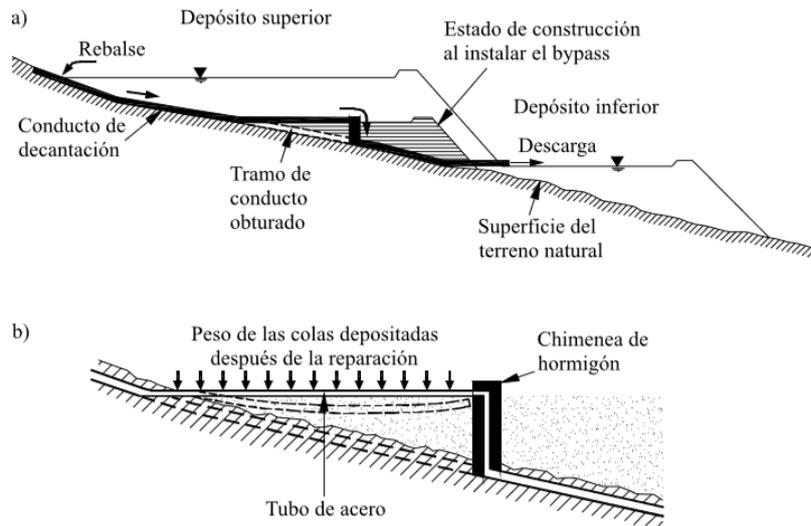


Figura 3 Complejo de Stava

Fuente: Los grandes desastres medioambientales producidos por la actividad minero-metalúrgica a nivel mundial: causas y consecuencias ecológicas y sociales.

EN BRASIL

El 12 de junio de 2016 la presa de Fundao, de la minera Samarco, propiedad de Vale y BHP Billinton, en Minas Gerais, se dio por un inadecuado sistema de drenaje y las infiltraciones producidas meses antes de la caída de la presa de relaves, La asociación Cooperación clasifico como la peor tragedia ambiental afectando más de 1.200 hectáreas por los residuos mineros que llegaron al río Doce. Por lo menos 30 mil peces fueron encontrados muertos, Se encontraron alrededor de 20 fallas graves, tales como; la ausencia de análisis de riesgos, problemas en la construcción de la presa, por uso de materiales de baja calidad. A pesar de las fallas detectadas en el sistema de drenaje y las infiltraciones producidas meses antes de la ruptura; decidieron ampliar la producción. Paralelamente, la reducción en el plazo de revisión de las modificaciones de las unidades mineras y la reducción de presupuesto y facultades de sanción y supervisión de la OEFA, solo contribuyen a aumentar los riesgos.



Figura 4 Desborde de la presa de relaves Fundao

Fuente: Iagua.es Europa Press

Nacionales

Actualmente el Perú tiene 176 minas metálicas en operación con un número desconocido de presas de relaves activos e inactivos. De las mismas, 54 producen más de 100 ton/día y sólo 26 más de 500 ton/día. Siete de éstas son operaciones a tajo abierto con minas subterráneas completando la diferencia.

Desde el punto de vista de ingeniería, la deficiencia mayor de los diseños de estas presas de relaves es que no consideran los eventos extremos como; las inundaciones y terremotos, ni en el proceso de diseño ni durante la etapa de construcción de la presa de relaves.

Es así que existen el tipo de presas de relaves sísmicamente vulnerables, aguas abajo las que predominan en el Perú; para el tratamiento de agua superficial consideran el sistema de derivación mediante canales y cunetas las cuales permiten la evacuación de aguas superficiales ubicándose en ambas márgenes de las presas de relaves. Su propósito es que las aguas precipitadas en las áreas aledañas no entren en contacto con el depósito de relaves y no generen flujos que considere tratamiento posterior a su descarga.

Actualmente las compañías mineras en el Perú utilizan prácticas novedosas de disposición de relaves, tal como el relleno subterráneo, método de descarga espesada y disposición de relaves deshidratados.

La estabilidad física de las presas de relaves debe estar asegurada durante la operación, cierre y a lo largo del período de post-cierre. Y como medidas de contingencia se debe tener la continuidad de las operaciones, que garanticen la integridad de las personas que

garanticen la integridad de las instalaciones de las presas de relaves y la protección del medio ambiente.

EN HUANCAMELICA

El 10 junio del 2010 la compañía Minera Caudalosa S.A Unidad Minera Huachocolpa en el distrito de Angaraes (Huancavelica), colapsó el dique de relaves y los desechos mineros afectaron el río Escalera, originando una catástrofe en la zona. (Sánchez Camac, 2010).



Figura 5 Obreros trabajan en limpieza de relave.

Fuente: informe N° 092-2010 derrame de relave de Caudalosa

EN LIMA

La presa de relaves Tamboraque, ubicada en el distrito de San Mateo de Huanchor, provincia de Huarochirí distrito de Lima. Uno de los casos más preocupantes, que simboliza por un lado la desidia de las autoridades y por otro la irresponsabilidad de la compañía minera.

Son cerca de 630 mil toneladas de residuos tóxicos que concentra la planta de relaves de Tamboraque, a pocos metros del río Rímac, que como se sabe es la principal fuente de abastecimiento de agua para la ciudad de Lima.



Figura 6 Cerro Tamboraque acumulación de relaves a metros del rio Rímac.

EN ICA:

ICA Metals S.A.C. XPERTIA S.A.C, cuenta con una planta metalúrgica con una capacidad instalada de 350TMD de mineral de cobre.

el 18 de setiembre de 2015, con registro de ingreso SIGED 201500126066, la Defensoría del Pueblo de Ica, la Gerencia de Fiscalización Minera de Osinergmin dispuso una denuncia sobre las condiciones de operación de la presa de relaves de la unidad minera "Planta metalúrgica Perusia" de la empresa ICA Metals S.A.C.

En atención a la denuncia de la Defensoría del Pueblo de Ica, la Gerencia de Fiscalización Minera del Osinergmin, dispuso una supervisión de la presa de relaves N°4 de la "Planta metalúrgica Perusia". Dispuso la paralización de las operaciones en la presa de relaves N° 1. porque se observó que las pozas de relaves N°1 no presentaban un sistema de impermeabilizada, estando los relaves en contacto directo con el suelo, no contaba con un sistema de control de fugas, ni cuenta con un canal de escorrentía impermeabilizado, por no contar con una disposición final adecuada de relaves por no tener borde libre que garantice la estabilidad física de la presa de relaves, por no contar con el estudio de estabilidad física y por haber sobrepasado la cota de diseño en 14.5m, sin contar con la autorización de construcción y funcionamiento.

En las presas de relaves 1, 2,3, y 4 Se observó grietas de un ancho aproximado de 20cm cruzaban todo el talud, lo cual debilita las estructuras de la pila, así mismo se va observar derrames y filtraciones en las bases de los muros de las pilas de relave.

De este modo se produce el desborde del relave, ya sea por el rebalse de las pilas o por el colapso de estas, este ocasionaría impactos ambientales negativos a la flora y a la fauna de las zonas aledañas de la planta y el agua que está calificado como agua de riego de vegetales y bebida de animales. (ACOMISA, 2016).



*Figura 7 Se puede observar muestra de cárcavas en el talud de la presa de relaves.
Fuente: informe final diseño del depósito de relaves n°4 de la "Planta Metalúrgica Perusia"*

2.3.MARCO CONCEPTUAL

Las teorías y los métodos que buscan calcular la estabilidad física de las presas de relave conformado de material seleccionado ya sea material de desmonte, material de préstamo o relave grueso, soportan la resistencia al corte y la falla de las fuerzas actuantes.

Para determinar la estabilidad física de taludes es muy importante el factor de seguridad (FS), donde intervienen las siguientes características; la geometría del talud, cargas dinámicas por acción de sismos, flujo de agua, y propiedades de los suelos.

Los métodos de cálculos de estabilidad sirven para determinar la estabilidad en una determinada sección de la presa de relave, se utilizan dos modelos de cálculo como Bishop, Spencer, u otros, hasta que cumpla con las condiciones necesarias que aseguren su estabilidad. (OCHOA ORÉ, 2013, pág. 5).

2.3.1. Tipos de fallas en taludes.

Las fallas se dan por: Sismos, tubificación, sobreelevación, manejo inapropiado de la presa de relaves, construcción deficiente, cimentación inapropiada, inadecuada disposición del relave, inadecuado manejo de aguas. A continuación, se describen los tipos de fallas de manera general.

Deslizamientos Superficiales

Específicamente son sujetas a fuerzas naturales que tiende a hacer las partículas y porciones de suelo se deslicen hacia abajo, denominada falla continua, se consideran dos tipos de falla que puede ocasionarse considerablemente en la presa de relaves.

- **Falla Rotacional**

Se define falla de curva o movimientos rápido, originándose instantáneamente, las fallas ocurren por lo común en materiales arcillosos homogéneos con pendiente extremo o empinado.

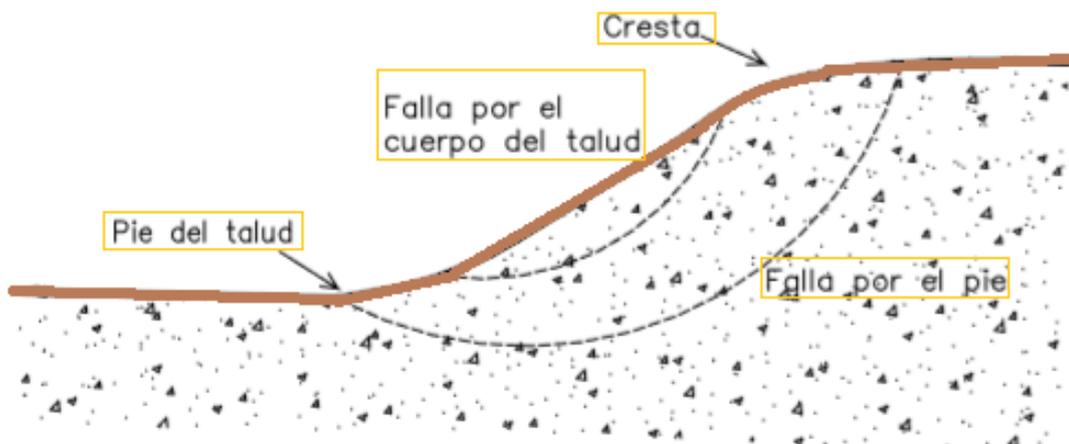


Figura 8 Tipos de falla en taludes

Fuente: geología y geotecnia- estabilidad de taludes

- **Falla Traslacional**

Por lo general consiste en movimientos traslacionales del cuerpo de la presa, básicamente se presenta en estratos poco resistentes en su defecto con poca profundidad del talud.

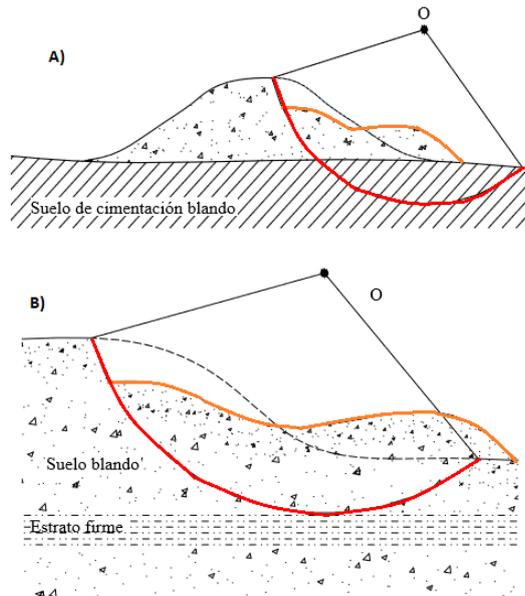


Figura 9 Falla de base y falla limitada por un estrato firme

Fuente: geología y geotecnia- estabilidad de taludes

Flujos:

Son fallas en movimiento y se da en laderas naturales puede ser de cualquier formación no consolidada, y así el fenómeno puede presentarse en fragmentos de roca, taludes, suelos granulares finos o arcillosos.

Parámetros resistentes

La caracterización geotécnica de los suelos y los macizos rocosos presentan propiedades más importantes, en lo que respecta a la estabilidad de taludes, empleado por Mohr-Coulomb, el cual permite definir la tensión tangencial o de corte que se alcanza los parámetros resistentes del suelo.

Su aplicación:

$$\tau = C' + \sigma' \cdot \text{tg} \phi' = C' + (\sigma - u_w) \cdot \text{tg} \phi'$$

Donde:

c' : Cohesión del terreno.

σ' : Esfuerzo efectivo.

u_w : Presión intersticial del agua.

ϕ' : Ángulo de rozamiento interno del terreno.

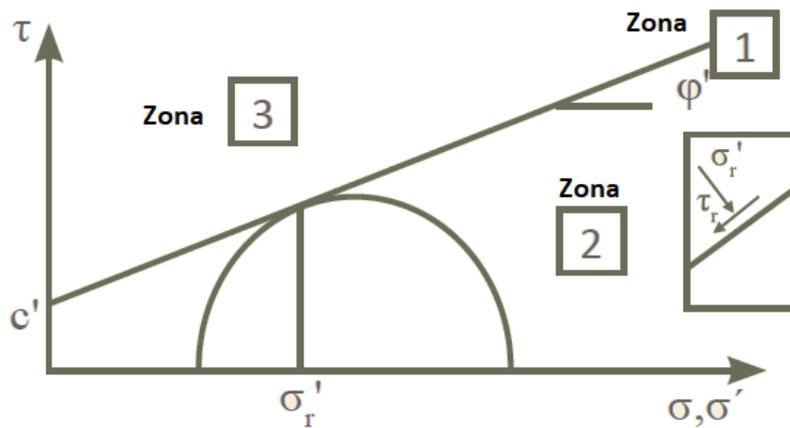


Figura 10 Criterio de rotura de Mohr- Coulomb

Fuente: conceptos básicos, parámetros de diseño y métodos de cálculo.

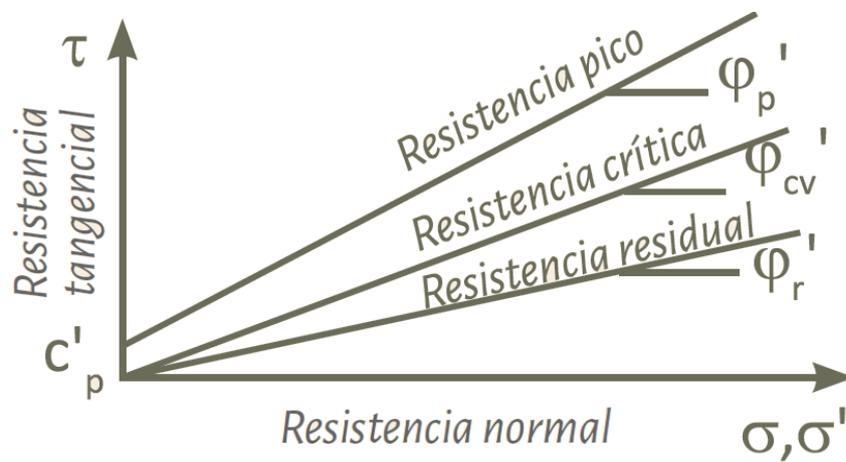


Figura 11 Esfuerzo normal vs esfuerzo tangencial

Fuente: Estabilidad de taludes: conceptos básicos, parámetros de diseño y métodos de cálculo.

2.3.2. Bases generales de diseño

2.3.2.1. Topografía

Con la finalidad de monitorear posibles asentamientos y/o desplazamientos en el área proyectada, la empresa tiene instalado cinco (05) hitos de control topográfico. Además, se instalará un (01) hito para el control topográfico a lo largo del eje central del dique principal proyectado, ubicado al pie de la presa construido con material de préstamo

Para los estudios de detalle se requieren planos a escalas no inferiores a 1:5.000 y preferiblemente 1:1000 para el diseño de la presa de relaves y demás instalaciones auxiliares de la compañía Minera. (F. J. AYALA CARCEDO).

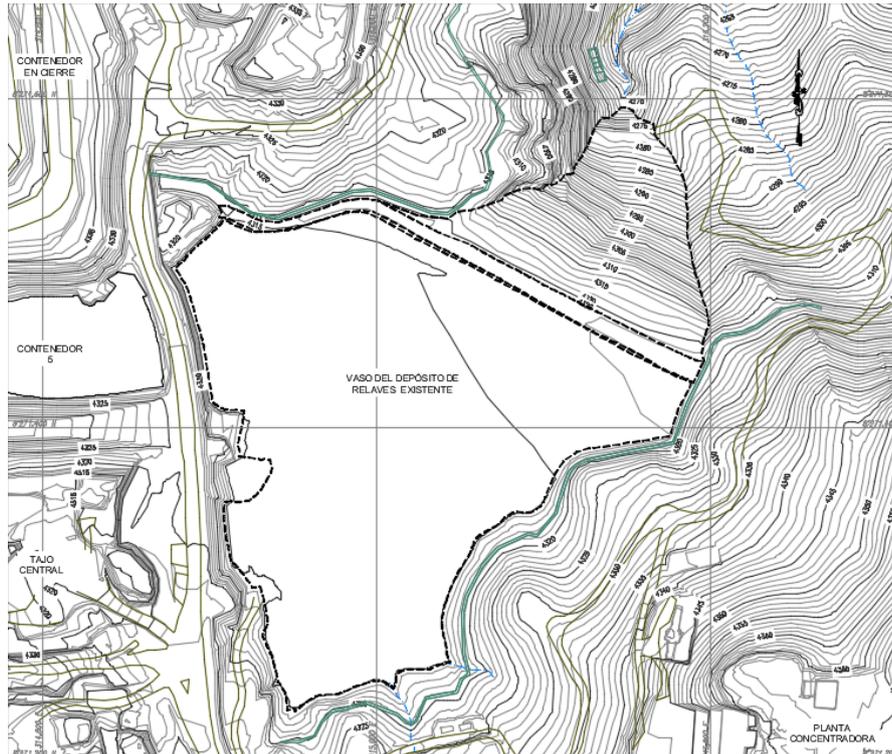


Figura 12 Curvas de nivel detalladas del área del proyecto

2.3.2.2. Geología local

El dique del depósito está emplazado sobre afloramientos de rocas volcánicas en ambas márgenes de la quebrada Sayocomana, cubiertos parcialmente por depósitos morrénicos, el sector del cauce de la quebrada en este sector del eje se encuentra conformado por afloramientos de rocas volcánicas y en otros casos por material aluvial que rellena el cauce de la quebrada.

A continuación, se describen cada una de estas unidades:

a) Grupo Tacaza (T-Ta)

Conformada por tobas volcánicas y lavas andesíticas, superficialmente se presentan meteorizadas y fracturadas.

b) Depósitos morrénicos (Q-mo)

Litológicamente consisten de gravas limo arenosas con cantos y bloques subangulosos, estos depósitos se exponen tanto en el sector del eje de presa, así como en la zona de la Planta Metalúrgica y en las márgenes del vaso de la presa

de relaves, han sido evaluadas mediante excavaciones manuales de calicatas y perforaciones diamantinas.

c) Depósitos aluviales de quebrada (Q-al)

Consisten en una mezcla heterogénea de gravas, cantos y bloques englobados en matriz areno limosa, todo el conjunto se presenta semicompacto.

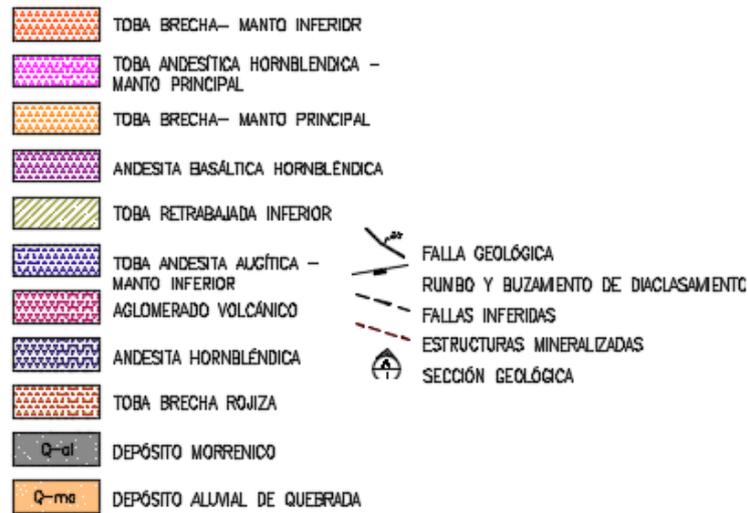


Figura 13 Litología y fallas existentes en el área del Proyecto

2.3.2.3. Zonificación Sísmica

Para la evaluación de la estabilidad física de presa de relaves Tacaza se calculó con un periodo de retorno de 475 años. Alcanzando una aceleración máxima de **0.30g**. (U.S. Army Corps of Engineers, Hynes y Franklin, 1984), sugieren el uso de un coeficiente sísmico pseudo-estático igual al 50% de la aceleración pico de diseño, para nuestro caso el coeficiente sísmico será de **0.15g** en condiciones pseudo estáticas.

De acuerdo a la zonificación última actualización de la norma E030. Diseño sismo resistente, el área del proyecto se encuentra en la zona 2, el mapa del Perú se divide en cuatro zonas sísmicas, tal y como se muestra en la figura N°14.



