



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



**CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS DE
ESTABILIDAD DE TALUD DE LA RELAVERA HUAYBILLO U.M.
EL COFRE.**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

Bach. YHEFRIN ANGEL MAMANI CALDERON

PARA OBTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERU

2019



DEDICATORIA

A Dios, porque de él
consigo la fuerza para
afrontar cualquier
obstáculo que se
presenta en mi camino.

A mis padres VICENTE y
MIRIAN ISABEL, pues con
su apoyo incondicional me
alientan a seguir adelante en
las metas propuestas durante
mi vida.



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mis queridos padres VICENTE y MIRIAN ISABEL por haber confiado en mí y haberme animado a emprender la elaboración de trabajo de investigación. A veces, en los proyectos interfieren factores que los dilatan en el tiempo y sin su apoyo incondicional y sus consejos, este trabajo no habría podido hacerse realidad.

Agradecido también con mis hermanos Denilson, Yerald y Yadira, que siempre han estado cuando los he necesitado, en los buenos y malos momentos, el logro también es de ellos.

Por último, gracias a todas las personas que me han animado en este largo camino, soportando y comprendiendo con estoica paciencia la dedicación que requiere la realización de este trabajado de investigación.

Muchas gracias a todos.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
ÍNDICE GENERAL	4
INDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	7
RESUMEN	8
ABSTRACT.....	9
I. INTRODUCCIÓN.....	10
II. MATERIALES Y MÉTODOS	11
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
IV. CONCLUSIONES.....	19
AGRADECIMIENTOS.....	19
REFERENCIAS.....	20

Área : Ingeniería de Minas

Tema: Consideraciones geotécnicas para la evaluación de taludes

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 13 de diciembre del 2019



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Accesibilidad a la zona de estudio	11
Tabla 2. Métodos utilizados para el análisis de estabilidad de talud	12
Tabla 3. Métodos de equilibrio limite.....	13
Tabla 4. Ensayos estándar de suelos	17
Tabla 5. Ensayo de corte directo	17
Tabla 6. Resultados de factor de seguridad	19



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Método de aguas abajo	12
Figura 2. Fuerzas que actúan sobre una dovela	14
Figura 3. Geometría del talud	16
Figura 4. Mapa de sismicidad del Perú.....	17
Figura 5. Análisis de estabilidad estático	18
Figura 6. Análisis de estabilidad pseudoestático	18



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ASTM	: Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
F.S.	: Factor de Seguridad
GPS.	: Sistema de Posicionamiento Global
SUCS	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
U.M.	: Unidad Minera



Consideraciones geotécnicas para el análisis de estabilidad de talud de la relavera Huaybillo U.M. El Cofre

Geotechnical considerations for slope stability analysis of the Huaybillo U.M. EL COFRE

Bach. Yhefrin Angel Mamani Calderón

Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería de Minas, Av.

Sesquicentenario N° 1154 Ciudad Universitaria, Puno- Perú,

ayhefrinmc@hotmail.com. Cel. 946536662

RESUMEN

El lugar donde se llevó a cabo dicho estudio fue en la relavera HUAYBILLO U.M. El cofre del distrito de Paratia provincia de Lampa departamento de Puno, desarrollado en el mes de septiembre del año 2018. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo considerar las características geotécnicas para determinar la estabilidad de talud en un corte crítico, obtener parámetros geotécnicos como propiedades físicas ángulo de fricción interna, cohesión. Para lo cual se utilizó la metodología experimental. Se realizaron ensayos en laboratorio (ensayos de propiedades físicas, clasificación de suelos (SUCS), corte directo, peso unitario) y así poder saber las características de los diferentes materiales que se encuentran en la relavera. Para el caso de estudio definido, el análisis de estabilidad física estática y pseudoestática, se realizó con el software SLIDE 6.0, para el estudio sísmico en condiciones de operación de los componentes estudiados, usaremos un coeficiente sísmico de $1/3$ de la aceleración máxima que corresponde a $C = 0.14$. Como conclusión del análisis de estabilidad física de la relavera HUAYBILLO: En condiciones estáticas es estable con un F.S de 1.395 ya que el criterio de aceptabilidad es de 1.3. En condiciones pseudoestáticas es inestable con un F.S. de 0.996 ya que el criterio de aceptabilidad es de 1.0.

