

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**“EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DEL TALUD, PARA
GARANTIZAR LA ESTABILIDAD DEL TAJO SUPERFICIAL RAÚL ROJAS EN LA
UNIDAD MINERA CERRO DE PASCO COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A. 2022”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR EL BACHILLER: ALBERT JEFFERSON ESPINOZA BULEJE

ASESOR: DR. ING. VICTOR F. FLORES MORENO

AYACUCHO - PERÚ
2023

DEDICATORIA

En primer lugar, mi mayor gratitud y agradecimiento a Dios, por permitirme disfrutar de la vida y sus grandes oportunidades.

A mis padres Rafael y Maritza, por su infinito apoyo y enseñanzas, que forjaron en mí el espíritu de perseverancia.

A la universidad por cobijarme en su aula y a mis docentes por impartirme los conocimientos que de ahora en adelante me permitirán desarrollarme como ingeniero.

AGRADECIMIENTO

A mi alma máter la UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA, por la acogida durante los años de permanencia como estudiante.

A la UNIDAD MINERA CERRO DE PASCO, por permitirme recolectar datos y conocimientos para la elaboración de este trabajo de investigación.

Mi más grande agradecimiento a mi asesor Dr. Ing. Víctor F. Flores Moreno, por sus consejos y guía en todo el proceso de elaboración de esta tesis.

A mi enamorada y familiares por su apoyo incondicional, durante toda mi etapa académica.

Gracias.

RESUMEN

La investigación, presentada lleva por título **“EVALUACION DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DEL TALUD, PARA GARANTIZAR LA ESTABILIDAD DEL TAJO SUPERFICIAL RAÚL ROJAS EN LA UNIDAD MINERA CERRO DE PASCO COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A., 2022”** tiene por objetivo Realizar un estabilidad de taludes en las excavaciones mineras a cielo abierto, por ello se estudia la geometría final de la labor todo esto utilizando el método propuesto para determinar los parámetros geométricos de taludes óptimos para garantizar la estabilidad del tajo somero en el área minera de la unidad minera Cerro de Pasco Raúl Rojas. Los taludes estudiados estaban constituidos por materiales granulares, especialmente arena. Basado en una investigación geotécnica integral del material de la superficie del tajo, que incluyó muestras de taludes representativos y pruebas de laboratorio para caracterizar el subsuelo y determinar los parámetros de resistividad apropiados.

Los resultados obtenidos concuerdan con los datos de estudios previos y observaciones de campo, que confirman la adecuación del método de trabajo adoptado en este estudio y determinan los parámetros óptimos de diseño geométrico del talud para garantizar su estabilidad.

INDICE

PORTADA
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iiii
RESUMEN	iiv
INDICE	viii
INDICE DE TABLAS	x
INDICE DE FIGURAS	xi
INTRODUCCION	1
CAPITULO I.....	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1.Descripción de la realidad problemática	2
1.2.Formulación de problema.....	3
1.2.1.Problema general.....	3
1.2.2.Problema específico	3
1.3.Justificación del problema.....	3
1.4.Hipótesis de la investigación.....	4
1.4.1.Hipótesis general	4
1.4.2.Hipótesis específicas	4
1.5.Objetivos de la investigación	4
1.5.1.Objetivo general	4
1.5.2.Objetivo específico.....	4
1.6.Alcance.....	5
1.7.Matriz de consistencia.....	6
CAPITULO II	7
MARCO TEORICO	7
2.1.Antecedentes de la investigación	7
2.2.Generalidades de la mina	9
2.3.Marco teórico	11
2.3.1.Matriz rocosa.....	12
2.3.2.Macizo rocoso.	12

