

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES
MEDIANTE EL MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE
PARA PREVENIR DESLIZAMIENTOS DURANTE LA
EXPANSIÓN DE UN DEPÓSITO DE MINERALES EN
MINAS A CIELO ABIERTO, LA LIBERTAD 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Rogger Danny Salvatierra Torres

Asesor:

Dr. Glicerio Taype Quintanilla

Trujillo - Perú

2021



DEDICATORIA

La presente investigación se la dedico a mi maestro, de quien aprendí que los sacrificios realizados permiten alcanzar los objetivos de vida.

AGRADECIMIENTO

Mi mayor agradecimiento a mis seres queridos, quienes, con el ejemplo, me enseñaron a ser mejor persona y un profesional con valores.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
RESUMEN	10
1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Realidad Problemática	11
Antecedentes	12
Bases Teóricas.....	16
1.2. Formulación Del Problema	24
Problema General.....	24
Problemas Específicos	24
1.3. Objetivos	24
Objetivo General	24
Objetivos Específicos.....	24
1.4. Hipótesis	25
Hipótesis General.....	25
Hipótesis Específicas	25
1.5. Justificación.....	25
2. CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	27
2.1. Tipo y diseño de Investigación	27
2.1.1. Tipo de Investigación.....	27
2.1.2. Diseño de investigación	27
2.1.3. Enfoque de Investigación.....	27
2.1.4. Operacionalización de variables	28
2.2. Población y Muestra.....	29
2.2.1. Población.....	29
2.2.2. Muestra.....	30
2.3. Técnicas e Instrumentos de recolección y análisis de datos	30
2.3.1. Técnicas de Recolección de datos.....	30
2.3.2. Instrumentos de Recolección de datos	31
2.3.3. Técnicas de análisis de datos	31
2.3.4. Validez de Datos	32
2.3.5. Aspectos éticos.....	32
2.4. Procedimiento	32
2.4.1. Factores que condicionan la estabilidad de taludes	33
2.4.2. Determinación de la estabilidad de taludes inicial.....	39

2.4.3. Diseño final de taludes	46
3. CAPÍTULO III. RESULTADOS	52
3.1. Resultado del objetivo específico 1.....	52
3.2. Resultado del objetivo específico 2.....	53
3.3. Resultado del objetivo específico 3.....	54
4. CAPÍTULO IV. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES	56
4.1. Discusiones	56
4.1.1. Discusión del objetivo específico 1	56
4.1.2. Discusión del objetivo específico 2	57
4.1.3. Discusión del objetivo específico 3	58
4.2. Conclusiones	60
4.2.1. Conclusión del objetivo específico 1	60
4.2.2. Conclusión del objetivo específico 2	60
4.2.3. Conclusión del objetivo específico 3	60
4.3. Recomendaciones.....	61
REFERENCIAS	62
ANEXOS	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores de seguridad recomendados por el MEM	18
Tabla 2. Tipo y niveles de investigación	28
Tabla 3. Operacionalización de Variables	29
Tabla 4. Técnicas e Instrumentos de recolección y análisis de datos.....	31
Tabla 5. Precipitaciones Pluviales de la zona en estudio	38
Tabla 6. Resumen de parámetros del suelo – roca	39
Tabla 7. Factores que condicionan la estabilidad de la estructura.....	52
Tabla 8. Análisis de estabilidad de talud en condiciones pseudoestáticas	53
Tabla 9. Análisis de estabilidad de la estructura rediseñada	54
Tabla 10. Características del diseño final de taludes.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista de un depósito de minerales en el Perú.....	12
Figura 2. Depósitos adyacentes o botadero de Mina, del tipo rellenos apilados.....	16
Figura 3. Descarga de materiales en botaderos	17
Figura 4. Parámetros que definen la geometría de un Talud	17
Figura 5. Tipos de deslizamientos	20
Figura 6. Envolventes de rotura del criterio de Mohr Coulomb.....	21
Figura 7. Envolventes de rotura del criterio de Hoek y Brown.....	22
Figura 8. Logo del Software SLIDE.....	23
Figura 9. Procedimiento de la investigación	32
Figura 10. Ubicación de la estructura en estudio.....	33
Figura 11. Geología de la zona en estudio (Carta Ontores 23K).....	34
Figura 12. Geología de la zona en estudio.....	34
Figura 13. Formación natural, destinado para la conformación de la estructura.....	35
Figura 14. Geometría de la estructura	35
Figura 15. Depósito de materiales excedentes en la estructura	36
Figura 16. Reporte de actividad sísmica en la zona	37
Figura 17. Estación Meteorológica de Pariacancha.....	38
Figura 18. Formación Casapalca, Areniscas, definición de propiedades	40
Figura 19. Formación Volcánica, Yantac, definición de propiedades	41
Figura 20. Material excedente de corte, definición de propiedades	42
Figura 21. Parámetros ya definidos para el caso de material excedente	42
Figura 22. Parámetros ya definidos para el caso de rocas	42
Figura 23. Simulación de la estabilidad de taludes	43
Figura 24. Análisis de estabilidad de talud por el método de BISHOP simplificado.....	44
Figura 25. Análisis de estabilidad de talud por el método de JANBU simplificado.....	44
Figura 26. Análisis de estabilidad de talud por el método de SPENCER	45
Figura 27. Rediseño inicial de taludes de la estructura	46
Figura 28. Análisis de estabilidad por el método de BISHOP S., talud rediseño inicial.....	46
Figura 29. Análisis de estabilidad por el método de JANBU S., talud rediseño inicial.....	47
Figura 30. Análisis de estabilidad por el método de SPENCER, talud rediseño inicial	47
Figura 31. Rediseño final de taludes de la estructura.....	48
Figura 32. Análisis de estabilidad con carga de sismos, BISHOP S., rediseño final	48

Figura 33. Análisis de estabilidad con carga de sismos, JANBU S., rediseño final	49
Figura 34. Análisis de estabilidad con carga de sismos, M. SPENCER, rediseño final	49
Figura 35. Análisis de estabilidad sin carga de sismos, BISHOP S., rediseño final	50
Figura 36. Análisis de estabilidad sin carga de sismos, JANBU S., rediseño final.....	51
Figura 37. Análisis de estabilidad sin carga de sismos, M. SPENCER, rediseño final.....	51
Figura 38. Resultado del análisis de estabilidad de talud, método de equilibrio límite	53
Figura 39. Resultado del análisis de estabilidad de talud a condiciones pseudoestáticas ...	54
Figura 40. Resultado del análisis de estabilidad de talud a condiciones estáticas.....	55
Figura 41. Vista frontal de la estructura	75
Figura 42. Vista del material de la estructura (predominancia GP – GM).....	75
Figura 43. Roca Arenisca alterada.....	76
Figura 44. Roca Volcánica alterada.....	76
Figura 45. Muestra de la Roca Arenisca.....	77
Figura 46. Muestra de la Roca volcánica	77

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo del factor de seguridad (FS)	18
Ecuación 2. Criterio de rotura Mohr - Coulomb	21
Ecuación 3. Criterio de rotura Hoek y Brown Generalizado.....	22

RESUMEN

En esta investigación se realiza el análisis de estabilidad de taludes mediante el método de equilibrio límite para prevenir deslizamientos durante la expansión de un depósito de materiales en minas a cielo abierto.

El objetivo de esta tesis se enfoca en el análisis de estabilidad de taludes mediante el método de equilibrio límite, particularmente mediante los métodos de cálculo de Bishop Simplificado, Janbu Simplificado y Spencer. Se identifican los factores que condicionan la estabilidad de taludes tales como: Geológicos, geométricos, geotécnicos, sismos y precipitaciones pluviales. Se determina mediante el método de equilibrio límite la estabilidad de taludes inicial del depósito de materiales y, finalmente, se determina el diseño final de taludes para prevenir deslizamientos durante la expansión de la estructura de mina

La metodología de esta investigación es del tipo aplicada, con un diseño no experimental, enfoque cuantitativo y alcance transversal

Con los resultados se plantean las discusiones y conclusiones del análisis de estabilidad de taludes mediante el método de equilibrio límite para prevenir deslizamientos durante la expansión de una estructura en mina

Palabras clave: Deslizamientos de materiales, Depósito de materiales, Factor de Seguridad (FS), Estabilidad de taludes.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

En la actualidad, Perú tiene un rápido crecimiento en las actividades mineras. Estos yacimientos cada vez procesan mayores cantidades de materiales para lograr metas de producción trazadas, los cuales generan a su vez, mayores cantidades de material estéril que finalmente demandarán una ampliación u otras actividades en los depósitos.

Los depósitos de materiales de mina, requieren que sea una obra de ingeniería que garantice factores de constructibilidad y seguridad en sus distintas actividades de ampliación o movimiento de tierras.

Uno de los principales problemas de un depósito de materiales, particularmente de un botadero de mina, es la estabilidad de taludes debido a la construcción de éstos con material estéril, la falla de un botadero puede causar directamente la pérdida de vidas humanas, máquinas y destrucción de la propia estructura. Por tanto, deben ser evaluados para prevenir deslizamientos o desprendimientos en los taludes.

Los desprendimientos o deslizamientos en taludes en botaderos, son generados por factores, tales como, sus características geométricas, la sobresaturación de agua, actividades sísmicas o precipitaciones pluviales. Según González de Vallejo (2002), en su libro Ingeniería Geológica menciona que “a partir del análisis de los factores condicionantes y desencadenantes que ocasionan la inestabilidad de un talud, se puede volver a generar un modelo de talud, con los menores riesgos de deslizamientos posibles”.

La reparación de un talud deslizado puede llegar a ser enorme. Martínez, (2020) manifiesta que, uno de los mayores costos estimados es el reperfilamiento del talud, debido a la cantidad de material a mover, pero que este costo podría ser considerablemente reducido, si se integrara el diseño final del talud en la planificación de construcción del botadero, con la finalidad de evitar trabajos por segunda vez.

Existen distintas metodologías para el análisis de estabilidad de taludes, sin embargo, uno de los más utilizados es el método de equilibrio límite, que, conjuntamente con el software especializado en taludes SLIDE, permite estimar de forma confiable el factor de seguridad a partir del ingreso de datos del talud.

Por ello, la finalidad de esta investigación radica en evaluar la estabilidad de talud para determinar un diseño apropiado de talud, y prevenir deslizamientos, reperfilamientos, y sobre todo accidentes que pueda ocasionar la falla de estos.



Figura 1. *Vista de un depósito de minerales en el Perú*

Fuente. Elaboración Propia

Antecedentes

Antecedentes Internacionales

Martínez, M. (2020) en la ciudad de Concepción en Chile, en su investigación denominada “Planificación de operaciones para rehabilitación de botaderos de estériles en explotación de carbón en isla Riesco, Mina Invierno” menciona que, en minería a cielo abierto, los botaderos de operaciones mineras poseen un potencial considerable de contaminación, resultando fundamental el integrar medidas de rehabilitación que puedan realizarse de manera progresiva y en conjunto con la operación. De su investigación concluye que la operación de mayor costo estimado fue la de reperfilamiento de talud, debido

a la cantidad de material a mover por unidad de área. Menciona que este costo podría ser considerablemente reducido, incluso a cero, si se integrara el diseño final de rehabilitación en la planificación de construcción del botadero, lo cual evitaría el manejo de material por segunda vez, como se hace actualmente. (p. 76)

Hernández, F. (2019) en Chile, en su investigación denominada “Hacia la automatización del análisis de estabilidad de taludes mineros”, cuyo objetivo de tesis fue obtener un procedimiento automatizado, que permita evaluar la estabilidad mecánica de taludes mineros, concluye que, a partir de un modelo, se puede utilizar un único procedimiento para caracterizar la estabilidad de diferentes modelos de bloques planificados, solamente modificando el ángulo del talud” (p. 55).

Mora & Granados (2015), en la ciudad de San José, en Costa Rica, en su investigación denominada “Análisis de estabilidad de taludes considerando la incertidumbre de los datos. Estudio de caso Montes de Oca” mencionan que “los estudios geotécnicos siempre tienen que lidiar con la incertidumbre de los datos, la cual es considerada como inherente al geotecnista en el proceso de diseño y es compensada con la aceptación de un cierto riesgo, es decir, utilizando un factor de seguridad” (p. 134).

Sanhueza & Rodriguez (2013), en Santiago, Chile en su investigación denominada “Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales”, realizan una comparación de diferentes métodos de cálculo de estabilidad de taludes, bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas. Comparan los factores de seguridad de las superficies potenciales de falla, a través del empleo del software GeoSlope, considerando los casos más desfavorables y empleando los modelos propuestos por Fellenius, Bishop y Janbú (método de las dovelas). Concluyendo finalmente que las metodologías de cálculo para analizar la estabilidad de un talud, basadas en el método de las dovelas sigue siendo el de mayor uso. (p. 18)

Dos Santos & Guardado (2011) en Catoca, Angola, en su investigación denominada “Deslizamiento de taludes en el yacimiento kimberlítico de Catoca, Angola” mencionan que el completo minero diamantífero kimberlítico de Catoca manifiesta inestabilidad en sus taludes y cortes, lo que promueve deslizamientos durante el proceso de explotación. Frente a este problema realizan un trabajo de análisis sobre los mecanismos que desencadenan los deslizamientos. Entre los logros de la investigación establecieron que los deslizamientos están asociados a diversas y complejas causales y condicionales y que son de dos tipos: Estructurales, cuando la rotura es por un bloque de rocas que falla a través de una superficie determinada de deslizamiento, y plásticos, cuando el desplazamiento de la masa de roca o suelos se realiza de manera viscoso plástica. (p. 26)

Antecedentes Nacionales

Avellaneda, C. (2020), en el departamento de La Libertad, en su investigación denominada “Evaluación de la estabilidad física del depósito integrado de relaves San Andrés” menciona que uno de los principales propósitos de estudio de estabilidad de taludes están encaminadas a controlar la cantidad y calidad de los botaderos, conservando la altura y ángulos de talud, conservar el desnivel entre la corona del dique y el nivel de espejo de aguas, detectar deformaciones o asentamientos y revisar minuciosamente filtraciones de agua o presencia de grietas. (p. 33).

Veliz, P. (2019), en Ica, en su investigación denominada “Ampliación de depósito de desmonte en la mina Cerro Lindo”, menciona que para calcular el factor de seguridad se puede utilizar el concepto de equilibrio límite para dar con la superficie de falla del talud. Menciona también que la superficie de falla crítica es definida como aquella que proporciona el menor factor de seguridad $F_s < 1$ y es posible dar con ella evaluando superficies de fallas circulares. (p. 97).

Lopez, E. (2016), en la ciudad de Lima, en su investigación denominada “Estudio geotécnico y diseño del talud final de una mina a cielo abierto aplicando modelos numéricos” resolvió el problema de estabilidad de talud aplicando el método de equilibrio límite y haciendo uso del software SLIDE 5.0, logrando que el talud sea estable principalmente con un cambio en la inclinación a 60°. López además menciona que es necesario acudir a otra metodología como por ejemplo la de dovelas en vez del equilibrio límite para garantizar la estabilidad del talud. (p. 144).

Valeriano, F. (2015), en Puno, en su tesis “Caracterización Geotécnica y modos de falla estructural en el talud en roca del Cerro Espinal Juliaca”, realiza la caracterización geotécnica del talud del Cerro Espinal, donde obtiene que el macizo rocoso es de buena resistencia con un GSI de 53.5, discontinuidades moderadas ligeramente rugosas, un ángulo de fricción promedio de 56.2° y resistencia a la compresión simple de la roca intacta de 65.43 MPa. Realiza el análisis de estabilidad de taludes con el software RocToppo, concluyendo que los principales modos de falla en este talud son por vuelco, y que un FS de 1.084 en condiciones pseudoestáticas son aceptables por las constantes caídas de bloques en ella.

Reyes, P. (2015), en su investigación denominada “Análisis tridimensional de estabilidad de taludes por el método de equilibrio límite de depósitos de desmonte de mina”, involucró la ejecución de análisis tridimensionales de estabilidad de taludes por el método de equilibrio límite en diferentes tipos de depósitos de desmonte de mina enfocados en su aplicación en la práctica de la ingeniería geotécnica en el Perú. Esto requirió una completa revisión de los procedimientos de análisis tridimensionales mediante el método de equilibrio límite y utilización de un programa de cómputo para modelar la geometría de la estructura. Asimismo, se identificaron las virtudes y defectos de la actual práctica en la verificación de estabilidad de taludes, que incluyen las limitaciones de los análisis bidimensionales y casos en donde estos podrían ser muy conservadores. (p. 13).

Bases Teóricas

Depósitos adyacentes o botaderos

Los depósitos adyacentes o botaderos de mina son lugares especialmente destinados para recibir el material estéril o material excedente en minas a tajo abierto. En muchos casos son también se denominan como rellenos. (Veliz, 2019)

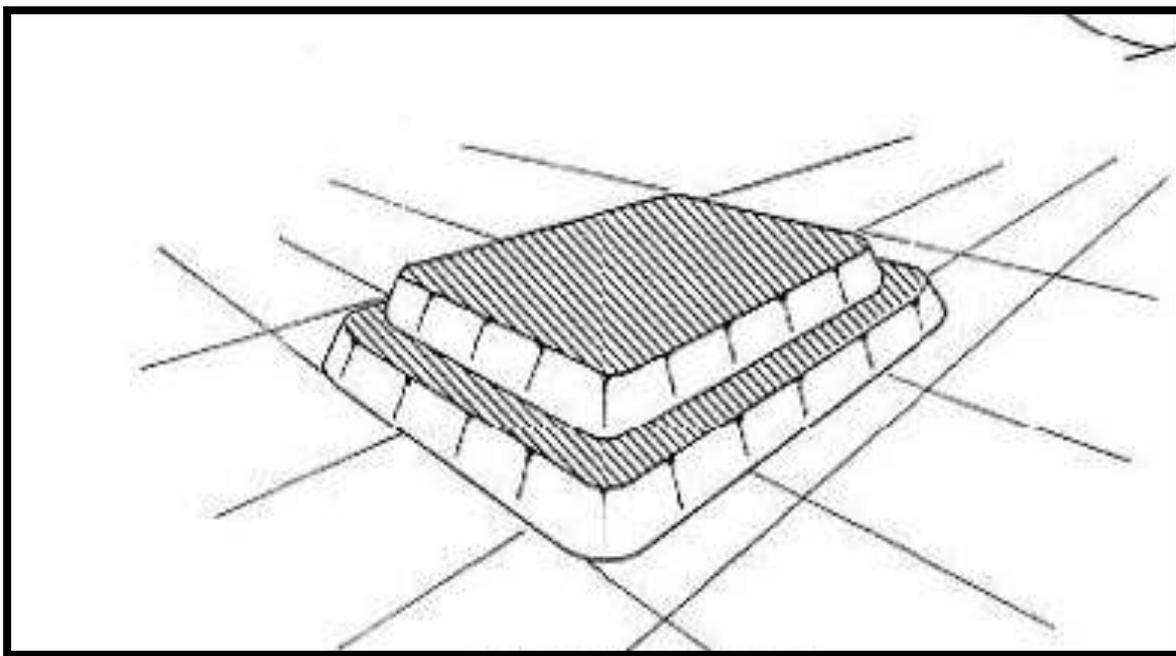


Figura 2. *Depósitos adyacentes o botadero de Mina, del tipo rellenos apilados*

Fuente. Libro Deslizamientos (Suarez, 2009)

El depósito de material excedente se realiza en las cercanías del borde del botadero, teniendo en cuenta que debe existir una distancia prudente para evitar accidentes durante y después de la operación, para ello, no basta con la operación del operador del camión que descargará, sino que, se necesita de la operación conjunta de otros equipos de apoyo como los bulldozers, los cuales procederán a realizar su acomodamiento y construirán la cuneta de seguridad una vez descargado el material. (Veliz, 2019).

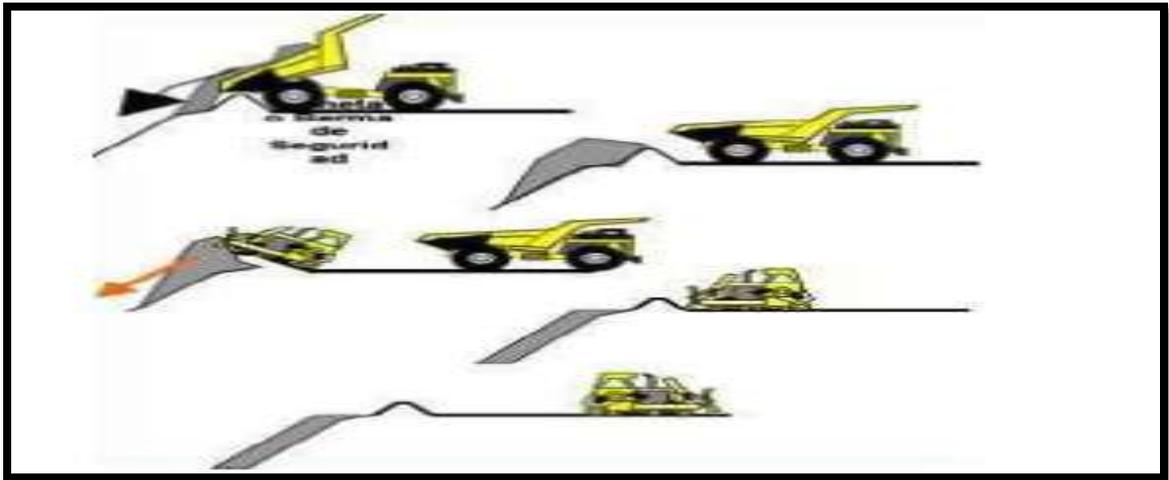


Figura 3. Descarga de materiales en botaderos

Fuente. Elaborado por Veliz (2019)

Taludes:

Se denomina talud a cualquier superficie inclinada, de un macizo rocoso o suelo, que forme un ángulo con la horizontal. Los taludes pueden ser clasificados en taludes naturales, que básicamente son las pendientes naturales, y en taludes construidos que pueden ser los terraplenes o los cortes de terreno (Gerscovich, 2013)

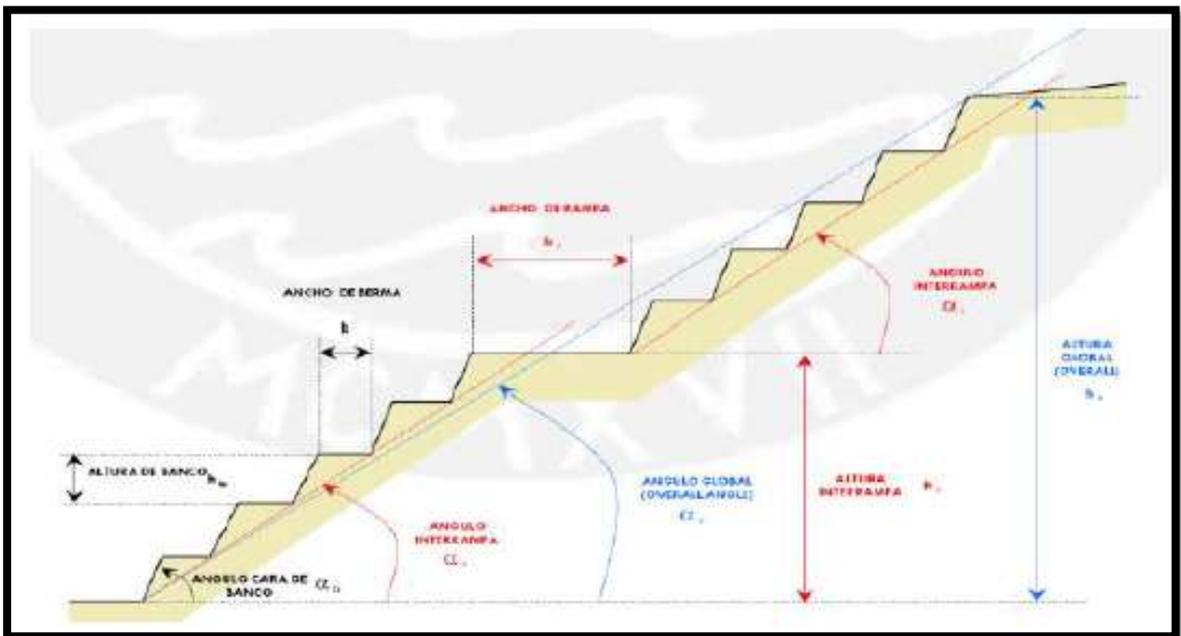


Figura 4. Parámetros que definen la geometría de un Talud

Fuente. Elaborado por Veliz (2019)

Los factores influyentes en la estabilidad pueden dividirse en 2 grupos los condicionantes, que representan las características físicas del suelo – roca, la geometría del talud y los factores desencadenantes que son los que ocasionan los deslizamientos, son los aspectos externos como sismos, precipitaciones pluviales o cargas externas. Salvatierra (2019), menciona que la determinación de estos factores se realiza en base a un estudio de caracterización del suelo, la geometría y la hidrogeología de la zona en estudio.