Figura 14 Mapa de Zonificación Sísmica

Fuente: Norma (E030) Diseño sismo resistente

En la siguiente tabla se indica el factor asignado a cada zona (o PGA, peak ground acceleration) aceleración pico del suelo para un período de retorno T=500 años.

Tabla 3 Factor de Zona Perú (E030)

Zona	4	3	2	1
PGA	0.45	0.35	0.25	0.1

2.3.2.4. Sismicidad del área de estudio

Según Jorge Alva, especialista en ingeniería geotécnica sísmica, realizó en los años 1984 – 1993 el estudio y la recopilación de los registros sísmicos en todo el Perú, defendiendo un mapa de aceleraciones máximas para una excedencia de 10% de probabilidad en periodos de 50 y 100 años (valores empleados en los diseños) Para determinar la aceleración de diseño.

Los diferentes periodos de retorno, la DATA sísmica se obtuvieron del IGP. A continuación, se presenta la aceleración máxima. para el caso del análisis pseudo-estático de la presa de relaves Marcuson (1981) sugirió que, para las aceleraciones básicas de diseño, deben aplicarse coeficientes entre 1/3 y 1/2 a los valores de la aceleración máxima para el diseño.

Tabla 4 Aceleración de diseño para diferentes periodos de retorno

Aceleración de diseño	0.09	0.12	0.14	0.19	0.21
Periodo de retorno (años)	100	500	1,000	5,000	1,0000

2.3.2.5.Hidrología

La zona de estudio se ubica en el valle del río Verde, específicamente en la quebrada Sayocomana, afluente del río Verde por su margen derecha, entre las cotas 4,270 a 4,370 msnm.

Fuente de información: La fuente de información utilizada para la caracterización hidrológica de la zona de estudio pertenece al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

Estaciones meteorológicas: Para obtener la información meteorológica se utilizó la estación Pampahuta, esta estación ha sido considerada por su cercanía al Proyecto, sobre todo desde el punto de vista pluviométrico, cuyo detalle de coordenadas se muestra en la siguiente Tabla:

Tabla 5 Estación meteorológica

Estación	Longitud Oeste	Latitud Sur	Altitud (msnm)
Pampahuta	70° 40'	15° 29'	4,400

Fuente: Estudio de Factibilidad para el crecimiento de la presa de relaves.

Elaboración propia

Temperatura: En la siguiente tabla se presenta la temperatura promedio mensual, proveniente de la estación Pampahuta.

Tabla 6 Temperatura promedio mensual

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
6.7	6.6	6.5	5.8	4.3	2.4	2.4	3.5	5.3	6.5	7.4	7.5

Fuente: Estudio de Factibilidad para el crecimiento de la presa de relaves.

Elaboración propia

Precipitación: Se presentan a continuación los registros de precipitación media de la estación Pampahuta:

Tabla 7 Precipitación total mensual media periodo 1962 - 2005 (estación Pampahuta).

Mes	Precipitación (mm)	%
Ene.	180.0	22.6
Feb.	159.2	20.0
Mar.	131.7	16.6
Abr.	51.2	6.4
May.	11.3	1.4
Jun.	3.3	0.4
Jul.	3.0	0.4
Ago.	8.8	1.1
Sep.	16.3	2.0
Oct.	39.7	5.0
Nov.	66.4	8.4
Dic.	124.2	15.6
Total, Anual	795.0	100.0

Fuente: Estudio de Factibilidad para el crecimiento de la presa de relaves.

Elaboración propia

Evaporación: Para la evaporación total mensual se utilizó la estación Pampahuta la cual cuenta con registros en el periodo 2002 - 2005. Los registros medios de esta estación se presentan a continuación:

Tabla 8 Evaporación total mensual media para el periodo 2002-2005 (estación Pampahuta)

Mes	Evaporación (mm)	%
Ene.	94.4	8.0
Feb.	76.3	6.5
Mar.	84.8	7.2
Abr.	81.3	6.9
May.	89.0	7.6

Mes	Evaporación (mm)	%
Jun.	81.8	7.0
Jul.	90.0	7.7
Ago.	101.9	8.7
Sep.	110.4	9.4
Oct.	121.4	10.3
Nov.	127.8	10.9
Dic.	116.0	9.9
Total Anual	1175.1	100.0

Fuente: Estudio de Factibilidad para el crecimiento de la presa de relaves.

Elaboración propia

Precipitación máxima en 24 Horas: La precipitación máxima en 24 horas, obtenidos de la estación Pampahuta. Los valores máximos anuales de precipitación máxima en 24 horas de la estación Pampahuta se presentan siguiente.

Tabla 9 Precipitación máxima en 24 h estación Pampahuta

Año	Pmáx 24 h	Año	Pmáx 24 h	
1986	35.70	1996	39.80	Promedio : 36.65 N° datos : 20.00 Máxima : 49.90 Mínimo : 25.20 σ : 6.51
1987	25.20	1997	42.30	
1988	32.40	1998	38.00	
1989	34.30	1999	38.60	
1990	27.10	2000	34.40	
1991	32.10	2001	49.90	
1992	36.60	2002	47.90	
1993	36.30	2003	36.40	
1994	37.30	2004	40.00	
1995	25.40	2005	43.30	

Fuente: Estudio de Factibilidad para el crecimiento de la presa de relaves.

Elaboración propia.

Precipitación de diseño: Existen varias distribuciones de probabilidades que se utilizan muy frecuentemente en la determinación de variables hidrológicas:

- a) Distribución Normal (N)
- b) Distribución LogPearson III (LP3)
- c) Distribución Gumbel (EV1)

En la tabla siguiente se presentan valores de la precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno con cada una de las distribuciones de probabilidad evaluadas.

Tabla 10 Precipitación máxima en 24 h según distribuciones probabilísticas

Periodo de Retorno (años)	Distribución Normal	Según Gumbel	Según Log Pearson III
2	36.65	35.58	36.58
5	42.13	41.33	42.20
10	44.99	45.14	45.15
20	47.36	48.80	47.57
50	50.02	53.53	50.26
100	51.79	57.07	52.03
200	53.42	60.61	53.62
500	55.38	65.27	55.52

Fuente: Estudio de Factibilidad para el crecimiento de la presa de relaves.

Elaboración propia

2.3.3. Métodos de construcción de presas de relaves

Por razones económicas (financieras) las presas de relaves se construyen gradualmente al ritmo de producción de residuos de la mina.

Las arenas de relave pueden ser utilizadas como material estructural del cuerpo del dique en tres métodos diferentes, a continuación, se desarrollarán algunos métodos de crecimiento del dique de contención de la presa de relaves.

Método aguas arriba

Consiste en un muro inicial (starter dam) que se puede construir con material de préstamo o desmonte de mina, compactado sobre el cual se inicia la disposición de los relaves, utilizando hidrociclones, la fracción, más gruesa, se descarga por el flujo inferior del hidrociclón (Underflow) y se deposita al dique o muro de contención mientras la fracción más fina o lamas, que sale por el flujo superior del

hidrociclón (Overflow) se deposita hacia el vaso de la presa de relaves. (Ramos, 2017, pág. 52).



Figura 15 Presa de relaves aguas arriba

Fuente: Anddes

Método aguas abajo

La construcción se inicia con un muro de partida de material de préstamo compactado desde el cual se vacía el relave grueso cicloneado hacia el lado del talud aguas abajo y la pulpa se depositan hacia aguas arriba con talud de 1. 5H:1V y 2H: 1V. Este método es el que más se usa por ser estable por su gran anchura, por ser viable. (Ramos, 2017, pág. 53).



Figura 16 Presa de relaves aguas abajo

Fuente: Anddes

Método de línea central

Se inicia al igual que los métodos anteriores con un muro de partida de material de préstamo compactado, sobre el cual relaves cicloneados hacia el lado de aguas abajo y la pulpa hacia el lado de aguas arriba, Este método permite lograr el almacenamiento por banquetas tal y como se muestra la figura N° 17 Este método requiere disponer de un volumen de arenas intermedio y permite lograr muros suficientemente estables. (Ramos, 2017, pág. 54).



Figura 17 Presa de relaves línea central

2.3.4. Tipos y Disposición de relaves

Son instalaciones para almacenar relaves provenientes de la planta de beneficio de minerales.

- Tipos de relave
- Convencional
- Espesados
- pasta filtrados

El relave convencional o espesado puede ser cicloneado para separar la parte gruesa y ser usada para la formación del dique, dependiendo de su potencial de contaminación o compromisos ambientales adquiridos, pueden necesitar de un revestimiento de geomembrana.

2.3.5. Procesamiento de minerales

Chancado: reduce los fragmentos de roca de la mina a un tamaño aceptable como alimentación de equipos de molienda.

Molienda: etapa final de la reducción física del mineral desde roca a tamaño de relaves.

Concentración: separa las partículas de valores altos (concentrado) de aquellos con bajos valores (relaves). Ejemplos: separación por gravedad, separación magnética y flotación.

Lixiviación: involucra la remoción de los metales con valor del mineral por contacto directo con un solvente, usualmente una solución ácida o alcalina dependiendo del tipo de mineral.

Calentamiento: del mineral o la partícula pulpa en suspensión para la extracción de metales, principalmente petróleo o relaves de petróleo.

Desaguado: proceso de remoción del agua de la pulpa relaves-agua después de la concentración.



Figura 18 Procesamiento de minerales

Fuente: Anddes



Figura 19 Reología del relave y métodos de disposición

Fuente: Anddes

2.3.6. Aspectos ambientales y de cierre

Se denomina contaminación a la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que superen los límites establecidos que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población Impacto o Cuando una actividad o acción (por un proyecto) origina una alteración, modificación o cambio en las condiciones del ambiente. (Ttito Clavo, 2017)

2.3.6.1. Riesgo ambiental

Está relacionado con los daños que pueden producirse por factores del entorno, ya sean propios de la naturaleza o provocados por el ser humano, por ejemplo: un sismo, la erupción de un volcán son fenómenos naturales que provocan un riesgo ambiental, que si no se toman las medidas de control generarían un impacto. (Ttito Clavo, 2017)

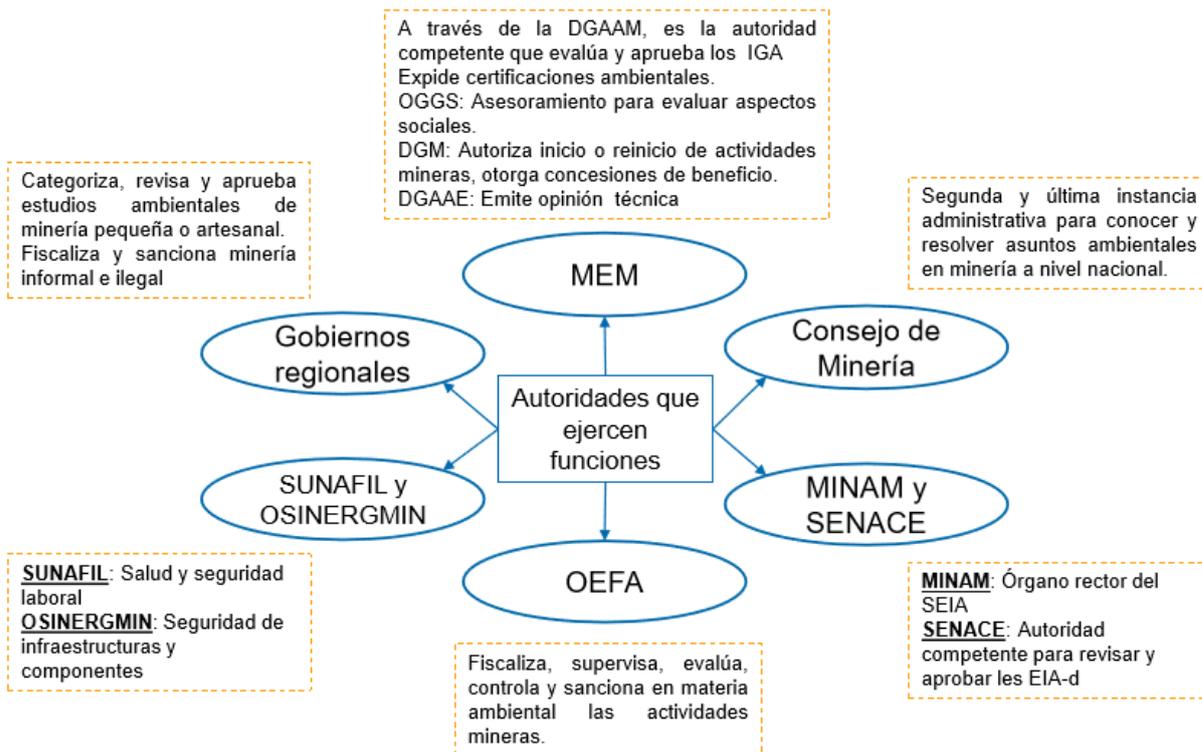


Figura 20 Gestión Ambiental Minera

Fuente: Reglamento de protección y gestión para las actividades de explotación, beneficio, labor general, transporte y almacenamiento minero (DS N°040-2014-EM)

2.3.6.2. Qué es un estudio de línea de base

Es una fotografía al inicio del proyecto en un determinado período de tiempo, de las características del entorno ambiental que rodea un proyecto (biológico, físico y sociocultural) antes de que se instale un proyecto. (Ttito Clavo, 2017)

2.3.6.3. Plan de cierre de minas (PdC)

Plan de cierre, es un instrumento de gestión ambiental conformado por acciones técnicas y legales, que deben ser efectuadas por el titular de actividad minera, con el fin de rehabilitar las áreas utilizadas o perturbadas por la actividad minera consideradas en el estudio de línea base, para que estas alcancen características de ecosistema de la vida y la conservación del paisaje. (Ttito Clavo, 2017)

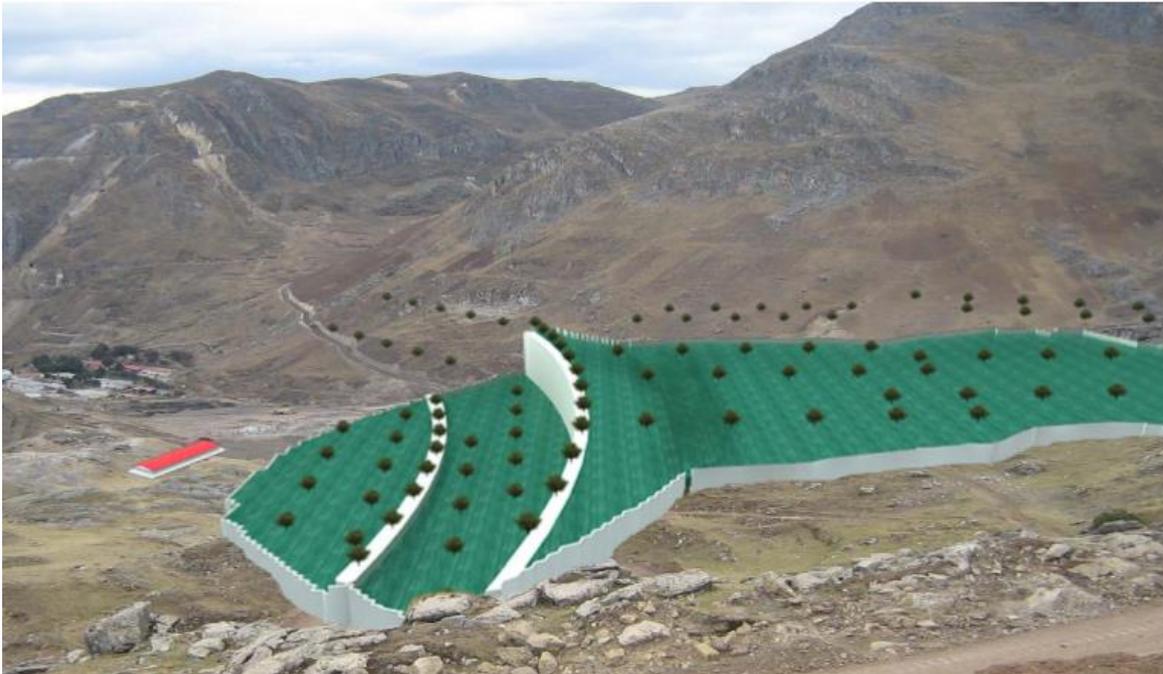


Figura 21 Cierre de una presa de relaves, despues de la actividad minera

Fuente: Anddes

2.3.7. Ensayos de Laboratorio realizados en el campo

2.3.7.1. Contenido de Humedad de acuerdo a la norma ASTM D-2216

De las calicatas C-1; M-01, C-3; M-01 y C-4 se realizaron el contenido de humedad obtenidas Se elaboró con la finalidad de determinar el contenido de humedad de una muestra de suelo obtenida en el campo.

El método tradicional de determinación de la humedad del suelo en laboratorio, es por medio del secado a horno 18hr, donde la humedad de un suelo es la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua existente en una determinada masa de suelo y el peso de las partículas sólidas, donde la medición y cálculos se dan por los siguientes ítems.

- Ensayo N°
- Recipiente N°
- Peso del recipiente gr.
- Peso del recipiente + suelo húmedo gr.
- Peso del recipiente + suelo seco gr.
- Peso del suelo húmedo gr.
- Peso del suelo seco gr.

- Contenido de humedad %

El contenido de humedad se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$W = (W_w/W_s) * 100(\%)$$

Donde:

- w : Contenido de humedad expresado en %
- W w : Peso del agua existente en la masa del suelo
- Ws : Peso de las partículas.

2.3.7.2. Análisis granulométrico por Tamizado de acuerdo a la norma ASTM D-422

Su finalidad es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo. Así es posible también su clasificación mediante sistemas como AASHTO o USCS. Su procedimiento de cálculo es la siguiente:

$$\% \text{ retenido} = \frac{W_{Tamiz}}{W_1} \times 100$$

Donde:

- W_{malla} : Peso retenido en cada tamiz
- W_1 : Peso de la muestra secada al horno.

Granulometría del relave grueso.

Para el crecimiento de la presa de relaves Tacaza hasta la cota 4320 m.s.n.m estará conformado por relave grueso proveniente de la descarga del underflow de los ciclones. Este material se clasifica como una arena limosa (SM) según la granulometría a continuación se muestra la granulometría según los números de mallas.

Granulometría:

Tabla 11 granulometría del relave grueso underflow ciclones

Malla N°	Abertura	Material acumulado %	Material pasante %
40	420	27	73.0
50	300	50.20	49.8
70	212	67.8	32.2
100	150	79.8	20.2
150	106	85.6	14.4

Malla N°	Abertura	Material acumulado %	Material pasante %
200	75	89.7	10.3
270	53	92.3	7.7
325	45	93.2	6.8
400	38	93.6	6.4
>400	<38	100	0.0

Fuente: Arcadis geotecnia

Los parámetros geotécnicos del relave mostrados entregan valores dentro del rango esperado para cada material por lo que fueron utilizados para realizar análisis preliminares de estabilidad del crecimiento de la presa de relaves para el desarrollo de la estabilidad de la presa se utilizaron los resultados de los ensayos de laboratorio.

2.3.7.3. Ensayo triaxial según la Norma ASTM D 2850-82

Con la finalidad de obtener parámetros del suelo y la relación del esfuerzo cortante, consiste en colocar una muestra cilíndrica de suelo dentro de una membrana de caucho, que se introduce en una cámara especial y se le aplica una presión igual en todo sentido y dirección.

De acuerdo a los recientes resultados del ensayo de compresión Triaxial consolidado no drenado (CU), se determinó que los parámetros de resistencia interna del relave grueso son de 29° para el ángulo de fricción y cohesión nula.

Granulometría

Para el presente estudio de investigación se ejecutó ensayos estándar de laboratorio de la muestra extraditada de la calicata C-2, con fines de identificación y clasificación según (SUCS). En la Tabla N° 12 se resumen los ensayos ejecutados en las diferentes campañas de investigaciones.

Tabla 12 Resultados de ensayos estándar en la presa de relaves

Área de la presa de relaves	Calicata	Muestra	Prof. (m)	Clasific. SUCS	Granulometría por tamizado		Límites de consistencia	
					Retenido > N° 04	% finos pasa N° 200	Límite líquido	Límite plástico
	C-1	M-1	0.20-3.00	SM	32.83	17.79	43.56	34.72
	C-2	M-1	0.60-2.20	ML	0.00	65.02	49.67	39.46
	C-3	M-1	0.40-3.00	SM	27.03	23.12	47.76	32.74
	C-5	M-2	0.20-1.60	SM	0.00	40.58	57.21	42.46
	C-8	M-1	0.30-2.20	SM	13.86	45.22	49.00	34.73
	T-1 y T-2	M-1	2.50	MG	47.49	14.31	36.49	28.65
	C-1	M-1	0.0-1.00	SM	0.00	20.9	NP	NP

Fuente: Igegin S.A.C

Parámetros geotécnicos recomendados

En la Tabla 13 esfuerzos actuales. Porque el suelo genera se muestra los parámetros geotécnicos de los diferentes materiales que han sido utilizados para el análisis de estabilidad del presente estudio de factibilidad para la presa de relaves.