2.3.3.Propiedades físicas de la roca.....	13
2.3.4.Propiedades mecánicas de la roca	13
2.3.5.Taludes	14
2.3.5.1.Geometría del talud en mina	15
2.3.5.1.1.Altura de banco (hb).....	16
2.3.5.1.2.Ángulo de banco (ab).....	16
2.3.5.1.3.Ancho de berma (B).....	16
2.3.5.1.4.Altura interrampa (hr)	17
2.3.5.1.5.Ángulo interrampa (ar).....	17
2.3.5.1.6.Ancho de rampa (br)	18
2.3.5.1.7.Ángulo global (ao)	18
2.3.5.1.8.Altura global (ho)	19
2.3.6.Suelos	19
2.3.7.Propiedades de los suelos y su determinación.....	20
2.3.7.1.Distribución granulométrica.....	20
2.3.7.2.Estados de consistencia	21
2.3.8.Clasificación de suelos	22
2.3.8.1.Clasificación general de Casagrande modificada.....	22
2.3.9.Tipos de fallas en deslizamientos rotacionales.....	23
2.3.10.Estabilización por modificación de la geometría	24
2.3.11.Resistencia al corte.....	25
2.3.11.1.Criterio de rotura de Mohr Coulomb.....	25
2.3.12.Método de análisis de estabilidad de taludes	26
2.3.13.Método de equilibrio límite.....	27
2.3.13.1.Factor de seguridad	27
2.3.13.2.Métodos para determinar el factor de seguridad	29
2.3.14.Métodos numéricos	31
2.3.14.1.Condiciones pseudoestático de taludes	
2.4.Definición de términos básicos	32
CAPITULO III	34
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	34

3.1.Método y alcance de la investigación.....	34
3.2.Tipo de investigación	34
3.3.Nivel de la investigación	34
3.4.Método de investigación	35
3.5.Diseño de la investigación.....	35
3.6.Población y muestra	36
3.6.1.Población.....	36
3.6.2.Muestra.....	36
3.6.3.Muestreo.....	36
3.7.VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
3.7.1.Variable independiente.....	36
3.7.2.Variable dependiente.....	36
3.8.Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	37
3.8.1.Técnicas de recolección de datos	37
3.8.2.Instrumentos para procesamiento de datos.....	37
3.9.Equipos utilizados de recolección y procesamiento de datos.....	39
3.9.1.Procedimiento de ensayos	42
3.10.Programas utilizados para el procesamiento de datos.....	43
CAPITULO IV	44
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
4.1.Parámetros geotécnicos	44
4.1.1.Ensayos.....	44
4.1.2.Parámetros geotécnicos	45
4.2.Procedimiento para ingreso de parámetros al software geotécnico	48
4.3.Análisis de estabilidad en condiciones actuales	50
4.3.1.perfil evaluado para el análisis de estabilidad.....	50
4.3.2.Análisis de estabilidad en condiciones actuales.....	50
4.4.Determinación de los parámetros geométricos óptimos del talud.....	55
4.4.1.Determinación de la altura del talud.....	55
4.4.2.Determinación del ancho de berma del talud.....	59
4.4.3.Determinación del ángulo del talud.....	59

4.4.4.Análisis de estabilidad.....	59
Resultados por el método de Fellenius.....	59
Resultados por el método Spencer	62
4.4.5.Determinación del ángulo interrampa del talud	65
4.4.6.Determinación del ángulo global del talud.....	66
4.4.7.Determinación de la altura global del talud	67
CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFIA.....	72

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación granulométrica de los suelos	21
Tabla 2. Símbolos de grupo SUCS.....	23
Tabla 3. Criterios de aceptabilidad típicos para F.S estático y pseudoestático	29
Tabla 4. Técnicas de investigación.....	37
Tabla 5. Muestras de investigación	44
Tabla 6. Parámetros geotécnicos	45
Tabla 7. Factor de suelo Perú	52
Tabla 8. Resultados de los análisis del talud actual	54
Tabla 9. Resultados de los factores de seguridad por el método Fellenius	60
Tabla 10. Resultados de los factores de seguridad por el método Spencer.....	63

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la U.E.A. Cerro de Pasco	10
Figura 1. Diagrama del diámetro equivalente y el factor de correlación por tamaño	14
Figura 2. Talud de excavación minera	15
Figura 3. Parámetros geométricos de un talud en mina	16
Figura 4. Ángulo interrampa	17
Figura 5. Diagrama de Feret.....	20
Figura 6. Curva granulométrica de un suelo	21
Figura 7. Límites de Atterberg	22
Figura 8. Tipos de fallas en deslizamientos rotacionales	24
Figura 9. Métodos de estabilización de taludes por excavación	24
Figura 10. Círculo de Mohr y envolvente de falla	26
Figura 11. Métodos de cálculo de estabilidad de taludes	27
Figura 12. Ejemplo de factores de seguridad aceptables.....	28
Figura 13. Fuerza sobre la dovela para el método de Bishop.	30
Figura 14. Estabilidad de Taludes Método Bishop.	31
Figura 15. Análisis pseudoestático de equilibrio límite para una falla curva.....	32
Figura 17. Taladro diamantino para suelos y concreto	40
Figura 18. Taladro diamantino para suelos y concreto	41
Figura 19. Ensayo de corte directo consolidación – drenada.....	42
Figura 20. Esquema de ensayo de corte directo	45
Figura 21. Análisis granulométrico	46
Figura 22. Ensayo de corte directo.....	47
Figura 23. Ensayo de corte directo.....	48