Factor de Seguridad del talud:

El factor de seguridad es empleado para conocer cuál es el factor de amenaza para que el talud falle. El análisis parte, de las fuerzas actuantes (desestabilizadoras) y de las fuerzas resistentes (estabilizadoras) que se requieren para producir el equilibrio. (Hernández, 2019, p. 6)

Ecuación 1. *Cálculo del factor de seguridad (FS)*

$$FS = \frac{\sum \text{Fuerzas estabilizadoras}}{\sum \text{Fuerzas desestabilizadoras}}$$

En la siguiente tabla, se presenta los valores de los factores de seguridad mínimos de acuerdo con el criterio del Ministerio de Energía y Minas (MEM)

Tabla 1

Factores de seguridad recomendados por el MEM

Factor de seguridad	Condición	MEM
Estático	Operación	1.3
	Cierre	1.5
Pseudoestáticas	Operación	1.2
	Cierre	1.0

Fuente. Ministerio de Energía y Minas (MEM)

El análisis de estabilidad de talud, se analiza en condiciones estáticas donde no interviene el factor sismo, sin embargo, el análisis más usado es el pseudoestático porque analiza la estabilidad del talud incluyendo el factor sismo.

Los métodos de cálculo de estabilidad de un talud se clasifican en métodos numéricos o método de equilibrio límite.

Métodos de equilibrio límite:

El método de equilibrio límite consiste en determinar el equilibrio de una masa que puede ser delimitada por una superficie de ruptura circular, plana o poligonal. Este método, además, se caracteriza por su simpleza y uso del software SLIDE para su modelamiento, siendo lo más resaltante que permite la obtención de un factor de seguridad (FS).

El análisis de estabilidad de taludes mediante el método de equilibrio límite, usa diversos métodos de análisis para determinar el factor de seguridad tales como: Bishop, Janbu, Spencer.

- *Método de Bishop Simplificado:* Desarrollado en 1955, evalúa el análisis de talud basado en superficie de rotura circular, dividiendo la masa en rebanadas, a partir de aquí establece el equilibrio de las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras.
- *Método de Janbu Simplificado:* Este método considera que las fuerzas entre dovelas son solo horizontales, y no toma en cuenta las fuerzas cortantes. A diferencia de otros métodos, no basa su análisis en deslizamientos propiamente circulares.
- *Método de Spencer:* Este método emplea dovelas para el cálculo de superficies de falla, donde la superficie de falla crítica es definida como aquella que proporciona el menor factor de seguridad, evaluándose superficies de falla circulares del tipo bloque.

Sismicidad

De acuerdo con Jaime Suarez (2009), en su libro “Deslizamientos Tomo I”, se considera un coeficiente sísmico k , dependiendo de la magnitud del sismo. Para sismos importantes se considera un $k=0.10$, mientras que para sismos de gran magnitud se toma un $k = 0.15$, en esta investigación se usa un $k = 0.15$, analizando la estabilidad del talud para un caso muy crítico de sismicidad

Deslizamientos:

De acuerdo con González (2002) “los deslizamientos son movimientos de masas de suelo o roca que deslizan, sobre una o varias superficies de roturas cuando se supera la resistencia al corte de estas superficies. Los principales tipos de deslizamientos producidos son los rotacionales, traslacionales, flujos o desprendimientos (Ver Figura 5)

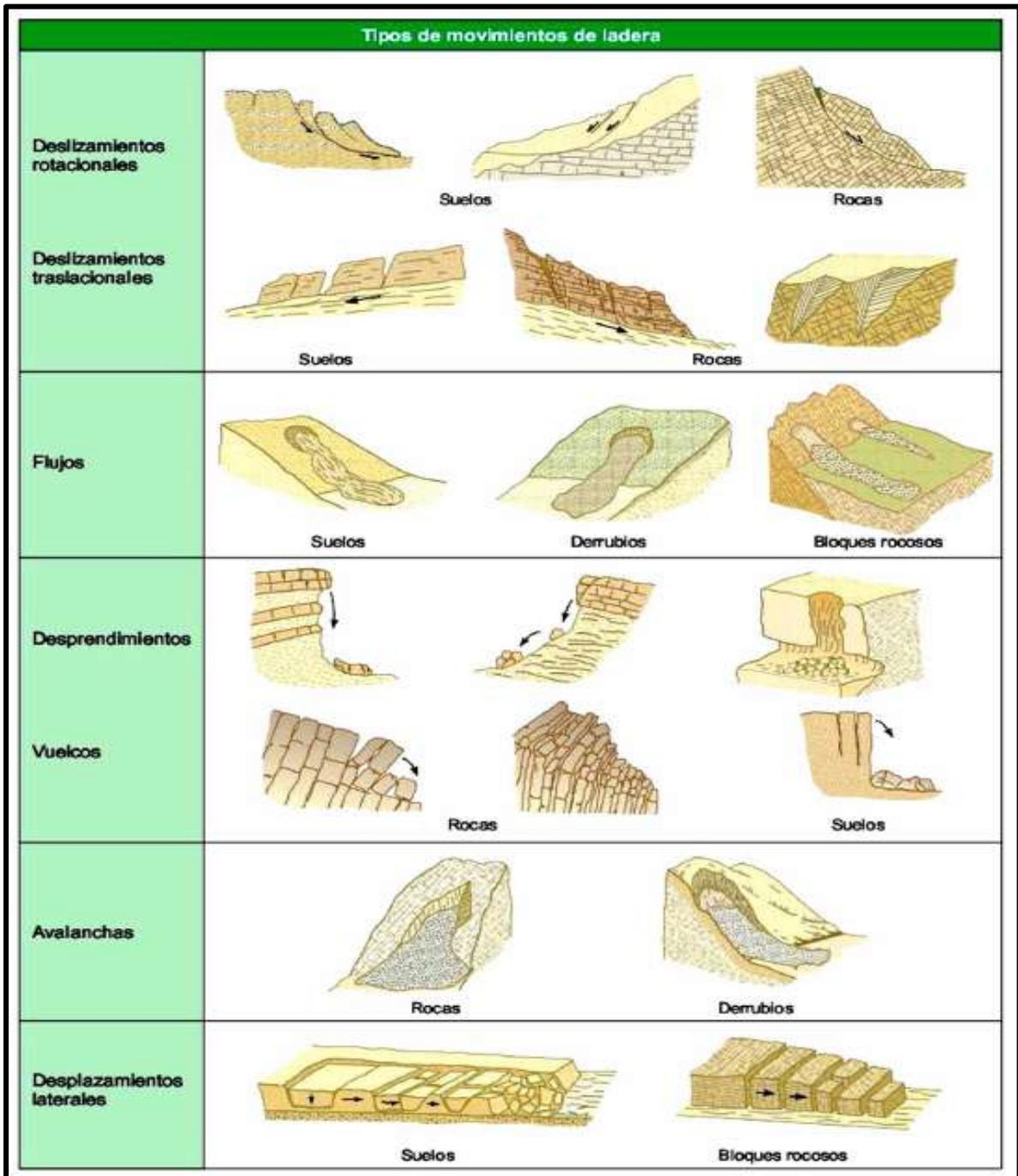


Figura 5. Tipos de deslizamientos

Fuente. Libro Ingeniería Geotécnica (González de Vallejo, 2002)

Criterio de rotura de Mohr Coulomb:

De acuerdo con Mohr los materiales se rompen debido a una combinación entre el esfuerzo cortante y esfuerzo normal. A partir de ello, Coulomb propuso un criterio de rotura para los suelos donde relaciona tensiones efectivas y normales que actúan en cualquier plano del suelo (González de Vallejo, 2002).

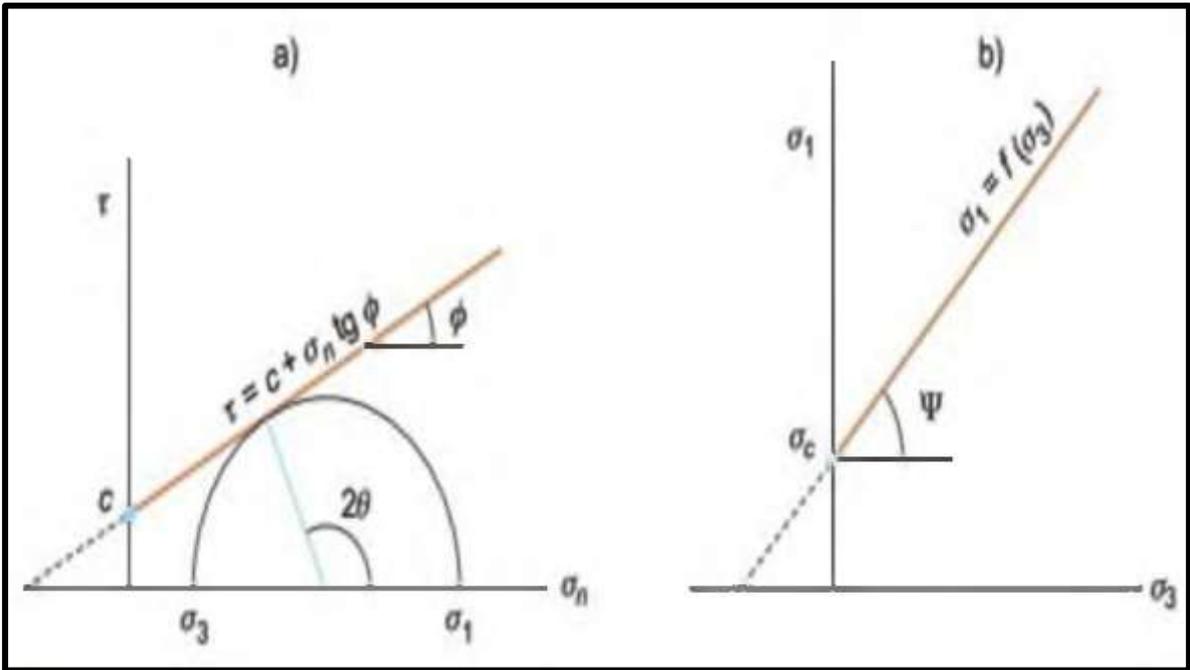


Figura 6. *Envolventes de rotura del criterio de Mohr Coulomb*

Fuente. Elaborado por (González de Vallejo, 2002)

El criterio de rotura de Mohr Coulomb, usa la siguiente ecuación

Ecuación 2. *Criterio de rotura Mohr - Coulomb*

$$\tau = c' + (\sigma_n - \mu) \times \tan(\Phi)$$

Donde:

τ : Resistencia al corte

c' : Cohesión efectiva

σ_n : tensión normal

μ : Presión intersticial

Φ : Angulo de fricción

Criterio de Hoek y Brown Generalizado:

El modelo propuesto por Hoek y Brown en 1980, es un criterio empírico de rotura no lineal valido para evaluar la resistencia de la matriz rocosa isotrópica en condiciones triaxiales. Sin embargo, una de las primeras dificultades que aparecen particularmente en el ámbito de la estabilidad de taludes es que es conveniente tratar el criterio original de Hoek y Brown en términos de esfuerzos normales y al corte, más que en términos de esfuerzos principales. Por ello, se introdujo el índice de resistencia geológica (GSI), que es un sistema de caracterización de las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos, mediante una fácil identificación visual de las propiedades geológicas en campo. (Rocscience, 2020)

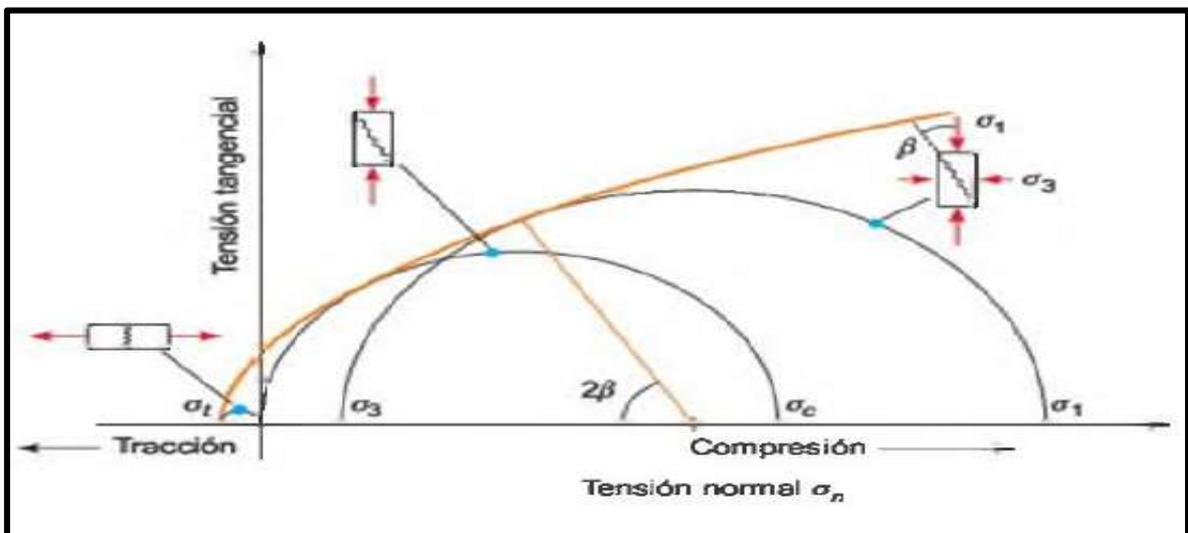


Figura 7. *Envoltorios de rotura del criterio de Hoek y Brown*

Fuente. Elaborado por (González de Vallejo, 2002)

Ecuación 3. *Criterio de rotura Hoek y Brown Generalizado*

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Donde:

mb: Valor reducido de la constante del material

s y a: Constantes del macizo rocoso, donde s = 1 para roca intacta

σ'1 y σ'3: Esfuerzos principales efectivos mayor y menor en el momento de rotura

σci: Resistencia a la compresión uniaxial del material intacto

Software SLIDE:

Este Software Pertenece a la marca ROCSCIENCE, es uno de los mayores especializados y simples para el cálculo de estabilidad de taludes.

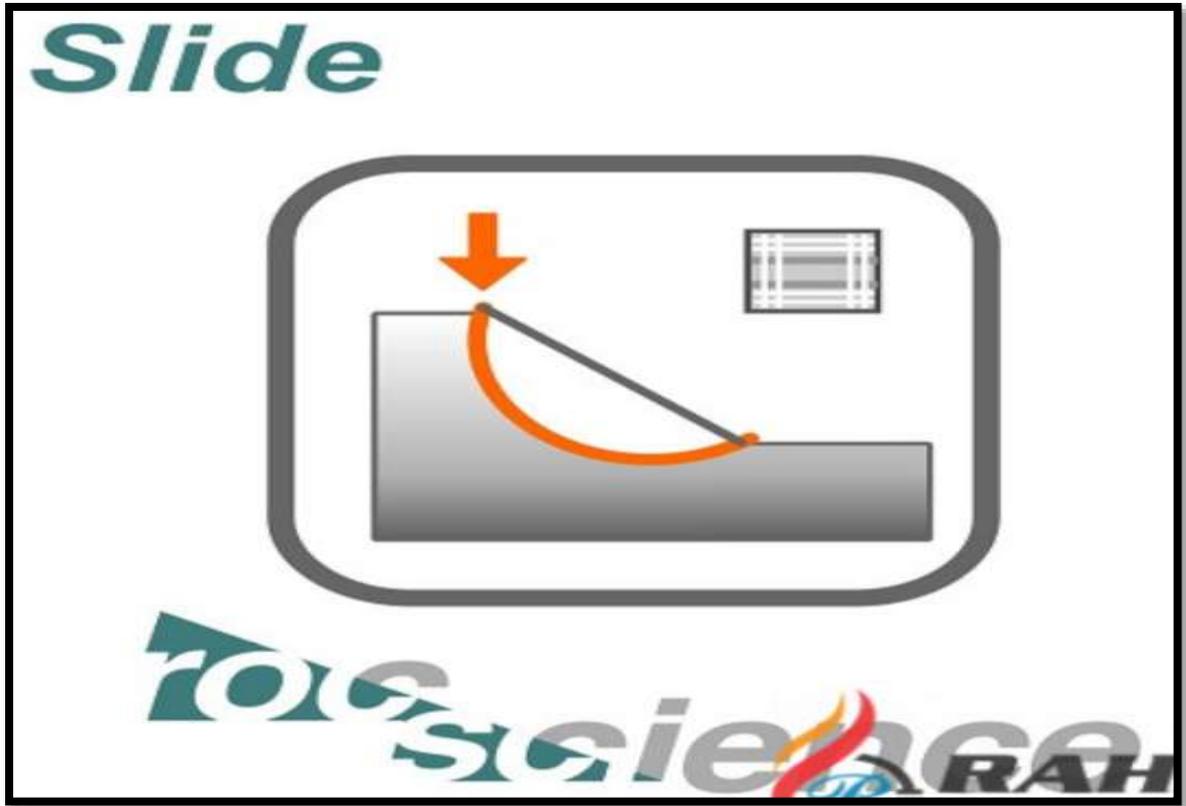


Figura 8. Logo del Software SLIDE

Fuente. Elaborado por (Rocscience, 2020)

Su cálculo se basa sobre todo en el equilibrio límite y los parámetros que usa este software son los factores condicionantes y desencadenantes. Los factores condicionantes son los parámetros geológicos y litológicos, parámetros geométricos (topografía del talud), parámetros hidrológicos (niveles freáticos), parámetros geotécnicos (tipo de suelo, peso unitario, cohesión y ángulo de fricción del suelo). Y los factores desencadenantes que son sismos y las precipitaciones pluviales.

1.2. Formulación Del Problema

Problema General

¿Cuál es el análisis de estabilidad de taludes mediante el método de equilibrio límite para prevenir deslizamientos durante la expansión de un depósito de materiales en minas a cielo abierto?

Problemas Específicos

- ¿Cuáles son los factores que condicionan la estabilidad de taludes en un depósito de materiales en minas a cielo abierto?
- ¿Qué metodología se debe usar para determinar la estabilidad de taludes inicial de un depósito de materiales en minas a cielo abierto?
- ¿Cuál es el diseño final de taludes para prevenir deslizamientos durante la expansión de un depósito de materiales en minas a cielo abierto?

1.3. Objetivos

Objetivo General

Evaluar la estabilidad de taludes mediante el método de equilibrio límite para prevenir deslizamientos durante la expansión de un depósito de materiales en minas a cielo abierto

Objetivos Específicos

- Identificar los factores que condicionan la estabilidad de taludes en un depósito de materiales en minas a cielo abierto
- Determinar en base al método de equilibrio límite la estabilidad de taludes inicial del depósito de materiales en minas a cielo abierto
- Determinar el diseño final de taludes para prevenir deslizamientos durante la expansión de un depósito de materiales en minas a cielo abierto

1.4. Hipótesis

Hipótesis General

La evaluación de la estabilidad de taludes mediante el método de equilibrio límite permitirá prevenir deslizamientos durante la expansión de un depósito de materiales en minas a cielo abierto

Hipótesis Específicas

- La identificación de los factores que condicionan la estabilidad de taludes permitirá prevenir deslizamientos en un depósito de materiales en minas a cielo abierto
- El uso de la metodología adecuada para determinar la estabilidad de taludes inicial permitirá prevenir deslizamientos en un depósito de materiales en minas a cielo abierto
- La determinación del diseño final de taludes permitirá prevenir deslizamientos durante la expansión de un depósito de materiales en minas a cielo abierto

1.5. Justificación

El depósito de materiales en esta investigación, contiene material excedente de mina Alparmarca. Este botadero no ofrece condiciones seguras de estabilidad, por lo que continuar con la expansión sin una planificación, conllevaría a que la estructura falle, y ocasione accidentes sobre personas, máquinas u otros.

Por tanto, la finalidad de esta tesis es para garantizar la construcción del botadero, principalmente su estabilidad, rediseñando su geometría en base a un análisis exhaustivo de estabilidad de taludes. Para esto se analizan previamente los factores condicionantes de estabilidad y se determina la estabilidad inicial de la estructura.

Se justifica también porque es muy importante dar solución a los problemas de fallas en los taludes, que en caso de desprenderse ocasionarían pérdidas económicas en la reparación de los mismos. Uno de los mayores costos en la reparación de estos, es el

reperfilamiento de un talud deslizado, debido a la gran cantidad de material a mover. Por lo cual, si nos anticipamos, en mejorar el diseño final de la estructura, se prevendrá deslizamientos y se evitará gastos adicionales por conceptos de reparación.

Esta investigación se limita mucho por la falta de equipos de instrumentación sofisticados, pero en base a los cálculos mediante el método de equilibrio límite, y a un exhaustivo análisis de estabilidad de taludes empleando el software SLIDE 6.0, se logra estabilizar la estructura, mediante la propuesta de conformación de banquetas dentro de la propia estructura. A partir de este nuevo diseño se obtiene un factor de seguridad (FS) adecuado, que garantiza su estabilidad, y de esta forma se previene deslizamientos posteriores.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo y diseño de Investigación

2.1.1. Tipo de Investigación

De acuerdo con Borja, M. (2012), en la investigación científica existen diferentes tipos de investigación, donde, es necesario conocer sus características para saber cuál de ellos se adapta mejor a la investigación que se realiza. La investigación aplicada se caracteriza porque busca conocer, construir o modificar una realidad problemática, y se mide o recolecta información sobre cada una de ellas, para describir lo que se investiga. (p. 10)

El presente trabajo de investigación es del **tipo aplicada** puesto que se pretende evaluar las condiciones de estabilidad de un talud con base en conocimientos científicos, apoyándose en la observación y análisis de datos en gabinete, y en base a los resultados dar una alternativa de diseño de talud para prevenir deslizamientos en un depósito de materiales en minas a cielo abierto

2.1.2. Diseño de investigación

De acuerdo con Borja, M. (2012) en la investigación científica existen dos tipos de diseños para contrastar la hipótesis: el diseño experimental y el diseño no experimental. Si la investigación es de tipo no experimental habrá que definir una de las modalidades, identificar el objeto de estudio y ver si existe manipulación de variables. (p.26)

Por lo expuesto anteriormente, esta investigación tiene un diseño **no experimental**, y no se manipulan las variables en estudio para contrastar la hipótesis. Haciendo uso solamente de datos pertinentes de un depósito de materiales para analizar su estabilidad.

2.1.3 Enfoque de Investigación

De acuerdo con Borja, M. (2012), según la información analizada, una investigación se puede clasificar en cuantitativa y cualitativa. Estos dos enfoques son muy valiosos ya que han realizado notables aportes al avance del conocimiento. (p. 11)

De acuerdo con Borja, M. (2012) acorde a las características de la información el alcance del estudio pueden clasificarse en: transversales y longitudinales. Donde una investigación transversal describe el fenómeno de estudio en un momento de tiempo en particular, mientras que una investigación longitudinal estudia la evaluación del fenómeno a través del tiempo. (p. 14)

Acorde con lo mencionado anteriormente, esta tesis tiene un enfoque **cuantitativo**, ya que se analiza la estabilidad de taludes a partir de factores de seguridad, los cuales son medibles y cuantificables y tiene un alcance **transversal**, puesto que se da en un único espacio de tiempo.

Tabla 2

Tipo y niveles de investigación

Descripción	Tipo de investigación
Tipo:	Aplicada
Diseño:	No experimental
Enfoque:	Cuantitativa
Alcance:	Transversal

Fuente. Elaboración Propia

2.1.4 Operacionalización de variables

De acuerdo con Borja, M. (2012) la operacionalización de variables es el proceso mediante el cual, explica cómo se miden las variables formuladas en la hipótesis, que en muchos casos deben descomponerlas en indicadores susceptibles de poder medirse. (p. 24)

Las variables en esta tesis son las siguientes:

- Variable independiente (VI): Estabilidad de taludes
- Variable dependiente (VD): Deslizamientos

Tabla 3

Operacionalización de Variables

Variables	Definición	Dimensiones	Indicadores
Dependiente: Y = F(X)	Los deslizamientos son la rotura y el desplazamiento de material (Suelo o Roca), situado debajo de un talud, que origina un movimiento hacia abajo y hacia fuera de toda la masa que participa del mismo. (De Matteis, 2003)	Tipo de deslizamiento	Deslizamientos rotacionales Deslizamientos traslacionales Desprendimientos
Independiente: X Estabilidad de taludes	La estabilidad de taludes queda determinada por el factor de seguridad, el cual puede obtenerse mediante métodos numéricos o métodos de equilibrio límite (Valiente, Sobrecases, & Díaz, 2015)	Factor de Seguridad “FS”	FS > 1.2 Talud Estable FS < 1.2 Talud Inestable (Probabilidad de deslizamientos)

Fuente. Elaboración Propia

2.2. Población y Muestra

2.2.1. Población

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), “una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones”. (p. 174)

La presente investigación tiene como **población** todos los taludes de un depósito de materiales en mina a cielo abierto.