Tabla 13 Parámetros geotécnicos de los materiales recomendados

Material	γ_s (kN/m ³)	γ_{tot} (kN/m ³)	Parámetros de resistencia	
			Cohesión C (kPa)	Fricción Φ (°)
Relave Fino	14	15.7	0.0	15.0
Relave Grueso	15	16	0.0	27.0
Dique de Arranque	19.5	21	027.	36.0
Dren	16	16	0.0	38.0
Andesita Tobacea (roca)	22	22	130.0	36.0
Material de préstamo	21	22	10	35.0

Fuente: elaboración propia

Donde:

γ_{tot} : Peso específico húmedo

γ_s : Peso específico saturado seco

C : Cohesión

Φ : Ángulo de fricción interna del suelo

2.3.8. Clasificación del relave grueso mediante el hidrociclón D-15.

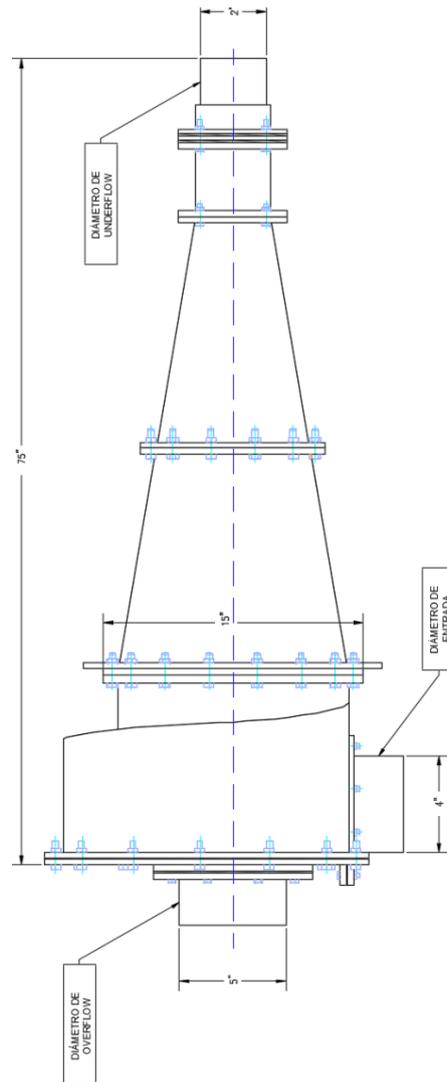


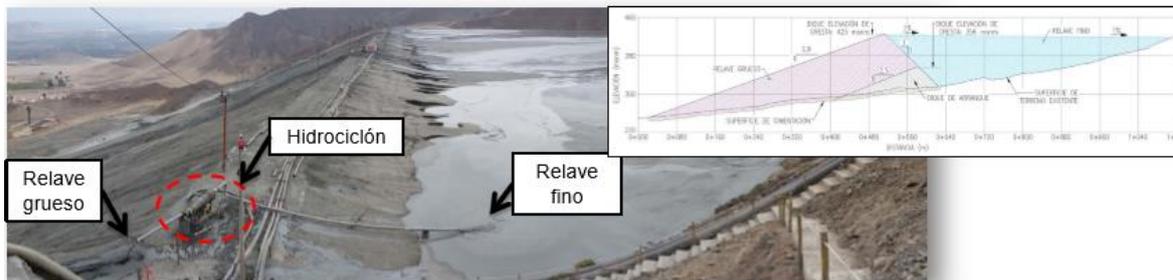
Figura 22 Esquema del hidrociclón D-15 para la separación de gruesos y finos

Tabla 14 Dimensiones del hidrociclón D-15

Descripción	Dimensión
Diámetro de entrada	4''
Vortex finder diámetro	5''
Longitud total	75''
Longitud del vortex finder	6''
Diámetro de underflow	2''

Depósito de relaves cicloneado

- Crecimiento de presa aguas abajo con relaves gruesos.



Depósitos de relaves convencional

- Crecimiento de presa en línea central con material de préstamo.



Figura 23 Proceso del esparcimiento del relave cicloneado mediante el Hidrociclón

Fuente: presa de relaves estudios, diseño y construcción diseño civil e hidráulico presentado por:

Carlos César Quispe / Javier Mendoza Rivera.

2.3.9. Métodos de Análisis de Estabilidad de taludes

Existen varios métodos de análisis de estabilidad que se pueden ser útil en el diseño de taludes. Las que se basan en principio del equilibrio límite, teoría del límite plástico, y en deformación. A continuación, se describe en la figura N°24 los métodos de cálculo como para equilibrio límite y el método numérico.

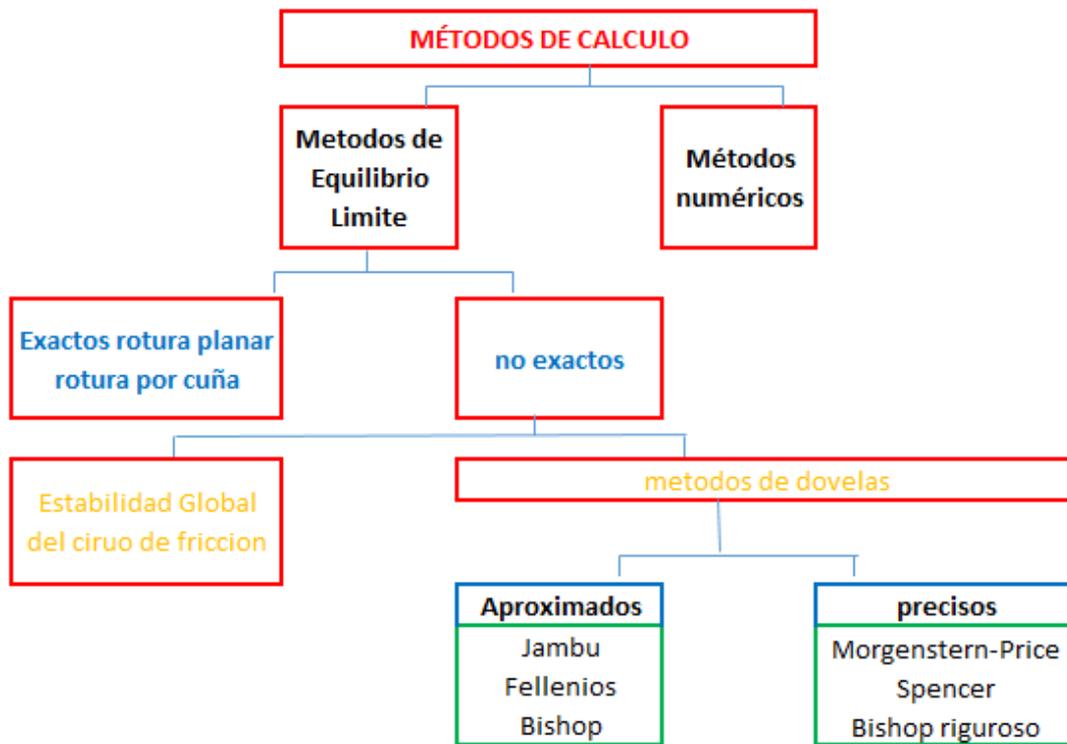


Figura 24 Métodos de cálculo de estabilidad de taludes

Fuente: Herrera Rodríguez Fernando, *Análisis de estabilidad de taludes*, Geotecnia 2000, Madrid, España

2.3.9.1. Método numérico

Fue propuesta por Rankine en 1857 y formalizada por Kotter en 1903. En 1939 fue desarrollada por Sokolovsky. La cual consiste en formular un sistema soluble de ecuaciones para encontrar las cargas límites que puede sostener el suelo, de acuerdo con la forma y la naturaleza de la superficie a lo largo de la cual se produce la falla, en el instante en que esta se genera.

Este tipo de solución puede emplear el método numérico (elementos finitos), pero presenta el inconveniente de requerir, además de los parámetros de resistencia al corte, otros parámetros como el módulo elástico y la relación de Poisson.

Los métodos numéricos aplican el método “phi-reduction”, con una reducción de la resistencia de todos los materiales, aplicando un factor de seguridad F hasta alcanzar un valor en el cual el proceso no es convergente. (<http://www.bdigital.unal.edu.com>, s.f., pág. 176).

$$C_{calculo} = \frac{C}{F}; tg\phi_{calculo} = \frac{tg\phi}{F}$$

2.3.9.2. Métodos de equilibrio límite:

Propuesta por Coulomb en 1776. Son las que se basan en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de un cuerpo de terreno potencialmente inestable, para ello se asume la forma geométrica de la superficie de falla, y considerar el esfuerzo normal sobre la superficie de falla hasta encontrar la relación entre las fuerzas actuales.

Procedimiento a soluciones de equilibrio límite

Se asume que el factor de seguridad (Fs) está dado por la relación entre la resistencia al corte disponible en el suelo, y los esfuerzos movilizados en el suelo por el sistema de fuerzas actuantes sobre la masa considerada.

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_m} = \frac{\text{Resistencia al corte del suelo}}{\text{Resistencia al corte movilizado}}$$

Se utiliza el criterio de falla de Mohr-Coulomb, el cual señala que la resistencia disponible está dada por:

$$\tau_f = c' + (\sigma_n - \mu) \tan \phi$$

Mientras que la resistencia al corte, movilizada se expresa como.

$$\tau_m = \frac{\tau_f}{F_s} = \frac{1}{F_s} X (c' + (\sigma_n - \mu) \tan \theta)$$

De acuerdo al método general de equilibrio límite se resuelven las ecuaciones habitualmente empleando los modelos (Bishop, Spencer, Janbu, etc.), En la Figura Siguiete se muestra equilibrios de fuerzas cortantes. (Autores: Ricardo Valiente Sanz, 2015).

El método de equilibrio limite se subdividen en tres grupos en métodos exactos, métodos no exactos y métodos aproximados las cuales se dan en rotura planar y rotura por cuñas, actualmente se usan los modelos de Bishop y Spencer (1967)

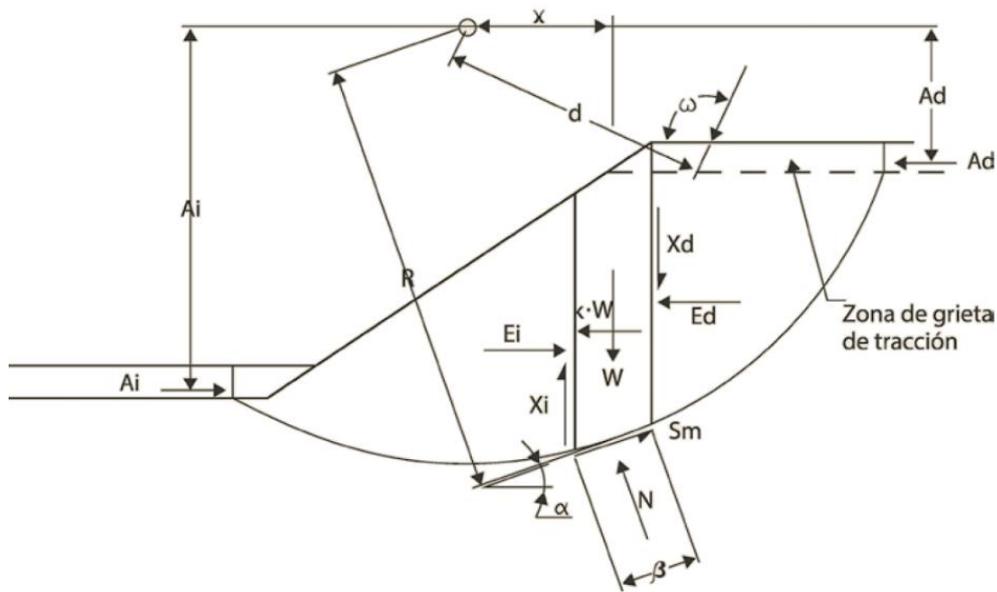


Figura 25 Equilibrio de fuerzas actuantes

Fuente: conceptos básicos, parámetros de diseño y métodos de cálculo.

Donde:

- W : Peso total de la rebanada. En el caso de existir fuerzas sísmicas se introduce un componente horizontal desestabilizador igual a “k” veces el peso
- N : Fuerza normal en la base de la rebanada
- S : Fuerza cortante movilizada en la base de la rebanada
- E : Fuerzas horizontales movilizadas entre rebanadas.
- D : Fuerza externa aplicada
- X : Fuerzas verticales movilizadas entre rebanadas
- A : Empuje de agua externo

Tabla 15 Métodos que actualmente se usa para el análisis de estabilidad

Procedimiento	Ecuaciones de equilibrio que satisface	Asunciones
Simplificado de Janbu	Vertical y horizontal	Fuerzas entre dovelas son horizontales.
Simplificado de Bishop	Vertical y momento	Fuerzas entre dovelas son horizontales.
Spencer	Todas	Fuerzas entre dovelas son paralelas.
Morgenstern y Price	Todas	Fuerzas de corte y normal entre dovelas están relacionadas por $X/E = \lambda f(x)$
General de Equilibrio Límite.	Todas	Fuerzas de corte y normal entre dovelas están relacionadas por $X/E = \lambda f(x)$

Reyes (2015)

Nota: actualmente hay varios Software como el SLIDE, SLOPE/W, SVSLOPE, UTEXAS, etc.

2.3.9.3. Método de Fellenius

Se basa en métodos de equilibrio límite las cuales se denominan en método de dovelas, la cual consiste en dividir la masa de suelo potencialmente deslizante, en dovelas verticales.

Calculándose así las dovelas con la finalidad de analizar el equilibrio global, obteniéndose así un factor de seguridad (FS), definidos como la relación entre fuerzas resistentes y fuerzas actuantes, a continuación, se presenta la formula

$$FS = \frac{\sum(c.B + (W.\cos\alpha - u.B).\tan\phi')}{\sum W.\sen\alpha}$$

Las fuerzas verticales y horizontales definen la interacción entre las dovelas, y es la evaluación de estas reacciones internas lo que establece la diferencia fundamental entre los métodos a continuación se muestra la formulación del método Fellenius. (Valladares Ibarra, 2015, págs. 29-30)

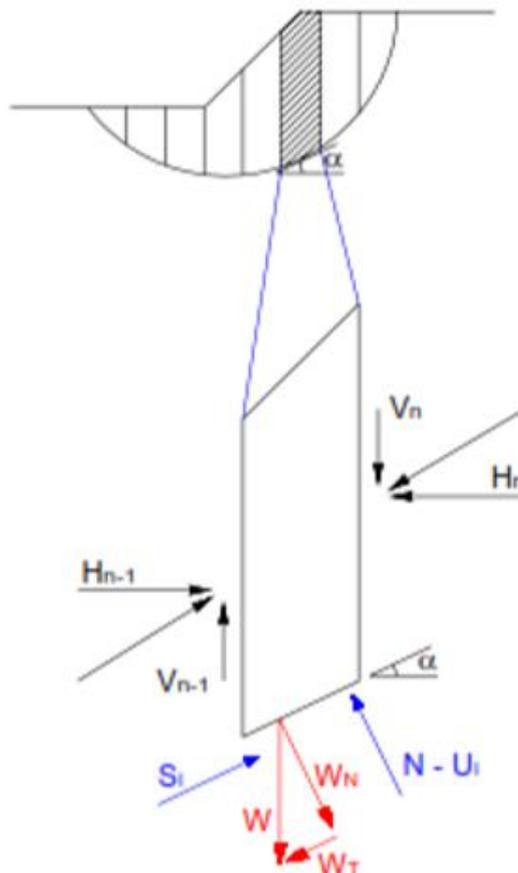


Figura 26 Formulación del método de Fellenius

Donde:

- W : Peso de la dovela.
- WN : Componente normal del peso de la dovela.
- WT : Componente tangencial del peso de la dovela.
- N : Reacción normal del suelo sobre la dovela.
- U : Presión de poros.
- U_i : Fuerza producida por la presión de poros.
- B : Base de la dovela.
- C : Cohesión del suelo.
- Φ : Ángulo de fricción del suelo.
- α : Ángulo de la superficie de falla en la dovela.

2.3.9.4. Método de Bishop simplificado

Debido a que el método de las rebanadas o dovelas no es muy preciso para suelos friccionantes, Bishop (1955) propuso otro método, originalmente desarrollado para superficies de fallas circulares, el cual considera la condición de equilibrio entre las fuerzas de interacción verticales actuantes entre las rebanadas.

Ya que en los suelos friccionantes ($\varphi > 0$), la resistencia cortante depende de los esfuerzos confinantes, al considerar la condición de equilibrio de fuerzas verticales (solamente se considera empuje horizontal), la determinación de las fuerzas normales se hace más precisa. La Figura 28 ilustra la formulación de éste método. (Valladares Ibarra, 2015, págs. 31-32)

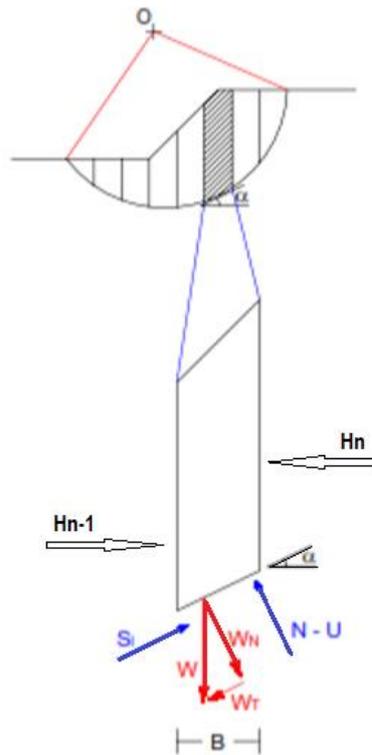


Figura 27 Formulación del método de Bishop Simplificado

Donde:

- W : Peso de la dovela.
- WT : Componente tangencial del peso de la dovela.
- WN : Componente normal del peso de la dovela.
- N : Fuerza normal en la base de la dovela.
- U : Presión de poros.
- Ui : Fuerza ejercida por la presión de poros.
- B : Base de la dovela.

El cálculo de la metodología original se basa en buscar el equilibrio de momentos respecto al centro del arco circular que coincide con la superficie de falla; Este es un método interactivo en el cual se parte del factor de seguridad calculado de una superficie.

$$FS = \frac{\sum(c \cdot B + (W \cdot \cos\alpha - u \cdot B) \cdot \frac{\tan\phi}{ma}}{\sum W \cdot \text{sena}}$$

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

2.3.9.5. Método de Janbu

La principal consideración de este método es que las fuerzas entre dovelas son solo horizontales. No tomando en cuenta las fuerzas cortantes. (Plaza & cifuentes, 2013).

$$FS = \frac{f_0 \cdot \sum (c \cdot B + (W - u \cdot B) \cdot \tan\phi) / \cos\alpha \cdot ma}{\sum W \cdot \tan\alpha}$$

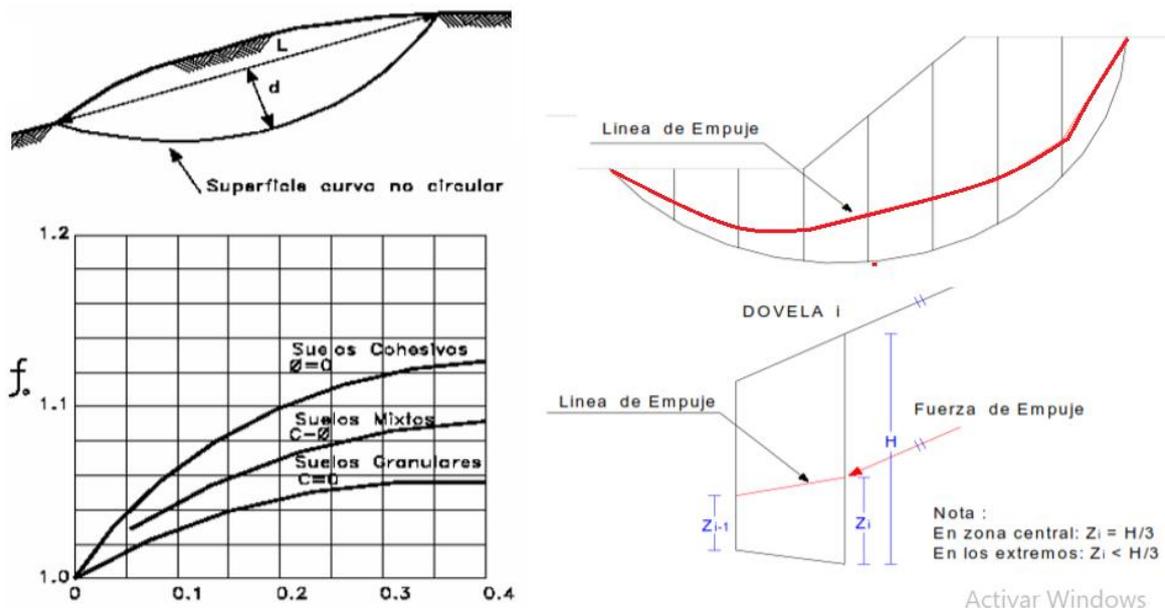


Figura 28 Formulación del método de Janbu

2.3.9.6. Método de Morgenstern y Price

Este método consiste se basa en lograr el equilibrio de momentos la gran diferencia se debe a que la interacción entre las rebanadas viene dada por una función, la cual evalúa las interacciones a lo largo de la superficie de falla. La Figura 29 ilustra este método. (Valladares Ibarra, 2015, págs. 35-36).