Figura 24. Datos de entrada al software geotécnico.....	49
Figura 25. Vista del perfil estratigráfico A - A	50
Figura 26. Factor de seguridad del talud actual por el método Fellenius en condiciones estáticas	51
Figura 27. Factor de seguridad del talud actual por el método Spencer en condiciones estáticas	51
Figura 28. Factor de seguridad del talud actual por el método Fellenius en condiciones pseudoestáticas	53
Figura 29. Factor de seguridad del talud actual por el método Spencer en condiciones pseudoestáticas.....	54
Figura 30. Ficha de producto de Caterpillar 950 F.....	56
Figura 31. Ficha técnica cargador frontal CAT 950F	57
Figura 32. Ficha técnica retroexcavadora sobre ruedas WB93R	58
Figura 33. Resultados por el método Fellenius	61
Figura 34. Talud óptimo seleccionado por el método Fellenius en condiciones estáticas	61
Figura 35. Talud óptimo seleccionado por el método Fellenius en condiciones pseudoestáticas	62
Figura 36. Resultados por el método Spencer.....	64
Figura 37. Talud óptimo seleccionado por el método Spencer en condiciones estáticas..	64
Figura 38. Talud óptimo seleccionado por el método Spencer en condiciones pseudoestáticas	65

INTRODUCCION

El análisis de la estabilidad de taludes no es una tarea fácil. Variables como la geometría de la pendiente, nivel freático, fuerza sísmica, capa de suelo y su resistencia al corte. Proporcionan varias combinaciones de fuerzas y resistencias que serán evaluadas, pero el objetivo del proyecto de investigación es combinar estas variables y controlarlas mediante un método que garantice su estabilidad cuando se aplique. Los siguientes temas resumen todos estos aspectos.

“El Capítulo 1 describe el tema, formula preguntas generales y específicas, así como los objetivos y la justificación del proyecto”.

“El capítulo 2 proporciona una revisión bibliográfica en los antecedentes de los temas tratados, así como describe la conceptualización de los aspectos generales de los parámetros utilizados en el desarrollo del proyecto”.

“El Capítulo 3 explica varios aspectos relacionados con la metodología utilizada en este proyecto”.

“La Sección 4 presenta los resultados obtenidos. Finalmente, el apartado Conclusiones y propuestas presenta las principales conclusiones y propuestas de este trabajo”.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

En el Perú tiene una larga historia en la producción de minerales metálicos y fue uno de los primeros productores de varios metales en el mundo debido a la gran riqueza geológica que se encuentra en sus tierras. Por otro lado, los minerales no metálicos, también conocidos como minerales industriales, forman parte del potencial minero que se encuentra en el Perú, el cual se ha incrementado en más de un 250% desde el 2008 hasta la actualidad, y estos minerales son: boratos, tierra de diatomeas, selenio y andaluza. Otros minerales no metálicos que podrían aumentar la producción incluyen yeso, talco, piedra caliza y mármol travertino. En la actualidad, las empresas mineras que utilizan estos minerales no metálicos no cuentan con los conocimientos de investigación necesarios para los procedimientos de construcción, debido a que todos estos recursos se encuentran muy por debajo de la superficie de la tierra, por lo que se deben utilizar métodos de minería. En el área de trabajo, en el caso de fracturas abiertas, el principal problema es la altura y la pendiente del talud, ya que después de una labor de excavación difícil para encontrar la beta del yacimiento, se debe continuar con la excavación para aumentar la extracción mineral, pero el perfil del corte de talud presenta una pendiente leve, lo que provoca la inestabilidad del talud y amenaza la vida de los trabajadores por derrumbes y desprendimientos de rocas. De esta manera, nuestra investigación mejorará el proceso de construcción de taludes basados en un diseño óptimo de tajo abierto, permitiendo una extracción de minerales más rápida y eficiente, al mismo tiempo que ayuda a las empresas que realizan esta actividad a reducir costos. Los riesgos de resbalones y caídas y los accidentes evitan pérdidas humanas y económicas.

1.2. Formulación de problema

1.2.1. Problema general

¿Será posible determinar los parámetros geométricos óptimos del talud para garantizar la estabilidad del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022?