2.2.2. Muestra

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), “la muestra es un subgrupo de la población, un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población”. (p. 174)

De acuerdo con Martínez y Bencardino (2012), “Hay dos metodologías para elegir muestras de una población: el muestreo probabilístico y el muestreo no probabilístico o de juicio.”

Por lo mencionado en los párrafos anteriores, en la presente investigación **la muestra** son los taludes seleccionados de forma no probabilística de un depósito de materiales en minas a cielo abierto, particularmente un botadero.

2.3. Técnicas e Instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnicas de Recolección de datos

De acuerdo con Bernal (2010), “existen una variedad de técnicas e instrumentos para la recolección de datos en una investigación. Se utilizan una u otra técnica de acuerdo con el método y el tipo de investigación que se va a realizar”.

De acuerdo con Borja, M. (2012), “la observación científica es la más antigua y al mismo tiempo la más moderna técnica de investigación. Es definida como la percepción intencionada e ilustrada de un conjunto de hechos o fenómenos.”

Se usan como técnicas de recolección de datos la **observación y análisis documental**, mediante los cuales se estudia el depósito de materiales excedentes, y se investigan datos documentales particularmente de un botadero para posteriormente analizar la estabilidad de taludes.

2.3.2. Instrumentos de Recolección de datos

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), “Un instrumento es aquel que registra datos observables que representan verdaderamente los conceptos o las variables que el investigador tiene en mente”. (p. 199).

Se utilizan, por tanto, **instrumentos computacionales** como Excel y AutoCAD, donde se recoge datos pertinentes a todos los factores que condicionan la estabilidad de taludes, y sobre todo se emplea el Software SLIDE 6.0 para analizar exhaustivamente la estabilidad de la estructura.

2.3.3. Técnicas de análisis de datos

De acuerdo con Borja, M. (2012), el análisis de datos depende del tipo de datos que se recolectaron durante el trabajo de campo. Para el caso de datos cuantitativos será necesario realizarlos en algún programa electrónico. (p. 35)

Se utilizan como técnica de análisis de datos el **análisis informático** usando el **software SLIDE 6.0** donde se recoge y se ingresan los datos geológicos, geométricos e hidrológicos, para analizar el factor de seguridad del talud, en el botadero en estudio. Posterior al análisis se rediseña el talud, a fin de obtener un factor de seguridad FS que cumpla con el valor permitido.

Tabla 4

Técnicas e Instrumentos de recolección y análisis de datos

Datos	Técnicas	Instrumentos
Recolección de Datos	Observación directa	Instrumentos Computacionales
Análisis de Datos	Análisis Documental	(Software Excel, AutoCAD)
	Análisis informático	Análisis informático (Software SLIDE 6.0)

Fuente. Elaboración Propia

2.3.4. Validez de Datos

De acuerdo con Borja, M. (2012) el conocimiento científico es verificable, es decir todos los planteamientos científicos pueden ser contrastados; hacer un análisis para el 100% del universo demandaría muchos recursos y tiempo, imposibles de obtener. Es por esta razón que el conocimiento científico no es totalmente exacto, y siempre puede ser enriquecido.

En esta investigación se toman datos de **uso libre** como SENHAMI, GEOCATMIN, IGP, tablas de parámetros geotécnicos y geomecánicos (Lambe y Whitman), además se valida mediante juicio de expertos, en este caso de un Ingeniero Geólogo. Por otra parte, se usa el software SLIDE 6.0 en su versión DEMO.

2.3.5. Aspectos éticos

En cuanto al aspecto ético Ávila, M. (2002), menciona que “es mejor hacer las cosas bien que hacerlas mal. pero porque no hay reglas claras e indudables. La ética trata con situaciones conflictivas sujetas a juicios morales.” (p. 93).

En esta investigación se realiza un análisis y recolección de datos basados en fuentes propias, y se citan a todos aquellos autores del cual se extrae información relevante para la presente investigación.

2.4. Procedimiento

El procedimiento se desarrolla en base a los objetivos.

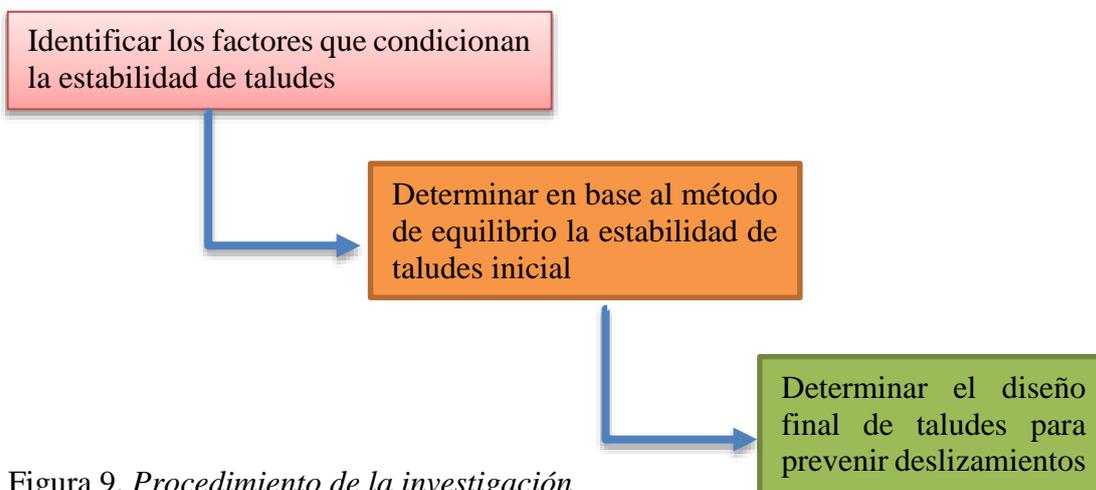


Figura 9. *Procedimiento de la investigación*

Fuente. Elaboración Propia

2.4.1. Factores que condicionan la estabilidad de taludes

Para identificar los factores que condicionan la estabilidad en taludes se toma como información de los datos geológicos y geométricos del talud del botadero de mina, se analiza también la sismicidad y las precipitaciones pluviales de la zona en estudio.

- **Descripción de la zona en estudio**

El depósito de materiales excedentes, en particular el botadero en estudio se encuentra a 4800 msnm. ubicado en el centro del País, en la cordillera de los andes, en el distrito de Santa Bárbara.



Figura 10. *Ubicación de la estructura en estudio*

Fuente. Elaboración Propia

- **Geología (Litología)**

Se procedió con la búsqueda de la geología de la zona en estudio, tomando datos de la página de uso libre GEOCATMIN, en ella se muestra la carta geológica (*Ver Anexo 3*) de la zona en estudio (*ver Figura 11*).



Figura 11. *Geología de la zona en estudio (Carta Ontores 23K)*

Fuente. Elaborado por GEOCATMIN

Se indica que la geología de la zona, está compuesta por una capa inferior perteneciente al terciario inferior denominada formación Casapalca (kp-ca), está compuesta principalmente de lutitas, areniscas y calizas de la formación Casapalca. También se encuentra roca volcánica (pe-y), perteneciente al terciario superior denominada formación Yantac. Siendo la formación rocosa donde se deposita el material excedente o estéril de la mina.

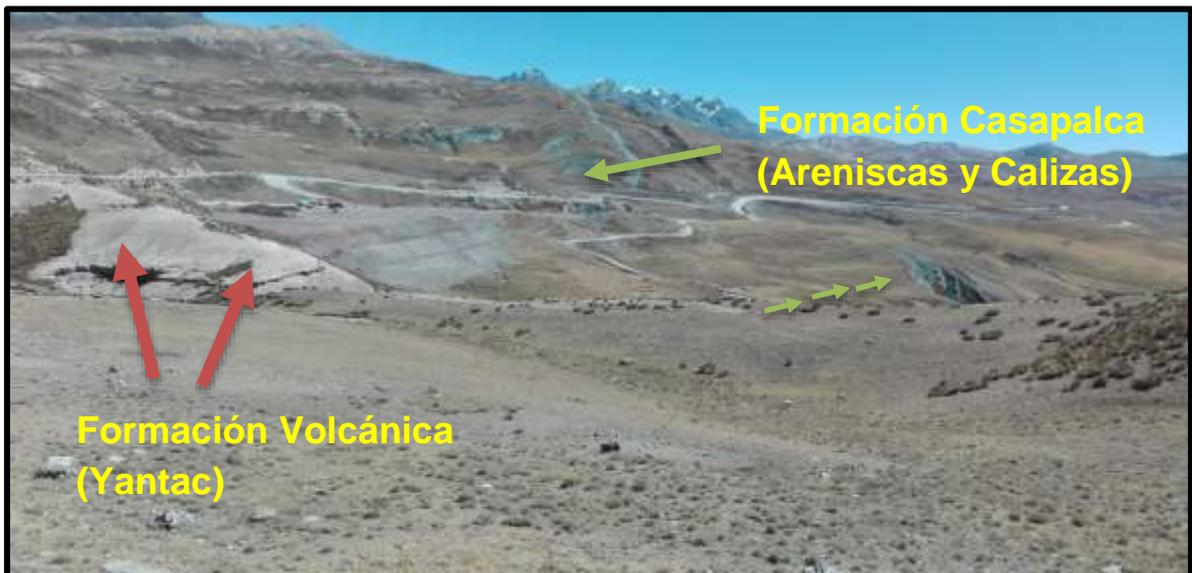


Figura 12. *Geología de la zona en estudio*

Fuente. Elaboración Propia

- **Geometría**

La conformación del botadero, abarca una construcción inicial, en un terreno de un radio de 500m. De éste área se destina un espacio apropiado sobre el cual se comienza a depositar el material excedente de mina

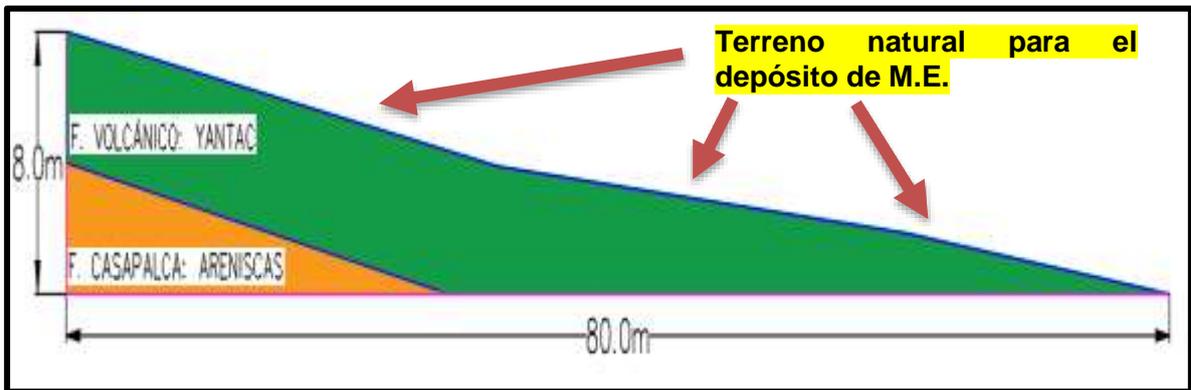


Figura 13. *Formación natural, destinado para la conformación de la estructura*

Fuente. Elaboración Propia

Se comienza la construcción del botadero con un Talud H: V – 1:3, De los datos tomados a partir de planos de AutoCAD, la geometría del botadero en estudio. La conformación del botadero tiene una base de longitud de 80m, con una altura de 8m.

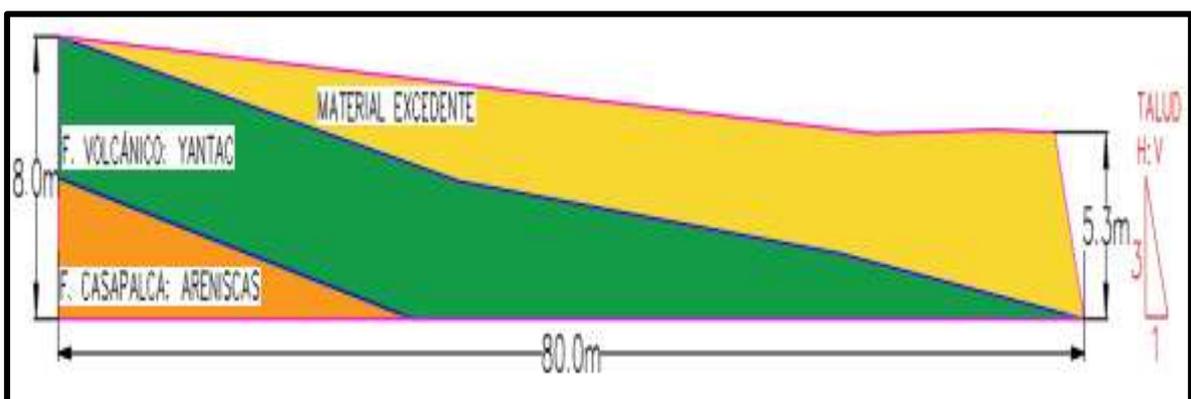


Figura 14. *Geometría de la estructura*

Fuente. Elaboración Propia en AutoCAD

- **Geotecnia de materiales**

Aunque se tiene de conocimiento que el material excedente de mina, contiene todo tipo de materiales, la clasificación aporta de forma adicional con la clasificación del material

Se procede con el análisis de geotécnico del material excedente de mina, observando en una primera impresión que estaba conformada predominantemente por gravas limosas y arcillas.



Figura 15. *Depósito de materiales excedentes en la estructura*

Fuente. Elaboración Propia

Para estimar una clasificación del suelo, se ha procedido con el muestreo de materiales, de algunos puntos del botadero, se toma una muestra representativa de material, para su análisis granulométrico. Se tamizan las gravas en mallas ordenadas de mayor a menor abertura: 3", 2", 1 ½", 1", ¾", 3/8", N°4, luego, se toma una muestra de arenas pasante malla N°4 aproximada de 1000g, para lavarlo por la malla N°200 y eliminar el material fino, se seca en horno a $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas y luego de este tiempo se tamiza el material por las mallas finas N°10, N°20, N°40, N°60, N°100, N°140, N°200.

Se evalúa también la plasticidad del suelo, tomando muestra malla N°40. Para el límite líquido se humedece el material hasta que obtener una mezcla manejable, se coloca en la copa de Casagrande, se hace una ranura perpendicular en la parte media del suelo húmedo en la copa y se aplican 2 golpes por segundo, anotando el número de golpes hasta

que la ranura de separación quede unida hasta 10mm. Se lleva la muestra al horno para calcular su contenido de humedad. Luego se grafica el contenido de humedad vs el número de golpes para obtener el límite líquido (LL) y límite plástico (LP). Finalmente se determina el índice de plasticidad (IP), como la diferencia del límite líquido y límite plástico.

- **Sismicidad**

Se procedió con el análisis de actividades sísmicas en el área de estudio a partir de datos del Instituto Geofísico del Perú IGP, hubo movimientos sísmicos cercanos a la zona durante los primeros meses del presente año, se observan pocos sismos de magnitud no mayor 5.



Figura 16. Reporte de actividad sísmica en la zona

Fuente. Elaborado por IGP

Ya que podría presentarse algún sismo de gran magnitud, para el análisis en el software SLIDE, se coeficiente para sismo de gran magnitud, horizontal y vertical $k = 0.15$.

- **Precipitaciones Pluviales**

Se procedió a tomar datos del SENAMHI, de las precipitaciones pluviales de la

estación meteorológica de Pariacancha (*ver Anexo 4*), que es la estación activa más cerca de la zona en estudio.

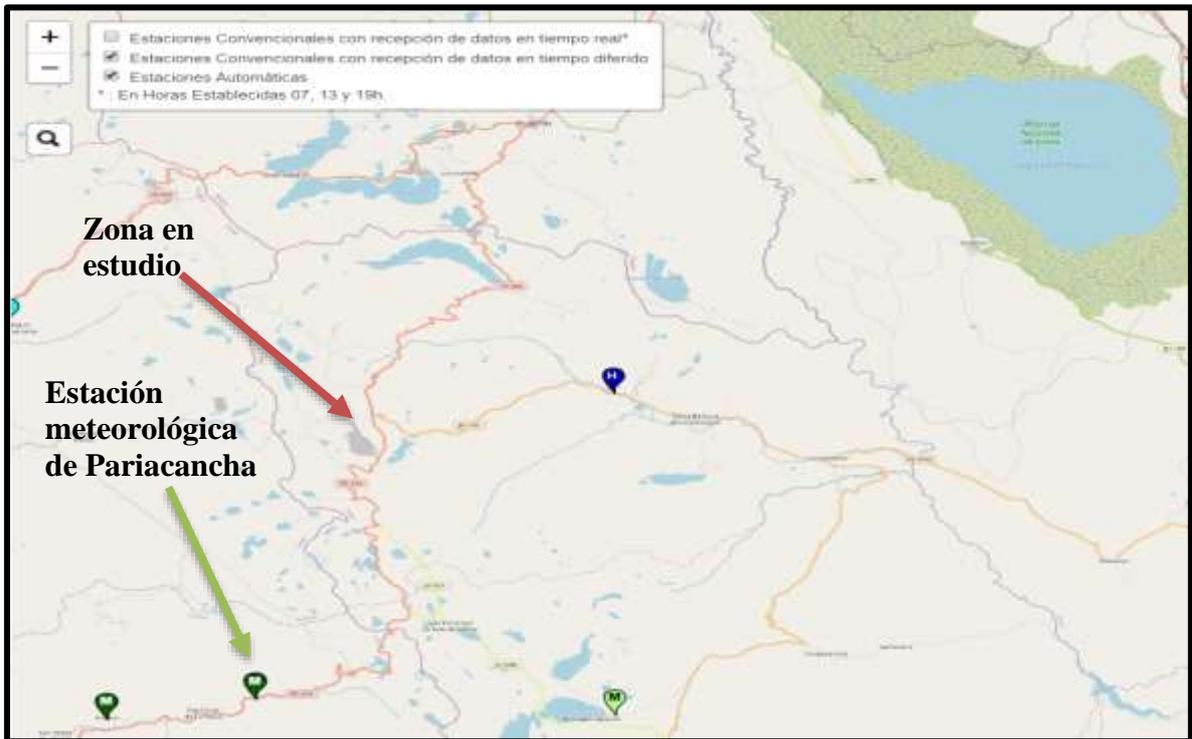


Figura 17. Estación Meteorológica de Pariacancha

Fuente. Elaborado por SENHAMI

Tabla 5

Precipitaciones Pluviales de la zona en estudio

Mes (Año - 2021)	Precipitación promedio mensual (mm)
Ene	6.8
Feb	2.3
Mar	4.7
Abr	1.7
May	0.1
Jun	0.0

Fuente. Datos recopilados de Senhami

La precipitación promedio de acuerdo con los datos de SENHAMI es 2.6 mm, esto se representa en el software SLIDE, como nivel freático.

2.4.2. Determinación de la estabilidad de taludes inicial

Para el análisis de estabilidad de taludes inicial de la estructura, se toman los factores que influyen en la estabilidad de talud: la geotecnia y geología de materiales, que indica que la zona está conformada por una formación rocosa de areniscas Casapalca, roca volcánica Yantac, y material excedente de la mina en la que predominan suelo grava pobremente gradada con limo GP-GM. El botadero tiene una base firme que consta de una formación rocosa arenisca Casapalca, rocas volcánicas Yantac (*ver Figura 13*), y sobre ellas es que se deposita el material excedente de mina. Con respecto a la geometría del talud, se importa la geometría del talud hecho en AutoCAD al software SLIDE 6.0, inicialmente un talud 1:3

Luego de ello se procede a definir las propiedades de los materiales en el software SLIDE 6.0, se ingresan los parámetros para roca se elige el tipo de esfuerzo del modelo generalizado de Hoek y Brown, y para el caso de suelos se elige el tipo de esfuerzo de Mohr – Coulomb por ser el más adecuado para estos materiales. Se resumen los parámetros por cada tipo de material, según la observación en campo, medición de la dureza de la roca con picota, basados y contrastados en los valores prácticos de Lambe y Whitman (*ver Anexo 2*)

Tabla 6

Resumen de parámetros del suelo – roca

Suelo – Roca / Parámetros Geomecánicos	Peso unitario [y] (KN / m³)	Cohesión [c] (KN/m²)	Ángulo de fricción interna [Φ] (°)	Resistencia a la compresión UCS (KN/m²)
Formación Rocosa Casapalca (Arenisca)	21	10 000	32°	60
Formación Rocosa Volcánica (Yantac)	20	4000	30°	50
Material Excedente	20	5	35°	-

Fuente. Elaboración Propia

A continuación en el software SLIDE 6.0, en propiedades, se define los materiales para cada uno de ellos, para el caso de la rocas, se utiliza el esfuerzo generalizado de Hoek and Brown se desglosa la pestaña GSI para ingresar sus parámetros UCS (kPa), que se encuentra en la subpestaña que solicita un valor en MPa, en este caso, es 0.06 Mpa que equivale 60 kPa para la roca Arenisca, y 0.05 Mpa que equivale 50 kPa para roca Volcánica, se continua con el índice de esfuerzos geológico, que indica la calidad de la roca en base al grado de fracturamiento, luego se asigna la constante de roca (mb) en función al tipo de roca, ya sea sedimentaria, metamórfica o ígnea, y finalmente se ingresa el factor de disturbación D que oscila entre 0.7 a 1 cuando la roca es sometida a esfuerzos de voladura que se observa en campo, si al aplicar cargas explosivas los taludes quedan bien definido o son disturbados, en este caso se toma un valor = 0 por que no se realizó ninguna voladura en este sector.