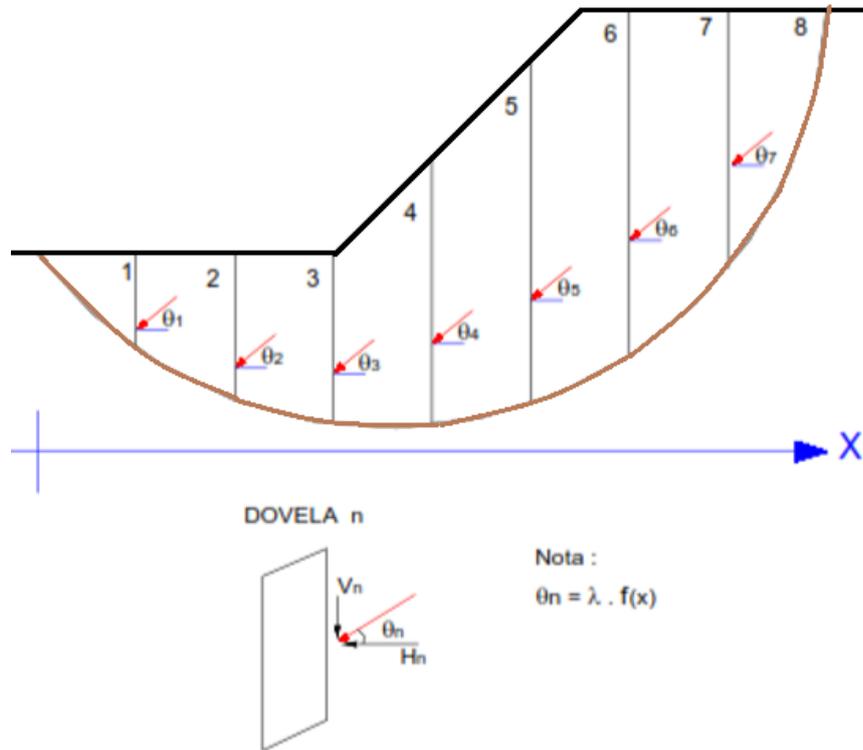


Figura 29 Formulación del método de Morgenstern y Price

2.3.9.7. Método de Morgenstern y Bishop

El método de Bishop y Morgenstern (1960) es un procedimiento simplificado que permite estimar el factor de seguridad en forma relativamente expedita (Whitlow, 1994). El factor de seguridad en este método está dado por:

$$FS = m - nr_u \quad \text{Ec. 01}$$

Donde m y n vienen contenidos en la tabla de Bishop y Morgenstern (1960); Whitlow (1994) coeficientes de estabilidad para esfuerzo efectivo. Datos numéricos que ya están calculados.

$$nr_u = \frac{u_w}{\gamma H} \quad \text{Ec. 02}$$

$$r_w = \gamma_w H_w' \quad \text{Ec. 03}$$

2.3.10. Análisis de estabilidad de taludes bajo acción sísmica

Los efectos de un sismo en un talud pueden modelarse empleando aceleraciones horizontales y constantes. Terzaghi, en 1950, fue el primero en aplicar un modelo pseudo-estático para realizar un estudio de estabilidad de taludes durante un evento sísmico.

Existen varios métodos para realizar el análisis de estabilidad de taludes ante carga sísmica, entre los cuales podemos mencionar.

En estos modelos, se representan los efectos del sismo mediante aceleraciones pseudoestáticas, las cuales producen fuerzas de inercia situadas en el centro de gravedad de cada dovela.

Donde las fuerzas están dadas por:

- Aceleraciones pseudoestáticas horizontal y vertical.
- Coeficientes pseudoestáticos horizontales y vertical adimensional.
- Peso de cada dovela analizada. (Kramer, Steven L., 1996)

Existe también mucha incertidumbre para la elección de un apropiado período de retorno de la aceleración máxima esperada a considerarse en la estabilidad de taludes de presas ante carga sísmica; es por eso que a continuación se presentan algunas consideraciones recomendadas por autores y entidades reconocidas mundialmente en el diseño de presas

- el libro USACE manual de la united states army corps of engineers”, recomienda que en lugares con alta sismicidad se debe hacer un análisis costo-riesgo,
- la united states, bureau of reclamation” en su obra “design of small dams”, establece trabajar con el MCE (Maximun Credible Earthquake), terremoto de diseño con el cual la presa no debe colapsar, ni producirse descargas de aguas no controladas.
- (ICOLD), sugiere también trabajar con el OBE (Operating Basis Earthquake), terremoto de diseño con el cual, la presa no debe sufrir ningún tipo de grietas. (Roberto Rodríguez1, 2009)
- Algunos autores e instituciones establecen los períodos de retorno que se deberán considerar para la selección del MCE o el OBE,

La Comisión Internacional de Grandes Represas (ICOLD) es una organización internacional no gubernamental que ofrece un foro para el intercambio de conocimientos y experiencia en ingeniería de presas. ICOLD es un líder en el establecimiento de estándares y directrices para garantizar que las represas se construyan y operen de manera segura, eficiente y económica, y sean ambientalmente sostenibles y socialmente equitativas.

La Canadian Dam Association (CDA) es el Comité Nacional que representa a Canadá. Todos los miembros de CDA tienen acceso a los beneficios de la organización de ICOLD.

Una parte importante del evento anual ICOLD es la oportunidad para que todos los delegados observen las reuniones y talleres de los Comités Técnicos e interactúen con expertos de otros países.

A continuación, se presentan las tablas donde especifican el factor de seguridad para el análisis de estabilidad física en condiciones estáticas y pseudo estáticas. Mediante la Guía DAM SAFETY GUIDELINES 2007, CDA que sirve como el Comité Nacional Canadiense de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD). (DAM SAFETY GUIDELINES 2007, 2007, págs. 70-71).

Tabla 16 Factores de seguridad para la estabilidad de taludes – condiciones de evaluación estática

Condición de carga (loading condition)	Factor mínimo de seguridad (minimum factor of safety)	Pendiente (Slope)
Fin de la construcción antes del llenado del embalse.	1.3	Aguas abajo Aguas arriba
A largo plazo (filtración de estado estable, nivel de depósito normal).	1.5	Aguas abajo
Reducción rápida total o parcial.	1.2 – 1.3	Aguas arriba

Fuente: DAM SAFETY GUIDELINES 2007 (2013 edition)

Nota 1: El factor de seguridad es el factor requerido para reducir los parámetros de resistencia al corte operacional para llevar una masa deslizante potencial a un estado de equilibrio limitante (utilizando métodos de análisis generalmente aceptados).

Nota 2: Es posible que se requieran factores de seguridad más altos si la extracción ocurre de manera relativamente frecuente durante la operación.

Tabla 17 Factores de seguridad para la estabilidad de taludes - evaluación sísmica

Condición de carga	factor minima de seguridad
pseudo static	1.0
post - earthquake	1.2 - .3

Fuente: DAM SAFETY GUIDELINES 2007 (2013 edition)

Como se menciona en las tablas 3 y 4 factores de seguridad de acuerdo al ICOLD, también es importante describir los factores mínimos de seguridad en condiciones estáticos y pseudo estáticos de acuerdo al Guía ambiental para la estabilidad de taludes de depósitos de desechos

sólidos de mina del Ministerio de Energía y Minas (MEM). A continuación, se presentan los resultados en la tabla 19. (Eerik A. Rennat, pág. 57).

Tabla 18 Factores mínimos de seguridad para el talud aguas abajo (MEM).

Suposiciones	Con sismo	Sin sismo
Empleando parámetros de resistencia pico al corte.	1.5	1.3
Empleando parámetros de resistencia residual al corte.	1.3	1.2
Incluyendo la carga para el mayor sismo que puede ocurrir en un periodo de 100 años.	1.2	1.2
Para el deslizamiento horizontal sobre la base de depósitos de retención de relaves en áreas sísmicas, asumiendo que la resistencia al corte de los relaves detrás de la presa se reduzca a cero	1.3	1.3

Fuente: guía ambiental para la estabilidad de taludes de depósitos de desechos sólidos de mina.

Según las recomendaciones de las agencias United States Society of Dams (USSD) y United States Bureau of Reclamation (USBR). Los valores mínimos permisibles para el análisis de estabilidad del talud en condiciones estáticos, Pseudo estático para cierre, y operación deberán ser mayores que 1 y pueda asegurar su estabilidad de la presa de relaves.

2.3.10.1.El factor de seguridad

El factor de seguridad “FS”, para un talud se define generalmente como la relación entre la resistencia al corte disponible con respecto del esfuerzo cortante sobre la superficie de falla crítica. Las características de esfuerzos y deformaciones de la mayoría de suelos son tales que se pueden presentar deformaciones plásticas relativamente grandes en cuanto se aproximan los esfuerzos cortantes aplicados a la resistencia al corte del material. En el diseño de un talud o depósito, el factor de seguridad debe ser mayor a la unidad. (Ramos, 2017, pág. 27).

El factor de seguridad se representa de la siguiente manera.

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

Donde:

FS_s : Factor de seguridad

τ_f : Resistencia cortante promedio del suelo

τ_d : Esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla.

La resistencia cortante de un suelo consta de dos componentes, cohesión y fricción, y se representa como:

$$\tau_f = c + \sigma' x \tan\phi$$

Donde

c= Cohesión

ϕ =Ángulo de fricción

σ' = Esfuerzo normal efectivo sobre la superficie potencial de falla

La Aceleración sísmica para el crecimiento de la presa de relaves: se utilizó el valor del coeficiente sísmico horizontal para el análisis de estabilidad pseudo-estático para operación del depósito proyectado, se estimó como 0.15 g, valor que es aproximadamente ½ de la máxima aceleración esperada en el terreno para un periodo de retorno de 475 años. Para el análisis de estabilidad de la presa de relaves

Tabla 19 Valores mínimos permisibles del factor de seguridad

Caso	Factor de seguridad mínimo permisible
Análisis estático para Cierre	1.5
Análisis pseudo-estático	1.0
Análisis estático para Operación	1.3

Fuente: guía ambiental para la estabilidad de taludes de depósitos de desechos sólidos de mina.

2.3.11. Diseño del crecimiento de la presa de relaves Tacaza

Generalidades

El diseño del crecimiento de la presa de relaves Tacaza abarca un área actual aproximada de 50,212.85 m². Y para el diseño del crecimiento de la presa de relaves hasta la cota 4320 msnm abarcaría 60,953.44 m². Llegando a almacenar 217,459.03 m³ de relave fino, alcanzando una cota máxima de 4320 m.s.n.m y un 1m de bode libre.

Para la conformación del crecimiento de la presa de relaves desde la cota 4,316 m.s.n.m. hasta 4,320 m.s.n.m. se utilizara 33,230.25 m³ de relave grueso para lograr aumentar la capacidad de la presa de relaves en 217,459 m³, de volumen de relave fino, para el diseño del crecimiento de la presa de relaves tomo en cuenta los criterios de diseño como el talud: 2.3H:1V aguas abajo y de 1H: 1V aguas arriba. El crecimiento de la presa se efectuará con

la disposición de relave grueso compactado, siguiendo el método de construcción aguas abajo. En el plano N° PT- 05 se muestra la sección típica del crecimiento de la presa de relaves.

Tabla 20 Comparación del depósito de relaves (actual)

Descripción	Unidad	Aprobado ⁽¹⁾	Proyectado ⁽²⁾
Volumen de almacenamiento	m ³	336,240	217,459.03
Área del vaso del depósito	m ²	50,212.85	60,953.44
Capacidad de la planta de procesos	TMD	800	1,100
Densidad de relave fino	Tn/m ³	1.50	1.50
Tiempo de vida adicional	años	4.6	0.97
Ancho de cresta de la presa	m	4	8
Longitud de cresta de la presa	m	225	265
Talud aguas abajo	H:V	2.2 : 1	2.3 : 1
Talud aguas arriba	H:V	1 : 1	1 : 1
Nivel máximo de la cresta de la presa	msnm	4,316	4,320
Máxima altura total del depósito	m	36	40
Volumen de relleno de presa (gruesos)	m ³	121,152	33,230.25
Método de crecimiento	.-	Aguas abajo	Aguas abajo

Fuente de Información: Estudio del depósito de relaves Tacaza y estudio de las condiciones geotécnicas.

2.3.11.1. Estructuras del crecimiento de la presa de relaves

El presente estudio de factibilidad contempla la construcción de un (01) dique de contención en el pie de la presa, un (01) dique auxiliar en el extremo oeste de la presa y la proyección vertical y horizontal del sistema de drenaje (dren chimenea); asimismo, se ha incluido el nuevo alineamiento de los canales de coronación norte y sur.

Retiro de material inadecuado y desbroce de topsoil

Previo a los trabajos de nivelación y excavación del dique de contención y dique auxiliar se retirará el material inadecuado existente y se realizará el desencapado del topsoil.

Excavación hasta nivel de fundación de los diques

Previo al relleno de los diques de retención se requerirá la excavación y eliminación de material de corte hasta alcanzar los niveles de cimentación.

Sistema de drenaje de aguas subterráneas

Luego de las actividades de desbroce y excavaciones en el área del pie de la presa de relaves proyectado se procederá a extender el dren colector principal del sistema

de drenaje conformado por una zanja de altura variable y una tubería no perforada de HDPE de Ø 6", los flujos serán derivados a la quebrada Sayocomana.

Drenaje de aguas de infiltración en el Vaso

El sistema de drenaje de aguas de infiltración en el vaso, está compuesto por un arreglo de tuberías tipo espina de pescado, compuesto por drenes secundarios y colectores principales. Los drenes secundarios están conformados por tuberías perforadas de HDPE de Ø 6", las cuales están envueltas en geotextil no tejido de 300 gr/m², espaciados a cada 40 m. Las pendientes de estos drenes son variables, teniendo como valor mínimo 4%. Estos drenes entregan las aguas de infiltración a dos colectores compuestos por una tubería de HDPE de Ø 8" sin perforar, con pendientes que varían entre 6% a 19%. A su vez, estos dos colectores derivan las aguas a un colector principal de HDPE de Ø 8", el cual tiene una pendiente de 1% al cruzar la presa y finalmente entregan a la poza de sedimentación.

Sistema de drenaje (dren chimenea y faja)

Para controlar la erosión interna se tiene implementado un sistema de drenaje de infiltración en el cuerpo de presa, conformado por:

Dren chimenea de 1 m de espesor en la presa.

Colchón drenante o dren faja principal de 25 m de ancho, ubicado en el cauce de la quebrada y 2 drenes faja secundarios de 2 m de ancho y 1 m de espesor, ubicados en cada estribo de la presa.

Dren talón con tubería HDPE perforada de Ø 6".

El dren chimenea, dren faja o colchón drenante y el dren talón estarán conformados por gravas mal graduadas con $T_{\text{máx}} = 2''$, envueltas en un geotextil no tejido de 300 gr/m² y se conecta a la poza N° 2 mediante una tubería HDPE de Ø 6".

Poza de almacenamiento N° 2

Los flujos de agua infiltrada en el vaso y captadas por los sistemas de drenes (chimenea, faja y colchón) son conducidos hacia la poza N° 2 existente, ubicada al pie del dique de contención proyectada. Dicha poza se divide en tres compartimientos iguales, siendo su capacidad de 54 m³, el bombeo de las aguas se efectúa mediante dos (02) bombas sumergibles que impulsan las aguas captadas hacia la planta concentradora.

Construcción del dique de contención

Después de completar los trabajos de remoción de material orgánico e inadecuado para la superficie de cimentación y la extensión del sistema de drenaje de agua infiltrada, se iniciará con la conformación del dique de retención ubicada al pie de la presa de relaves, para el relleno estructural se utilizará material provenientes de las canteras de material de préstamo, este dique brindará estabilidad física al material de relave grueso a ser descargado durante la etapa de construcción y/o crecimiento de la presa de relaves.

La configuración final del dique de contención contempla una sección transversal trapezoidal, con un ancho superior libre de 5 m y taludes laterales de 1.5H:1V. La elevación de la cresta es de 4,273 msnm. El volumen de material de relleno requerido para el dique contención es de 1,203 m³.

El material de relleno estructural deberá ser compactado hasta alcanzar una compactación del 95% del proctor modificado a fin de obtener las características adecuadas para este tipo de estructuras. Asimismo, el material de relleno deberá ser compactado en capas de 0.30 m.

Construcción del dique auxiliar

Después de completar los trabajos de remoción de material orgánico e inadecuado para la superficie de cimentación, se iniciará con la conformación del dique auxiliar ubicada en el extremo Oeste de la presa de relaves, para el relleno estructural se utilizará material proveniente de las canteras de material de préstamo, este dique impedirá que el relave a depositar en el vaso de la presa invada los componentes auxiliares de la operación minera, como los accesos.

La configuración final del dique auxiliar contempla una sección transversal trapezoidal, con un ancho superior libre de 4 m y taludes laterales de 2H:1V. La elevación de la cresta es de 4,320 msnm. El volumen de material de relleno requerido para el dique auxiliar es de 1,579 m³.

El material de relleno estructural deberá ser compactado hasta alcanzar una compactación del 95% del proctor modificado a fin de obtener las características adecuadas para este tipo de estructuras. Asimismo, el material de relleno común deberá ser compactado en capas de 0.30 m.



Figura 30 ubicación de la presa de relaves Tacaza

Fuente: Google earth.

Normatividad

a) Ce.020 Estabilización de Suelos Y Taludes

En la presente norma nos explica que los suelos de poca carga o susceptibles a los asentamientos requieren ser estabilizados, y establecer las consideraciones técnicas mínimas para el mejoramiento requerido de la Resistencia de los suelos y de la estabilidad de taludes.

La presente norma considera exigencias mínimas, sin ser limitados para los estudios de evaluación y mitigación de deslizamientos de laderas o taludes brindando un enfoque ambiental.

b) E.050 Suelos y Cimentación

La presente norma es con fines de cimentación que para la ejecución de estudios de mecánica de suelos con la finalidad de asegurar la estabilidad y permanencia de las obras para promover la utilización de los recursos.

c) E.030 Diseño Sismo Resistente

Netamente para determinar las condiciones mínimas para las edificaciones diseñadas contemplan un comportamiento sísmico, es así que deberá tomar

medidas de prevención contra los desastres que puedan producirse como consecuencia del movimiento sísmico.

d) NTP 339.127:1998 SUELOS

Para determinar el contenido de humedad de un suelo.

e) NTP 339.128:1999 SUELOS

Netamente para determinar el análisis granulométrico, teniendo en cuenta los parámetros técnicos.

f) NTP 339.129:1999 SUELOS

Para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos del área del proyecto.

g) NTP 339.134:1999 SUELOS

Únicamente para la clasificación de suelos mediante el Sistema de suelos (S.U.C.S).

2.3.12. Definición de Términos

Aceleración sísmica: El valor del coeficiente sísmico horizontal para el análisis de estabilidad pseudo-estático para operación de la presa de relaves proyectado, se estimó como 0.15 g, valor que es aproximadamente $\frac{1}{2}$ de la máxima aceleración esperada en el terreno para un periodo de retorno de 475 años.

Angulo de fricción propiedad de los materiales granulares el cual tiene una interpretación física sencilla, al estar relacionado con el ángulo de reposo o máximo ángulo.

Aguas Abajo: Sector posterior a una instalación (dique) respecto de un punto con el observador ubicado en la dirección del flujo

Análisis de Estabilidad de Taludes: proceso en el que se evalúan cuantitativamente la interacción entre las fuerzas estabilizantes o resistentes.

Análisis estático: Evaluar el efecto del peso propio (carga estática) de la presa de relaves y de la acción del agua en su estabilidad. Por lo general se evalúa la configuración final de la presa, con los escenarios de la acción del agua en el depósito.

Análisis de infiltración: Los métodos de elementos finitos o diferencias finitas permiten resolver las ecuaciones diferenciales resultantes de la aplicación de la ley

de Darcy Se calculan tasas de infiltración, líneas piezométricas, distribución de presiones de poros, entre otros.

Chimenea: excavación vertical o inclinada en la roca para propósitos de proporcionar acceso a un cuerpo de mineral.

Corte simple: Material que puede ser removido con el uso de maquinaria y/o herramientas manuales.

Cohesión: es la cualidad por la cual las partículas del terreno se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas, que dependen, entre otras cosas, del número de puntos de contacto que cada partícula tiene con sus vecinas.

Coefficiente Sísmico: Factor que permite ajustar el cálculo de la sobrecarga sísmica horizontal en la base del edificio, a la relación entre el período de vibración de la estructura y el del terreno de cimentación.

Canteras: Permite evaluar material a utilizar en la construcción de la presa de relaves. Suelo de baja permeabilidad, grava de drenaje, material de sobre-revestimiento.

Drenaje: Recolección y conducción de un fluido por el cuerpo de un geo sintético.

Depósito de relaves: presa más área de almacenamiento.

Estudio de Impacto Ambiental (EIA): Informe que revisa los efectos que las actividades mineras propuestas tendrán en los alrededores naturales.