1.2.2. Problema específico

- ¿De qué manera el comportamiento del suelo permite determinar el ángulo de banco óptimo del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022?
- ¿Cómo la determinación de los parámetros geométricos óptimos del talud influyen en la estabilidad global del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022?
- ¿Cómo reducir los riesgos de deslizamientos en el talud del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022?

1.3. Justificación del problema

“La presente tesis permitirá ampliar los conocimientos ingenieriles, ya que está enfocado en la experiencia y aplicación de los conocimientos específicos en el campo laboral, las razones mencionadas son las que me permiten impulsar el desarrollo del presente proyecto de investigación”.

1.4. Hipótesis de la investigación

1.4.1. Hipótesis general

A partir de los parámetros geométricos óptimos del talud es posible garantizar la estabilidad del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Estudiando el comportamiento del suelo se determinará el ángulo de banco óptimo para el tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022.
- Al determinar los parámetros geométricos óptimos del talud se conseguirá la estabilidad global del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022.
- Al determinar los parámetros geométricos óptimos del talud para el tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022, se reducirán los riesgos de deslizamientos

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo general

Determinar los parámetros geométricos óptimos del talud para garantizar la estabilidad del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022.

1.5.2. Objetivo específico

- Conocer de qué manera el comportamiento del suelo permite determinar el ángulo de banco óptimo del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022.

- Evaluar como la determinación de los parámetros geométricos óptimos del talud influyen en la estabilidad global del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022.
- Reducir los riesgos de deslizamientos en el talud del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022.

1.6. Alcance

La importancia de esta investigación radica en que contribuirá de manera significativa en la estabilidad de del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A haciendo uso de parámetros geotécnicos, Asimismo, servirá como referencia para otros proyectos semejantes.

1.7. Matriz de consistencia

Título: “EVALUACION DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DEL TALUD, PARA GARANTIZAR LA ESTABILIDAD DEL TAJO SUPERFICIAL RAÚL ROJAS EN LA UNIDAD MINERA CERRO DE PASCO COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A. 2022”

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables
¿Será posible determinar los parámetros geométricos óptimos del talud para garantizar la estabilidad del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022?	Determinar los parámetros geométricos óptimos del talud para garantizar la estabilidad del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022.	A partir de los parámetros geométricos óptimos del talud es posible garantizar la estabilidad del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022.	
Problema Especifico	Objetivo Especifico	Hipótesis Especifico	
<ul style="list-style-type: none"> ¿De qué manera el comportamiento del suelo permite determinar el ángulo de banco óptimo del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022? ¿Como la determinación de los parámetros geométricos óptimos del talud influyen en la estabilidad global del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022? ¿Cómo reducir los riesgos de deslizamientos en el talud del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022? 	<ul style="list-style-type: none"> Conocer de qué manera el comportamiento del suelo permite determinar el ángulo de banco óptimo del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022. Evaluar como la determinación de los parámetros geométricos óptimos del talud influyen en la estabilidad global del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022. Reducir los riesgos de deslizamientos en el talud del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022. 	<ul style="list-style-type: none"> Estudiando el comportamiento del suelo se determinará el ángulo de banco óptimo para el tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022. Al determinar los parámetros geométricos óptimos del talud se conseguirá la estabilidad global del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022. Al determinar los parámetros geométricos óptimos del talud para el tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022, se reducirán los riesgos de deslizamientos 	<p>Variable independiente:</p> <p>Evaluación de los parámetros geométricos del talud</p> <p>Variable dependiente:</p> <p>Estabilidad del tajo superficial Raúl Rojas</p>