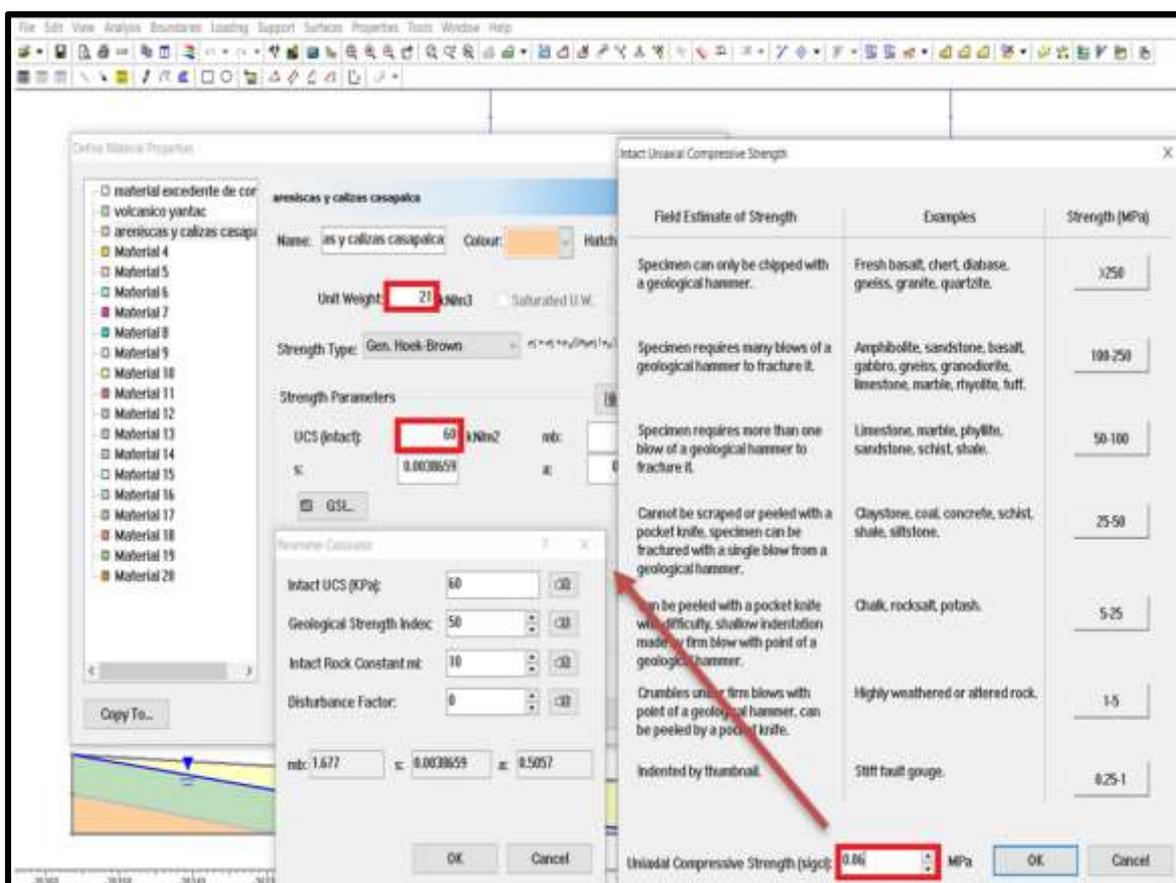


Figura 18. Formación Casapalca, Areniscas, definición de propiedades

Fuente. Elaboración Propia

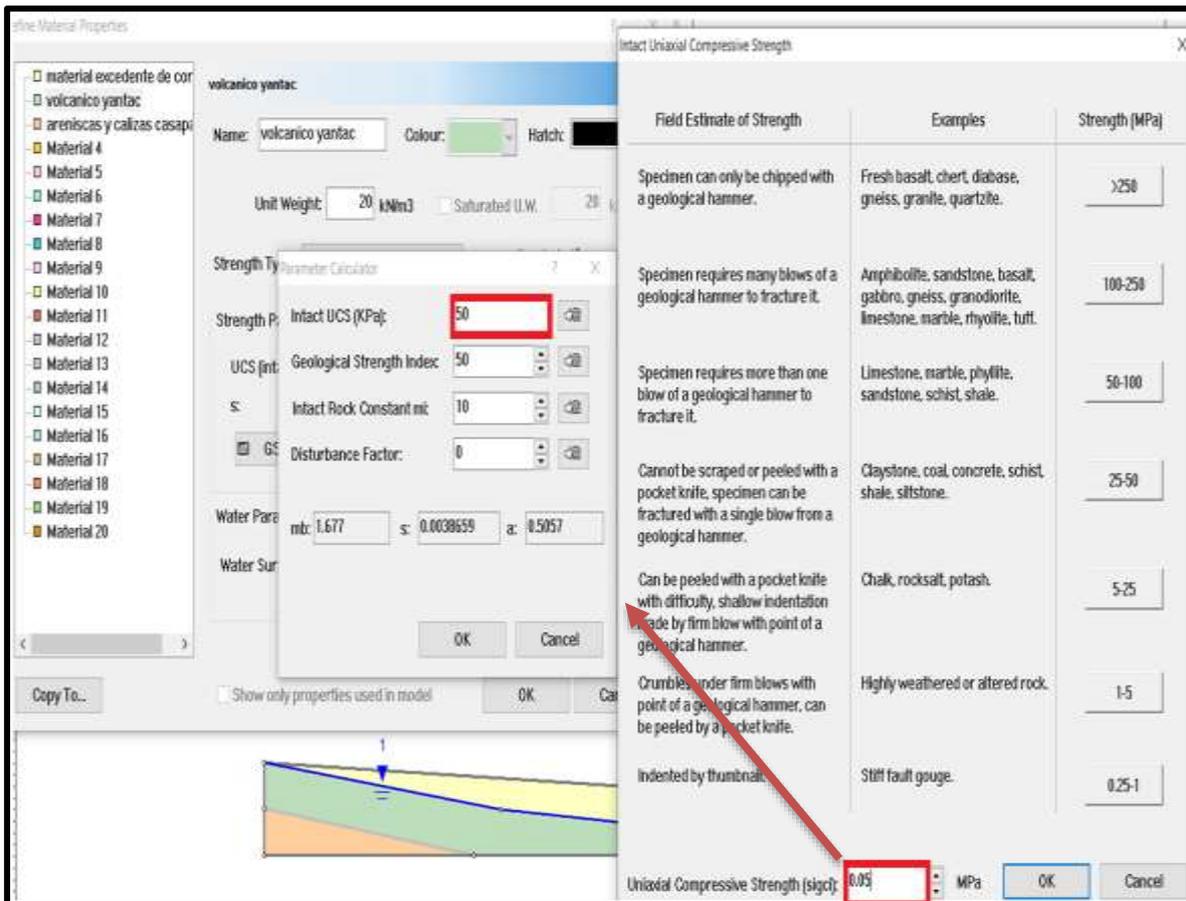


Figura 19. Formación Volcánica, Yantac, definición de propiedades

Fuente. Elaboración Propia

Se resalta que no ocurrirá deslizamientos en los macizos rocosos (Roca arenisca y volcánico Yantac) porque la roca arenisca en el botadero, presenta una inclinación levemente inclinada, y la roca volcánica se ha depositado sobre ella siguiendo la misma secuencia de estratificación e inclinación, tal como se muestra en la *Figura 12*, además tienen una resistencia a la compresión uniaxial UCS disminuida puesto que están alteradas (*ver Anexo 6. Panel fotográfico*).

Para el caso de los suelos o materiales de depósito que son sueltos se emplea el tipo de esfuerzo de Mohr – Coulomb, ingresando los valores como peso unitario (kN/m³), cohesión (kN/m²) y ángulo de fricción (°)

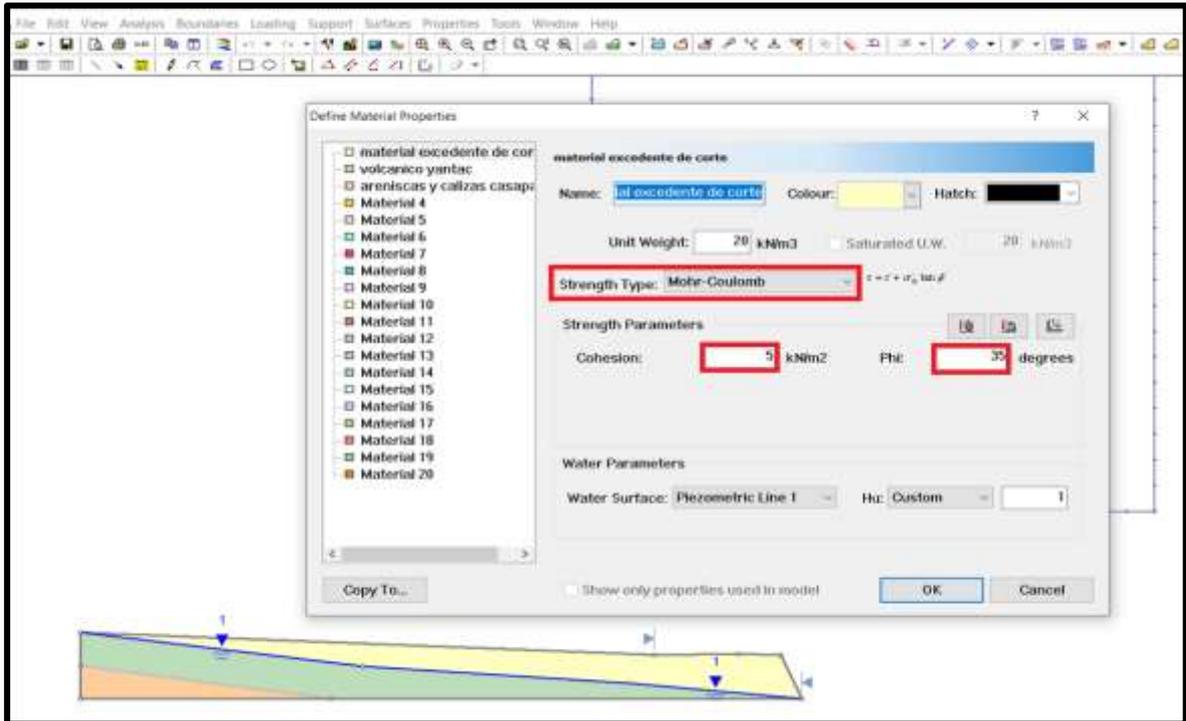


Figura 20. Material excedente de corte, definición de propiedades

Fuente. Elaboración Propia

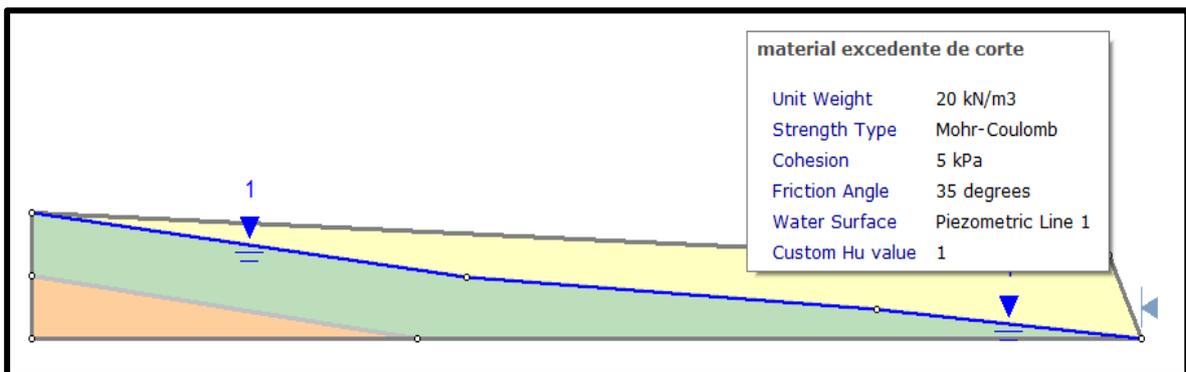


Figura 21. Parámetros ya definidos para el caso de material excedente

Fuente. Elaboración Propia



Figura 22. Parámetros ya definidos para el caso de rocas

Fuente. Elaboración Propia

Seguidamente, se procede con el análisis de estabilidad de talud de la estructura, en condiciones pseudoestáticas, es decir con carga sísmica, se usan los factores que generan inestabilidad en el talud: datos geológicos, geométricos, sismicidad y precipitación pluvial, se evalúa la estabilidad del talud inicial en base al método de equilibrio límite, obteniendo el factor de seguridad en el software SLIDE 6.0 por el método de BISHOP simplificado, JANBU simplificado, SPENCER.

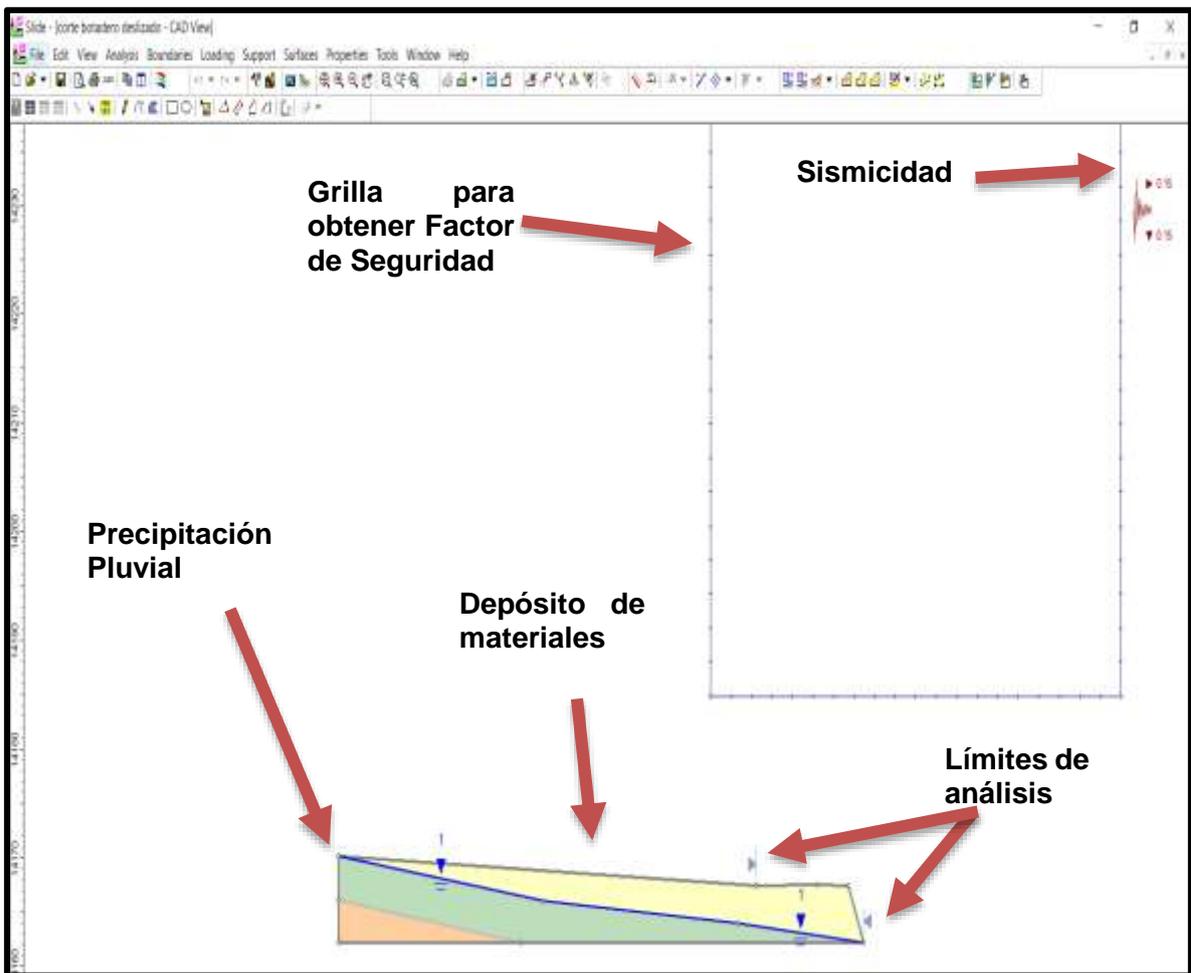


Figura 23. Simulación de la estabilidad de taludes

Fuente. Elaboración Propia

Seguidamente se procede con el análisis de estabilidad de talud con el método de BISHOP simplificado, encontrándose un factor de seguridad $FS = 0.743$

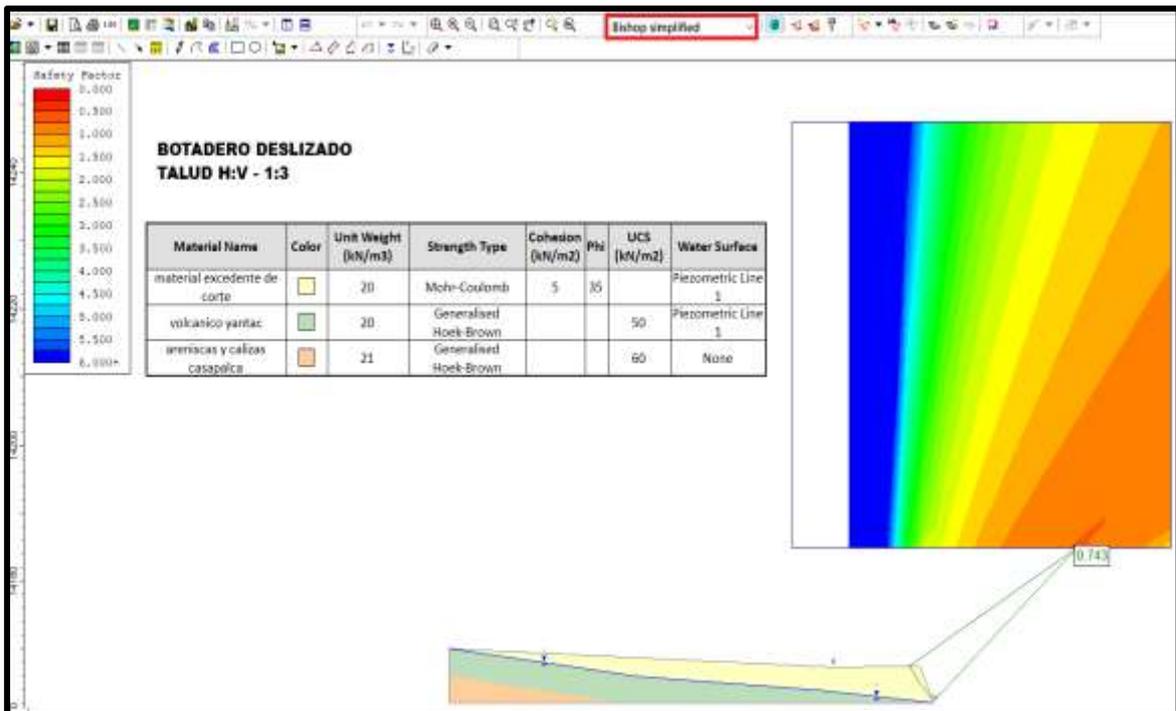


Figura 24. Análisis de estabilidad de talud por el método de BISHOP simplificado

Fuente. Elaboración Propia

Se procede con el análisis de estabilidad de talud con el método de JANBU simplificado, encontrándose un factor de seguridad FS = 0.730

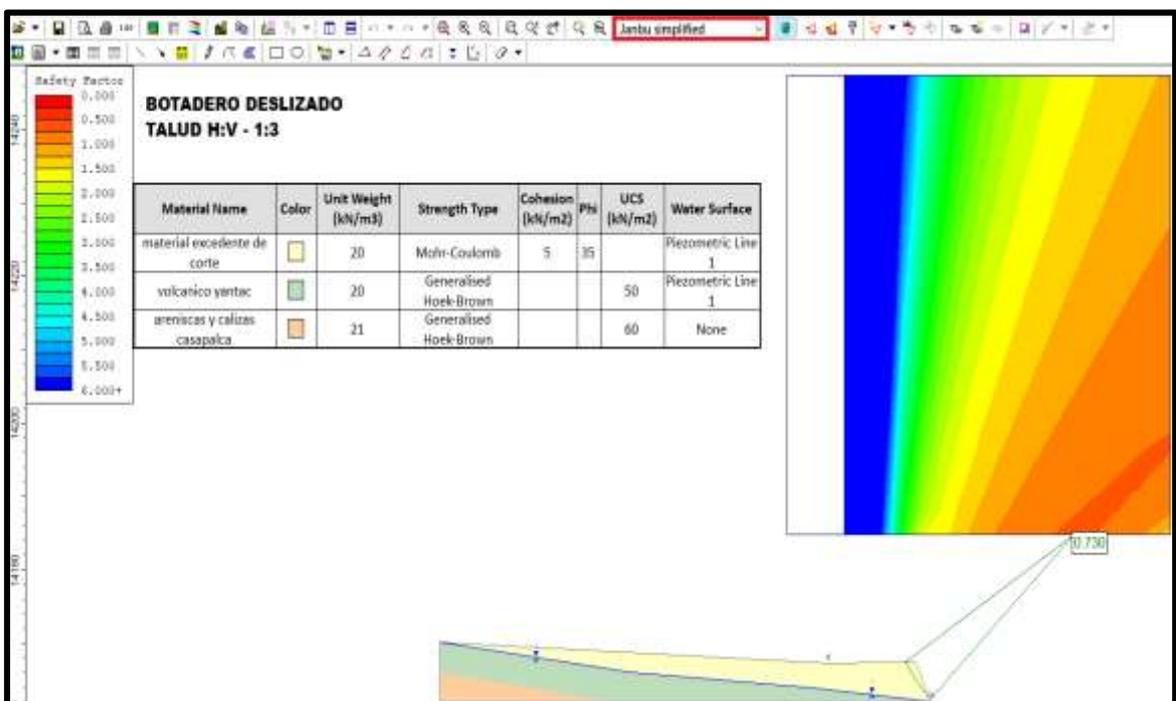


Figura 25. Análisis de estabilidad de talud por el método de JANBU simplificado

Fuente. Elaboración Propia

Se procede con el análisis de estabilidad de talud con el método de SPENCER encontrándose un factor de seguridad $FS = 0.746$

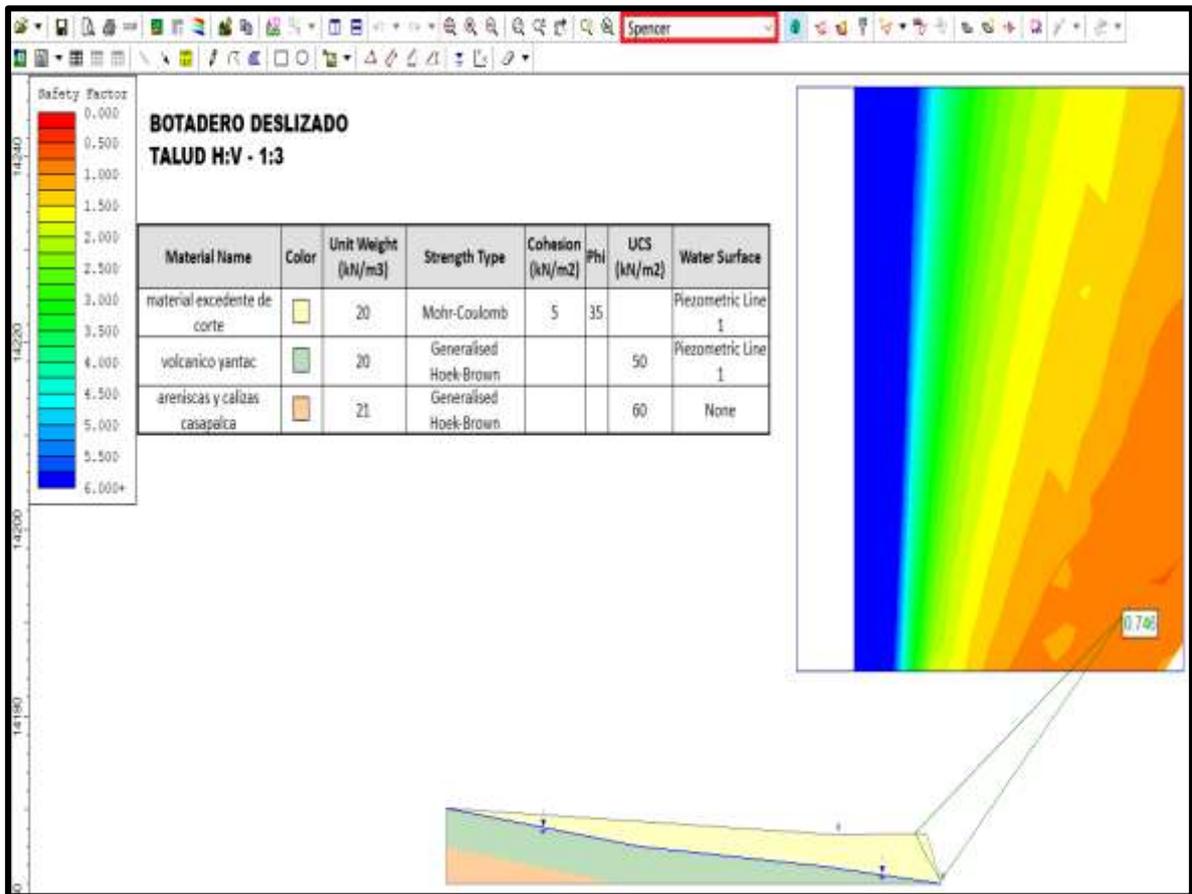


Figura 26. Análisis de estabilidad de talud por el método de SPENCER

Fuente. Elaboración Propia

Del análisis de estabilidad de taludes se observa que los factores de seguridad (FS) analizados por el método de equilibrio límite, utilizando en el cálculo los métodos de BISHOP simplificado, JANBU simplificado, SPENCER, tienen un valor por debajo del permitido (los FS son menores a 1.2), por lo que se procede con hacer un nuevo diseño de talud que cumpla las especificaciones,

2.4.3. Diseño final de taludes

Se procede con rediseñar el talud, se hace la simulación, creando banqueteta con un ancho de 3m y una inclinación de talud H: V igual a 1:3.