Estabilidad: resultado del proceso de estabilización.

Estabilización de taludes: solución geotécnica integral que se implementa en un talud, ya sea de terraplén, excavación, o corte, natural u otros, capaz de incorporarle equilibrio suficiente y sostenible.

Exploración (actividad minera): Conjunto de trabajos administrativos, de gabinete y de campo, tanto superficial para localizar, estudiar y evaluar un yacimiento.

Explotación (actividad minera): Extracción de rocas, minerales o ambos, para disponer de ellos con fines industriales, comerciales o utilitarios.

Filtración: Retención de un suelo u otras partículas, permitiendo el pasaje ligero de un fluido en movimiento.

Factores geológicos: condicionan la selección de las posibles implantaciones, tanto como el factor portante, la permeabilidad.

Grava: materiales sueltos de tamaños variables partículas cuyo diámetro es superior a los dos milímetros.

Geología: Ciencia que estudia las rocas que componen la tierra.

Geodinámica Externa: fenómenos geológicos de carácter dinámico, que pueden actuar sobre el terreno como erupciones volcánicas, inundaciones, huaycos, avalanchas, tsunamis, activación de fallas geológicas.

Geo textiles Tejidos: Utilizados como refuerzo y separación.

Geo textiles No Tejidos: Utilizados como filtro y separación.

Geo compuestos: Utilizados para drenaje, filtro, separación, refuerzo.

Geo membrana: Lámina impermeable. De acuerdo al material que lo compone puede ser fabricad de HDPE, LLDPE de textura lisa, SST, DST.

Hidrociclones: equipos de gran utilidad e imprescindibles para la clasificación, concentración y clarificación.

Laguna de aguas claras: zona donde el agua se acumula.

Límite de limpieza y desbroce: Límite que cubre el área donde se deberá retirar todo el material orgánico donde se ubicará la estructura.

Límite de cimentación: Límite de corte hasta donde se proyecta la remoción de material inadecuado.

Infiltración: es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra en el suelo.

Impermeabilización: Bloquea o desvía los fluidos

Minerales: Son las sustancias formadas por procesos naturales, con integración de elementos esencialmente provenientes de la corteza terrestre.

Minería: Es toda actividad de reconocimiento, exploración y explotación de productos mineros.

Ministerio de Energía y Minas: Órgano del estado encargado de formular y coordinar las políticas, planes y programas de gobierno del sector minero, de tramitar y resolver todas las cuestiones administrativas.

Nivel Freático: nivel de agua subterránea cuya presión es igual a la presión atmosférica.

Nivel de agua: De acuerdo a las características de la presa de relaves, el nivel de agua se encontraría controlado por el dren chimenea que está dispuesto en el eje del depósito de relaves.

Peso específico: fuerza que ejerce masa, aunque este concepto nombra específicamente el nivel de materia del cuerpo (más allá de la fuerza gravitatoria)

Periodo de Retorno de 500 años: Corresponde al periodo de tiempo en el cual se espera que ocurra un evento al menos una vez en 500 años.

Porcentaje de Finos: Fracción del material sólido contenido en una muestra (mineral, relaves, arenas, etc.) de tamaño menor a 74 μm (micrones).

Precipitación Máxima Probable (PMP): Son las precipitaciones máximas esperadas en un lugar las cuales están asociadas a grandes periodos retorno, 10,000 años o más. Son determinadas mediante procedimientos probabilísticos.

Proctor Estándar (PE): Medida de la compactación (densidad) de un material o terreno de acuerdo con una prueba estandarizada según norma ASTM D-698 (Ensayo Proctor Estándar).

Proctor Modificado (PM): Medida de la compactación (densidad) de un material o terreno de acuerdo con una prueba modificada según norma ASTM D-1557 (Ensayo Proctor Modificado).

Permeabilidad: facilidad con que el agua puede fluir a través de los poros discontinuidades de un suelo o macizo rocoso.

Protección: Limitación y prevención de daños a elementos de obras geotécnicas.

Presa de relaves: estructura de contención.

Playa de relaves: área seca

Relaves: materiales sobrantes después del proceso de separación de la fracción con valor económico de la fracción sin valor (ganga) del mineral.

Suelo de baja permeabilidad: Capa impermeable de 0,30 m de espesor mínimo que actúa como barrera impermeable en caso de un eventual daño en la geo membrana

Subdrenes: Red de tuberías perforadas cubiertas con grava de drenaje. Dispuestas en zanjas con la finalidad de coleccionar los flujos subterráneos.

Superficie de corte: Superficie generada después de realizar los cortes de material inadecuado y superficie de nivelación.

Sistema de quenas: Para el control de flujos excedentes provenientes del espejo de agua.

Talud: perfil conseguido tras una excavación o terraplenado no necesariamente vertical, si no con cierto ángulo con la horizontal, llamado ángulo de talud.

Tuberías: Tiene la función de conducir los flujos colectados. Generalmente se utiliza tubería de HDPE de pared doble corrugada.

Vaso del depósito: área de almacenamiento.

2.4.HIPÓTESIS

2.4.1. Hipótesis General

La construcción de diques de presas con relave cicloneado influirá positivamente en la estabilidad física de la presa de relaves en el nivel de crecimiento de la cota 4,316 m.s.n.m. hasta 4,320 m.s.n.m.

2.4.2. Hipótesis Específicos

- a) Las características geotécnicas del relave cicloneado influye en la estabilidad física de la presa de relaves para su crecimiento hasta la cota 4,320 msnm.
- b) Los métodos de equilibrio límite garantizaran la estabilidad física de la presa de relaves.

2.5.VARIABLES

2.5.1. Variable independiente (x)

Relave cicloneado

Se va hacer el uso del relave cicloneado (relave grueso) para la construcción del crecimiento de la presa de relaves de la cota 4316 m.s.n.m hasta la cota 4,320 m.s.n.m Para la conformación del dique de presas se realizará de acuerdo al siguiente diagrama de procesos, donde se obtendrá el relave grueso proveniente del proceso metalúrgico, este pasará a un espesador, seguidamente al hidrociclón para la respectiva clasificación, donde el relave grueso será derivado hacia la conformación del dique de la relavera en capas no mayores a 25 a 30 m de espesor, seguidamente el relave fino será derivado hacia el vaso del depósito de relaves.

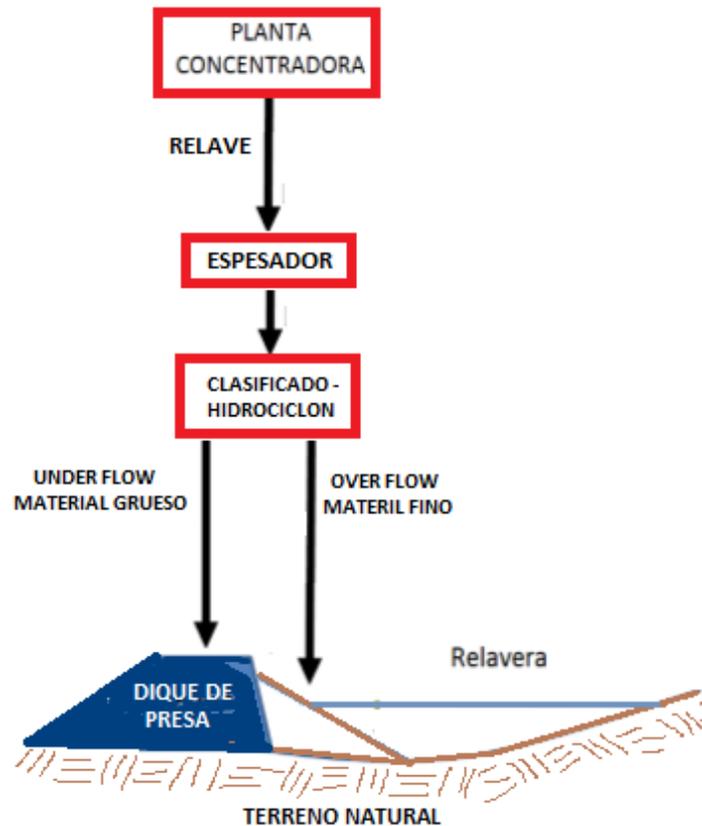


Figura 31 Diagrama del proceso metalúrgico y conformación del dique de presas con material cicloneado

Fuente: diseño propio

2.5.2. Variable Dependiente (Y)

Estabilidad física de la presa de relaves

Se entiende por estabilidad a la seguridad de una masa de tierra contra la falla o movimiento. Como primera medida es necesario definir criterios de estabilidad de taludes, se determina a través del factor de seguridad. Este factor expresa la magnitud en que puede reducirse la resistencia a cortante del suelo para que se produzca el deslizamiento a lo largo de la superficie de falla más desfavorable.

2.5.3. Definición Operacional de la Variable

2.5.3.1. Definición Operacional Variable Independiente – relave cicloneado

Para Obtener la muestra de relave grueso se realizó un programa de investigación geotécnica de campo, con la finalidad de evaluar las características y propiedades del relave grueso depositado en el dique. Se realizó la excavación de calicata para

obtener la muestra más representativa del material de relleno de la presa (relave grueso), para luego ser adecuadamente caracterizados mediante ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos.

2.5.3.2. Estabilidad física de la presa de relaves - Dependiente

Para el análisis de estabilidad de taludes del crecimiento de la presa de relaves de la cota 4,316 m.s.n.m. hasta 4,320 m.s.n.m. Se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- La representación de los parámetros del material de la cimentación para la conformación del dique de presas proyectada.
- Seguridad mínima (F_{min}), que expresa la magnitud de la reducción que deben experimentar los parámetros de resistencia a corte del suelo, según el criterio de Coulomb (c y $\tan(\phi)$), para alcanzar un estado de Equilibrio Límite.

$$F_{min} \geq F_{norma}$$

- Sección geométrica más crítica, es decir donde el ángulo del talud sea mayor, parámetros geológicos-geotécnicos, carga por acción del sismo, condiciones de nivel freático, entre otros.
- Se utilizó el método de equilibrio límite: que se basa en evaluar la resistencia al deslizamiento de un talud, tomando en cuenta ciertas hipótesis en relación al mecanismo de falla, condiciones de equilibrio, nivel freático, resistencia cortante, etc.

2.5.4. Operacionalización de la Variable

En la tabla siguiente se menciona los indicadores y las unidades de medidas.

Tabla 21 Indicadores de las Variables

Hipótesis	VARIABLES	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	instrumento
La construcción de diques de presas con relave cicloneado influirá positivamente en la estabilidad física de la presa de relaves en el nivel de crecimiento de la	V.Independiente. Relave cicloneado	Ensayos del relave grueso	ensayo de Compresión Triaxial Consolidado - No Drenado (CU)	c' : Cohesión del terreno. ϕ : Ángulo de fricción	Laboratorio In situ
			Ensayos de contenido de humedad.	% contenido de humedad	Laboratorio In situ

Hipótesis	VARIABLES	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	instrumento
cota 4,316 m.s.n.m. hasta 4,320 m.s.n.m			Ensayos de caracterización física.	SUCS = CH	(ASTM D 422, D 4318, D 2216, D 2487, D 3282, C 117)
	V.Dependiente. Estabilidad física de la presa de relaves.	Factor de seguridad	Estático Pseudo estático.	F.S. =1.5 F.S.=1.0	Comisión Internacional de Grandes Represas (ICOLD)
		Métodos de equilibrio Limite	Modelo de Bishop y Spencer.	-	método de dovelas
		Análisis de estabilidad	-Condiciones estáticas - Pseudo estáticas.	1.967 1.364	Obtenidas mediante el software SLIDE versión 6.0

Fuente: elaboración propia

CAPITULO III: METODOLOGIA

3.1 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método para la presente investigación es el método científico, y como método específico se utilizó el método analítico sintético.

3.2 Tipo de Investigación

El tipo de investigación es aplicada-con un enfoque cuantitativo.

Aplicada por utilizar material de relave grueso, y que asegure su estabilidad física. Cuantitativo por estudiar los datos de campo como: ensayos geotécnicos obtenidos mediante muestras de campo y el cálculo para el análisis de estabilidad física de la presa de relaves.

Investigación es Aplicada, porque se basa en la aplicación de conocimientos teórico, práctico y es aplicado en el campo de la investigación, en la mayoría de los casos, en provecho de la sociedad. Para el análisis de estabilidad física de la presa de relaves se utilizaron las propiedades geotécnicas de los materiales del modelo geotécnico del crecimiento de la presa Tacaza hasta la cota 4,320 msnm han sido obtenidas a partir de la información geológica y teniendo en cuenta los resultados de los programas de investigaciones geotécnicas. Donde se pretende utilizar relave grueso (cicloneado) proveniente de la planta concentradora con la finalidad de garantizar su estabilidad con dicho material y reduciendo económicamente el costo para la construcción de presas de relave.

3.3 Nivel de Investigación

La investigación es explicativo y descriptivo, ya que pretende describir ideas apreciaciones y datos desde nuevas perspectivas que amplíe un mejor desempeño y que aumenten la rentabilidad de la empresa. La razón por la que es descriptivo tiene como meta examinar y ubicar los valores en que se manifiestan las variables, categorizarlas y proporcionar una visión integral.

3.4 Diseño de la Investigación

El diseño para la siguiente investigación es cuasi-experimental porque deliberadamente se manipula la variable dependiente donde identifican un grupo de comparación lo más

parecido posible al grupo de tratamiento en cuanto a las características de referencia (previas a la intervención).

3.5 Población y Muestra

3.5.1 Población:

La población está constituida por las compañías Mineras como; Minera Colquisiri S.A, Minera Condestable S.A, Minera los Quenuales S.A Minera Condestable, Minera Volcan S.A.A y Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. empresas mineras que vienen utilizando el mismo tratamiento de relaves.

3.5.2 Muestra

El tipo de muestreo para la presente investigación es intencionado o no probabilístico, y que para este estudio se estableció el dique de la presa de relaves de la compañía Minera Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A es representativo de la población considerada.

3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

Los ensayos de Laboratorio: caracterizaciones físicas y mecánicas en muestras de suelo fueron realizados siguiendo los procedimientos recomendados según las versiones actualizadas de la American Society for Testing and Materials (ASTM). Los ensayos que se realizaron son los siguientes:

- a) Contenido de Humedad ASTM-D-2216
- b) Análisis Granulométrico por tamizado ASTM-D-422
- c) Límites de Consistencia ASTM-D-4318-93
- d) Ensayo de Clasificación de Suelo ASTM-D-2487
- e) Peso Específico de Sólidos ASTM-D-854
- f) Ensayo Compresión Triaxial (CU) ASTM-D-4767

3.7 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Para el presente análisis de estabilidad de taludes del crecimiento de la presa de relaves de la cota 4,316 m.s.n.m. hasta 4,320 m.s.n.m se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Sección geométrica más crítica, es decir donde el ángulo del talud sea mayor, parámetros geológicos-geotécnicos, carga por acción del sismo, condiciones de nivel freático, entre otros.
- b) emplear el método de equilibrio límite que se basa en evaluar la resistencia al deslizamiento de un talud, tomando en cuenta ciertas hipótesis en relación al mecanismo de falla, condiciones de equilibrio, nivel freático, resistencia cortante, etc.
- c) Para realizar el análisis de estabilidad de taludes ha sido utilizado el programa de computo SLIDE versión 6.0 de la firma Rocscience, programa que calcula por varias metodologías de equilibrio límite empleando los factores de seguridad menores de un número de potenciales superficies de deslizamiento.
- d) Para la elaboración del diseño y dibujo de los contornos de los distintos materiales de la presa de relaves se ha utilizado el software de diseño CIVIL 3D as AUTOCAD 2016 de la firma de Autodesk. AutoCAD es un software del tipo CAD (Diseño asistido por computadora), por sus siglas en inglés utilizado para la elaboración de dibujo en ingeniería.

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1 Generalidades

Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A., requiere ampliar la vida útil de su presa de relaves, para continuar con el almacenamiento de relaves. Es por ello que se ha desarrollado el diseño para el crecimiento de la presa de relaves manteniendo el método de crecimiento aguas abajo desde la cota 4,316 msnm hasta la cota 4,320 m.s.n.m. utilizando relave cicloneado.

Para el análisis de estabilidad se realizó el análisis de estabilidad de taludes en condiciones estáticas y pseudo estáticas del crecimiento de la presa de relaves utilizando como material el relave grueso (relave cicloneado) hasta la cota 4,320 msnm se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- Sección geométrica más crítica, es decir donde el ángulo del talud sea mayor, parámetros geológicos-geotécnicos, carga por acción del sismo, condiciones de nivel freático, entre otros.
- Se empleó el método de equilibrio límite que consta evaluar la resistencia al deslizamiento de un talud.

Alcances del estudio

El estudio contempla los siguientes alcances:

- Revisión y análisis de la información de estudios previos del depósito de relaves Tacaza, hasta la cota 4,316 m.s.n.m.
- Criterios de diseño para el diseño del crecimiento de la presa de relaves hasta la cota 4,320 msnm.

- Caracterización geotécnica de los materiales que conforman el modelo de análisis de estabilidad del crecimiento de la presa de relaves hasta la cota 4,320 msnm.
- Análisis de estabilidad física de taludes de la presa de relaves, considerando superficies de falla tipo circular, en condiciones estáticas y pseudo-estáticas.
- La estabilidad sísmica fue realizada considerando periodos de retorno para condiciones de operación y cierre.

Información alcanzada por CIEMSA

CIEMSA, proporcionó información que ha servido de base para el desarrollo del presente plan de tesis, la cual es listada a continuación.

- a) Levantamiento topográfico del área de la presa de relaves Tacaza
- b) Estudio de la presa de relaves existente Tacaza y estudio de las condiciones geotécnicas de la cimentación de las estructuras de la planta metalúrgica a nivel de construcción, elaborado por Geoservice Ingeniería S.A.C.
- c) Estudio de impacto ambiental del proyecto minero metalúrgico, elaborado por Geoservice Ingeniería S.A.C. (enero, 2009).

4.2 Diseño Geotécnico

para el presente proyecto de investigación del crecimiento de la presa de relaves desde la cota 4,316 msnm hasta la cota 4,320 msnm, se ha evaluado la estabilidad física integral de la presa de relaves, sobre la base de las investigaciones geotécnicas recientes ejecutadas por IGEMIN y Tesista las investigaciones existentes ejecutadas en el área existente de la presa de relaves, proporcionada por la compañía minera; los cuales han servido para definir las propiedades geotécnicas de los materiales que conforman el modelo geotécnico de la presa de relaves proyectado.

4.2.1 Sondeos geotécnicos recientes para el crecimiento de presas de relaves

De la investigaciones geotécnicas proyectadas se registran cuatro (04) calicatas denominadas C-1 a C-4, los cuales alcanzaron profundidades de hasta 2 m; estas calicatas fueron ejecutadas en el cuerpo de la presa de relaves, con la finalidad de investigar las condiciones y características físicas y mecánicas que presentan los materiales que conforman la presa. Como se registra en el Anexo Registro de Excavación.

4.2.2 Sondeos geotécnicos

A continuación, se presentan ensayos realizados para la primera etapa de la construcción de la presa de relaves. Características y propiedades de los ensayos que sirvieron para el diseño del crecimiento de la presa de relaves proyectada. Ver Anexo Perforaciones Diamantinas.

Tabla 22 Coordenadas de ubicación y profundidad de los sondeos.

Sondeo		Coordenadas UTM		Profundidad (m)
		Este	Norte	
Calicatas (presa de relaves Tacaza)	C-1	315,240.10	8'271,814.8	3.0
	C-2	315,252.70	8'271,802.0	3.0
	C-3	315,272.20	8'271,783.9	3.0
	C-4	315,321.20	8'271,813.1	0.7
	C-5	315,283.40	8'271,827.8	3.0
	C-6	315,264.00	8'271,833.8	0.6
	C-7	315,263.10	8'271,816.3	2.7
	C-8	315,275.90	8'271,845.9	2.4
Perforaciones diamantinas (presa de relaves Tacaza)	P-1	315,322.30	8'271,828.1	-
	P-2	315,291.50	8'271,847.4	-
	P-3	315,267.90	8'271,862.2	-
	P-4	315,264.60	8'271,835.8	-
	P-5	315,308.40	8'271,876.1	-

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Ensayos In situ

En cada uno de las calicatas ejecutadas se realizaron ensayos de densidad natural in situ mediante el método de cono de arena. Asimismo, se registró cuidadosamente el perfil estratigráfico y se clasificaron visualmente los materiales encontrados, de acuerdo a los procedimientos del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (ASTM-D-2488). Ver Anexo Densidad de Campo.

Tabla 23 Ensayo de densidad de campo y contenido de humedad existente

Calicata	Este	Norte	Elevación (msnm)	Prof. (m)	Densidad húmeda (gr/m ³)
C-1	314,997.26	8'271,536.04	4,316.24	2	1.510
C-2	315,077.50	8'271,495.16	4,316.53	2	1.570
C-3	315,156.97	8'271,451.31	4,317.21	2	1.770
C-4	315,109.48	8'271,519.69	4,306.44	1.40	1.430

Fuente: Elaboración propia

4.2.3.1 Ensayos de campo

Durante la ejecución de las exploraciones de campo en el área de la presa de relaves se ejecutó ensayos de densidad natural y humedad en calicatas y trincheras.