Palabras Clave: Slide, factor de seguridad, talud.



ABSTRACT

The place where this study was carried out was in the HUAYBILLO U.M. The chest of the district of Paratia province of Lampa department of Puno, developed in the month of September of the year 2018. The present research work aims to consider the geotechnical characteristics to determine the stability of slope in a critical cut, obtain geotechnical parameters such as physical properties angle of internal friction, cohesion. For which the experimental methodology was used. Laboratory tests were performed (physical properties tests, soil classification (SUCS), direct cutting, unit weight) and thus to know the characteristics of the different materials found in the tailings. Thick tailings (SP-SM), Thin tailings (SP-SM) Base floor (SP-SC), Starter dam (GC). For the case study defined, the static and pseudo-static physical stability analysis was performed with the SLIDE 6.0 software, for the seismic study in operating conditions of the components studied, we will use a seismic coefficient of 1/3 of the acceleration maximum corresponding to $C = 0.14$. As a result of the physical stability analysis of the HUAYBILLO tailings: Under static conditions it is stable with an F.S of 1,395 since the acceptability criterion is 1.3. In pseudo-static conditions it is unstable with an F.S. of 0.996 since the acceptability criterion is 1.0.

Keywords: Slide, safety factor, slope



I. INTRODUCCIÓN

Uno de los temas importantes asociados a las faenas mineras corresponde, a todo aquello relacionada con las obras constructivas de disposición en la superficie de la tierra “depósitos de relaves” cuyos residuos que contienen provienen de plantas de concentración de minerales. esto se debe a que en la industria minera peruana estos depósitos han ido adquiriendo mayor relevancia y mantener niveles de producción optimas, por lo tanto, se hace necesario tener muy presente los riesgos asociados a los pequeños, medianos y grandes depósitos de relaves, en cuanto a los ámbitos técnicos constructivos como los ambientales.

Debido a la regulación legal, tanto técnica como ambiental que nuestro país ha dado, se hace más difícil liberarse de los desechos mineros con solo hacerlos desaparecer de la vista, además las comunidades también hacen oír su voz con fuerza y claridad sobre los problemas de protección de las personas y medio ambiente, y esto exige que se cumplan consideraciones geotécnicas y realizar estudios de estabilidad de talud para no sufrir alguna tragedia grave.

(LOAYZA, 2016) en su tesis “Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina Antapaccay” los objetivos son determinar los parámetros de

diseño de los taludes que se construirán en suelos para ello se realizaron los análisis de estabilidad en condiciones estáticas y pseudoestáticas.

(CABRERA, 2000) en su tesis de post grado “Análisis y diseño de taludes mediante métodos computacionales” los estudios de estabilidad de taludes están dirigidos a conseguir un talud final económico y seguro, mediante las investigaciones de campo, consideraciones geotécnicas, análisis de laboratorio y así poder hacer simulaciones con en los softwares con datos más precisos y confiables.

(OROZCO, 2009) en su tesis de post grado “confiabilidad en la estabilidad de taludes “el análisis de confiabilidad permite considerar en el diseño la incertidumbre de los parámetros del suelo y de las cargas actuantes y permiten asignar un factor de seguridad calculando un valor índice de confiabilidad.

(SEPULVERA, 2017) en su tesis “Evaluación de herramientas para el análisis de estabilidad física de una presa de relaves espesados” para llevar a cabo el estudio, se selecciona una geometría y parámetros geotécnicos de los materiales de construcción representativos de una presa de relaves.

(TLAXCALTECA, 2010) en su tesis “Inestabilidad en laderas y taludes” existen dos tipos de fuerzas que actúan en



cualquier tipo de deslizamiento: las motoras y las resistentes. las motoras se originan por el peso del material que conforman el cuerpo de una ladera o talud y por el peso de cualquier sobrecarga, y las resistentes son el resultado de la resistencia “in-situ” de los materiales que conforman las laderas o los taludes.