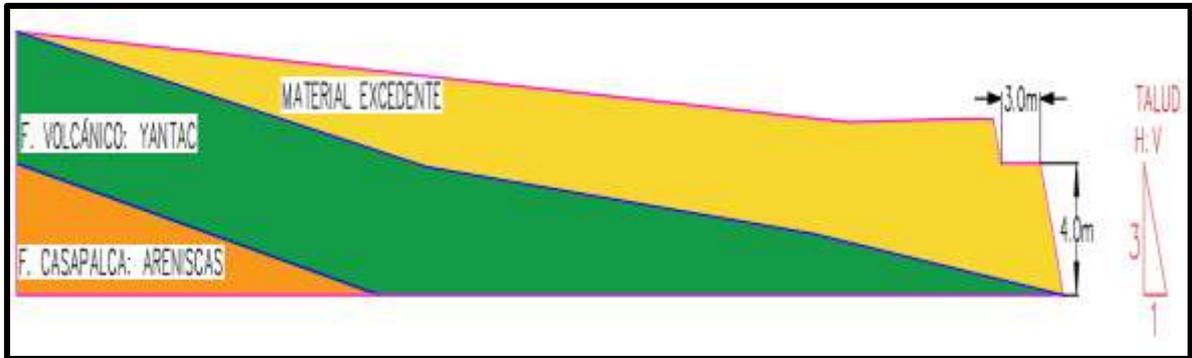


Figura 27. Rediseño inicial de taludes de la estructura

Fuente. Elaboración Propia

Luego del rediseño del talud, se evalúa nuevamente el factor de seguridad, por el método de BISHOP simplificado, resultando $FS = 1.190$

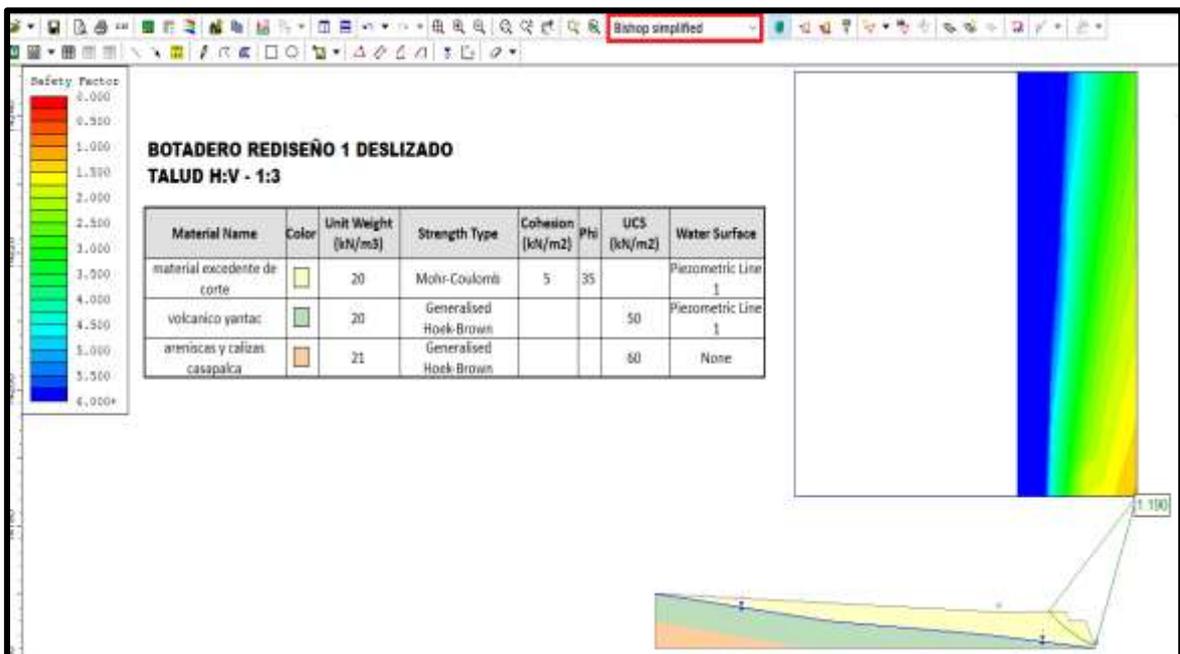


Figura 28. Análisis de estabilidad por el método de BISHOP S., talud rediseño inicial

Fuente. Elaboración Propia

Seguidamente se procede con el análisis de estabilidad de talud con el método de JANBU simplificado, encontrándose un factor de seguridad $FS = 1.165$

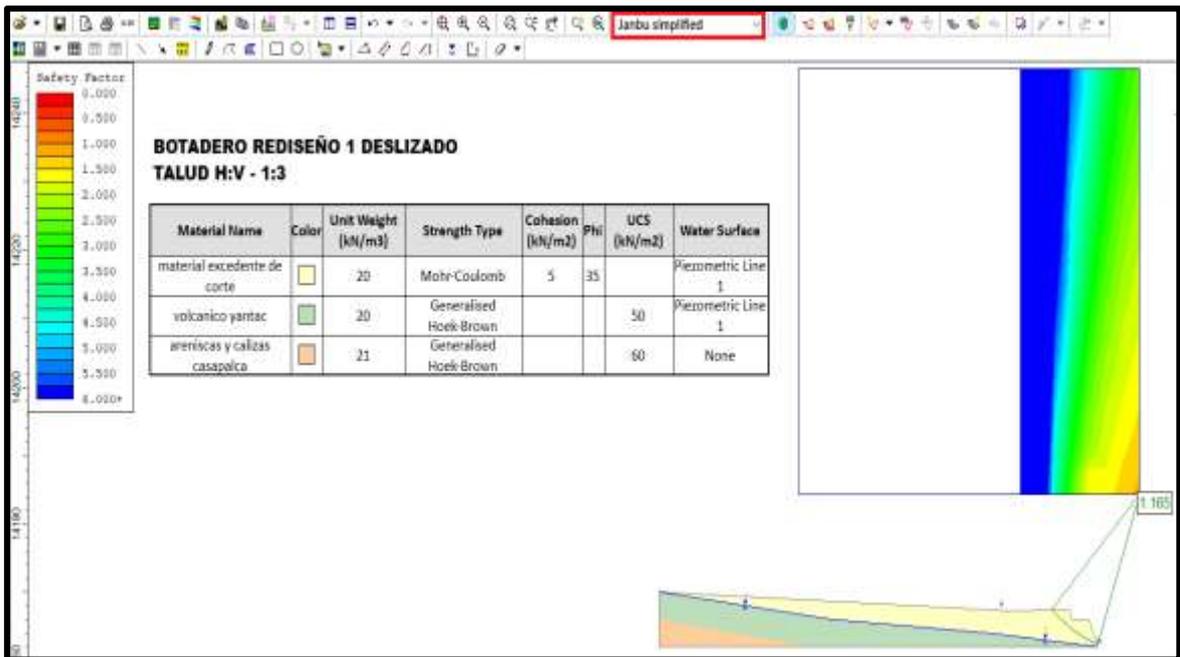


Figura 29. Análisis de estabilidad por el método de JANBU S., talud rediseño inicial

Fuente. Elaboración Propia

Se procede con el análisis de estabilidad de talud con el método de SPENCER encontrándose un factor de seguridad FS = 1.193

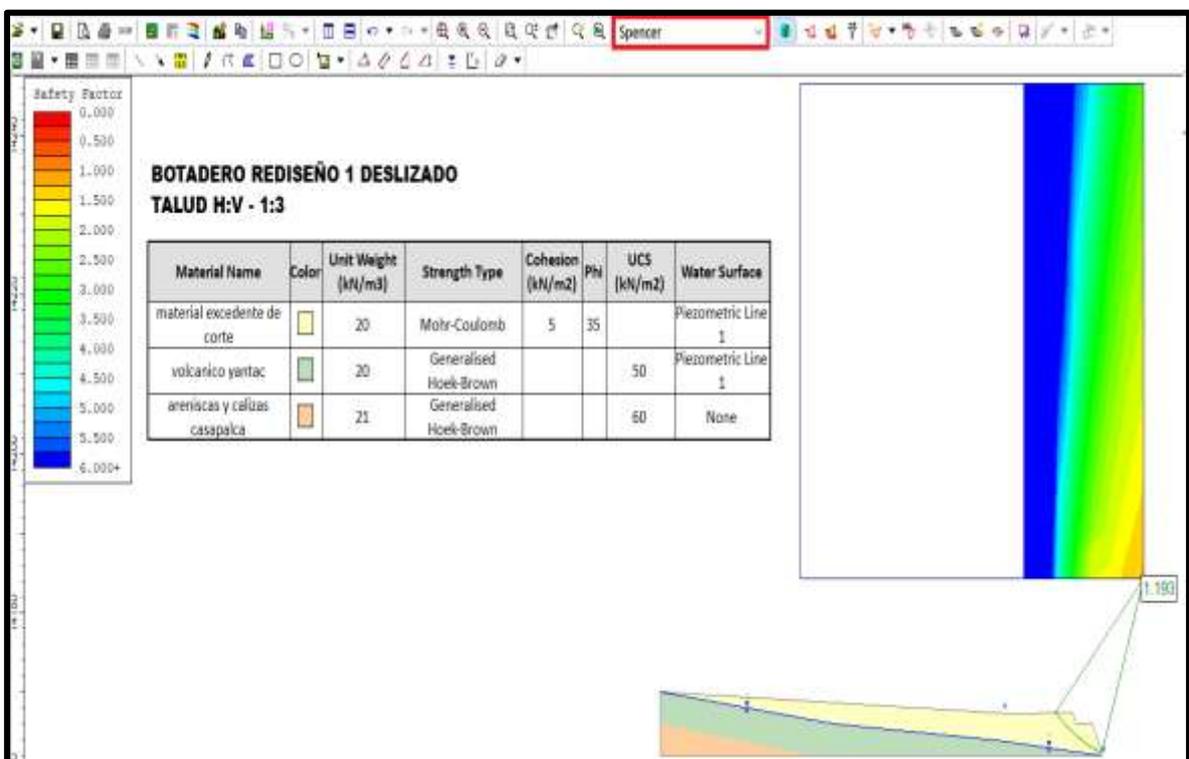


Figura 30. Análisis de estabilidad por el método de SPENCER, talud rediseño inicial

Fuente. Elaboración Propia

Se observa que la estabilidad de talud, evaluado por el método de equilibrio límite, **todavía no cumple con el mínimo exigido** por la normativa, los FS son menores a 1.2. Por tal motivo se rediseña nuevamente el Talud. Ahora se crea una banqueta adicional con un ancho de 3m y una inclinación de talud H: V igual a 1:2.

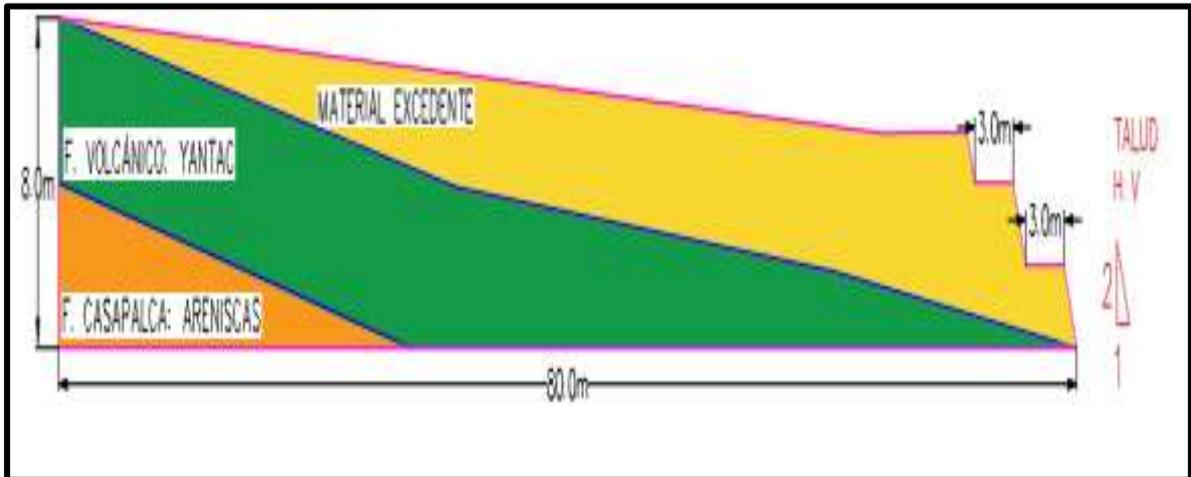


Figura 31. Rediseño final de taludes de la estructura

Fuente. Elaboración Propia

Luego del rediseño del talud, se evalúa nuevamente el factor de seguridad, por el método de BISHOP simplificado, resultando $FS = 1.361$

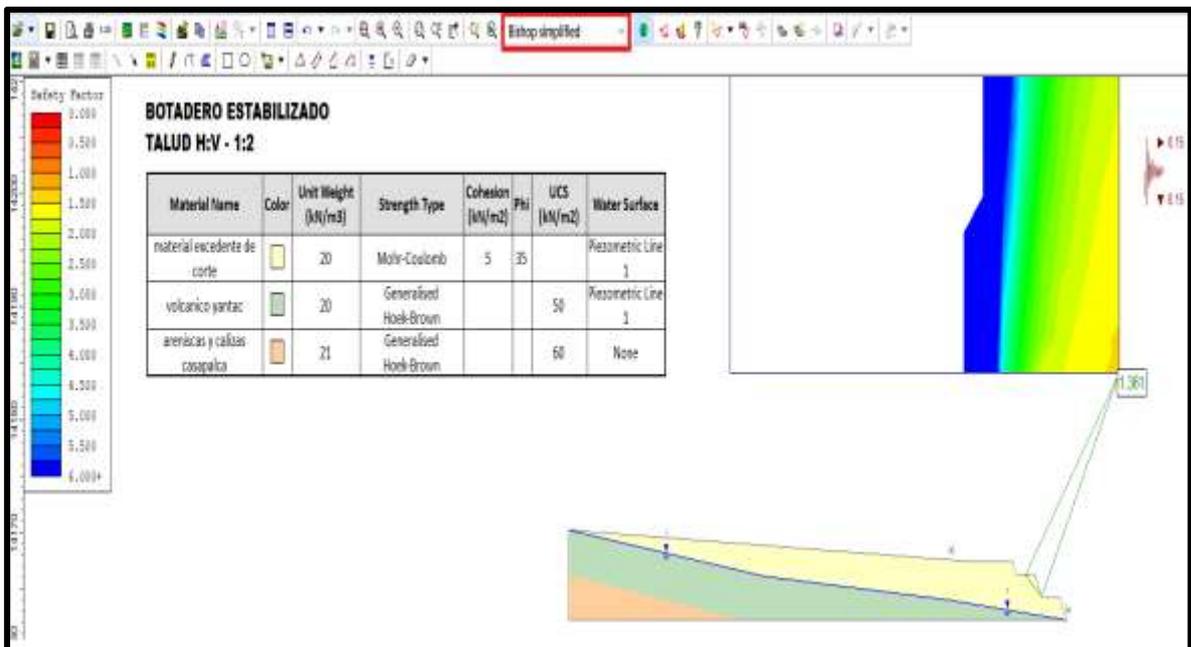


Figura 32. Análisis de estabilidad con carga de sismos, BISHOP S., rediseño final

Fuente. Elaboración Propia

Seguidamente se procede con el análisis de estabilidad de talud con el método de JANBU simplificado, encontrándose un factor de seguridad $FS = 1.356$

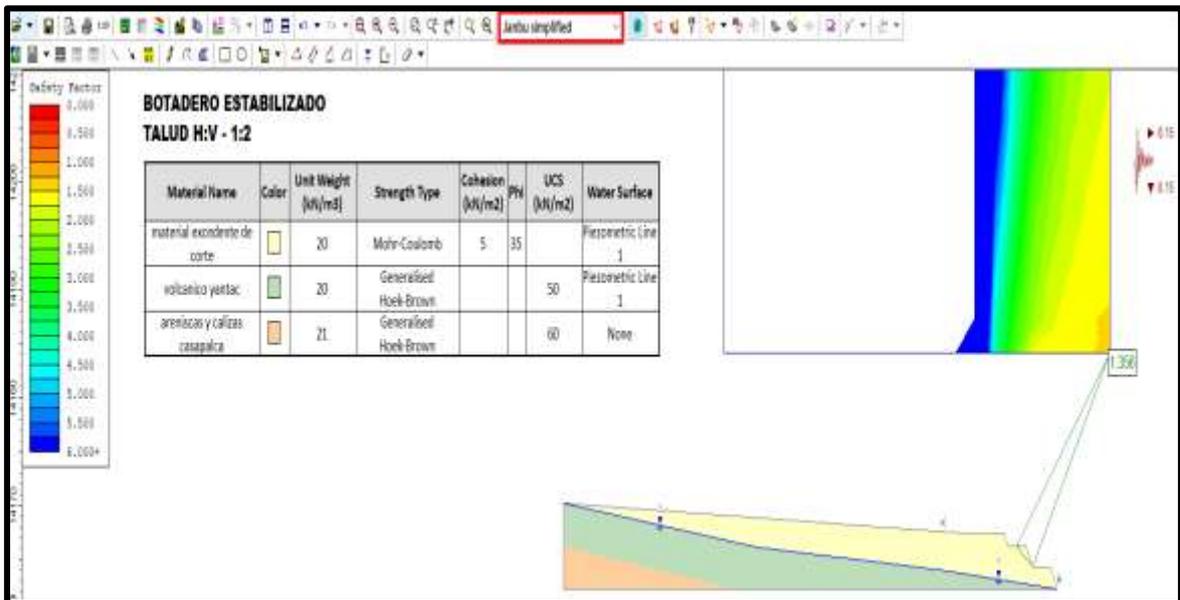


Figura 33. *Análisis de estabilidad con carga de sismos, JANBU S., rediseño final*

Fuente. Elaboración Propia

Se procede con el análisis de estabilidad de talud con el método de SPENCER encontrándose un factor de seguridad $FS = 1.357$

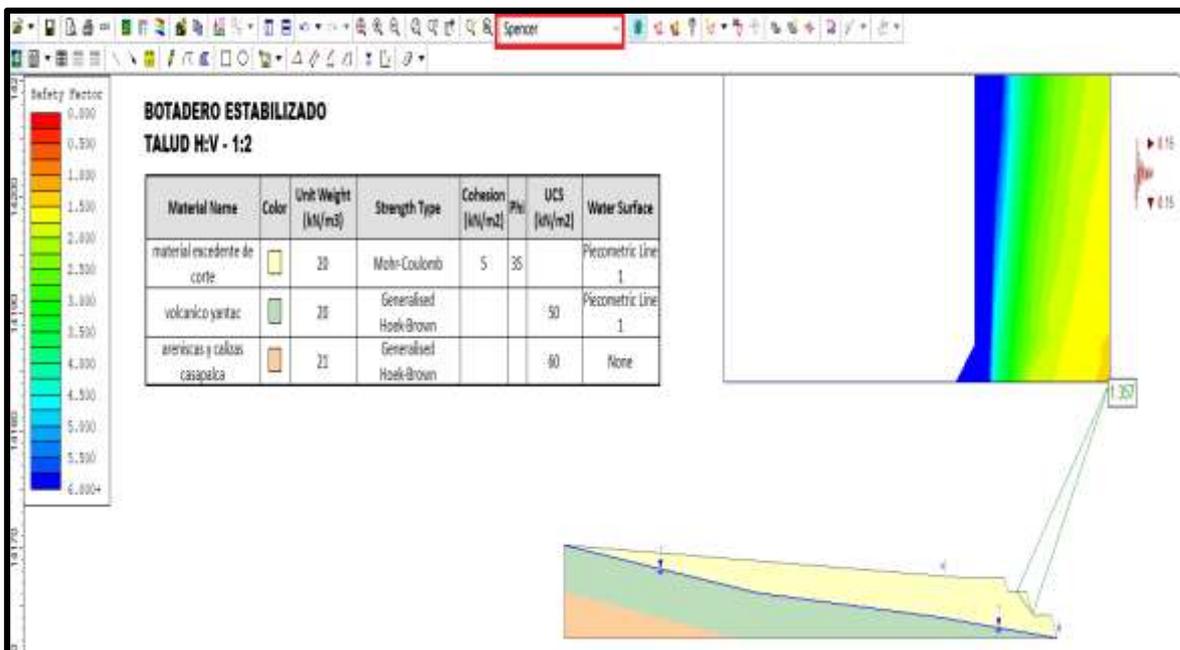


Figura 34. *Análisis de estabilidad con carga de sismos, M. SPENCER, rediseño final*

Fuente. Elaboración Propia

Del análisis de estabilidad de talud en condiciones pseudoestáticas (con carga de sismos), se observa que el factor de seguridad cumple con el mínimo requerido $FS \geq 1.2$

Se procede finalmente con el análisis de talud en condiciones estáticas (sin carga de sismo), para ver si el diseño de talud, al cierre de mina, cumple con el mínimo factor de seguridad requerido ($FS \geq 1.5$)

Se evalúa el análisis de estabilidad de talud a condiciones estáticas, por el método de BISHOP simplificado, resultando $FS = 1.799$

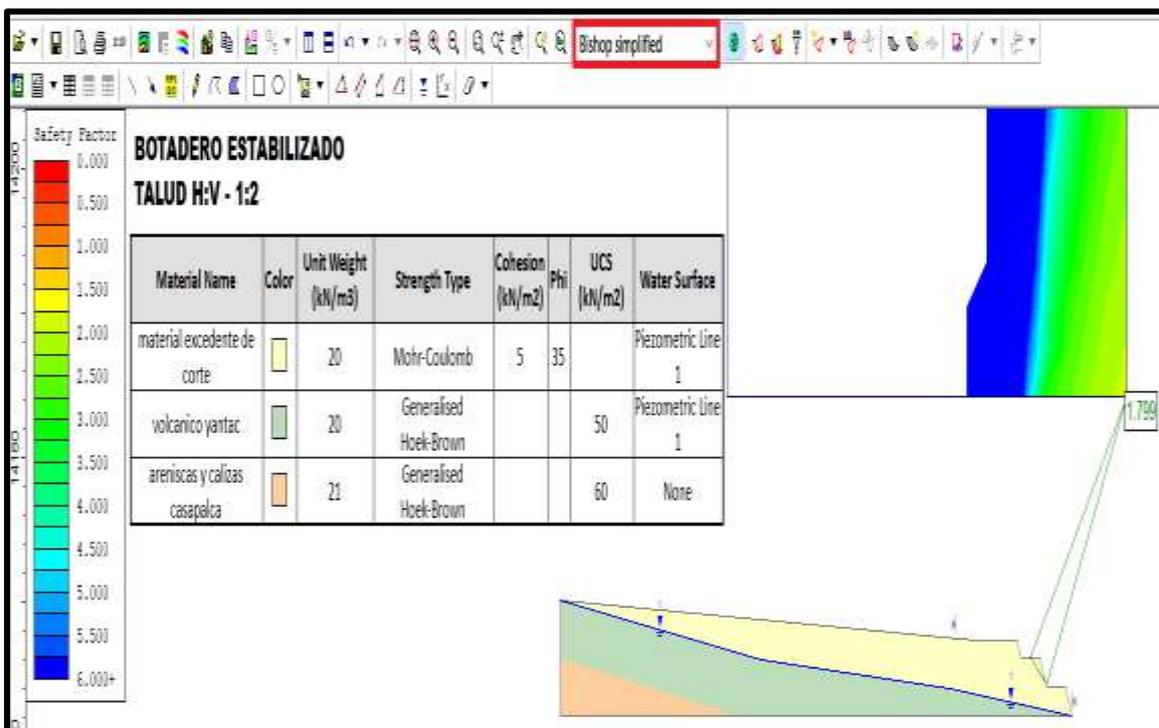


Figura 35. Análisis de estabilidad sin carga de sismos, BISHOP S., rediseño final

Fuente. Elaboración Propia

Seguidamente se procede con el análisis de estabilidad de talud con el método de JANBU simplificado, encontrándose un factor de seguridad $FS = 1.802$

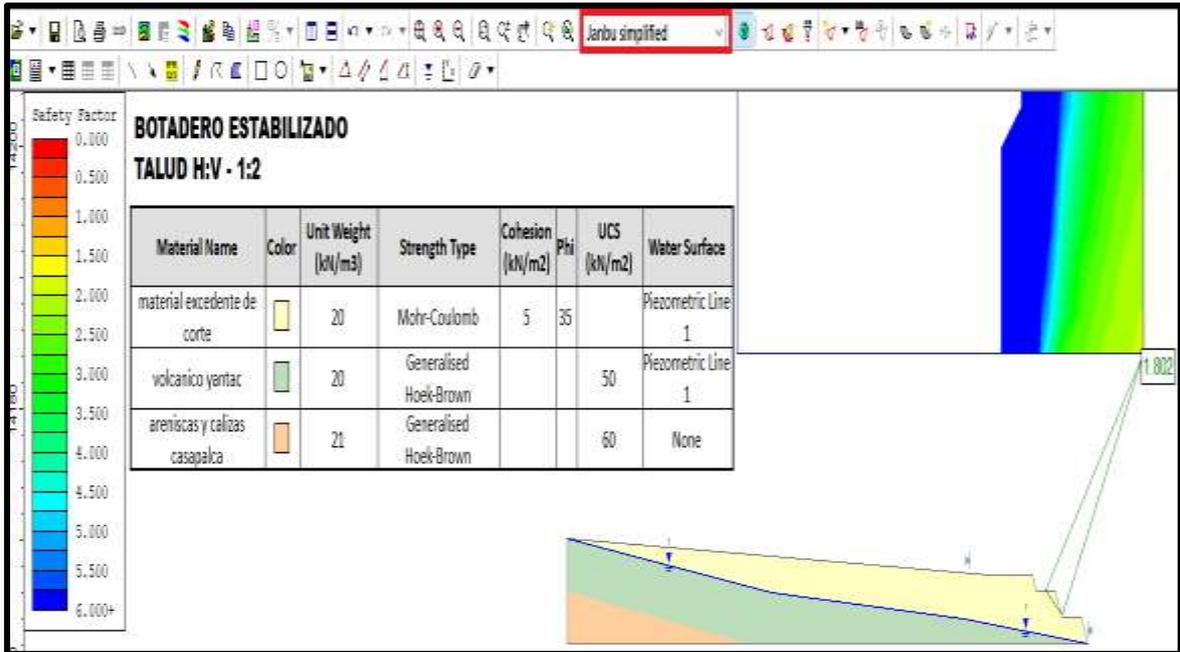


Figura 36. Análisis de estabilidad sin carga de sismos, JANBU S., rediseño final

Fuente. Elaboración Propia

Se procede con el análisis de estabilidad de talud con el método de SPENCER encontrándose un factor de seguridad FS = 1.801