Tabla 24 Ensayos densidad de campo y contenido de humedad - actual

Ubicación	Sector	Calicata	Profundidad (m)	Clasificación SUCS	Densidad natural (gr/cm ³)	Humedad (%)	Densidad seca (gr/cm ³)
Presa de relaves Tacaza	Estribo izquierdo	C-1	2.50	SM	1.75	27.87	1.37
		C-2	2	ML	1.71	43.94	1.19
	Estribo derecho	C-3	2.50	SM	1.82	19.74	1.52
		C-4	0.70	Roca descompuesta	2.39	8.49	2.21
	Sector central	C-5	1.80	SM	2.16	44.64	1.49
		C-6	0.60	GM	2.33	15.07	2.03
		C-7	1.20	GC-GM	2.07	23.46	1.68
		C-8	2.20	SM	2.11	36.36	1.54

Fuente: Elaboración propia

a) Ensayos de penetración estándar (SPT)

Con la finalidad de determinar la compacidad relativa y/o resistencia de los suelos con la profundidad, Se realizó a cada 2m de profundidad de acuerdo a la norma ASTM-D-1586.

- Muestreador Caña partida de 51 mm de diámetro externo.
- Líneas de Perforación.
- Martillo de 140 lb (altura de caída de 76 cm)
- Válvulas, piezas de conexión y accesorios.

- Polea y soga.

El registro de penetración e índice de penetración “N” se obtiene al considerar los golpes necesarios para penetrar los últimos 30 cm de un total de 45 cm. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 25 Ensayos de penetración estándar - SPT

Ubicación	Sector	Sondeo	N° de ensayo	Tramo (m)	N _{spt}	Tipo de material
Presa de relaves Tacaza	Estribo izquierdo	P-3	1	2.00-2.45	9	Arena limosa arcillosa
	Aguas arriba	P-4	1	1.00-1.45	33	Grava arcillosa mal graduada
			2	2.00-2.45	44	
	Aguas abajo	P-5	1	1.00-1.45	11	Arcilla limosa
			2	2.00-2.45	40	Grava arcillosa mal graduada

Fuente: Elaborado por igemin

b) Ensayos de permeabilidad

Para determinar las características hidráulicas del suelo del sector de la presa de relaves, la prueba de Lefranc se empleó en suelos, mientras que los ensayos de absorción de agua tipo Lugeon fueron ejecutados en el macizo rocoso, los resultados obtenidos de la prueba de permeabilidad se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 26 Ensayos de permeabilidad

Ubic.	Sondeo	Sector	N° de ensayo	Tramo (m)	Tipo de ensayo	Permeabilidad (cm/seg)	Unidad Lugeon			Tipo de material
							UL	P _{min}	P _{max}	
Presa de relaves Tacaza	P-1	Estribo derecho	1	2.0-3.0	Lefranc CC	1.387x10 ⁻³				Andesita
			2	6.0-7.0		1.377x10 ⁻³				Tobacea
			3	13.2-14.2		1.732x10 ⁻³				Arenisca
	P-2	Eje de la Presa	1	17.0-21.0	Lugeon	1.956x10 ⁻⁴	15.1	0.30	1.00	Arenisca
			2	23.0-17.0		2.087x10 ⁻⁴	16.1	0.30	1.00	Tobacea
	P-3	Estribo izquierdo	1	2.0-3.0	Lefranc CC	1.964x10 ⁻²				Arenas limo arcillosas
2			14.0-18.0	Lugeon	9.077x10 ⁻⁵	6.98	0.30	1.00	Andesita Tobacea	

Ubic.	Sondeo	Sector	N° de ensayo	Tramo (m)	Tipo de ensayo	Permeabilidad (cm/seg)	Unidad Lugeon			Tipo de material
							UL	P _{min}	P _{max}	
P-4	Aguas Arriba	1	2.0-3.0	Lefranc CC	5.812x10 ⁻³				Grava arcillosa mal graduada	
		2	5.4-9.0	Lugeon	2.433x10 ⁻⁴	18.7	0.30	1.00	Andesita	
		3	12.4-16.0		2.641x10 ⁻⁴	20.3	0.30	1.00	Tobacea	
P-5	Aguas abajo	1	2.0-3.0	Lefranc CC	5.474x10 ⁻³				Gravas arcillosas mal graduadas	
		2	12.2-16.0	Lugeon	2.859x10 ⁻⁴	21.9	0.50	1.50	Andesita Tobacea	

Elaborado por IGEMIN

4.2.3.2 Ensayos de densidad Natural

Con la finalidad de determinar la densidad natural se realizó ensayos in situ mediante el método de cono de arena.

Tabla 27 Ensayos de campo

Densidad	Sondeo	Muestra	Prof	Densidad natural (g/cm ³)	Humedad (%)	Densidad seca (g/cm ³)
D - 1	C - 1	M - 1	1	1.93	19.25	1.62
D - 2	C - 2	M - 1	1	1.99	19.09	1.67
D - 3	C - 3	M - 1	1	1.96	17.20	1.67
D - 4	C - 4	M - 1	1	1.96	20.00	1.63
D - 5	C - 5	M - 1	1	1.88	22.84	1.53
D - 6	C - 6	M - 1	1	1.97	18.93	1.66
D - 7	C - 7	M - 1	1	1.96	17.07	1.68

Elaborado por (Geoservice, 2009)

4.2.4 Ensayos de laboratorio

Para los ensayos de sondeos geotécnicos recientes en la presa de relaves, se obtuvieron muestras representativas de las calicatas y perforaciones que fueron seleccionadas para determinar los parámetros geotécnicos de la cimentación los

ensayos fueron realizados siguiendo los procedimientos recomendados según las versiones actualizadas de la American Society for Testing and Materials (ASTM).

Contenido de Humedad ASTM-D-2216

- Análisis granulométrico por tamizado ASTM-D-422
- Límites de consistencia ASTM-D-4318-93
- Peso específico de sólidos ASTM-D-854
- Proctor modificado ASTM-D-1557 C
- Ensayo compresión Triaxial (CU) ASTM-D-4767

4.2.4.1 Ensayos de compresión triaxial

Como parte de las investigaciones del presente estudio se realizó un ensayo de corte triaxial consolidado no drenado (CU) del material de relave grueso extraída de la calicata C-2. Asimismo, en el año 2013, IGEMIN, envió 01 muestra de relave grueso al Laboratorio de Mecánica de Suelos de la PUCP, a fin de que realice ensayos de corte triaxial CU. Ver anexo Compresión Triaxial .

Tabla 28 Resumen de ensayos especiales consolidado no drenado (CU)

Características				Humedad (%)	Ensayo de compresión triaxial (CU)			
Sector	Prof. (m)	Calicata y muestra	Clasif. (SUCS)		Efectivos		Totales	
					C' (kg/cm ²)	Ø' (°)	C _u (kg/cm ²)	Ø _u (°)
Cimentación del depósito de relaves.	0.2-1.6	C-5, M-2	SM	23.48	0.00	33.36	0.38	20.64
Cantera para cuerpo de presa.	--	Cantera	GM	8.03	0.00	44.76	0.27	36.04

Fuente: elaboración propia

4.2.4.2 Material de relave grueso

Teniendo en cuenta los resultados de los ensayos in situ y de laboratorio, así como la información previa disponible, se ha determinado que el dique del depósito de relaves está constituido por relave grueso, el mismo que según (SUCS) se clasifica como

arena limosa (SM), medianamente densa a suelta, con menos de 20% de finos de plasticidad nula.

Los relaves gruesos son obtenidos mediante el método de segregación idealizada de tamaño de partículas por medio de ciclones, el cual se realiza en la corona del dique, el mismo que es construido a través del método de aguas abajo. El relave grueso es depositado en condiciones saturadas en el talud aguas abajo del dique, con un buen drenaje el agua es evacuada rápidamente, quedando un pequeño remanente de humedad. Ver Anexo Proctor Modificado Relave Grueso.

De acuerdo a los recientes resultados del ensayo de compresión Triaxial consolidado no drenado (CU), se determinó que los parámetros de resistencia interna del relave grueso son de 29° para el ángulo de fricción y cohesión nula, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 29 Criterios de diseño y características

Parámetros	Unidad	Valores
Capacidad de tratamiento de la planta	TMD	1,100
Producción total de relaves (C)	TMD	1,060
Densidad del relave en pulpa	Tn/m ³	1.15 - 1.20
Densidad de relave fino (B)	Tn/m ³	1.50
Densidad de relave grueso	Tn/m ³	1.60
Relave grueso para la presa	%	90
Relave fino para el vaso	%	10
Talud aguas abajo	H:V	2.2:1
Vida útil = $(A*B)/(C) = \frac{(250,689.28m^3 * 1.5Tn/m^3) * 1año}{1,060Tn/día * (365días)}$	Años	0.97

Fuente: Elaboracion propia

4.2.4.3 Proceso de separación de relave fino y grueso mediante el hidrociclón D-15

- El relave producido en la Planta Concentradora, es conducido por gravedad mediante una de HDPE de 8” de diámetro hacia el cajón de alimento de las bombas 8” x 6”.
- El flujo de relave es enviado hacia la corona de la presa de relaves mediante una tubería de 6” alimentando a un hidrociclón D-15, el producto grueso se dispone a lo largo de cresta de la presa para luego ser esparcido mediante un cargador frontal.

- Se caracteriza el relave fino y grueso en términos de consolidación, gravedad específica, granulometría y reología.
- El producto fino se envía por gravedad hacia el vaso de la presa de relaves.
- Los relaves gruesos son obtenidos mediante el método de segregación idealizada de tamaño de partículas por medio del hidrociclón, el cual se realiza en la corona del dique, el mismo que es construido a través del método de aguas abajo.
- Las capacidades de almacenamiento de relave y la conformación del dique de presas del material de relave cicloneado, según la producción de planta se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 30 Análisis Volumétrico

Tipos de relaves cicloneados	Capacidad de almacenamiento (m ³)	Cota (msnm)
Finos (underflow)	217,459.03	4,319
Gruesos (overflow)	33,230.25	4,320
Total (A)	250,689.28	

Fuente: Elaboracion propia

Este almacenamiento será permanente para una producción máxima de 1,100 TM/día. Se ha utilizado una densidad promedio de 1.5 Tn/m³ para el cálculo del tiempo de llenado total. En todo momento el borde libre tendrá una altura no menor de 1 m y el sistema de disposición de relaves, mantendrá la laguna de agua sobrenadante a 100 m de la presa de relaves.

4.2.4.4 Material de relave fino

Luego de la segregación idealizada de tamaño de partículas por medio de ciclones, el relave fino es descargado hacia aguas arriba del dique para conformar el depósito de relaves propiamente dicho. Los relaves finos típicamente presentan un estado prácticamente saturado debido al estado en suspensión en el que son depositados, siendo imposible el tránsito de personas o equipo por la superficie de este material. Debido a sus granos muy finos, el relave presenta una permeabilidad relativamente baja, lo cual dificulta el drenaje del agua manteniéndose por un largo periodo en condiciones saturadas con una resistencia muy baja. Sin embargo, después de un cierto periodo de tiempo el relave se consolida adquiriendo típicamente una resistencia caracterizada por un ángulo de fricción variando entre 10° y 15°. Para

fines de análisis se ha estimado un ángulo de fricción de 15° y cohesión nula, si bien el aporte de este material en la estabilidad de la presa es prácticamente nulo.

4.2.5 Análisis de estabilidad Física de la Presa de relaves

Para el análisis de estabilidad de taludes del crecimiento de la presa de relaves de la cota 4,316 m.s.n.m. hasta 4,320 m.s.n.m. se tomó en cuenta los siguientes aspectos: *Sección geométrica más crítica*, es decir donde el ángulo del talud sea mayor, parámetros geológicos-geotécnicos, carga por acción del sismo, condiciones de nivel y el nivel freático.

Se utilizó el método de equilibrio límite: la cual analiza el equilibrio de una masa potencialmente inestable, y consisten en comparar las fuerzas tendentes al movimiento con las fuerzas resistentes que se oponen al mismo a lo largo de una determinada superficie de rotura. Se basan en la selección de una superficie teórica de rotura en el talud; el criterio de rotura de Mohr-Coulomb; y la definición de un factor de seguridad basada en evaluar la resistencia al deslizamiento de un talud, tomando en cuenta ciertas hipótesis en relación al mecanismo de falla, condiciones de equilibrio, nivel freático, resistencia cortante, etc.

Metodología del análisis de estabilidad: Para el análisis de estabilidad de taludes, se utilizó el programa de cómputo SLIDE (Rocscience, versión 6.0), el cual permite desarrollar la geometría del talud interactivamente y la definición de los tipos y propiedades de los materiales.

El análisis para calcular el factor de seguridad se lleva a cabo de manera bidimensional usando el concepto de equilibrio límite

El programa tiene la opción de utilizar diferentes modelos de análisis de estabilidad de manera simultánea (Bishop, Spencer, Morgenstern-Price, etc.); sin embargo, para el presente análisis se ha utilizado el modelo Bishop de esta manera se calculó la superficie de falla más crítica definida como aquella que proporciona menor factor de seguridad.

El análisis pseudo-estático somete una masa deslizable de dos dimensiones a una aceleración horizontal igual al coeficiente de un sismo multiplicado por la aceleración de la gravedad.

El método usado para los análisis pseudo-estáticos es el indicado por Hynes-Griffin y Franklin (1984), el cual requiere la reducción de los parámetros de resistencia cortante en un 20% para aquellos materiales sujetos a un aumento de la presión de poros durante las condiciones cíclicas (terremotos).

El factor de seguridad para el diseño de presas de relaves análisis de estabilidad de taludes de la presa de relaves deberá cumplir con lo recomendado según United States Society of Dams (USSD) y United States Bureau of Reclamation (USBR).

Tabla 31 Valores mínimos permisibles del factor de seguridad

Casos	Factor de seguridad mínimo permisible
Análisis estático para Cierre	1.5
Análisis pseudo-estático	1.0
Análisis estático para Operación	1.3

Fuente: United States Bureau of Reclamation (USBR).

Condiciones de análisis

A continuación, se presentan las figuras de las corridas del programa de cómputo SLIDE (Rocscience, versión 6.0) del análisis de estabilidad física de la presa de relaves, se realizó por dos métodos recomendados y utilizados actualmente según la Guía ICOLD y la Guía ambiental del Ministerio de Energía y Minas (MEM) Spencer y Bishop para presas de relaves utilizando relave grueso (cicloneado) y Material de Cantera, ambas secciones se analizaron en condiciones estáticos y pseudo-estáticos.

Analisis de resultados: condicion estatica

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Sat. Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
RELAVE FINO	Light Gray	15.7	17	Mohr-Coulomb	0	15
RELAVE GRUESO COMPACTADO	Dark Blue	16	18	Mohr-Coulomb	0	28
DIQUE DE ARRANQUE	Red	21	22	Mohr-Coulomb	27	36
DREN	Yellow	16	17	Mohr-Coulomb	0	38
ANDESITA TOBACEA	Tan	22	23	Mohr-Coulomb	130	36
MATERIAL DE PRESTAMO	Dark Green	21	22	Mohr-Coulomb	10	35

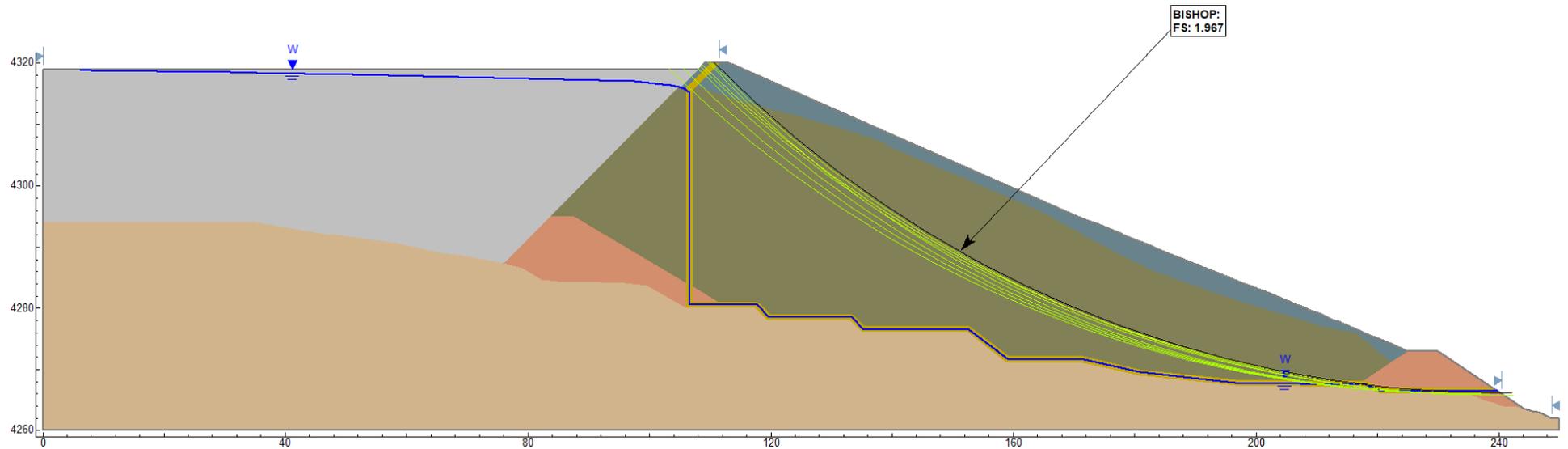


Figura 32 análisis de estabilidad física de la presa de relaves Tacaza a la cota 4,320 sección de análisis A-A - falla de tipo circular - talud global - análisis estático – dique con relave grueso empleado por el modelo Bishop

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Sat. Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
RELAVE FINO		15.7	17	Mohr-Coulomb	0	15
RELAVE GRUESO COMPACTADO		16	18	Mohr-Coulomb	0	28
DIQUE DE ARRANQUE		21	22	Mohr-Coulomb	27	36
DREN		16	17	Mohr-Coulomb	0	38
ANDESITA TOBACEA		22	23	Mohr-Coulomb	130	36
MATERIAL DE PRESTAMO		21	22	Mohr-Coulomb	10	35

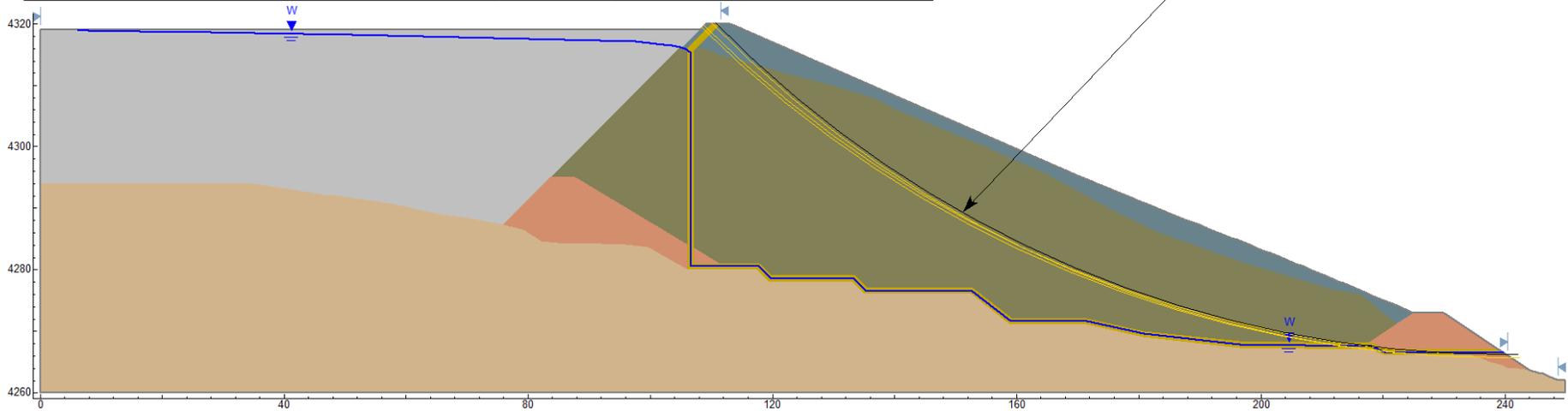


Figura 33 Análisis de estabilidad física de la presa de relaves Tacaza a la cota 4,320 Sección de análisis A-A' - falla de tipo circular - talud global - análisis pseudo-estático- dique con relave grueso empleado por el modelo Bishop

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Sat. Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
RELAVE FINO		15.7	17	Mohr-Coulomb	0	15
RELAVE GRUESO COMPACTADO		16	18	Mohr-Coulomb	0	28
DIQUE DE ARRANQUE		21	22	Mohr-Coulomb	27	36
DREN		16	17	Mohr-Coulomb	0	38
ANDESITA TOBACEA		22	23	Mohr-Coulomb	130	36
MATERIAL DE PRESTAMO		21	22	Mohr-Coulomb	10	35