(BOLAÑOS, 2004) en su tesis magistral “Espectros de peligro sísmico uniforme” los espectros de diseño basados en formas que se escalan con la aceleración pico del suelo conducen a una distribución no uniforme del peligro a lo largo del espectro y por tanto a un nivel de riesgo diferente entre edificaciones de una distinta altura.

(MORANDE, 2007) en el libro “Guía técnica de operación y control de depósitos de relaves “Uno de los temas importantes asociados a las faenas mineras corresponde, a todo aquello relacionado con las obras constructivas de disposición en la superficie de la tierra de los “Depósitos de Relaves”; cuyos residuos que contienen provienen de Plantas de Concentración de minerales.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La U.M. El Cofre se ubica en el departamento de Puno, provincia de Lampa, distrito de Paratia. Con coordenadas N-8’291,477, E-328,507 y a una altitud de 4377.74 m.s.n.m.

Tabla 1 Accesibilidad a la zona de estudio

Tramo	Dist. (Km)	Tiempo (Hr)	Tipo de vía
Juliaca-Lampa	32	0.5	asfaltada
Lampa-Paratia	40	1	afirmada
Paratia-el cofre	1	0.05	afirmada

Fuente: elaboración propia

MATERIALES

EQUIPOS UTILIZADOS EN CAMPO

Brújula
Flexómetro
Lampa y pico
Sacos de polipropileno
GPS
Libreta de anotaciones
Cámara fotográfica
Calculadora científica

EQUIPO UTILIZADO EN GABINETE

Computadora
Impresora
Software AutoCAD 2016
Software SLIDE 6.0
Equipo de corte directo
Set de clasificación de suelos
Cuchara de casa grande
Horno temperado para el secado de muestras de suelo

METODOLOGÍA

Consideramos al presente trabajo de investigación dentro del diseño metodológico y experimental. En las que consideramos las siguientes etapas: En una primera etapa el estudio se orientó a la

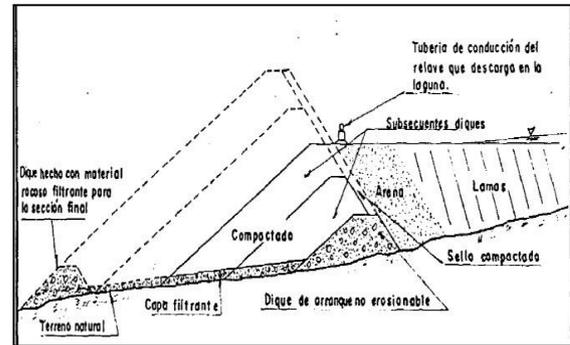
ejecución de investigaciones básicas, con el fin de obtener la información necesaria, que permita evaluar los factores que condicionan el comportamiento de la relavera HUAYBILLO, y estimar las consideraciones geotécnicas básicas. En una segunda etapa, se integró la información obtenida durante las investigaciones básicas, con el fin de evaluar las condiciones de estabilidad de los taludes en función del diseño y análisis de estabilidad, el estudio realizado, combinó observaciones y acopio de información de campo, pruebas de campo, laboratorio y trabajos de gabinete, utilizando técnicas adecuadas.

METODO DE DISEÑO AGUAS ABAJO

En la técnica de aguas abajo, los relaves cicloneados son depositados sobre un dique inicial en la dirección de aguas abajo durante varias etapas de construcción. Por este mismo motivo, esta técnica requiere más material para construir la presa respecto a los otros métodos. Esta metodología fue desarrollada para reducir los riesgos asociados con la construcción aguas arriba cuando es sometida a agitación sísmica.

Debido a esta consideración de diseño, este método es el que presenta mejor estabilidad sísmica.

Figura 1 Método de aguas abajo



Fuente: (SEPULVERA, 2017)

METODO PARA EL ANALISIS DE ESTABILIDAD

Los métodos numéricos son la técnica que muestra la mejor aproximación al detalle, de las posiciones de estabilidad en la mayoría de los casos de evaluación de estabilidad de taludes.

Sin embargo, los métodos de límite de equilibrio, son más sencillos de utilizar los casos de falta de trasnacional y de falla rotacional, así mismo como las fallas de inclinación y las fallas de cuña, igualmente se pueden integrar al análisis modelaciones de hidrogeología y las solicitaciones sísmicas, a continuación, se presenta un resumen de las metodologías utilizadas en los análisis convencionales de estabilidad de taludes. (SUAREZ, 2009).