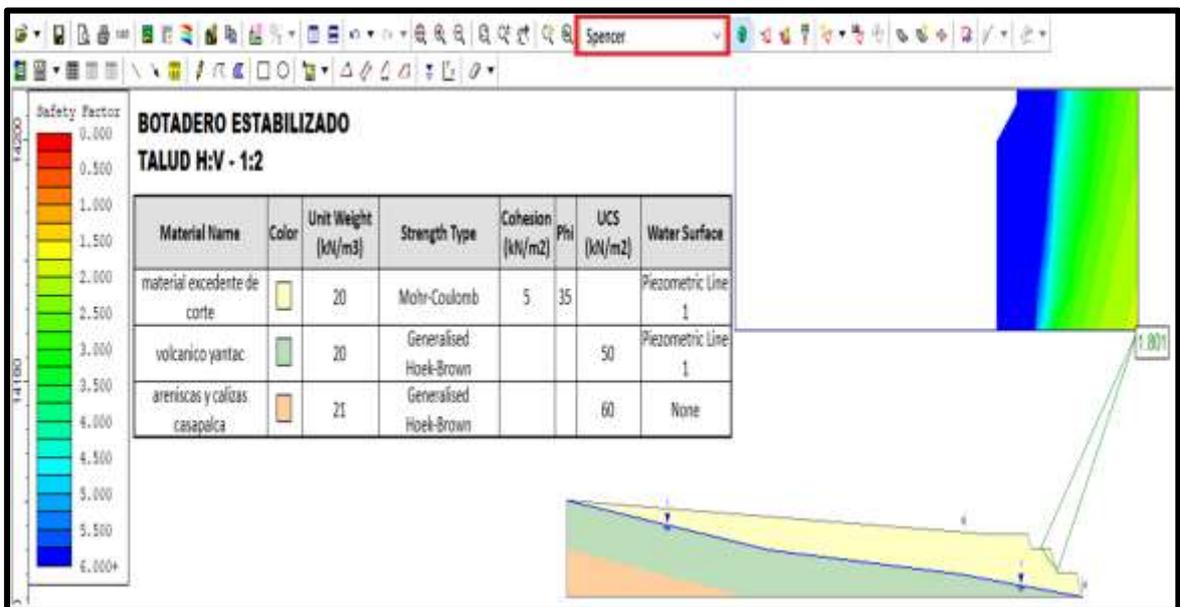


Figura 37. Análisis de estabilidad sin carga de sismos, M. SPENCER, rediseño final

Fuente. Elaboración Propia

Del análisis de estabilidad de talud en condiciones estáticas (sin carga de sismos), se observa que el factor de seguridad cumple con el mínimo requerido $FS \geq 1.5$

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Resultado del objetivo específico 1

Los factores que condicionan la estabilidad de taludes, son los siguientes:

Tabla 7

Factores que condicionan la estabilidad de la estructura

Factores	Descripción
Geología	1° Base rocosa: Formación Casapalca (Kp-ca) 2° Segunda Base rocosa: Volcánico Yantac (Pe-y)
Geometría para el botadero	Longitud para el relleno: 80m Altura: 8m Acopio inicial de material, sin banquetas Talud H: V – 1:3
Geotecnia – Geomecánica de materiales	Material excedente de mina: Predominan Grava pobremente gradada con Limo GP – GM Cohesión: 5 KN/m ² , Ángulo de fricción: 35°
Sismicidad	Coefficiente de Sismicidad k = 0.15
Precipitaciones pluviales	Ligera (2.6 mm)
Factor de seguridad mínimo requerida	FS ≥ 1.2 (análisis pseudoestático), en operaciones FS ≥ 1.5 (análisis estático), al cierre de obra
Software usado	SLIDE 6.0
Método de Análisis	Método de Equilibrio límite: Método de cálculo: BISHOP Simplificado, JANBU simplificado, SPENCER

Fuente. Elaboración Propia

3.2. Resultado del objetivo específico 2

La determinación según el método de equilibrio límite de la estabilidad de taludes inicial de la estructura, indica que el talud es inestable, y por tanto requiere un rediseño, puesto que los factores de seguridad FS son menores a 1.2

Tabla 8

Análisis de estabilidad de talud en condiciones pseudoestáticas

Método de análisis	Factor de seguridad (FS \geq 1.2)	Estado del Talud	Tipo de falla o deslizamiento
BISHOP Simplificado	0.743	Inestable	Rotacional
JANBU Simplificado	0.730	Inestable	Rotacional
SPENCER	0.846	Inestable	Rotacional

Fuente. Elaboración Propia

En la siguiente figura, se muestra el resultado del análisis de estabilidad de talud, donde además en cada método se aprecia la forma de deslizamiento en forma de dovelas

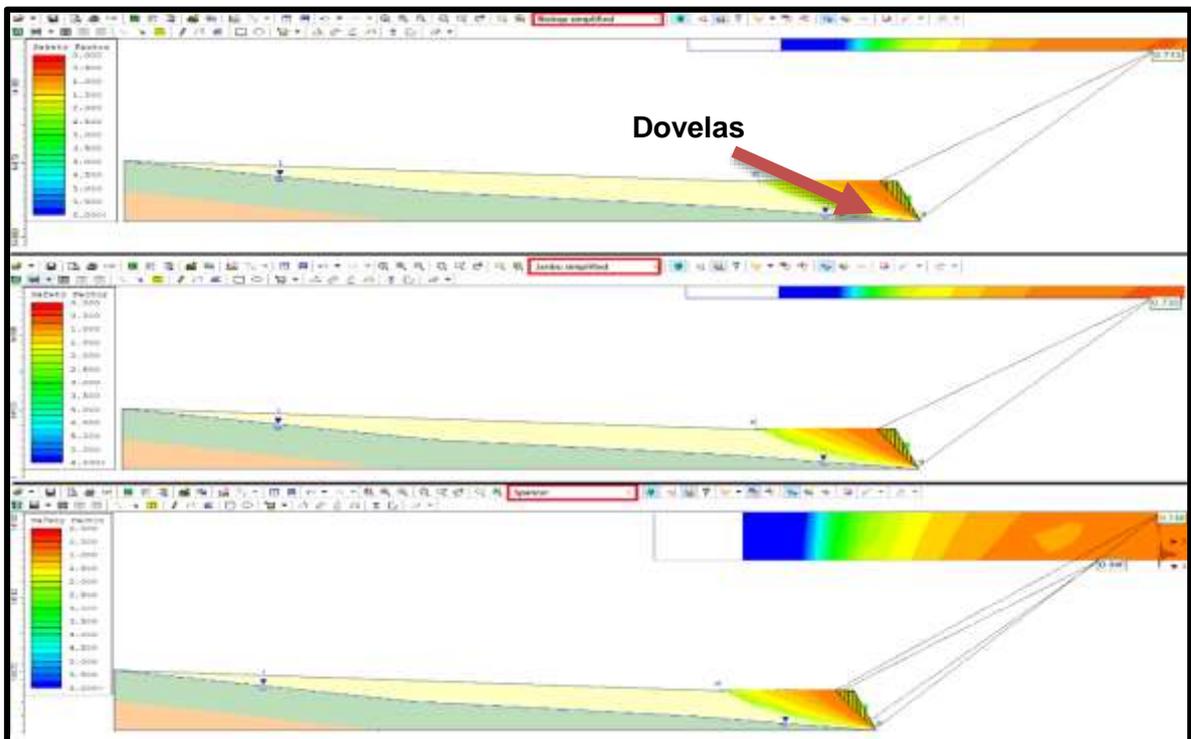


Figura 38. Resultado del análisis de estabilidad de talud, método de equilibrio límite

Fuente. Elaboración Propia

3.3. Resultado del objetivo específico 3

Para el diseño final de taludes, luego del planteamiento de banquetas en la estructura, se tienen los siguientes resultados.

Tabla 9

Análisis de estabilidad de la estructura rediseñada

Método de análisis	Factor de seguridad	Factor de seguridad	Estado del talud
	Condiciones Pseudoestáticas (FS ≥ 1.2), k = 0.15	Condiciones estáticas (FS ≥ 1.5), k = 0	
BISHOP Simplificado	1.361	1.799	Estable
JANBU Simplificado	1.356	1.802	Estable
SPENCER	1.357	1.801	Estable

Fuente. Elaboración Propia

El resultado del análisis de estabilidad de talud con SLIDE 6.0, para el botadero rediseñado, con el método de equilibrio límite, a condiciones pseudoestáticas y estáticas son:

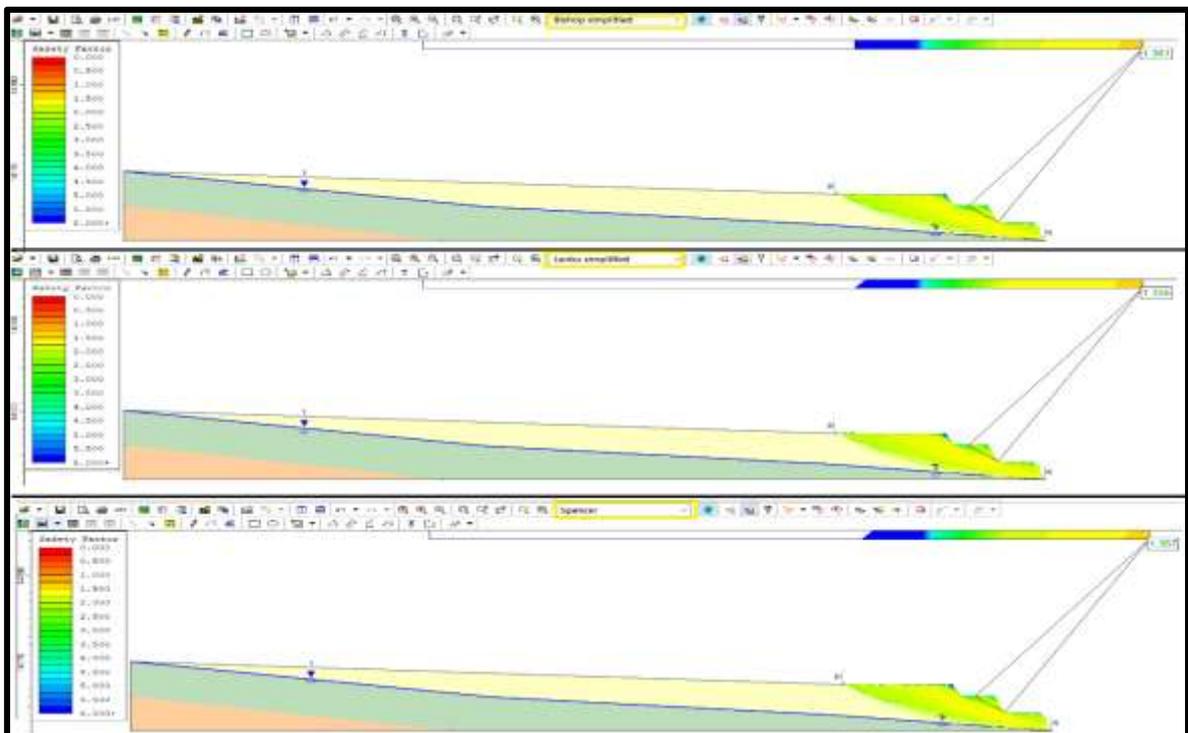


Figura 39. Resultado del análisis de estabilidad de talud a condiciones pseudoestáticas

Fuente. Elaboración Propia

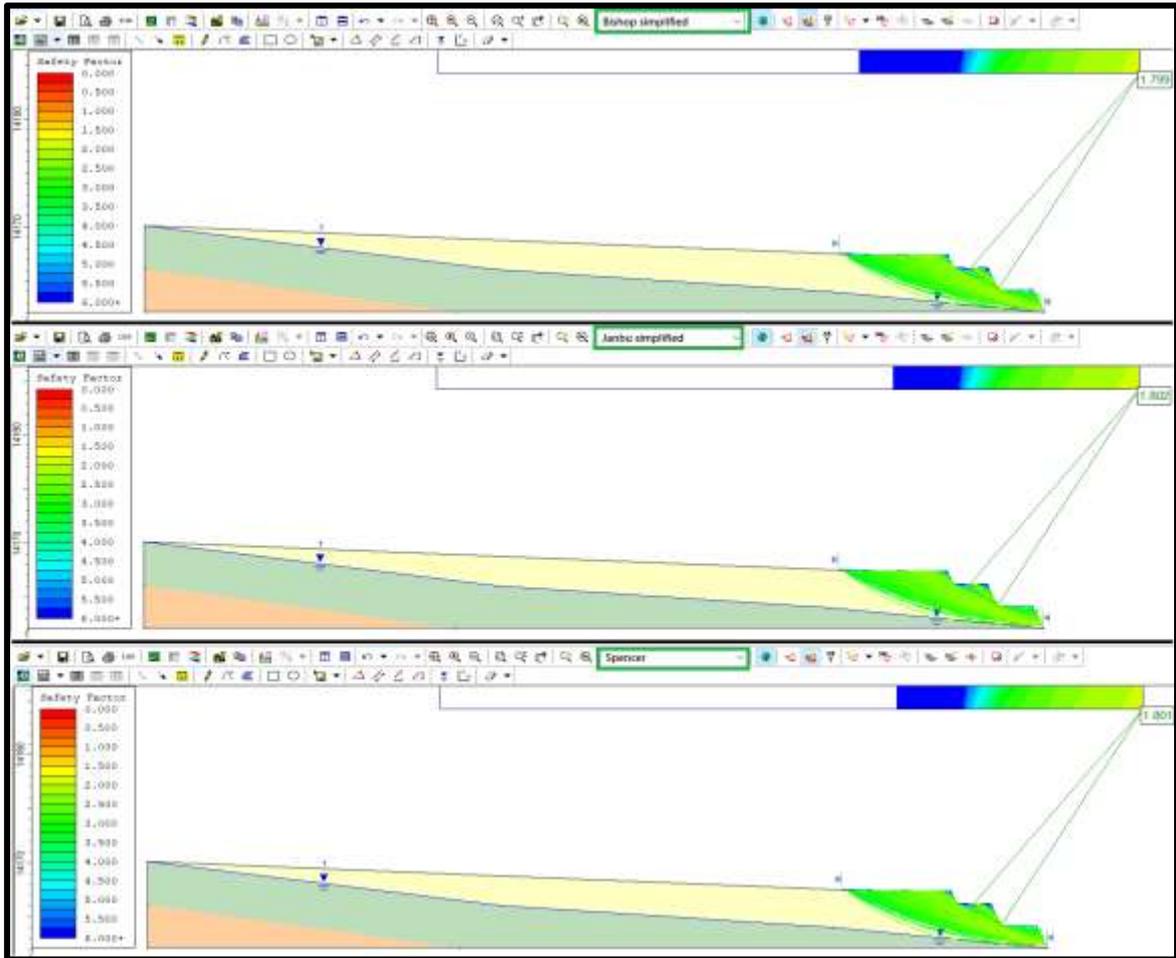


Figura 40. Resultado del análisis de estabilidad de talud a condiciones estáticas

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 10

Características del diseño final de taludes

Descripción	Características
Talud	Construcción H: V – 1:2
Ángulo entre rampas	63°
Ancho de banqueta	3m
Factor de seguridad FS (condiciones pseudoestáticas)	1.36
Factor de seguridad FS (condiciones estáticas)	1.80

Fuente. Elaboración Propia

CAPÍTULO IV. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

4.1. Discusiones

4.1.1. Discusión del objetivo específico 1

Chuquiruna (2019), menciona que, los análisis previos de instrumentación geotécnica, permitirán saber de forma precisa cuál es el mecanismo de falla de los taludes y el motivo por el que se producen deslizamientos. Indica también que la relación entre el ángulo de fricción y la cohesión determinan la forma del material depositado y que estos datos brindan nociones de porque un talud es inestable, muchas veces por el fenómeno de licuación, el cual menciona que la presión de poros es propensa a provocar deslizamientos.

En esta tesis, se han analizado previamente, todos los factores que condicionan la estabilidad del talud. La bibliografía consultada menciona que el análisis de esos factores, suelen ser geométricos y geotécnicos o geomecánicos. Los materiales excedentes de mina, que se depositan en el botadero son heterogéneos, tanto en forma, tamaño, humedad, y otras características, producto de la explotación, motivo por el cual, su comportamiento de estabilidad también puede ser irregular. Sin embargo, para simplificar la data que se necesita para el análisis de estabilidad del talud inicial (objetivo siguiente), se ha determinado a partir de ensayos, que en el material excedente predomina las gravas pobremente gradadas con limo GP – GM, se toma una cohesión de 5 KN/m² y ángulo de fricción de 35°, estos datos son de suma importancia para determinar correctamente el factor de seguridad en el análisis de estabilidad del talud del botadero. Otros factores como la sismicidad, y de acuerdo con la data revisada del IGP se observa que pueden darse sismos importantes, sin embargo, para este análisis se usa un coeficiente $k = 0.15$, porque se espera un sismo de gran magnitud. Las precipitaciones que alcanzan un valor promedio de 2.6mm, consideradas como moderado, de alguna manera condiciona la estabilidad del botadero, pues en caso de lluvias el agua se desplaza por encima de la roca, en este caso volcánica Yantac.

A diferencia de otros autores, la principal **limitación** de esta investigación en la identificación de factores condicionantes, fue no contar con instrumentos sofisticados geotécnicos que permanecen instalados por un buen tiempo en la propia estructura, como por ejemplo extensómetros (para medir desplazamientos), inclinómetros (para medir la inclinación del talud) y piezómetros (para medir el nivel freático).

4.1.2. Discusión del objetivo específico 2

De acuerdo con Veliz (2020), en su investigación hace el análisis para hallar el factor de seguridad, utilizando el concepto de equilibrio límite y dovelas para estimar la superficie de falla. Menciona también que la falla crítica está definida como aquella que proporciona el menor factor de seguridad, y que, modificando las condiciones se puede evaluar si la falla es del tipo circular o tipo bloque.

Por su parte, Sanhueza & Rodriguez (2013), en su investigación, luego del análisis de estabilidad de taludes empleando el software GeoSlope, bajo los modelos propuestos por Fellenius, Bishop y Janbú, concluyen que las metodologías de cálculo para analizar la estabilidad de un talud que se basan en el método de las dovelas, siguen siendo los más empleados.

Muy de acuerdo con los investigadores mencionados, en esta tesis, se hizo el análisis de estabilidad de taludes de un depósito de materiales en base al método de equilibrio límite, determinando que los deslizamientos producidos en la estructura, tendrían una falla o deslizamiento del tipo circular o rotacional (ver *Figura 38*), por sus características de ser sueltos y variados, y principalmente por la geometría del depósito de materiales excedentes, donde el ángulo de inclinación entre rampas es de 72° . Se ha realizado el análisis de estabilidad en SLIDE 6.0 en condiciones pseudoestáticas, según el método de equilibrio límite, aplicando el método de cálculo de BISHOP, JANBU Y SPENCER y en todos los casos el factor de seguridad FS han resultado menores a 1.2, motivo por el que se ha

procedido con el rediseño de la estructura, para asegurar la estabilidad de taludes principalmente a condiciones pseudoestáticas, porque los sismos pueden presentarse a futuro en grado intenso, en cualquier momento.

Una de las limitaciones que tiene el método de equilibrio límite para evaluar la estabilidad de taludes, es que podría dar cálculos aproximados debido al muestreo de materiales, que suelen estar distribuidos heterogéneamente en un depósito, por este motivo, en esta investigación se ha procedido con dar un factor de seguridad FS mayor al exigido por la norma, debido también a la limitación de no contar con equipos geotécnicos sofisticados.

4.1.3. Discusión del objetivo específico 3

Por otra parte, Valeriano (2015), menciona sobre el diseño de taludes que, la estabilidad de taludes depende en gran parte de la naturaleza de planos defectuosos, y que el propósito es definir la geometría del macizo rocoso para escoger el modo de ruptura más apropiado, y que una decisión incorrecta del modo de ruptura invalidaría el análisis hecho.

En esta investigación, sobre el diseño final de la estructura, para lograr una estabilidad de taludes apropiada, se ha logrado modelar y rediseñar el botadero, de tal forma que la geometría de éste, tiene un talud H: V - 1:2, un ángulo entre rampas de 63° y un ancho de banqueta de 3m, se ha considerado las filtraciones de agua provenientes de las precipitaciones pluviales que discurrirá entre el contacto de material depositado sobre las rocas que afloran, la geometría del terreno natural y del mismo modo, se ha considerado los movimientos sísmicos que actúan sobre la corteza terrestre, pero sobre todo el análisis de estabilidad de taludes para condiciones pseudoestáticas ($FS > 1.2$) indican un factor de seguridad $FS = 1.36$ y a condiciones estáticas al cierre de operaciones ($FS > 1.5$) un factor de seguridad $FS = 1.80$, cumpliendo de esta manera con la normativa exigida por el Ministerio de Energía y Minas.

La **implicancia** de un proceso constructivo deficiente, conlleva a pérdidas económicas, motivo por el cual el propósito de esta investigación es contribuir evitando estos inconvenientes.

En el diseño de un talud juegan un papel muy importante, el criterio del investigador y el conocimiento sobre los materiales que se encuentran insitu. En esta investigación a pesar de la escasez de la información, se ha logrado estabilizar el talud.

Para lograr una estabilidad del talud apropiada, se consideró las filtraciones de agua provenientes de las precipitaciones pluviales que discurrirá, y ya que el agua, modifica el factor de cohesión entre partículas, sería importante que se adicionen drenajes, ya en el momento de la construcción, con la finalidad de evitar la erosión de los materiales depositados.

De esta investigación se ha podido comprobar la confiabilidad que tiene el software SLIDE 6.0, y lo útil que resulta en el análisis de estabilidad de taludes.

4.2. Conclusiones

4.2.1. Conclusión del objetivo específico 1

Se concluyó que los factores que influyen en la estabilidad de taludes, son principalmente la geometría inadecuada del talud porque la inclinación es muy alta H: V 1:3, sismos que pudiesen ocurrir en grado moderado o alto, y material depositado en la estructura, que, al ser un material excedente de mina, tienen características muy heterogéneas.

4.2.2. Conclusión del objetivo específico 2

Se concluyó en base al análisis según el método de equilibrio límite, que la estabilidad de taludes inicial de la estructura en estudio, tiene un FS < 1.2, por lo que es inestable y requiere un rediseño del mismo para prevenir deslizamientos. Se concluyó también que esta metodología permite determinar el factor de seguridad de forma confiable, porque dichos cálculos (BISHOP, JANBU y Spencer), resultaron en valores próximos entre ellos, además todos indicaron un deslizamiento del tipo rotacional.

4.2.3. Conclusión del objetivo específico 3

Se concluyó que el diseño final de taludes, garantiza una estructura estable, porque tiene un factor de seguridad $FS \geq 1.2$, logrado a partir de una disminución en la inclinación del talud H: V - 1:2, propuesta de conformación de banquetas de 3m, y un ángulo entre rampas de 63° , además se cumple con la norma para estabilidad de taludes propuesta por el Ministerio de Energía y Minas. De esta forma se previene el riesgo de deslizamientos de materiales depositados en la estructura en estudio.

4.3. Recomendaciones

Para lograr alcanzar una estabilidad apropiada, se debe compactar con el paso de las máquinas pesadas en este caso, un Bulldozer (tractor) que va extendiendo y dando entre 6 a 8 pasadas por capas aplicadas por su propia carga, mejorado los valores de cohesión entre partículas.

Para alcanzar un factor de seguridad $FS \geq 1.2$ será importante compactar los materiales depositados no solamente con un Bulldozer (tractor), también se puede emplear rodillos vibratorios mayores a 10 TN.