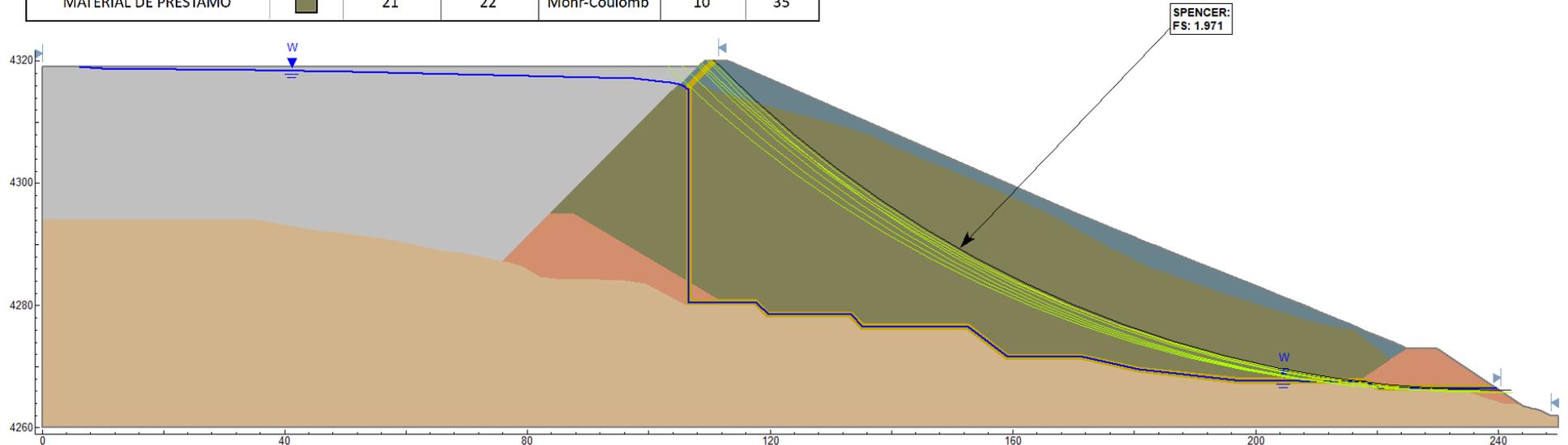


Figura 34 Análisis de estabilidad física de la presa de relaves Tacaza a la cota 4,320 Sección de análisis B-B - falla de tipo circular - talud global - análisis estático – dique con relave grueso empleado por el modelo Spencer

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Sat. Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
RELAVE FINO	Light Gray	15.7	17	Mohr-Coulomb	0	15
RELAVE GRUESO COMPACTADO	Dark Blue	16	18	Mohr-Coulomb	0	28
DIQUE DE ARRANQUE	Red	21	22	Mohr-Coulomb	27	36
DREN	Yellow	16	17	Mohr-Coulomb	0	38
ANDESITA TOBACEA	Tan	22	23	Mohr-Coulomb	130	36
MATERIAL DE PRESTAMO	Dark Green	21	22	Mohr-Coulomb	10	35

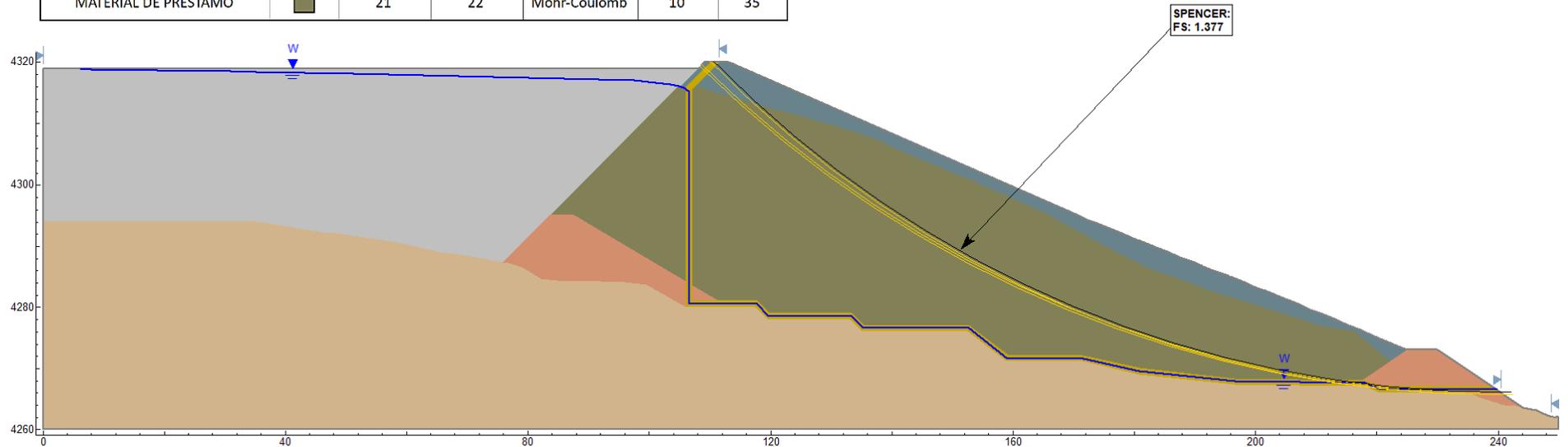


Figura 35 Análisis de estabilidad física de la presa de relaves Tacaza a la cota 4,320 sección de análisis B-B' - falla de tipo circular - talud global - análisis pseudo-estático- dique con relave grueso empleado por el modelo Spencer

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Sat. Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
RELAVE FINO	Grey	15.7	17	Mohr-Coulomb	0	15
DIQUE DE ARRANQUE	Red	21	22	Mohr-Coulomb	27	36
DREN	Yellow	16	17	Mohr-Coulomb	0	38
ANDESITA TOBACEA	Tan	22	23	Mohr-Coulomb	130	36
MATERIAL DE PRESTAMO	Dark Green	21	22	Mohr-Coulomb	10	35
MATERIAL DE CANTERA	Blue	30	31	Mohr-Coulomb	35	20

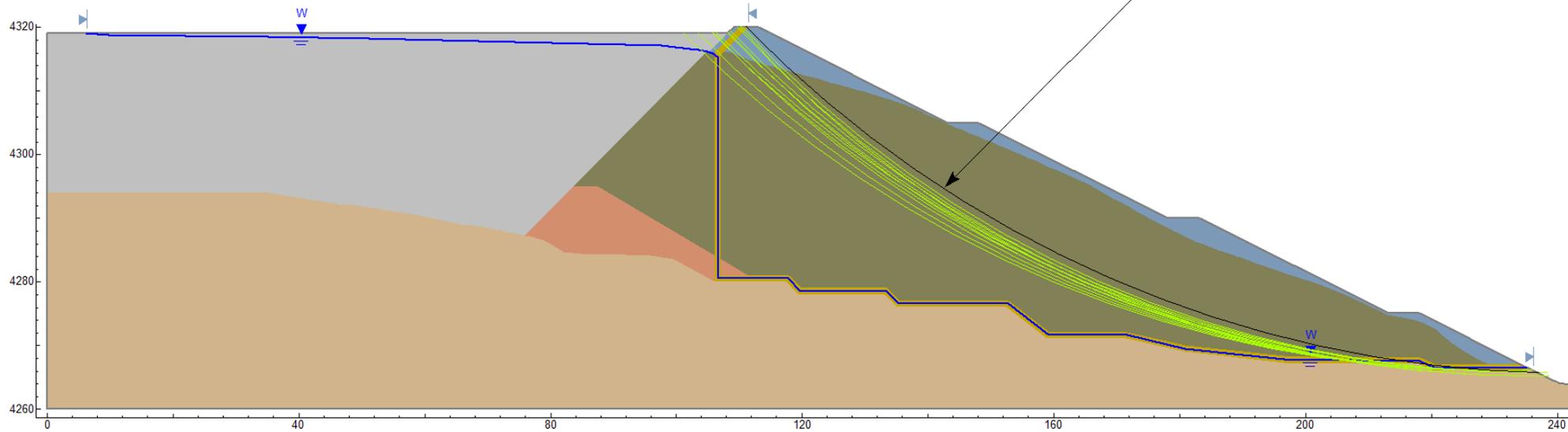


Figura 36 Análisis de Estabilidad Física de la Presa de Relaves Tacaza a la Cota 4,320 Sección de Análisis A-A' - Falla de Tipo Circular - Talud global - Análisis Estático – Dique con material de cantera empleando por el modelo Bishop

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Sat. Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
RELAVE FINO	Grey	15.7	17	Mohr-Coulomb	0	15
DIQUE DE ARRANQUE	Red	21	22	Mohr-Coulomb	27	36
DREN	Yellow	16	17	Mohr-Coulomb	0	38
ANDESITA TOBACEA	Tan	22	23	Mohr-Coulomb	130	36
MATERIAL DE PRESTAMO	Dark Green	21	22	Mohr-Coulomb	10	35
MATERIAL DE CANTERA	Blue	30	31	Mohr-Coulomb	35	20

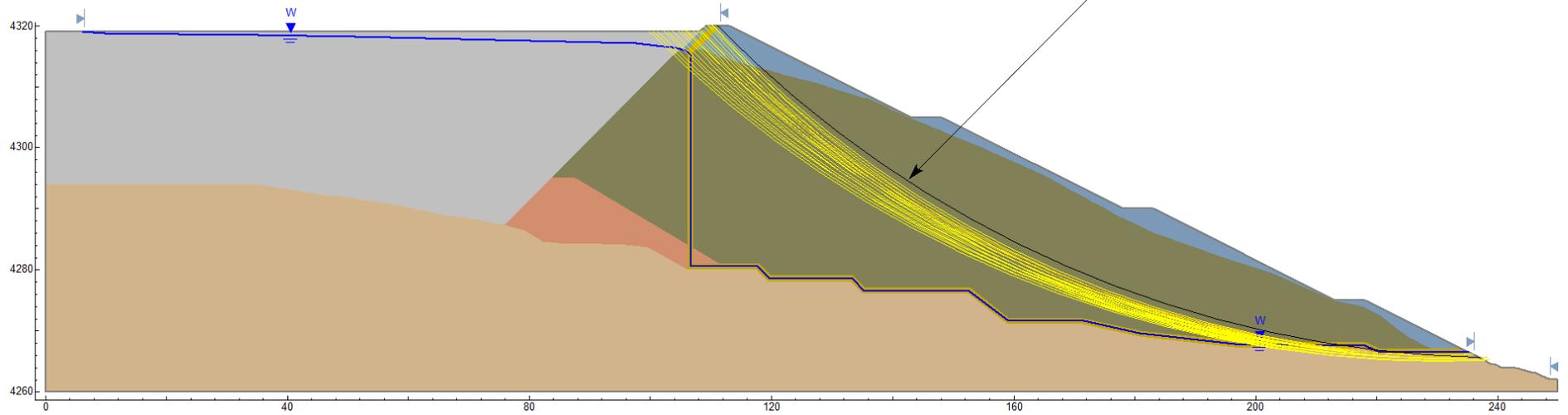


Figura 37 análisis de estabilidad física de la presa de relaves Tacaza a la cota 4,320 sección de análisis A-A' - falla de tipo circular - talud global - análisis pseudo-estático – dique con material de cantera empleado por el modelo Bishop

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Sat. Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
RELAVE FINO	Grey	15.7	17	Mohr-Coulomb	0	15
DIQUE DE ARRANQUE	Red	21	22	Mohr-Coulomb	27	36
DREN	Yellow	16	17	Mohr-Coulomb	0	38
ANDESITA TOBACEA	Tan	22	23	Mohr-Coulomb	130	36
MATERIAL DE PRESTAMO	Dark Green	21	22	Mohr-Coulomb	10	35
MATERIAL DE CANTERA	Blue	30	31	Mohr-Coulomb	35	20

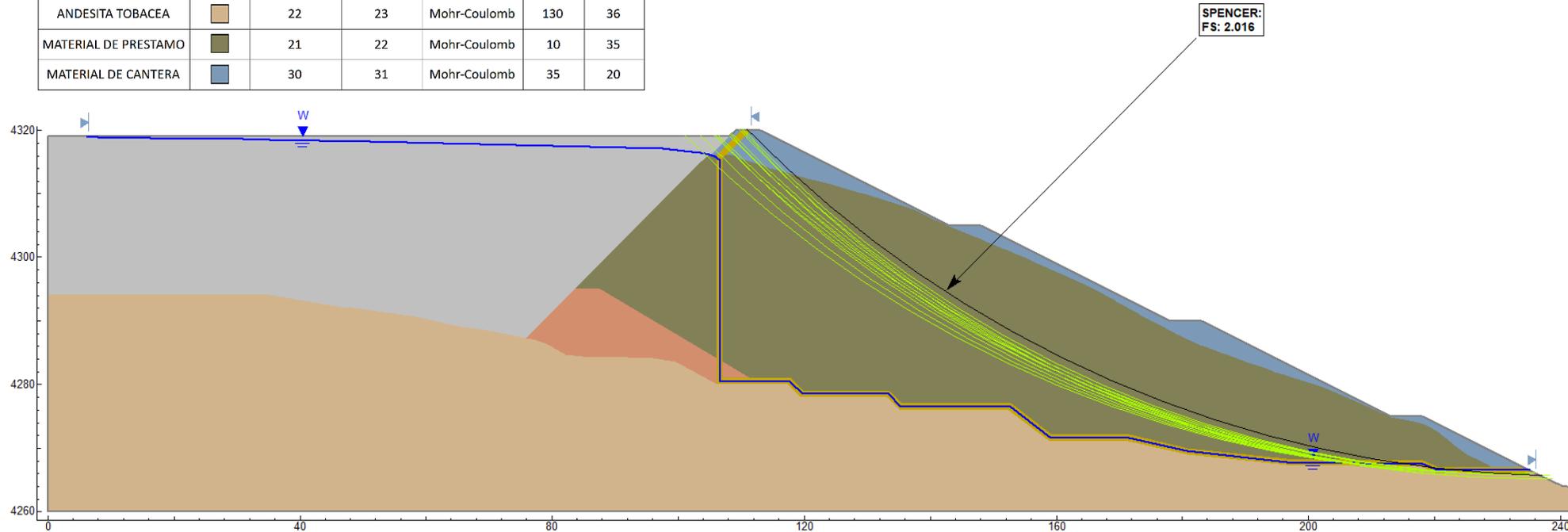


Figura 38 Análisis de estabilidad física de la presa de relaves Tacaza a la cota 4,320 sección de análisis B-B' - falla de tipo circular - talud global - análisis estático – dique con material de cantera empleado por el modelo Spencer

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Sat. Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
RELAVE FINO		15.7	17	Mohr-Coulomb	0	15
DIQUE DE ARRANQUE		21	22	Mohr-Coulomb	27	36
DREN		16	17	Mohr-Coulomb	0	38
ANDESITA TOBACEA		22	23	Mohr-Coulomb	130	36
MATERIAL DE PRESTAMO		21	22	Mohr-Coulomb	10	35
MATERIAL DE CANTERA		30	31	Mohr-Coulomb	35	20

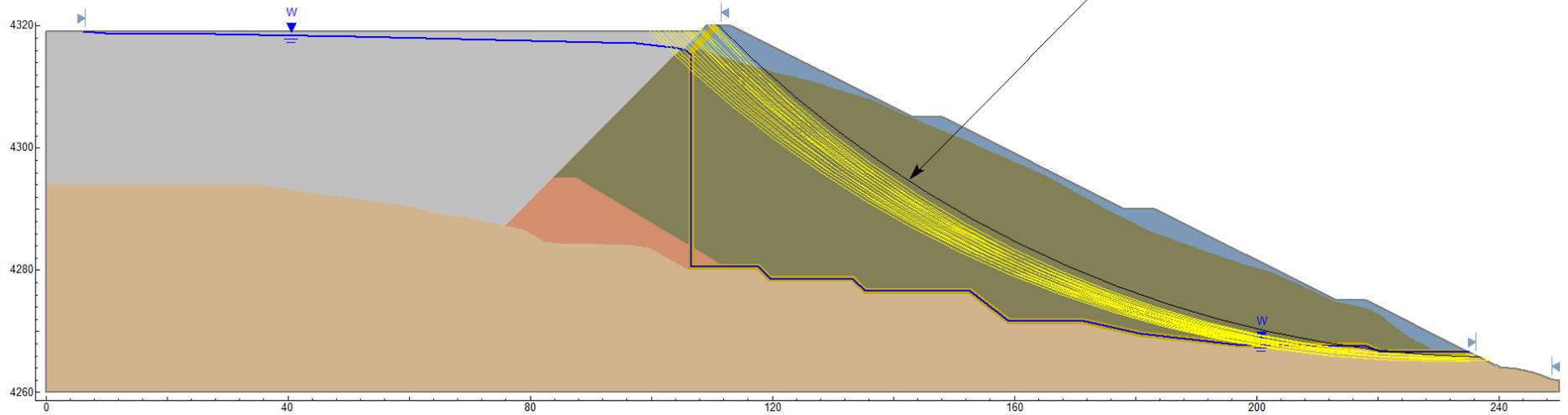


Figura 39 Análisis de estabilidad física de la presa de relaves Tacaza a la cota 4,320 sección de análisis B-B' - falla de tipo circular - talud global - análisis pseudo-estático – dique con material de cantera empleando por el modelo de Spencer

Para la siguiente investigación se realizó las corridas de la geometría más críticas de la presa de relaves, han sido elaboradas por dos modelos empleado Bishop y Spencer observándose que los resultados varían en porcentajes mínimos tal y como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 32 Resultado de las corridas de la presa de relaves en condiciones estáticas y pseudo estático.

Condición de análisis	Sección análisis	Modelo utilizado	Talud Global		Material utilizado
			Estático	Pseudo-estático	
Presa de Relaves Tacaza	A-A	Bishop	1.911	1.347	Material de cantera
	A-A	Spencer	1.912	1.355	Material de cantera
	B-B	Bishop	1.963	1.364	Relave grueso
	B-B	Spencer	1.967	1.374	Relave grueso

Fuente: Elaboracion propia

CAPITULO V: DISCUSION DE RESULTADOS

Del ítem 4.2 Diseño geotécnico que consiste en caracterizar los materiales para el análisis de estabilidad física del crecimiento de la presa de relaves desde la cota 4,316 msnm hasta 4,320 msnm, para ello se ha evaluado la estabilidad física integral de la presa de relaves, sobre la base de las investigaciones geotécnicas existentes y recientes ejecutadas por IGEMIN y el tesista los cuales han servido para definir las propiedades geotécnicas de los materiales que conformaran el modelo geotécnico de la presa de relaves.

En la tabla N°22 y N° 23 se presenta la ubicación de las calicatas en el cuerpo de dique de presas de relave con una profundidad de 2 metros en promedio las cuales sirvieron para el perfil estratigráfico y conformación de capas.

En la tabla N°24 se muestran los valores obtenidos en los ensayos de densidad de campo y contenido de humedad se ha obtenido a partir de las muestras obtenidas en campo, se ha clasificado los materiales según SUCS de las calicatas seleccionadas se realizó el cálculo de densidad natural, humedad y densidad seca.

En la tabla N°25 se muestran los valores del ensayo de penetración estándar (SPT) y ensayos de permeabilidad Lefranc y Lugeon (del tipo carga variable y carga constante, con la finalidad de obtener las propiedades más importantes como la resistencia al corte en estado compacto y saturado y la facilidad de tratamiento en obra, de las calicatas obtenidas se tiene los siguientes símbolos

- SM = Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas es semipermeable a impermeable, su resistencia al corte es buena y de baja compresibilidad en estado compacto y saturado.
- ML= Limos inorgánicos y arenas muy finas polvo de roca, arenas finas arcillosas o limosas con ligera plasticidad es semipermeable a impermeable, su resistencia al corte es regular y su compresibilidad en estado compacto y saturado es media.
- GM= Gravas limosas mal graduadas mezclas de gravas, arena y limo es semipermeable a impermeable su compresibilidad en estado compacto y saturado es buena.

En la tabla N°29 se muestran los valores de los ensayos especiales consolidado no drenado (CU) los resultados presentado en la tabla mencionada son para el análisis de estabilidad como son: pesos específico, cohesión y ángulo de fricción, de las calicatas ubicadas en el cuerpo del dique de presas se tiene la calicata denominada C-5, M2 de clasificación SUCS SM con una humedad % de 23.48 un ángulo de fricción de 33.36 y la cohesión de 20.64.

Del ítem 4.1.4.2 en la tabla N° 29 como resultados obtenidos de los ensayos in-situ de laboratorio, la caracterización del relave grueso (cicloneado) para la conformación de la presa de relaves se ha considerado la capacidad de planta 1,100 TMD, densidad del relave en pulpa 15 - 1.20 tn/m³, densidad de relave fino 1.50 tn/m³, densidad de relave grueso 1.60 tn/m³ datos que sirvieron para calcular la vida útil del crecimiento de la presa de relaves proyectado.

Del ítem 4.1.4.3 Proceso de separación de relave fino y grueso mediante el hidrociclón D-15 en la tabla N° 30 análisis volumétrico se presenta la capacidad de relave grueso a utilizar para la construcción de la presa de relaves de la cota 4,316 msnm hasta 4,320 msnm material grueso (cicloneado) a utilizar es de 33,230.25 m³ para la conformación de dique de presas.