Tabla 2 Métodos utilizados para el análisis de estabilidad de talud

METODO	PARAMETROS UTILIZADOS	VENTAJAS	LIMITACIONES
Límite de equilibrio	Angulo de fricción, cohesión, peso unitario, niveles freáticos,	Existe una gran variedad de software. Se obtiene	Genera un numero único de factor de seguridad sin tener en cuenta el mecanismo

	cargas externas, topografía	un número de F.S.	de inestabilidad.
Esfuerzo de formación continua	Geometría del talud, propiedades de los materiales, propiedades elásticas resistencia niveles freáticos.	Permite simular procesos de deformación del talud y el proceso de falla, se pueden incluir análisis dinámico.	Es complejo y no lineal comúnmente no se tiene conocimiento de los valores reales a utilizar en la modelación, no permite modelar roca muy fracturada.
Discontinuo esfuerzo deformación elementos discretos	Geometría del talud propiedades del material, rigidez discontinuidad, resistencia y niveles freáticos	Permite la deformación y el movimiento relativo de bloques.	Existe poca información disponible sobre las propiedades de las juntas se presentan problemas de Escala.
Cinemático Estereo_ gráficos para taludes en roca	Geometría y características de la discontinuidad, resistencia a la discontinuidad.	Permite identificación y análisis de bloques críticos, pueden combinarse con técnicas estadísticas	Útiles para el diseño preliminar, se requiere criterio de ingeniería para determinar cuáles son las discontinuidades críticas evalúa las juntas

Fuente: (SUAREZ, 2009).

LIMITE DE EQUILIBRIO

Un análisis de equilibrio limite permite obtener un factor de seguridad o a través de un análisis regresivo, obtener los valores de la resistencia al cortante en el momento de la falla. Una vez se han determinado las propiedades de resistencia al cortante de los suelos, las presiones de poros y otras propiedades

del suelo y del talud, se puede proceder a calcular el factor de seguridad del talud. Este análisis de estabilidad consiste en determinar si existe suficiente resistencia en los suelos del talud para soportar los esfuerzos de cortante que tienden a causar la falla o deslizamiento.

La mayoría de los métodos de límite de equilibrio tienen en común, la comparación de las fuerzas o momentos resistentes y actuantes sobre una determinada superficie de falla. Las variaciones principales de los diversos métodos son, el tipo de superficie de falla y la forma cómo actúan internamente las fuerzas sobre la superficie de falla.

Durante muchos años se ha realizado el análisis de los movimientos de los taludes o laderas, haciendo uso de las técnicas de límite de equilibrio. Este sistema supone que en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes, son iguales a lo largo de la superficie de falla y equivalentes a un factor de seguridad de 1.0.

Tabla 3 Métodos de equilibrio limite

METODO	FALLA	EQUILIBRIO	CARACTERÍSTICAS
Ordinario (Fellenius 1927)	Circulares	Fuerzas	No tienen en cuenta las fuerzas de las dovelas.

Bishop (1955)	Circulares	Momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante, entre dovelas, son cero.
Janbú (1968)	Cualquier forma	Fuerzas	Asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas.
Spencer (1967)	Cualquier forma	Momento y fuerzas	Las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma	Momento y fuerza	Las fuerzas entre dovelas, sea asume, que varían de acuerdo con una función arbitraria.

Fuente: (SUAREZ, 2009)

METODO DE BISHOP

Presento un método utilizando dovelas y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las dovelas. Bishop asume que las fuerzas entre dovelas son horizontales; es decir, que no tiene en cuenta las fuerzas de cortante. (Bishop, 1955).