Adicionalmente, es fundamental considerar el tipo de drenaje, un apropiado diseño, garantiza que las aguas provenientes de las precipitaciones pluviales o de sobre escorrentía tanto superficial o subterránea sean conducidos con criterio a lugares apropiados con el fin de no desestabilizar los taludes.

REFERENCIAS

- Autodesk. (2019). *Manual de Civil 3D*. EEUU.
- Avellaneda, P. (2020). *Evaluación de la estabilidad física del depósito integrado de relaves San Andrés*. Universidad Nacional del Centro del Perú, San Andrés, Perú.
- Borja Suarez, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo, Perú.
- De Matteis, Á. F. (2003). *Geología y Geotecnia - Estabilidad de Taludes*.
- Dos Santos, D., & Guardado, R. (2011). *Deslizamiento de los taludes del yacimiento Kimberlítico de Catoca, Angola. (Tesis de Grado)*. Catoca, Angola.
- Gerscovich. (2013). *Estabilidad de Taludes*. Lemoine Editores S.A.S.
- González de Vallejo, L. I. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson.
- Hernández, F. (2019). *Hacia la automatización del análisis de estabilidad de taludes mineros*. Universidad de Chile, Santiago, Chile. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/170974/Hacia-la-automatizaci%C3%B3n-del-an%C3%A1lisis-de-estabilidad-de-taludes-mineros.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lambe, & Whitman, R. (1997). *Mecánica de Suelos*. México, México.
- Lopez, E. (2016). *Estudio Geotécnico y diseño del talud final de una mina a cielo abierto aplicando modelos numéricos*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. Obtenido de file:///C:/Users/Danny/Downloads/Lopez_pe.pdf
- Martínez Valdés, M. F. (2020). *Planificación de operaciones para rehabilitación de botaderos de estériles en explotación de carbón en isla Riesco, Mina Invierno. Tesis de Grado*. Universidad de Concepción, Concepción, Chile. Obtenido de http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/434/1/Tesis_Planificacion_de_Operacion_es_de_rehabilitacion_de_botaderos.pdf
- Mcgregor, G. &. (2013). *Investigación geotécnica para la estabilización de las laderas del Barrio San Fermín, municipio de Ocaña*. Ocaña, Colombia: INGE CUC.
- Mendoza. (2014). *Estabilidad de taludes*. Lima.
- Mendoza Loayza, J. A. (2016). *Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina Antapaccay. (Tesis de Grado)*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

- Minas, M. d. (1997). Guía ambiental para la estabilidad de taludes de depósitos de desechos sólidos.
- Mora & Granados, R. &. (2015). "Análisis de estabilidad de taludes Considerando la incertidumbre de los datos. Estudio de caso Montes de Oca. (*Tesis de Grado*). Escuela Centroamericana de Geología, San José, Costa Rica.
- Norma CE.020. (2006). *Norma CE.020 - Suelos y Taludes*. Lima: El Peruano.
- Norma E.050. (2006). *Norma E.050 - Suelos y Cimentaciones*. Lima: El Peruano.
- Parra Pérez & Melo Calderón, T. y. (2015). Estabilización de taludes de la vía de red terciaria de la vereda la Unión, Localidad de USME - Bogotá DC. (*Tesis de Grado*). Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Reyes P., A. (2015). *Análisis tridimensional de estabilidad de taludes por el método de equilibrio límite del depósito de desmonte de mina*. UNI, Lima, Perú.
- Rocscience. (2020). *rocscience.com*. Obtenido de www.rocscience.com
- Salvatierra, R. (2019). *Investigación para determinar las causas de los deslizamientos en los taludes de la Carretera Canta - Huayllay*. Universidad Privada del Norte, Lima, Perú.
- Sanhueza, C., & Rodriguez, L. (2013). Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. *Revista de la Construcción*.
- Suarez, J. (2009). *Deslizamientos. Tomo I: Analisis Geotécnico*. Bucaramanga, Colombia, Colombia.
- Suarez, J. (2011). *Deslizamientos Tomo II. Técnicas de remediación*. Colombia: www.erosion.com.co.
- Valencia, M., Santisteban, A., & Lozada, V. (2018). Prospección geológica minera regional en la región La Libertad. *Ingemmet, B55*, 55.
- Valeriano, F. (2015). *Caracterización geotécnica y modos de falla estructural en el talud en Roca del Cerro Espinal Juliaca*. UNA, Puno, Perú.
- Valiente, Sobrecases, & Díaz. (2015). Estabilidad de taludes conceptos básicos, parámetros de diseño y métodos de cálculo. *Información CIV*.
- Veliz, G. (2019). *Evaluación de la ampliación del depósito de desmonte botadero 100 de la mina Cerro Lindo*. Universidad Privada del Norte, Lima, Perú.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia

Título: Análisis de estabilidad de taludes mediante el método de equilibrio límite para prevenir deslizamientos durante la expansión de un depósito de minerales en minas a cielo abierto, La Libertad 2021				
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>Problema General: ¿Cuál es el análisis de estabilidad de taludes mediante el método de equilibrio límite para prevenir deslizamientos durante la expansión de un depósito de materiales en minas a cielo abierto?</p>	<p>Objetivo General: Analizar la estabilidad de taludes mediante el método de equilibrio límite para prevenir deslizamientos durante la expansión de un depósito de materiales en minas a cielo abierto, La Libertad 2021</p>	<p>Hipótesis General: El análisis de estabilidad de taludes mediante el método de equilibrio límite permitirá prevenir deslizamientos durante la expansión de un depósito de materiales en minas a cielo abierto, La Libertad 2021</p>	<p>Independiente : $Y = F(X)$: Estabilidad de taludes</p>	<p>Tipo de Investigación: Aplicada Enfoque: Cuantitativo Diseño: No experimental Alcance: Transversal</p>
<p>Problemas específicos: ¿Cuáles son los factores que condicionan la estabilidad de taludes en un depósito de materiales en minas a cielo abierto?</p>	<p>Objetivos específicos: Identificar los factores que condicionan la estabilidad de taludes en un depósito de materiales en minas a cielo abierto</p>	<p>Hipótesis específicas: La identificación de los factores que condicionan la estabilidad de taludes permitirá prevenir deslizamientos en un depósito de materiales en minas a cielo abierto</p>	<p>Dependiente: X: Deslizamientos</p>	<p>Población: Todos los taludes involucrados de un depósito de materiales en minas a cielo abierto</p>
<p>¿Qué metodología se debe usar para determinar la estabilidad de taludes inicial de un depósito de materiales en minas a cielo abierto?</p>	<p>Determinar en base al método de equilibrio límite la estabilidad de taludes inicial del depósito de materiales en minas a cielo abierto</p>	<p>El uso de la metodología adecuada para determinar la estabilidad de taludes inicial permitirá prevenir deslizamientos en un depósito de materiales en minas a cielo abierto</p>		<p>Muestra: Taludes seleccionados de forma no probabilística de un depósito de materiales en minas a cielo abierto, particularmente un botadero</p>
<p>¿Cuál es el diseño final de taludes para prevenir deslizamientos durante la expansión de un depósito de materiales en minas a cielo abierto?</p>	<p>Determinar el diseño final de taludes para prevenir deslizamientos durante la expansión de un depósito de materiales en minas a cielo abierto</p>	<p>La determinación del diseño final de taludes permitirá prevenir deslizamientos durante la expansión de un depósito de materiales en minas a cielo abierto</p>		

Fuente. Elaboración Propia

Anexo 2. Resumen de parámetros geomecánicos (Lambe & Whitman, 1997)

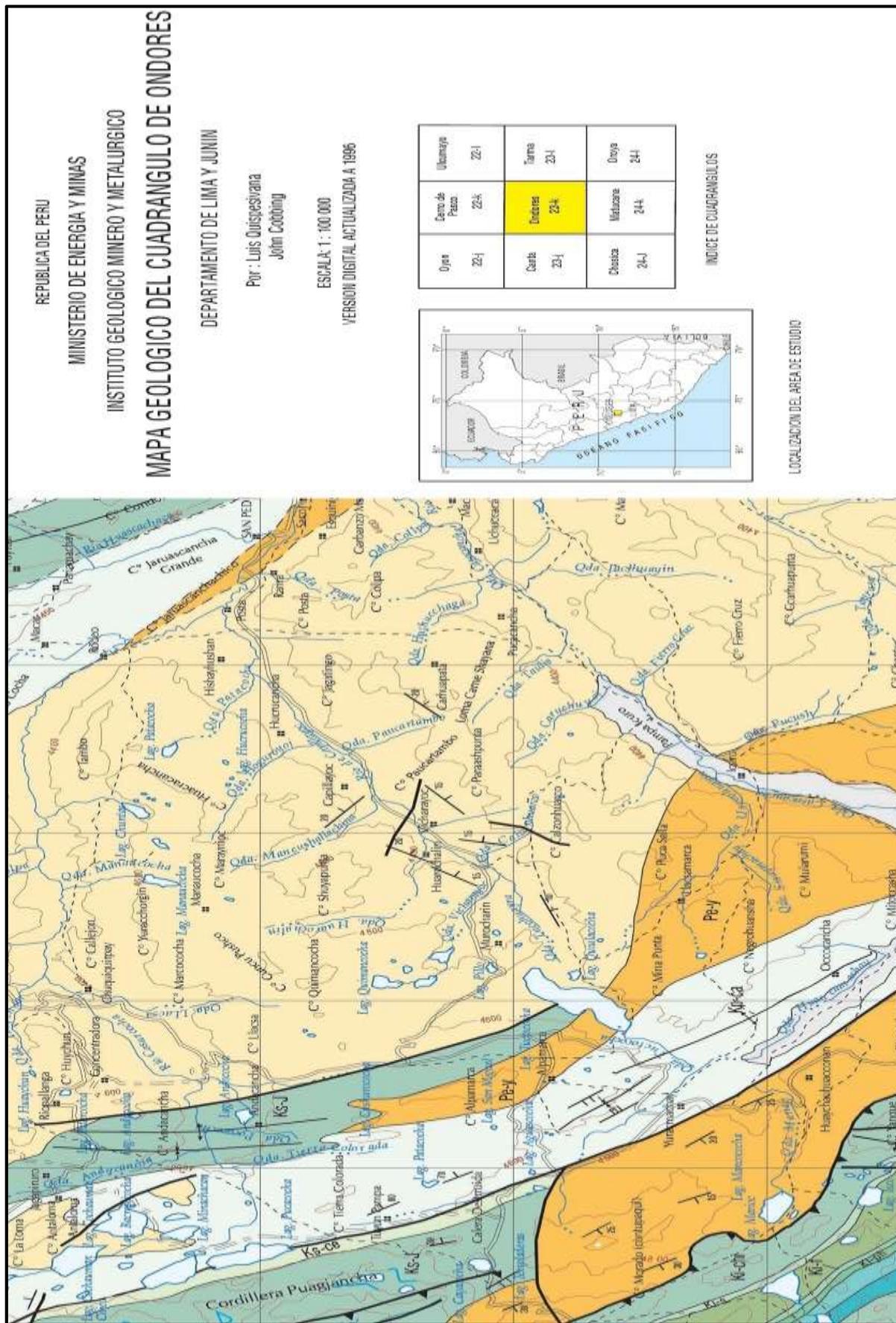
PARÁMETRO GEOTÉCNICO	SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	FÓRMULA	VARIABLES	ENSAYO
PESO UNITARIO	γ	Es el peso por unidad de volumen de un material, el producto de la densidad por la aceleración de la gravedad.	$\text{kN/m}^3 - \text{ton/m}^3$	$\gamma = \frac{P}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g$	P = peso V = Volumen g = gravedad ρ = densidad	Densidad (Método del Picnómetro, Cono de Arena, Balón de Caucho, etc)
COHESIÓN	C	Es la propiedad 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. En consecuencia, la cohesión es mayor cuanto más finas son las partículas del terreno.	$\text{kPa (kN/m}^2) - \text{ton/m}^2$	$\tau = \sigma \tan(\phi) + c$	τ = Esfuerzo cortante C = Cohesión σ = Esfuerzo normal	Corte Directo, Compresión Triaxial
ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA	ϕ	La fricción interna de un suelo está definida por el ángulo cuya tangente es la relación entre la fuerza que resiste el deslizamiento, a lo largo de un plano, y la fuerza normal aplicada sobre dicho plano.	°			Compresión Triaxial
COHESIÓN EFECTIVA*	C'	Es la propiedad por la cual las partículas del terreno se mantienen unidas mediante fuerzas internas bajo condiciones drenadas (esfuerzos efectivos).	$\text{kPa (kN/m}^2) - \text{ton/m}^2$	$\tau = \sigma \tan(\phi') + c'$	τ = Esfuerzo cortante C' = Cohesión σ = Esfuerzo normal	Corte Directo, Compresión Triaxial, Presión de Poros
ÁNGULO EFECTIVO DE FRICCIÓN INTERNA*	ϕ'	Es una medida de la fricción entre las partículas, la cual está en función del tamaño, forma, rugosidad y dureza del material sólido bajo esfuerzos efectivos (condiciones drenadas).	°			
MÓDULO DE ELASTICIDAD	E	Es la razón de proporcionalidad entre el esfuerzo (fuerza por unidad de área) y la deformación unitaria (deformación por unidad de longitud) características de cada material.	MPa (MN/m ²)	$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$	σ = presión ejercida ϵ = deformación unitaria	Ensayo de Velocidad Ultrasónica
MODULUS NUMBER	K	Número de Módulo usado para definir el modulo inicial. Este valor debe ser mayor de cero.	-	-	-	-
MODULUS EXPONENT	n	Exponente de modulo usado también para definir el módulo inicial.	-	-	-	-
CONSTANTE DE POISSON	ν	Es la relación de la deformación perpendicular con respecto a la deformación axial. Todo elemento sometido a carga axial experimenta una deformación no solo en el sentido del esfuerzo primario, sino también según el eje perpendicular. Es decir, toda tracción longitudinal con alargamiento implica una contracción transversal. Si pasa de 0.50 el cuerpo deja de ser sólido y pasa al estado líquido, desaparece el comportamiento elástico.	ADIMENSIONAL	$\nu = \frac{\epsilon_{\text{trans}}}{\epsilon_{\text{long}}}$	ϵ_{trans} = deformación transversal ϵ_{long} = deformación longitudinal	Ensayo de Velocidad Ultrasónica
VELOCIDAD ONDA PRIMARIA	V_p	Es la velocidad de las ondas sísmicas longitudinales. Son similares a las ondas sísmicas. Además son las ondas sísmicas más veloces y se propagan en todos los medios.	km/s - m/s	$V_p = \frac{E(1-\nu)}{\rho(1-2\nu)}$	E = Módulo de Young ν = Coeficiente de Poisson	Sísmica
VELOCIDAD ONDA DE CORTE	V_s	Es la velocidad de una onda sísmica transversal o de corte. Estas son ondas menos veloces que las ondas P y se propagan solo en los medios sólidos.	km/s - m/s	$V_s = \frac{E}{\rho(2(1+\nu))}$		Sísmica
MÓDULO DE RIGIDEZ	G	Es una constante elástica que caracteriza el cambio de forma que experimenta un material elástico (lineal e isotropo) cuando se aplican esfuerzos cortantes. La deformación por cizalladura se produce sólo en los sólidos, por eso se dice que estos presentan rigidez. Los sólidos pueden tener deformaciones volumétricas y de forma, mientras que los fluidos solo tienen deformación volumétrica.	GPa	$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ $v_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$	E = Módulo de Young ν = Coeficiente de Poisson V_s = Velocidad de onda de corte ρ = densidad	Ensayo de Velocidad Ultrasónica
PERMEABILIDAD (CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA)	K	Es la propiedad que tiene el suelo o roca de transmitir el agua y el aire a través de sus espacios porales interconectados.	cm/s - m/s	$Q = K * I * A$	Q = Caudal I = Gradiente piezométrico A = Sección transversal por donde se filtra la muestra	Lefranc Variable o Constante (Suelo) y Lugeon (Roca)
POROSIDAD	n	Es una medida de la capacidad de almacenamiento de fluidos que posee una roca y se define como la fracción del volumen total de la roca que corresponde a espacios vacíos o que pueden almacenar fluidos entre el volumen total.	%	$n = \frac{V_v}{V_T}$	V_v = Volumen de espacios vacíos V_T = Volumen Total	Contenido de Humedad, Saturación y secado
COEFICIENTE DE COMPRESIBILIDAD VOLUMÉTRICA	Mv	Este valor es la pendiente de la función de contenido de agua en el intervalo de presión positiva.	1/kPa	-	-	-
CONTENIDO VOLUMÉTRICO DE AGUA	Vol. W.C.	Contenido de agua en un suelo saturado. Es igual a la porosidad del suelo y es el valor de contenido de agua a una presión de cero. GeoStudio utiliza este valor para la estimación de funciones.	m ³ /m ³	-	-	-
DAMPING RATIO (COCIENTE DE AMORTIGUAMIENTO)	ζ	Es una medida adimensional que describe cómo las oscilaciones en un sistema decaen después de una disturbancia. El cociente de amortiguamiento mide qué tan rápido decaen las oscilaciones de un salto a otro.	ADIMENSIONAL	$\zeta = \frac{c}{c_c}$	c = Amortiguamiento actual c_c = Amortiguamiento crítico	-

TIPO DE MATERIAL		PESO UNITARIO (γ) (kN/m ³)	COHESIÓN [C] (kPa)	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (φ) (°)	MÓDULO DE ELASTICIDAD [E] (MPa)	VELOCIDAD ONDA PRIMARIA (Vp) (m/s)	VELOCIDAD ONDA DE CORTE (Vs) (m/s)	PERMEABILIDAD [K] (cm/s)	POROSIDAD (n) %
ROCAS IGNEAS	GRANITO	26.5	5,000 - 55,000	45-50°	28,000 – 49,000	5500 - 6000	3400 - 3600	1x10 ⁻¹⁴ a 1x10 ⁻¹²	1.02 - 2.87
	RIOLITA	23.5-25.5	5,000 - 55,000	35-45°	35,000 – 56,000	5500 - 5800	3300 - 3500	1x10 ⁻¹⁴ a 1x10 ⁻¹²	0.40 - 4.00
	DIORITA	27.5	5,000 - 55,000	40-50°	35,000 – 56,000	5800 - 6200	3200 - 3700	1x10 ⁻¹⁴ a 1x10 ⁻¹²	0.10 - 0.50
	ANDESITA	25-27	5,000 - 55,000	35-45°	42,000 – 63,000	5800 - 6200	3200 - 3700	1x10 ⁻¹⁴ a 1x10 ⁻¹²	0.20 - 8.00
	GABRO	29.5	5,000 - 55,000	40-45°	49,000 – 84,000	6800 - 7200	3700 - 3900	1x10 ⁻¹⁴ a 1x10 ⁻¹²	0 - 3.57
	DIABASA	27-29.4	5,000 - 55,000	35-45°	60,000 – 85,000	5800 - 7100	3500 - 3600	1x10 ⁻¹⁴ a 1x10 ⁻¹²	0.17 - 1.00
	BASALTO	29	5,000 - 55,000	40-42°	49,000 – 90,000	4500 - 6500	2700 - 3200	1x10 ⁻¹⁴ a 1x10 ⁻¹²	0.22 - 2.06
	PERIDOTITA	31.5-33.5	5,000 - 55,000	40-50°	60,000 - 90,000	7800 - 8400	3000 - 4000	1x10 ⁻¹⁴ a 1x10 ⁻¹²	0.17 - 1.00
	TOBA	21.6	5,000 - 40,000	40-55°	2200	2400 - 3300	600 - 2000	1x10 ⁻⁸ a 1x10 ⁻⁶	14.00 - 27.00
ROCAS METAMÓRFICAS	PIZARRA	26.5-27.5	20,000 - 40,000	30-40°	35,000 – 56,000	3500 - 4500	2000 - 3000	1x10 ⁻¹⁴ a 1x10 ⁻¹²	1.84 - 3.64
	ESQUISTO	24.5-28.5	20,000 - 40,000	30-40°	14,000 – 35,000	6200 - 6500	3500 - 3700	1x10 ⁻¹¹ a 1x10 ⁻⁰⁸	10.00 - 30.00
	GNEISS	25.5-28.5	20,000 - 40,000	39-41°	28,000 – 56,000	4400 - 5200	2700 - 3200	1x10 ⁻¹⁴ a 1x10 ⁻¹²	0.32 - 1.16
	CUARCITA	25.5-27.5	20,000 - 40,000	38-40°	42,000 – 56,000	5000 - 6500	3000 - 3800	1x10 ⁻¹⁴ a 1x10 ⁻¹³	0.40 - 0.65
	MÁRMOL	23.4-26.5	20,000 - 40,000	35-40°	49,000 – 70,000	3500 - 6000	2000 - 3500	1x10 ⁻¹⁴ a 1x10 ⁻¹¹	0.65 - 0.81
ROCAS SEDIMENTARIAS	CONGLOMERADO	24.32	10,000 - 20,000	35-45°	7,000 – 50,000	2500 - 5000	<3000	1x10 ⁻¹⁰ a 1x10 ⁻⁰⁸	5.00 - 25.00
	ARENISCA	19.6	10,000 - 30,000	32-36°	7,000 – 21,000	1400 - 4000	2400	1x10 ⁻¹⁰ a 1x10 ⁻⁰⁸	1.62 - 26.40
	LUTITA	24.5	20 - 750	28-39°	3,000 – 14,000	1400 - 3000	2600	1x10 ⁻¹¹ a 1x10 ⁻⁰⁹	10.00 - 30.00
	CALIZA	26.5	20,000 - 30,000	30-38°	14,000 – 42,000	2500 - 6000	3100	1x10 ⁻¹³ a 1x10 ⁻¹⁰	0.27 - 4.10
	MARGA	21.6	40 - 452	15-35°	50 - 150	2000 - 3000	750 - 1500	1x10 ⁻¹¹ a 1x10 ⁻⁰⁹	30.00 - 35.00
	DOLOMÍA	27.5-28.5	25,000 - 35,000	38°	28,000 – 56,000	3500 - 6500	2000 - 3500	1x10 ⁻¹² a 1x10 ⁻¹¹	3.00 - 12.00
	CRETA	20.6	10,000 - 20,000	35°	> 100	2300 - 2600	1100 - 1300	< 1x10 ⁻⁰⁵	20.00 - 40.00
TIPOS DE SUELOS	LIMO GRAVOSO	19	4.0 - 12.0	26-32°	2 – 20	600 - 1500	360-700	1x10 ⁻⁰³	30.00 - 40.00
	ARCILLA GRAVOSA	19.5	6.0 - 14.0	24-30°	8 – 20	1000 - 2000	360-700	1x10 ⁻⁰⁴	32.00 - 45.00
	LIMO ARENOSO	18	8.0 - 16.0	24-29°	2 – 15	600 - 1200	200-400	1x10 ⁻⁰⁴	22.00 - 36.00
	GRAVA BIEN GRADUADA DE DENSIDAD	21	0	36-41°	80 - 120	1100 - 2500	400-760	5	20.00 - 35.00
	GRAVA MAL GRADUADA DE DENSIDAD	20	0	33-38°	70 - 120	1100 - 2500	400-760	3	30.00 - 40.00
	GRAVA LIMOSA	20	0.0 - 8.0	30-35°	30 - 80	1100 - 2500	360-700	0.4	35.00 - 45.00
SUELOS RESIDUALES	LATERITA	20 - 23.5	0.0 - 59.0	22-33°	700 - 1000	800 - 2300	100 - 500	8x10 ⁻⁰⁶	–
	ANDISOL (Foss 1973)	11.5	22.0 - 28.0	36-38°	–	1100 - 2500	300 - 900	1x10 ⁻⁰⁴	–
	RELLENOS	19.5	0.0 - 20.0	25-35°	10 - 100	1000 - 2000	500 - 1200	1x10 ⁻⁷ a 1x10 ⁻³	–
MINERALES	YESO	22.6-27.5	45 - 80	34-35°	5,000	3000 - 4000	1100 - 1400	–	–
	CARBÓN	10.8-13.7	3,000 - 8,000	30-40°	1,000 – 5,000	2200 - 2700	1000 - 1400	1x10 ⁻⁶ a 1x10 ⁻³	–
	SAL DE ROCA	24.6-25.5	–	36-42°	40,000	4500 - 5500	2500 - 3100	–	–
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	CONCRETO	23	27,000	37°	10,000 - 30,000	3000 - 3500	2100	1x10 ⁻¹² a 1x10 ⁻¹⁰	–
	ASFALTO	20.6	200 - 300	34-38°	5,000	700 - 1500	400 - 1000	< 1x10 ⁻⁰⁴	–
ROCA VOLCÁNICA	ROCAS ALTERADAS	20 - 23.5	< 5,000	25 - 35°	< 10,000	< 3000	< 2000	> 1x10 ⁻⁰⁷	–

Anexo 3. Geología de la zona Carta Ontores 23k, fuente: GEOCATMIN

LEYENDA				ROCAS INTRUSIVAS						
				PLUTONICAS	HIPABISALES					
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS							
			CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Dep. Aluviales	Q-al			
						Dep. en Bofedales	Q-bo			
						Dep. Fluvio-glaciares	Q-fg			
						Dep. Morrénicos	Q-mo			
			NEOGENO	Plioceno	Fm. Huaylay	Np-h				
					Volc. Paccococha	Np-p				
				Mioceno	Volc. Caliguy	Volc. Milotingo	Nm-m	Manzoganito	N-mz	
						Grupo Cotzui	Np-cq			
						Volc. Carlos Francisco	Nm-cf			
Fm. Yantac	Pe-y									
PALEOGENO	Oligoceno			Diorita	N-di					
	Eoceno									
MESOZOICO	CRETACEO	Superior	Fm. Casapalca	Kp-ca						
			Fm. Celendin	Ks-ce						
			Fm. Jumasha	Ks-j						
			Fm. Pariatambo	Ki-pt						
			Fm. Chulec	Ki-ch						
			Fm. Pariahuanca	Ki-ph						
		Inferior	Grupo Goyllasurupa	Fm. Farrat	Ki-f					
				Fm. Carhuaz	Ki-c					
				Fm. Santa	Ki-s					
				Fm. Chimú	Ki-chi					
				JURASICO	Inferior	Grupo Pucará	Fm. Condorsinga	Ji-c		
							Fm. Aramachay	Ji-a		
		TRIASICO	Superior		Fm. Chamará	Tr-ch				
		PALEOZOICO	PERMICO	Superior	Grupo Mitu	Ps-m				
					DEVONICO	Grupo Excelior	SD-e			

SIMBOLOGIA			
	Rumbo y buzamiento de estratos		Falla
	Rumbo y buzamiento de estratos invertidos		Falla inversa
	Contacto conocido		Falla inferida
	Contacto inferido		Cono aluvial
	Estratos horizontales		Carretera afirmada
	Estratos verticales		Carretera asfaltada
	Eje de anticlinal		Linea de sección
	Eje de sinclinal		
	Eje de sinclinal inferido		
	Eje de anticlinal inferido		
		RUMBO Y BUZAMIENTO FOTOINTERPRETADO	
			Buzamiento suave (0° - 30°)
			Buzamiento moderado (30° - 60°)
			Buzamiento fuerte (60° - 90°)



Anexo 4. Precipitaciones Pluviales – Estación meteorológica de Pariacancha

Fuente: SENAMHI / DRD
* T = Trazas (Precipitación < 0.1 mm/día).