La cual el almacenamiento será permanente para una producción máxima de 1,100 TM/día. Se ha utilizado una densidad promedio de 1.5 Tn/m³ para el cálculo del tiempo de llenado total del dique de presas. En todo momento el borde libre tendrá una altura no menor de 1 m es decir la presa de relaves tendrá una capacidad máxima de almacenamiento hasta la cota 4,319 msnm. El sistema de disposición de relaves, mantendrá la laguna de agua sobrenadante a 100 m de la presa de relaves.

Del ítem 4.1.5 Análisis de estabilidad física de la presa de relaves para el crecimiento de la cota 4316 msnm hasta 4320 msnm utilizando relave cicloneado, se realizó las corridas considerando la sección más crítica mediante el método de equilibrio limite se empleó el software SLIDE (Rocscience, versión 6.0), el cual permite desarrollar la geometría del talud interactivamente la definición de tipos y propiedades de los materiales.

El programa tiene la opción de utilizar diferentes métodos de análisis de estabilidad de manera simultánea (Bishop, Spencer, Morgenstern-Price, etc.).

En las figuras N° 32, 33, 34, y 35 se muestran el análisis de estabilidad del crecimiento de la presa de relaves a la cota 4,320 msnm. Empleando el modelo Spencer y Bishop, se analizó en condiciones estáticas y pseudo estáticos. Utilizando relave grueso

(cicloneado). Del mismo modo en las figuras 36, 37,38 y 39 también se realizó el análisis de estabilidad utilizando material de cantera. Para ambos casos se realizaron las corridas con el software SLIDE, considerándose para ambos casos falla de tipo circular.

CONCLUSIONES

1. La construcción de diques de presas con relave cicloneado influirá positivamente en la estabilidad física de la presa de relaves Tacaza en el nivel de crecimiento de la cota 4,316 m.s.n.m. hasta 4,320 m.s.n.m. ya que se tuvo en cuenta los factores geométricos, geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos, realizado en el área del proyecto.
2. Las características geotécnicas del relave cicloneado influye en la estabilidad física de la presa de relaves para su crecimiento hasta la cota 4,320 msnm, ya que el material de conformación ha sido compuesta por relave grueso provenientes de la planta concentradora, el cual será compactado; de acuerdo a las investigaciones geotécnicas ejecutadas, se ha determinado que el material de relave grueso es de tipo arena limosa, según la clasificación SUCS corresponden a SM; para determinar las propiedades de resistencia cortante del material de relave grueso.
3. Los métodos de equilibrio límite garantizaran la estabilidad física de la presa de relaves, para el crecimiento de la presa de relaves se utilizó el modelo Bishop porque es el modelo que más satisface las condiciones del método equilibrio límite, porque es aplicable a cualquier forma de superficie, y asume las inclinaciones de las fuerzas laterales.
4. Finalmente las características geotécnicas de los materiales y la configuración propuesta de la presa de relaves, cumplan con los factores de seguridad para condiciones estáticas 1.5 y para condiciones pseudo-estáticas 1.0. Por lo tanto, se garantiza el diseño de la estabilidad física del crecimiento de la presa de relaves Tacaza con relave grueso (cicloneado).

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda usar el modelo Bishop porque satisface todas las condiciones del método equilibrio límite, porque se basa en 3 parámetros del suelo; (densidad, cohesión y ángulo de fricción) ya que el modelo es aplicable a cualquier forma de superficie, asume las inclinaciones de las fuerzas laterales, cumple el equilibrio de momentos.
2. Se recomienda que se debe considerar el nivel freático ya que es un factor de vital importancia ya que capta las aguas de infiltración es por ello que para el crecimiento de la presa de relaves se consideró el dren de chimenea, el cual está construido a lo largo del eje de la presa de relaves.
3. Se recomienda que para el análisis de estabilidad de la presa de relaves se debe instalar piezómetros, y el control del sistema de drenaje ya que es importante para que se cumplan las condiciones esperadas de estabilidad física.
4. Con el crecimiento de la cota 4,316 m.s.n.m. hasta 4,320 m.s.n.m de llenado de 4 metros, se podrá incrementar la vida útil de la presa de relaves de 1 a 2 años, sin embargo es necesario realizar algunas instalaciones secundarias como el dique auxiliar, canales de coronación y muro de gavión.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ACOMISA. (2016). Diseño de la Presa de Relaves N°4 de la Planta Metalurgica Perusia. LIMA, PERU.
 2. Aguilar, J., Dorronsoro, C., Fernández, E., Fernández, J., García, I., Martín, F., . . . Simón, M. (2000). *El desastre ecológico de Aznalcóllar*. España.
 3. Autores: Ricardo Valiente Sanz, S. S. (2015). Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo.
 4. DAM SAFETY GUIDELINES 2007. (2007). Canada: 2013 Edition.
 5. Eerik A. Rennat, S. M. (s.f.). GUIA AMBIENTAL PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE DEPOSITOS DE DESECHOS SOLIDOS DE MINA . *Ministerio de Energía y Minas Dirección General de Asuntos Ambientales* .
 6. F. J. AYALA CARCEDO, J. M. (s.f.). INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA. *MANUAL PARA EL DISEÑO Y, CONSTRUCCION DE ESCOMBRERAS Y PRESAS DE RESIDUOS MINEROS*. MADRID.
 7. Godet, M. S. (1997). *Prospectiva y Planificación Estrategica*. España: Editores SA.
 8. <http://icold-cigb2019.ca/>. (2009). Obtenido de <http://icold-cigb2019.ca/>.
 9. <http://www.bdigital.unal.edu.com>. (s.f.). Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.com>.
 10. Kramer, Steven L. (1996). *Geotechnical earthquake engineering*.
 11. OCHOA ORÉ, J. K. (2013). *ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE FILTRACIÓN PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE LA REPRESA YANACUCHA PASC*. LIMA.
 12. Plaza, S., & cifuentes, R. (2013). Comparative analysis of slope stability methods applied to natural slopes. *Comparative analysis of slope stability methods applied to natural slopes*. Chile.
 13. Ramos, R. E. (2017). ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD FÍSICA DEL DEPÓSITO DE RELAVES N° 5 DE LA CONCESIÓN DE BENEFICIO BELÉN DE MINERA TITÁN DEL PERÚ S.R.L. . AREQUIPA.
 14. Roberto Rodríguez1, L. O. (2009). Los grandes desastres medioambientales . *Revista del Instituto de Investigaciones*.
 15. Sánchez Camac, L. A. (2010). INFORME N° 092-2010/GOB.REG.-HVCA/GRDE-DREM/UTAA-SAJM. *Informe de Derrame de Relave de Minera Caudalosa*. Huancavelica, Perú.
 16. Ttito Clavo, D. (2017). *Deposito de reaves Estudios, Diseño y Construcción. Aspectos ambientales y de cierre*. LIMA.
- Valladares Ibarra, P. D. (2015). ESTABILIDAD DE TALUDES CON ANCLA. MEXICO.TENCIA

ESTABILIDAD FÍSICA DE LA PRESA DE RELAVES PARA EL NIVEL DE CRECIMIENTO HASTA LA COTA 4,320 M.S.N.M. UTILIZANDO RELAVE CICLONEADO

Planteamiento	Problema	Objetivos	Justificación	Hipótesis	Operacionalización	Metodología
<p>El continuo crecimiento en las tasas de producción de la industria minera Polimetálica durante las últimas décadas ha requerido de recrecimientos de las presas existentes y la construcción de nuevos depósitos de relaves a bajos costos; es así el colapso de estas estructuras pueden causar daños e impactos al ecosistema circundante y a la población, los principales agentes contaminantes que contienen los relaves son: cianuro, mercurio, plomo, entre otros metales. Compañía Minera, requiere ampliar la vida útil de su presa de relaves Tacaza, para continuar con el almacenamiento de cicloneados (overflow) debido a que la presa de relaves ya alcanzó la cota de corona. Se considera construir el crecimiento de la presa de relaves con relaves grueso, proveniente de la planta metalúrgica para el diseño se considerará el método de crecimiento de línea central desde la cota 4,316 msnm hasta la cota 4,320 msnm, alcanzando una altura máxima de 4 m (equivalente a un 10% de la altura del depósito actual). Para ello se planteará criterios técnicos, que eviten alteración del ambiente, conflictos sociales y que sea económicamente viable.</p>	<p align="center">Problema general</p> <p>¿De qué manera influye la construcción de diques de presas con relave cicloneado en la estabilidad física de la presa de relaves desde la cota 4,316 m.s.n.m. hasta 4,320 m.s.n.m.?</p>	<p align="center">Objetivo general</p> <p>Determinar la influencia de la construcción del dique de presas con relave cicloneado en la estabilidad física de la presa de relaves de la cota 4,316 m.s.n.m. hasta 4,320 m.s.n.m.</p>	<p align="center">J. Teórica</p> <p>El relave grueso generado por el producto cicloneo de la Planta de Proceso Metalúrgicos contienen cianuro, mercurio, plomo entre otros metales pesados, sin embargo las presas inestables podrían causar el colapso de estas estructuras causando así daños e impactos al ecosistema circundante y afectar en su medida a la población.</p>	<p align="center">Hipótesis general</p> <p>La construcción de diques de presas con relave cicloneado influirá positivamente en la estabilidad física de la presa de relaves en el nivel de crecimiento de la cota 4,316 m.s.n.m. hasta 4,320 m.s.n.m.</p>	<p>a). Variable (x) Relave Grueso</p> <p>Dimensiones: X1: Ensayos del relave grueso</p> <p>Indicadores: X1. Ensayo de Compresión X2. Triaxial Consolidado - No Drenado (CU) X3. Ensayos de contenido de humedad ensayos de caracterización física.</p>	<p>Método: científico Análisis – síntesis observación medición.</p> <p>Tipo de Investigación Aplicada</p> <p>Nivel de Investigación Explicativo y Descriptivo.</p> <p>Diseño de Investigación Cuasi Experimental</p> <p>Enfoque de la Investigación Cuantitativa</p> <p>Población y Muestra. Población Conformado por las compañías mineras que utilizan el mismo proceso constructivo.</p> <p>Muestra Dique de la presa de relaves Tacaza.</p> <p>Tipo de muestreo No probabilístico dirigido</p>
	<p align="center">Problemas Específicos</p> <p>a) ¿De qué manera influye las características geotécnicas del relave cicloneado, en la construcción del dique de presas de relave en la estabilidad física de la presa de relaves?</p> <p>b) ¿En qué medida, los métodos de equilibrio límite garantizaran la construcción del dique de presas de relave en la estabilidad física de la presa de relaves?</p>	<p align="center">Objetivos Específicos</p> <p>a) Determinar la influencia de los parámetros geotécnicos del relave cicloneado, en la estabilidad física de la presa de relaves.</p> <p>b) Mediante el empleo de los métodos de equilibrio límite, determinar el factor de seguridad (FS) de la presa de relaves.</p>	<p align="center">J. Practica</p> <p>Con el diseño de la presa de Relaves, empleando el material de relave grueso producto del cicloneo, asegura la estabilidad de la presa, cumpliendo parámetros de diseño. Teniendo en cuenta las normas de CE.020 Estabilización de Suelos Y Taludes y E.30 Diseño Sismo Resistente.</p>	<p align="center">Hipótesis Especifico</p> <p>c) Las características geotécnicas del relave cicloneado influye en la estabilidad física de la presa de relaves para su crecimiento hasta la cota 4,320 msnm.</p> <p>d) Los métodos de equilibrio límite garantizaran la estabilidad física de la presa de relaves.</p>	<p>b). Variable (Y) Análisis de estabilidad física de la presa de relave.</p> <p>Dimensiones Y1. Factor de seguridad. Y2. Métodos de equilibrio Limite. Y3. Análisis de estabilidad.</p> <p>Indicadores: Y1. Coeficiente de diseño. Y2. Modelo de Bishop y Spencer. Y3. Condiciones estáticas y Pseudo estáticas.</p>	

PANEL FOTOGRÁFICO



Figura N°1 Vista mostrando el sector del eje de presa y vaso del depósito. El eje de presa interesará rocas volcánicas del Grupo Tacaza (T – ta) cubiertos parcialmente por depósitos morrénicos (Q – mo).

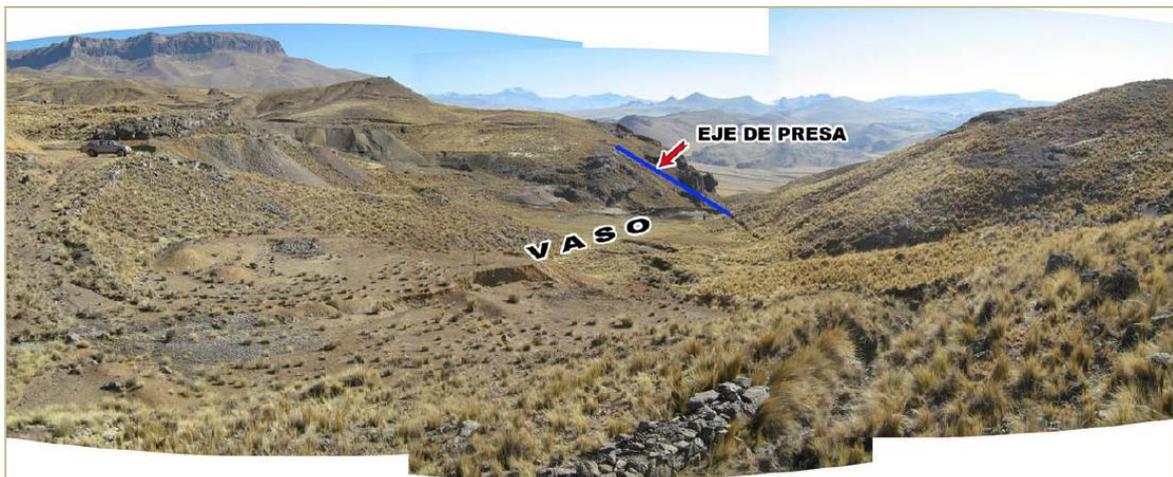


Figura N°2 Vista del eje de presa y vaso del depósito de relaves (mirando hacia aguas abajo).



Figura N°3 Vista mostrando el área prevista para el emplazamiento de la Planta Metalúrgica, ubicada en la ladera derecha de la Quebrada Sayocomana, interesando depósitos morrénicos y afloramientos aislados de rocas volcánicas.

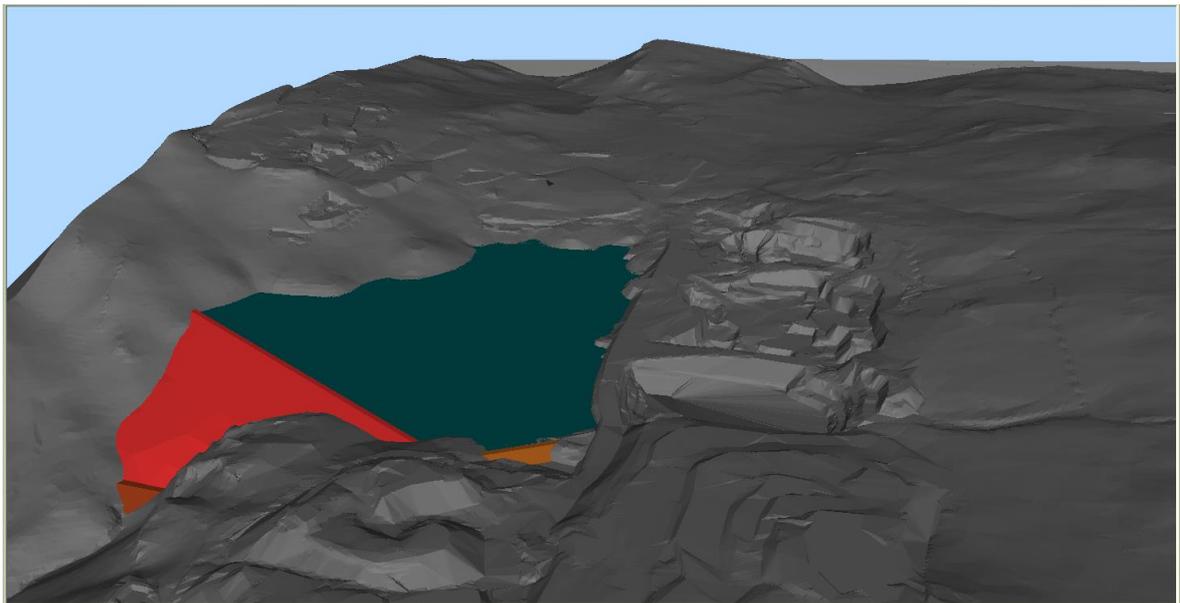


Figura N°4 vista panorámica en 3D

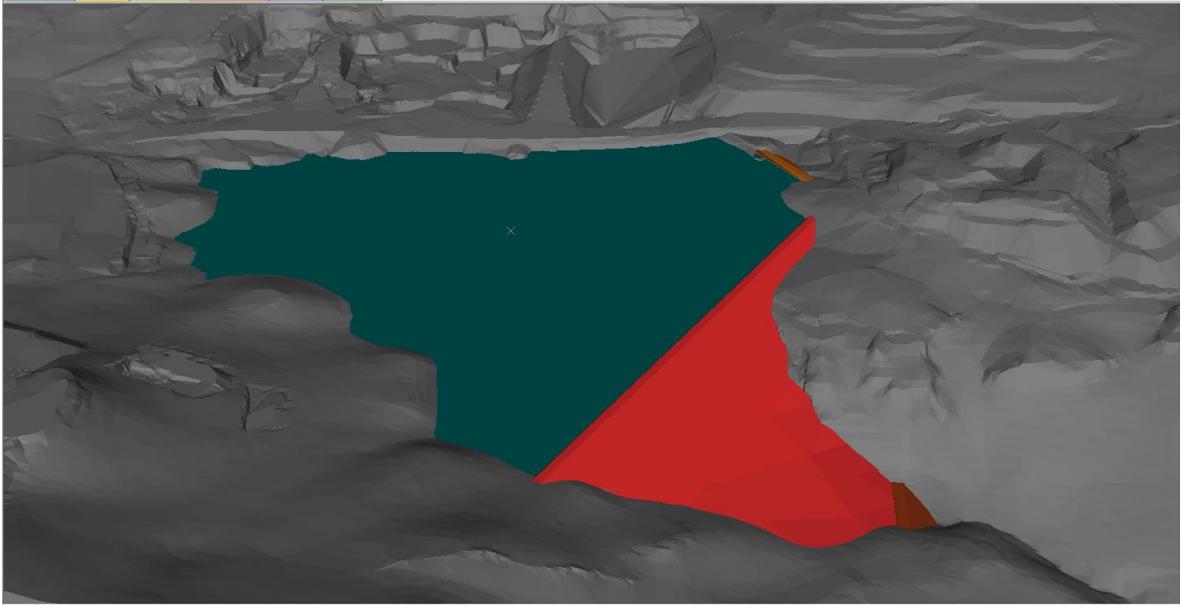


Figura N°5 vista panorámica en 3D

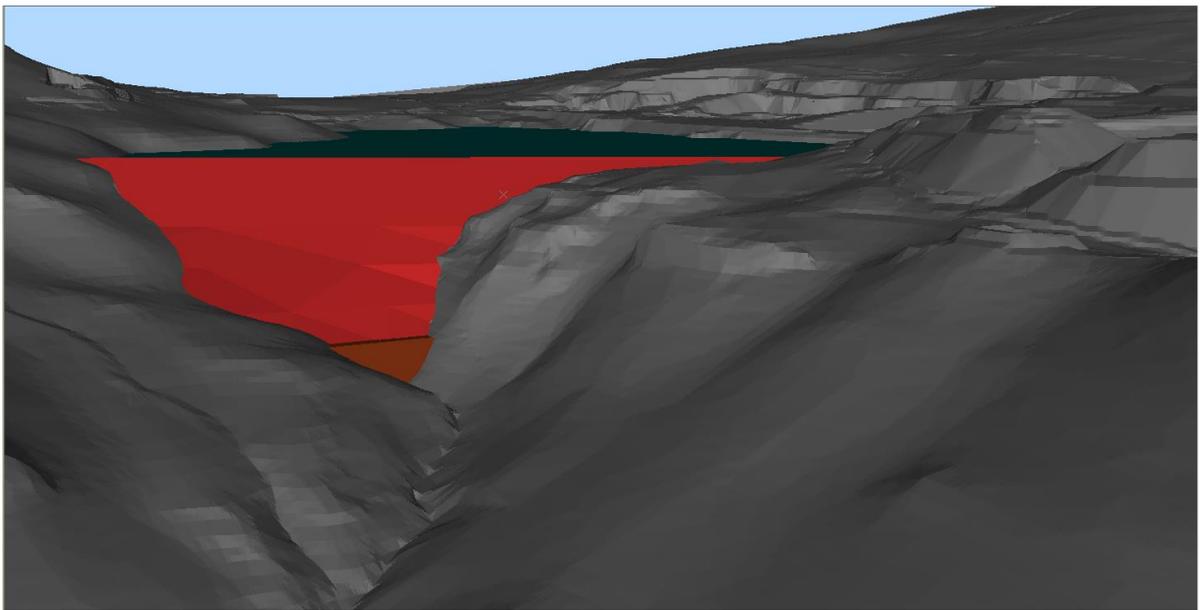


Figura N°6 vista panorámica en 3D