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

$$F.S. = \frac{\sum \left[\frac{c' \Delta l \cos \alpha + (W' u \Delta l \cos \alpha) \tan \phi'}{\cos \alpha + (\text{sen} \alpha \tan \phi') / FS} \right]}{\sum W \text{sen} \alpha}$$

Donde:

Δl = longitud de arco de la dovela

W = Peso de cada dovela

C', ϕ = Parámetros de resistencia del suelo.

u = Presión de cada dovela = $\gamma w \times h w$

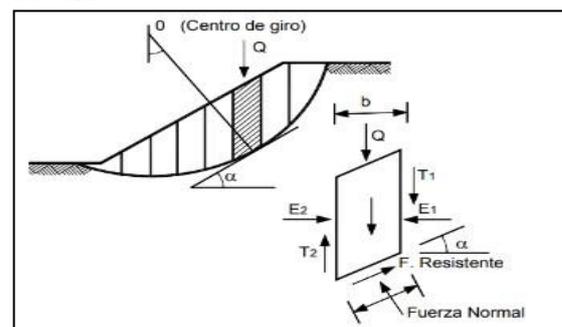
α = Angulo del radio y la vertical en cada dovela.

Como se puede observar en la ecuación, el término factor de seguridad FS se encuentra tanto en la izquierda como en la derecha de la ecuación; se requiere un proceso de interacción para calcular el factor de seguridad.

El método simplificado de Bishop es uno de los métodos más utilizados actualmente para el cálculo de factores de seguridad de los taludes. Aunque el método sólo satisface el equilibrio de momentos, se considera que los resultados son muy precisos en comparación con el método ordinario.

Aunque existen métodos de mayor precisión que el método de Bishop, las diferencias de los factores de seguridad calculados, no son grandes. La principal restricción del método de Bishop simplificado, es que solamente considera las superficies circulares. (Bishop, 1955).

Figura 2 Fuerzas que actúan sobre una dovela



Fuente: (Bishop, 1955).



FACTOR DE SEGURIDAD

El factor de seguridad es empleado por los ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla: Fellenius (1922)

$F.S. = \frac{\text{Resistencia al cortante disponible}}{\text{Esfuerzo al cortante actuante}}$

En las superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$F.S. = \frac{\text{Momento resistente disponible}}{\text{Momento actuante}}$

ENSAYOS DE LABORATORIO

Con las muestras obtenidas en el campo, se realizaron ensayos estándar de clasificación de suelos y propiedades físicas que consisten en análisis granulométrico por tamizado, límites de atterberg (líquido y plástico).

- Análisis granulométrico (ASTM D- 422)
- Límites de atterberg (ASTM D-4318)
- Contenido de humedad (ASTM D- 2216)
- Clasificación SUCS (ASTM D-2487)
- Ensayo de corte directo

Con el fin de estimar los parámetros de

resistencia al corte (cohesión y Angulo de fricción) del material que conforma la relavera, así como del suelo de fundación, se tomaron muestras para hacer los ensayos de corte directo.

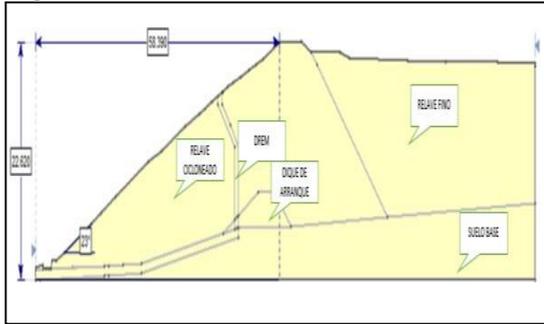
CARACTERIZACION GEOMETRICA DE LA RELAVERA HUAYBILLO

Para el presente análisis de estabilidad física del talud de la relavera HUAYBILLO de la U.M. El Cofre. Se realizaron muestreos en toda la relavera, pero solo se hizo el estudio para un solo corte teniendo en cuenta que este corte es el más factible a fallar (crítico).

Como también se cuenta con un levantamiento topográfico detallado del talud de la relavera, de la base y del contorno del mismo. Todas estas herramientas nos ayudaran a determinar el análisis de estabilidad física. siendo el componente la relavera que está básicamente conformado por tres tipos de materiales, un dique de arranque y un Drem.

Como se mencionó anteriormente juntamente con todos los datos que se recopilaron al largo del estudio, es que se pudo realizar 01 corte longitudinal de la relavera, que servirá para el análisis de la estabilidad física de la relavera objeto de la presente investigación.