Estación: PARIACANCHA				
Departamento: LIMA		Provincia: CANTA		Distrito: HUAROS
Latitud: 11°23'36.84"		Longitud: 76°30'9.74"		Altitud: 3854 msnm.
Tipo: PLU - Meteorológica		Código: 111067		
AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/01/2021				0
2/01/2021				0
3/01/2021				0
4/01/2021				6.2
5/01/2021				7.2
6/01/2021				13
7/01/2021				10
8/01/2021				0
9/01/2021				10
10/01/2021				4.4
11/01/2021				12
12/01/2021				5.2
13/01/2021				5.5
14/01/2021				17.3
15/01/2021				5.2
16/01/2021				1
17/01/2021				3.5
18/01/2021				9.3
19/01/2021				7
20/01/2021				7.4
21/01/2021				5
22/01/2021				2.5
23/01/2021				0
24/01/2021				20
25/01/2021				10
26/01/2021				2.9
27/01/2021				12
28/01/2021				7
29/01/2021				10
30/01/2021				5
31/01/2021				10
PROMEDIO:				6.8

Fuente: SENAMHI / DRD
* T = Trazas (Precipitación < 0.1 mm/día).

Estación: PARIACANCHA				
Departamento: LIMA		Provincia: CANTA		Distrito: HUAROS
Latitud: 11°23'36.84"		Longitud: 76°30'9.74"		Altitud: 3854 msnm.
Tipo: PLU - Meteorológica		Código: 111067		
AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/02/2021				5.7
2/02/2021				1.0
3/02/2021				1.5
4/02/2021				2.0
5/02/2021				15.2
6/02/2021				4.5
7/02/2021				0.8
8/02/2021				0
9/02/2021				1.5
10/02/2021				0
11/02/2021				3
12/02/2021				0.4
13/02/2021				0
14/02/2021				0
15/02/2021				0
16/02/2021				0
17/02/2021				0.8
18/02/2021				0
19/02/2021				0
20/02/2021				0
21/02/2021				0
22/02/2021				12
23/02/2021				2.3
24/02/2021				0
25/02/2021				0
26/02/2021				1.5
27/02/2021				5
28/02/2021				4.5
PROMEDIO:				2.3

Fuente: SENAMHI / DRD
* T = Trazas (Precipitación < 0.1 mm/día).

Estación: PARIACANCHA

Departamento: LIMA Provincia: CANTA Distrito: HUAROS
 Latitud: 11°23'36.84" Longitud: 76°30'9.74" Altitud: 3854 msnm.
 Tipo: PLU - Meteorológica Código: 111067

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/03/2021				2.7
2/03/2021				0
3/03/2021				2
4/03/2021				1.1
5/03/2021				8.6
6/03/2021				5
7/03/2021				2.6
8/03/2021				7.6
9/03/2021				7
10/03/2021				1.7
11/03/2021				3.6
12/03/2021				0
13/03/2021				0
14/03/2021				13
15/03/2021				3.6
16/03/2021				4
17/03/2021				13
18/03/2021				0
19/03/2021				0
20/03/2021				5
21/03/2021				1.0
22/03/2021				6
23/03/2021				12.3
24/03/2021				10
25/03/2021				0.5
26/03/2021				0.1
27/03/2021				0.4
28/03/2021				0
29/03/2021				4
30/03/2021				4.8
31/03/2021				12.3
PROMEDIO:				4.7

Fuente: SENAMHI / DRD
* T = Trazas (Precipitación < 0.1 mm/día).

Estación: PARIACANCHA

Departamento: LIMA Provincia: CANTA Distrito: HUAROS
 Latitud: 11°23'36.84" Longitud: 76°30'9.74" Altitud: 3854 msnm.
 Tipo: PLU - Meteorológica Código: 111067

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/04/2021				0
2/04/2021				7.1
3/04/2021				5
4/04/2021				3
5/04/2021				1.9
6/04/2021				11
7/04/2021				0
8/04/2021				6
9/04/2021				1.6
10/04/2021				0
11/04/2021				3.6
12/04/2021				0.3
13/04/2021				3
14/04/2021				0
15/04/2021				2.7
16/04/2021				0
17/04/2021				0
18/04/2021				0
19/04/2021				2.5
20/04/2021				0
21/04/2021				4
22/04/2021				0
23/04/2021				0
24/04/2021				0
25/04/2021				0
26/04/2021				0
27/04/2021				0
28/04/2021				0
29/04/2021				0
30/04/2021				0
PROMEDIO:				1.7

Fuente: SENAMHI / DRD
* T = Trazas (Precipitación = 0.1 mm/día)

Estación: PARIACANCHA

Departamento: LIMA Provincia: CANTA Distrito: HUAROS
 Latitud: 11°23'36.84" Longitud: 76°30'9.74" Altitud: 3884 msnm.
 Tipo: PLU - Meteorológica Código: 111067

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/05/2021				1
2/05/2021				0
3/05/2021				0
4/05/2021				0
5/05/2021				0
6/05/2021				0
7/05/2021				0
8/05/2021				0
9/05/2021				0
10/05/2021				0
11/05/2021				0
12/05/2021				0
13/05/2021				0
14/05/2021				0
15/05/2021				0
16/05/2021				0
17/05/2021				0
18/05/2021				0
19/05/2021				0
20/05/2021				0
21/05/2021				0
22/05/2021				0
23/05/2021				3.5
24/05/2021				0
25/05/2021				0
26/05/2021				0
27/05/2021				0
28/05/2021				0
29/05/2021				0
30/05/2021				0
31/05/2021				0
PROMEDIO:				0.1

Fuente: SENAMHI / DRD
* T = Trazas (Precipitación < 0.1 mm/día)

Estación: PARIACANCHA

Departamento: LIMA Provincia: CANTA Distrito: HUAROS
 Latitud: 11°23'36.84" Longitud: 76°30'9.74" Altitud: 3884 msnm.
 Tipo: PLU - Meteorológica Código: 111067

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/06/2021				0
2/06/2021				0
3/06/2021				0
4/06/2021				0
5/06/2021				0
6/06/2021				0
7/06/2021				0
8/06/2021				0
9/06/2021				0
10/06/2021				0
11/06/2021				0
12/06/2021				0
13/06/2021				0
14/06/2021				0
15/06/2021				0
16/06/2021				0
17/06/2021				0
18/06/2021				0
19/06/2021				0
20/06/2021				0
21/06/2021				0
22/06/2021				0
23/06/2021				0
24/06/2021				0
25/06/2021				0
26/06/2021				0
27/06/2021				0
28/06/2021				0
29/06/2021				0
30/06/2021				0
PROMEDIO:				0.0

Anexo 5. Clasificación del material excedente

INFORME		Código	AB-PO-01
 <p style="text-align: center;">ENSAYOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS</p>		Versión	01
		Fecha	07-05-2018
		Nombre	1 de 1

Proyecto	: Análisis de estabilidad de taludes mediante el método de equilibrio límite para prevenir deslizamientos durante la expansión de un depósito de minerales en minas a cielo abierto, La Libertad 2021	Registro N°	L21-013-01
Solicitante	: Rogger Danny Salvatierra Torres	Mediado por	Ingecocontrol
Cliente	: Rogger Danny Salvatierra Torres	Elaborado por	B. Meigar
Ubicación de Proyecto	: Junín	Fecha de Ensayo	7/04/2021
Material	: Material excedente de mina	Turno	Duena

Tramo	---	Profundidad	---
Sondaje / Calicata	---	Norte	---
N° de Muestra	---	Este	---
Progresiva	---	Cota	---

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PORCENTAJE QUE PASA
3"	76.200	94.1
2"	50.800	87.8
1 1/2"	38.100	78.0
1"	25.400	68.0
3/4"	19.000	56.7
3/8"	9.500	32.4
N° 4	4.750	16.7
N° 10	2.000	14.8
N° 20	0.840	11.9
N° 40	0.425	9.7
N° 60	0.250	8.6
N° 100	0.150	7.3
N° 140	0.106	6.8
N° 200	0.075	6.3



CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	12.9
MÉTODO DE SECADO	Horno a 110 ± 0.5°C
MÉTODO DE REPORTE	"B"
MATERIALES EXCLUIDOS	Ninguno

PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE MUESTRA	"Secado al horno a 110 ± 0.5°C"
PROCEDIMIENTO DE TAMIZADO	Tamizado Integral
TAMIZ SEPARADOR	Ninguno
MÉTODO DE REPORTE DE RESULTADOS	"B"

LÍMITE LÍQUIDO	35
LÍMITE PLÁSTICO	25
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	10
ÍNDICE DE CONSISTENCIA (Ic)	2.2
ÍNDICE DE LIQUIDEZ (IL)	-1.2
MÉTODO DE ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO	Multipunto

CONTENIDO DE GRAVA PRESENTE EN EL SUELO %	83.3
CONTENIDO DE ARENA PRESENTE EN EL SUELO %	10.4
CONTENIDO DE FINOS PRESENTES EN EL SUELO %	6.3

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	GP-GM
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	A-2-4
NOMBRE DEL GRUPO	Grava pobremente graduada con fino

<p>AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:</p> <p>Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.</p> <p>Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.</p> <p>La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.</p>	<p>REVISADO POR</p> <p>Nombre y firma:</p>  <p>Luis A. Meigar Angeles Jefe de Laboratorio INGEOCONTROL</p>	<p>AUTORIZADO POR</p> <p>Nombre y firma:</p>  <p>Arnaldo Perez Coscco CIP: 190140 Gerente Técnico</p>
---	---	--

Anexo 6. Panel fotográfico



Figura 41. *Vista frontal de la estructura*

Fuente. Elaboración Propia



Figura 42. *Vista del material de la estructura (predominancia GP – GM)*

Fuente. Elaboración Propia



Figura 43. *Roca Arenisca alterada*

Fuente. Elaboración propia



Figura 44. *Roca Volcánica alterada*

Fuente. Elaboración propia



Figura 45. *Muestra de la Roca Arenisca*

Fuente. Elaboración propia



Figura 46. *Muestra de la Roca volcánica*

Fuente. Elaboración propia

Anexo 7. Validador Experto

Informe del Validador Experto

Validado por:

Nombres y Apellidos	SALVATIERRA CABELLO, ALBERTO RAÚL
Tipo de Validador	Externo
Profesión	Ingeniero Geólogo
Grado Académico	Magister en Ingeniería
Experiencia laboral	Más de 10 años
DNI	23276410
N° de colegiatura	064234

Datos personales:

Trabajo actual	Constructora Málaga Hnos. S.A
Cargo que desempeña	Especialista de campo
Área de especialización	Ingeniero Geólogo - Geotécnista
Número de teléfono de contacto	945334496
Correo electrónico de contacto	geobbeto@hotmail.com



ALBERTO RAÚL
SALVATIERRA CABELLO
INGENIERO GEÓLOGO

.....Reg. CIP. N° 64234.....

ALBERTO RAÚL SALVATIERRA CABELLO

DNI N° 23276410

Anexo 8. Normativa para Ensayos de suelos

NORMA E.050

SUELOS Y CIMENTACIONES

CAPÍTULO 1 GENERALIDADES

Artículo 1.- OBJETIVO

El objetivo de esta Norma es establecer los requisitos para la ejecución de Estudios de Mecánica de Suelos (EMS), con fines de cimentación, de edificaciones y otras obras indicadas en esta Norma. Los EMS se ejecutarán con la finalidad de asegurar la estabilidad y permanencia de las obras y para promover la utilización racional de los recursos.

* Ver Glosario

Artículo 2.- ÁMBITO DE APLICACIÓN

El ámbito de aplicación de la presente Norma comprende todo el territorio nacional.

Las exigencias de esta Norma se consideran mínimas. La presente Norma no toma en cuenta los efectos de los fenómenos de geodinámica externa y no se aplica en los casos que haya presunción de la existencia de ruinas arqueológicas; galerías u oquedades subterráneas de origen natural o artificial. En ambos casos deberán efectuarse estudios específicamente orientados a confirmar y solucionar dichos problemas.

n = Número de golpes por cada 0,10 m de penetración mediante auscultación con DPL.
 q_c = Resistencia de punta del cono en unidades de presión.
 f = Fricción en el manguito.
 S_t = Sensitividad.
 (3) Sólo para suelos finos saturados, sin arenas ni gravas.
 (4) Ver Tabla 3.

Nota. Ver títulos de las Normas en la Tabla 2.

10.3. Correlación entre ensayos y propiedades de los suelos

En base a los parámetros obtenidos en los ensayos «in situ» y mediante correlaciones debidamente comprobadas, el **PR** puede obtener valores de resistencia al corte no drenado, ángulo de fricción interna, relación de pre-consolidación, relación entre asentamientos y carga, coeficiente de balasto, módulo de elasticidad, entre otros.

10.4. Tipos de Muestras

Se considera los cuatro tipos de muestras que se indican en la Tabla N° 4, en función de las exigencias que deberán atenderse en cada caso, respecto del terreno que representan.

TABLA N° 4				
TIPO DE MUESTRA	NORMA APLICABLE	FORMAS DE OBTENER Y TRANSPORTAR	ESTADO DE LA MUESTRA	CARACTERÍSTICAS
Muestra inalterada en bloque (Mib)	NTP 339.151 (ASTM D4220) Prácticas Normalizadas para la Preservación y Transporte de Muestras de Suelos	Bloques	Inalterada	Debe mantener inalteradas las propiedades físicas y mecánicas del suelo en su estado natural al momento del muestreo (Aplicable solamente a suelos cohesivos, rocas blandas o suelos granulares finos suficientemente cementados para permitir su obtención).
Muestra inalterada en tubo de pared delgada (Mit)	NTP 339.169 (ASTM D1587) Muestreo Geotécnico de Suelos con Tubo de Pared Delgada	Tubos de pared delgada	Inalterada	Debe mantener inalteradas las propiedades físicas y mecánicas del suelo en su estado natural al momento del muestreo (Aplicable solamente a suelos cohesivos, rocas blandas o suelos granulares finos suficientemente cementados para permitir su obtención).
Muestra alterada en bolsa de plástico (Mab)	NTP 339.151 (ASTM D4220) Prácticas Normalizadas para la Preservación y Transporte de Muestras de Suelos	Con bolsas de plástico	Alterada	Debe mantener inalterada la granulometría del suelo en su estado natural al momento del muestreo.
Muestra alterada para humedad en lata sellada (Mah)	NTP 339.151 (ASTM D4220) Prácticas Normalizadas para la Preservación y Transporte de Muestras de Suelos	En lata sellada	Alterada	Debe mantener inalterado el contenido de agua.

10.5. Ensayos de Laboratorio

Se realizarán de acuerdo con las normas que se indican en la Tabla N° 5

TABLA N° 5
ENSAYOS DE LABORATORIO

ENSAYO	NORMA APLICABLE
Contenido de Humedad	NTP 339.127 (ASTM D2216)
Análisis Granulométrico	NTP 339.128 (ASTM D422)
Límite Líquido y Límite Plástico	NTP 339.129 (ASTM D4318)
Peso Específico Relativo de Sólidos	NTP 339.131 (ASTM D854)
Clasificación Unificada de Suelos (SUCS)	NTP 339.134 (ASTM D2487)
Densidad Relativa *	NTP 339.137 (ASTM D4253) NTP 339.138 (ASTM D4254)
Peso volumétrico de suelo cohesivo	NTP 339.139 (BS 1377)
Límite de Contracción	NTP 339.140 (ASTM D427)
Ensayo de Compactación Proctor Modificado	NTP 339.141 (ASTM D1557)
Descripción Visual-Manual	NTP 339.150 (ASTM D2488)
Contenido de Sales Solubles Totales en Suelos y Agua Subterránea	NTP 339.152 (BS 1377)
Consolidación Unidimensional	NTP 339.154 (ASTM D2435)
Colapsabilidad Potencial	NTP 339.163 (ASTM D6333)
Compresión Triaxial no Consolidado no Drenado	NTP 339.164 (ASTM D2850)
Compresión Triaxial Consolidado no Drenado	NTP 339.166 (ASTM D4767)
Compresión no Consolidada	NTP 339.167 (ASTM D2166)
Expansión o Asentamiento Potencial Unidimensional de Suelos Cohesivos	NTP 339.170 (ASTM D4546)
Corte Directo	NTP 339.171 (ASTM D3080)
Contenido de Cloruros Solubles en Suelos y Agua Subterránea	NTP 339.177 (AASHTO T291)
Contenido de Sulfatos Solubles en Suelos y Agua Subterránea	NTP 339.178 (AASHTO T290)

* Debe ser usada únicamente para el control de rellenos granulares.

10.6. Compatibilización de perfiles estratigráficos

En el laboratorio se seleccionarán muestras típicas para ejecutar con ellas ensayos de clasificación. Como resultado de estos ensayos, las muestras se clasificarán, en todos los casos de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos – SUCS NTP 339.134 (ASTM D 2487) y los resultados de esta clasificación serán comparados con la descripción visual – manual NTP 339.150 (ASTM D 2488) obtenida para el perfil estratigráfico de campo, procediéndose a compatibilizar las diferencias existentes a fin de obtener el perfil estratigráfico definitivo, que se incluirá en el informe final.

Artículo 11.- PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN

11.1. Generalidades

Un programa de investigación de campo y laboratorio se define mediante:

- Condiciones de frontera.
- Número n de puntos a investigar.
- Profundidad p a alcanzar en cada punto.
- Distribución de los puntos en la superficie del terreno.
- Número y tipo de muestras a extraer.
- Ensayos a realizar «in situ» y en el laboratorio.

Un **EMS** puede plantearse inicialmente con un **PIM** (Programa de Investigación Mínimo), debiendo aumentarse los alcances del programa en cualquiera de sus partes si las condiciones encontradas así lo exigieran.

11.2. Programa de Investigación Mínimo - PIM

El Programa de Investigación aquí detallado constituye el programa mínimo requerido por un **EMS**, siempre y cuando se cumplan las condiciones dadas en el Artículo 11 (11.2a).

De no cumplirse las condiciones indicadas, el **PR** deberá ampliar el programa de la manera más adecuada para lograr los objetivos del **EMS**.

a) Condiciones de Frontera

Tienen como objetivo la comprobación de las características del suelo, supuestamente iguales a las de los terrenos colindantes ya edificados. Serán de aplicación cuando se cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

Anexo 9. Normativa para Taludes

NORMA CE.020

SUELOS Y TALUDES

1. GENERALIDADES

Los suelos con poca capacidad de carga o susceptibles a los asentamientos, requieren ser estabilizados, ya sea cuando se realizan excavaciones o cuando se alteran las condiciones de equilibrio de los taludes, puesto que se produce inestabilidad, poniendo en riesgo la vida humana, los bienes materiales y el ambiente.

2. OBJETIVO

Establecer las consideraciones técnicas mínimas, para el mejoramiento requerido de la resistencia de los suelos y de la estabilidad de taludes, mediante métodos químicos, mecánicos o de modificación topográfica.

3. CAMPO DE APLICACION

La presente norma es obligatoria para todo el territorio nacional. Se exige su aplicación a todos los Estudios de Estabilización de Suelos y Taludes para las obras de ingeniería civil.

La presente norma considera exigencias mínimas, sin ser limitativo para los estudios de evaluación y mitigación de los riesgos de deslizamientos de laderas o taludes brindando un enfoque ambiental orientado a la Gestión de Riesgos.

La presente norma toma en cuenta los fenómenos de geodinámica externa, así como el control de la erosión de los taludes.

La presente norma no se aplica en los casos que haya presunción de existencia de ruinas arqueológicas, patrimonios históricos, reservas naturales, galerías u oquedades subterráneas de origen natural o artificial; en cuyos casos se deberán efectuar estudios específicos orientados a evaluar y solucionar dichos problemas.

4. REFERENCIAS NORMATIVAS

Las siguientes referencias contienen disposiciones que al ser citadas en este texto constituyen requisitos de la presente Norma. Las mismas que deberán ser de la edición vigente.

- NTP 341.127:1975 Planchas gruesas de acero al carbono para servicio a temperaturas medianas y bajas para recipiente a presión.
- NTP 334.113:2002 Método de Ensayo para la determinación del cambio de longitud de barras de mortero, debido a la reacción entre el Cemento Portland y los agregados álcali – reactivos.
- NTP 334.125:2002 Cal viva y cal hidratada para Estabilización de Suelos.

- NTP 339.127:1998 SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.
- NTP 339.128:1999 SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico.
- NTP 339.129:1999 SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.
- NTP 339.133:1999 SUELOS. Método de ensayo de penetración estándar SPT.
- NTP 339.134:1999 SUELOS. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS).
- NTP 339.135:1999 SUELOS. Método para la clasificación de suelos para uso en vías de transporte.
- NTP 339.136:1999 SUELOS. Símbolos, terminologías y definiciones.
- NTP 339.141:1999 SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando un energía modificada (2700 KN-m/m³ (56000pie.lbf/pie³).
- NTP 339.142:1999 SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía estándar (600 KN-m/m³)12400 pie-lbf/pie³).
- NTP 339.143:1999 SUELOS. Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in situ mediante el método del cono de arena.
- NTP 339.145:1999 SUELOS. Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio.
- NTP 339.146:2000 SUELOS. Método de prueba estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino.
- NTP 339.150:2001 SUELOS. Descripción e identificación de suelos. Procedimiento visual – manual.
- NTP 339.152:2002 SUELOS. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelos y agua subterránea.
- NTP 339.153:2001 SUELOS. Método de ensayo normalizado para la capacidad portante del suelo por carga estática y para cimientos aislados.
- NTP 339.159:2001 SUELOS. Método de ensayo normalizado para la auscultación con penetrómetro dinámico ligero de punta cónica (DPL).
- NTP 339.167:2002 SUELOS. Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos.
- NTP 339.171:2002 SUELOS. Método de ensayo normalizado para el ensayo de corte directo en suelos bajo condiciones consolidadas no drenadas.