Figura 3 Geometría del talud



Fuente: elaboración propia

SISMICIDAD DEL AREA DE ESTUDIO

Dentro del territorio peruano se han establecido diversas zonas, las cuales presentan diferentes características de acuerdo a la mayor o menor presencia de los sismos, esta sismicidad es principalmente producto de la subducción de la placa de nazca debajo de placa continental a lo largo de la costa peruano. Según el mapa de zonificación sísmica propuesto en la norma de diseño sismo resistente, del reglamento nacional de construcción (1997), el área de estudio de acuerdo a Bolaños y Monroy (2004), presenta la aceleración correspondiente es de 0.42g.

Por otro lado, según el mapa de fuentes sismogénicas superficiales, propuesto por Castillo y Alva (1993), la máxima magnitud que puede ocurrir en el área del proyecto asociada a estas fuentes es de 7.1, asimismo, los mismos autores han presentado un mapa de isoaceleración determinada a partir de criterios de

probabilísticos, considerando un porcentaje de excedencia de 10% para una estructura cuya vida útil es de 100 años, lo cual corresponde a un tiempo de retorno del sismo máximo probable de 475 años. Este mapa en el cual se puede observar que para el área de estudio, los autores proponen una aceleración máxima de 0.42g. considerando el periodo de vida operativo y la etapa post- cierre. por lo tanto, para el análisis sísmico de la relavera HUAYBILLO será de 0.42g como aceleración máxima esperada en la zona del proyecto.

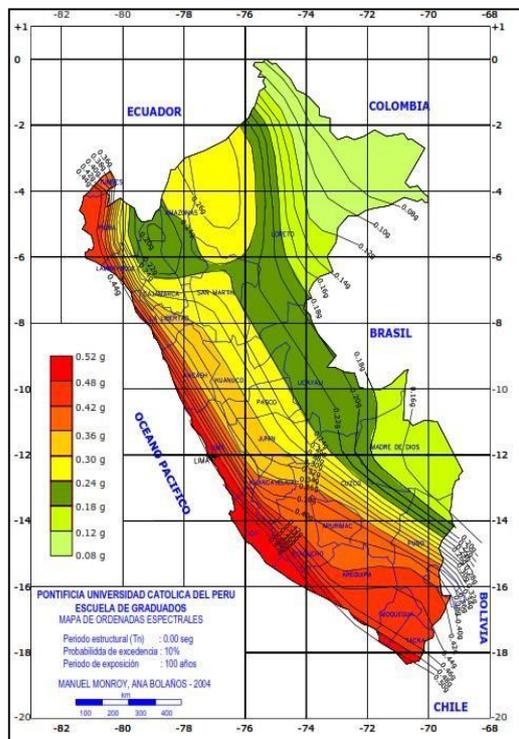
COEFICIENTE SISMICO

De acuerdo a la literatura técnica existente aceptada internacionalmente, se recomienda que el coeficiente sísmico a ser considerado en el análisis en la condición pseudoestática de análisis de taludes, sea obtenido como una fracción que varía entre 1/2 a 1/3 de la máxima aceleración esperada.

Esta recomendación es consistente con las recomendaciones del cuerpo de ingenieros del ejército de los estados unidos (U.S. Army Corps of Engineers), quienes sugieren el uso de un coeficiente sísmico pseudoestático igual al 50% de la aceleración pico de diseño, debido a distorsiones de los algoritmos de computo, es una práctica común utilizar una aceleración reducida para el análisis

seudoestático . La recomendación del cuerpo de ingenieros está basada en estudios de numerosos terraplenes y su comportamiento durante eventos sísmicos. Por lo tanto, para el análisis pseudoestático en condiciones de operación de los componentes estudiados, usaremos un coeficiente sísmico de 1/3 de la aceleración máxima que corresponde a $C=0.14$.

Figura 4 Mapa de sismicidad del Perú



Fuente: (BOLAÑOS, 2004)

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el desarrollo del presente trabajo, se fueron analizando uno a uno los componentes y sus características del talud para poder determinar un análisis de estabilidad de acuerdo a las normas preestablecidas por el ministerio de

energía y minas, teniendo en cuenta la estabilidad física de esta obra, es uno de los elementos esenciales en el diseño, pues no pueden presentar fallas debido a altísimo impacto ambiental que tendría y a la seguridad de la población afectada.

Dentro de los ensayos realizados en laboratorio se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4 Ensayos estándar de suelos

Componente	Muestra	Clasificación Sucs	Peso unitario KN/m ³
Relave cicloneado	01	SP-SM	16.18
Relave fino	01	SP-SM	14.22
Suelo base	01	SP-SC	15.33
Drem	01	GW	20.94
Dique arranque	01	GC	21.00

Fuente: elaboración propia

Tabla 5 Ensayo de corte directo

Componente	Muestra	Cohesión (KN/m ³)	Angulo de fricción
Relave cicloneado	01	0.21	30
Relave fino	01	0.4	25
Suelo base	01	1.510	27.44
Drem	01	0	33
Dique de arranque	01	2.3	36

Fuente: elaboración propia

CRITERIO DE ANALISIS

Actualmente el método de análisis más utilizado en nuestro medio es el método del equilibrio limite, el cual considera una superficie de falla que puede ser circular o planar y divide esta superficie en varias

dovelas, donde en cada una de estas se determina las fuerzas solicitantes y las fuerzas resistentes para compararlas y obtener un factor de seguridad.

En el presente capítulo se exponen los criterios utilizados en analizar la estabilidad física de los componentes estudiados, utilizando para el análisis de la estabilidad estática y pseudoestática el método del equilibrio límite, con el modelo de bishop simplificado.

El análisis por el método de equilibrio límite, se ha realizado utilizando el programa de computo Slide 6.0 de Rocscience.

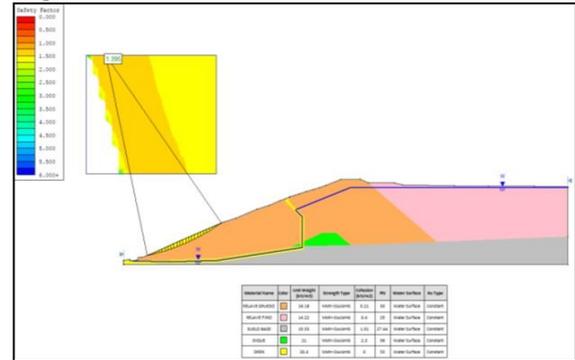
CONDICION DE ANALISIS

ANALISIS DE ESTABILIDAD ESTÁTICA

Este análisis se refiere a la estabilidad de las estructuras proyectadas y la fundación sin considerar la acción sísmica. Los resultados de los análisis se presentan en términos de factor de seguridad (F.S.) utilizando el método de equilibrio límite.

De acuerdo a la guía ambiental para la estabilidad de taludes de depósitos de relaves elaborado por el ministerio de energía y minas, recomienda un factor de seguridad estático de 1.3.

Figura 5 Análisis de estabilidad estático



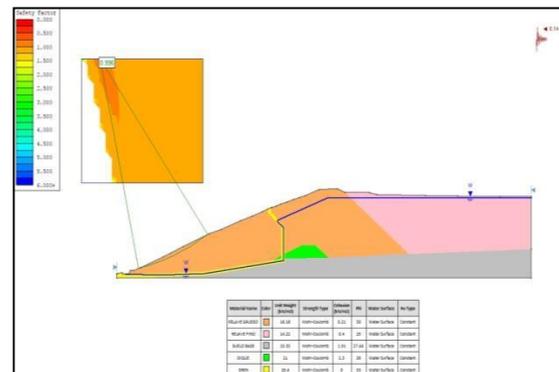
Fuente: elaboración propia

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SEUDOESTÁTICO

El método consiste en calcular el factor de seguridad contra deslizamientos, cuando una fuerza horizontal es igual al producto del coeficiente sísmico por el peso de la masa potencial de falla, la cual es adicionada a las fuerzas estáticas ya existentes, se utiliza métodos pseudoestáticos ya existentes en base a la sismicidad de la zona.

De acuerdo a la guía ambiental para la estabilidad de taludes, elaborado por el ministerio de energía y minas, recomienda un factor de seguridad pseudoestático mayor a 1.0 para considerarlo estable.

Figura 6 Análisis de estabilidad pseudoestático



Fuente: elaboración propia

Los resultados del análisis de la relavera HUAYBILLO se indican en el cuadro, los cuales indican el F.S. en condiciones estáticas y pseudoestáticas.

Tabla 6 Resultados de factor de seguridad

Identificación del corte	F.S. Estático (C = 0)	F.S. Pseudoestático (C = 0.14)
Corte A - A	1.395	0.996

Fuente: elaboración propia

Como se muestra en el cuadro, la superficie de falla del talud es inestable en condiciones pseudoestáticas con un F.S de 0.996 y relativamente estable en condiciones estáticas con un F.S. de 1.395.

IV. CONCLUSIONES

Se realizó una revisión completa del análisis del talud de la relavera HUAYBILLO, basada en la información de los parámetros resistentes de los materiales que tiene dicho talud, en los cuales encontramos:

- Relave grueso cuya clasificación de suelos es arena mal graduada con limo (SP-SM), peso unitario 16.18 KN/m³, cohesión 0.21 KN/m³, ángulo de fricción 30°.
- Relave fino cuya clasificación de suelos es arena mal graduada con limo (SP-SM), peso unitario 14.22 KN/m³, cohesión 0.4 KN/m³, ángulo de fricción 25°.
- Suelo base cuya clasificación de suelos es arena mal graduada con arcilla con grava(SP-SC), peso unitario 15.33 KN/m³,

cohesión 1.510 KN/m³, ángulo de fricción 27.44°.

-DREM cuya clasificación de suelos es grava(GW), peso unitario 20.94KN/m³, cohesión 0 KN/m³, ángulo de fricción 33°.

-Dique de arranque cuya clasificación de suelos es grava arcillosa con limo(GC), peso unitario 21.00 KN/m³, cohesión 2.3 KN/m³, ángulo de fricción 36°.

Los factores de seguridad obtenidos en la sección más crítica, son de 1.395 en condición estática y 0.996 en condición pseudoestática considerando un coeficiente sísmico de 0.14g.

De acuerdo con el análisis de estabilidad física de la relavera HUAYBILLO:

En condiciones estáticas es estable con un F.S de 1.395 ya que el criterio de aceptabilidad es de 1.3.

En condiciones pseudoestáticas es inestable con un F.S. de 0.996 ya que el criterio de aceptabilidad es de 1.0.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mis queridos padres VICENTE y MIRIAN ISABEL por haber confiado en mí y haberme animado a emprender la elaboración de trabajo de investigación. Agradecido también con mis hermanos Denilson, Yerald y Yadira, que siempre han estado cuando los he necesitado, en los buenos y malos momentos, el logro también es de ellos.



Por último, gracias a todas las personas que me han animado en este largo camino, soportando y comprendiendo con estoica paciencia la dedicación que requiere la realización de este trabajo de investigación.

REFERENCIAS

Bishop. (1955). *"The Use of the Slip Circle in the stability analysis of slopes"*. Geotechnique. Vol 5.

BOLAÑOS, A. M. (2004). Espectros de peligro sísmico uniforme. Lima, Peru.

CABRERA, D. U. (2000). Analisis de diseño de taludes mediante métodos computacionales. Lima, Lima, Peru.

LOAYZA, J. A. (diciembre de 2016). Analisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina antapaccay. lima, lima, lima.

LOPEZ, A. R. (2006). Estabilización de talud de la costa verde en la zona del distrito de barranco. Lima, Lima, Peru.

MORANDE, N. A. (2007). *guía técnica de operación y*

control de depósitos de relaves.

OROZCO, A. M. (abril de 2009). "Confiabilidad en la estabilidad de taludes". MEXICO D.F., MEXICO, MEXICO.

SEPULVERA, F. A. (octubre de 2017). "Evaluación de herramientas para el análisis de estabilidad física de una presa de relaves pesados". Santiago de Chile, Santiago de Chile, CHILE.

SUAREZ, J. (2009). *"Deslizamiento - Analisis geotécnico"*. Bucaramanga – Colombia : Ingeniería de Suelos Ltda. .

TLAXCALTECA, A. C. (2010). "Inestabilidad en laderas y taludes". MEXICO D. F. , MEXICO D. F. , b MEXICO