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación

- a) (MENDOZA, 2016) En la tesis "Análisis de Estabilidad de Taludes Altos en Mina Antapalca" presenta un estudio para calcular factores de seguridad y determinar parámetros de diseño para taludes altos por encima de 100 m en la Mina Antapalca. Para el método se seleccionó la fracción que superaba levemente los criterios de aceptación, $F.S > 1.3$ en condiciones estáticas y $F.S > 1.0$ en condiciones pseudoestáticas. Estos estudios se llevan a cabo en condiciones de equilibrio límite. El método utilizado para calcular el factor de seguridad fue el de Bishop, Spencer y Morgenster-Price; cabe señalar que para el cálculo se recolectaron 6 muestras de suelo de diferentes zonas del área de estudio; los ensayos básicos utilizados en el laboratorio fueron: humedad, densidad, límite de consistencia, tamaño de grano, permeabilidad, corte directo, con el objetivo de determinar sus principales características geotécnicas; finalmente se determinaron los siguientes parámetros geométricos: ángulo de inclinación 37° , ángulo global 28° , 10 m. El banco tiene 4,2 metros de altura y la pendiente también incluye una plataforma de 20 metros de ancho. En condiciones estáticas, los factores de seguridad mínimos a nivel de banco son 1937 y 1419, respectivamente, mientras que en condiciones pseudoestáticas son 1525 a nivel de banco y 1084 a nivel global.
- b) (LOPEZ, 2016) En la tesis "Investigación geotécnica y diseño del talud final de una mina a cielo abierto mediante un modelo numérico" analiza la estabilidad del talud del extremo este de un tajo de caolín en Francia, superior a 45° . Los métodos utilizados incluyen realizar análisis computacionales utilizando un software especializado, realizar trabajos modelado geotécnico, en esta etapa utilizando la información obtenida del objeto (objeto) obtenida

durante el trabajo de levantamiento geotécnico. un pozo Para el trabajo de laboratorio se realizaron ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas de las rocas. Finalmente, se utilizó el método de equilibrio límite (Janbu) para calcular la estabilidad de taludes utilizando un software especializado, y así se obtuvo un diseño de talud de 60° , haciéndolo estable para cada dominio estructural identificado en la mina.

- c) (MORALES & VALIENTE, 2017) En la tesis “Evaluación Geotécnica de Inestabilidad de Taludes”. Estudio de Caso: Institución Social Jardín de Infantes Lipaya, Municipio de Barranquilla”. Análisis Geotécnico de Inestabilidad de Taludes del Jardín social de Lipaya ubicado en el suroeste de la ciudad de Barranquilla. Analizar el factor de seguridad utilizando el método de equilibrio límite para determinar el nivel de riesgo en un área y diseñar conceptualmente su mitigación y control. Los factores de seguridad derivados de 26 estudios hasta la fecha oscilan entre 0,8 y 1,3 para cada método.
- d) (SALAS, 2011) En la tesis "Análisis de Estabilidad del Diseño del Tajo del Proyecto Angostura en Santander, Colombia". Este trabajo corresponde a la determinación de las características geotécnicas y ángulos de buzamiento de la mina Franke, ubicada en la comuna de Altamira en el extremo sur de la Región de Antofagasta, 52 km al noreste. de El Salvador Se ha realizado una revisión de los métodos de clasificación geotécnica y luego se ha seleccionado el método GSI a utilizar. Utilizando técnicas de caracterización, las zonas geotécnicas también se zonificaron en la mina con base en la orientación estructural determinada por la distribución GSI. Identificar parámetros de clasificación importantes para realizar diferentes análisis en 14 perfiles distribuidos en el frente de la mina: perfil inclusivo, determinista, probabilístico y rotacional. Luego, utilizando un software especial, se realizan simulaciones para cada sección de acuerdo con los modos de falla identificados,

con el fin de analizar la posibilidad de aumentar el ángulo de pendiente proporcionado por la técnica de sección desarrollada anteriormente.

- e) (THOMAS, 2014) En la tesis "Estudio comparativo de los requisitos de soporte y protección de túneles determinados por métodos empíricos y analíticos y numéricos según la clasificación geomecánica" "tiene como objetivo evaluar los requisitos de soporte de túneles obtenidos mediante métodos empíricos y comparar sus resultados entre sí y con los obtenidos en análisis y modelos numéricos (software) para concluir que es necesario comprender las implicaciones del uso de métodos empíricos en la construcción de túneles, para comprender estas herramientas como parte del proceso de diseño. Los 18 resultados obtenidos debían ser compatibles con los resultados de otros análisis de estabilidad, y debían incorporar la idea de que el diseño del túnel es un proceso continuo estrechamente relacionado con la construcción del proyecto”.

2.2. Generalidades de la mina

Ubicación

La unidad económicamente activa Cerro de Pasco se encuentra en los distritos de Chaupimarca, Yanacancha, Simón Bolívar de la provincia y departamento de Pasco. La temperatura promedio de la zona es 6,8 ° C, la humedad 74%, la precipitación 910 mm/año. Dentro del entorno de la Unidad se encuentra las siguientes comunidades campesinas y ganaderas: Santa Ana de Tusi, Champamarca, Rancas, Quiulacocha e Yurajhuanca.

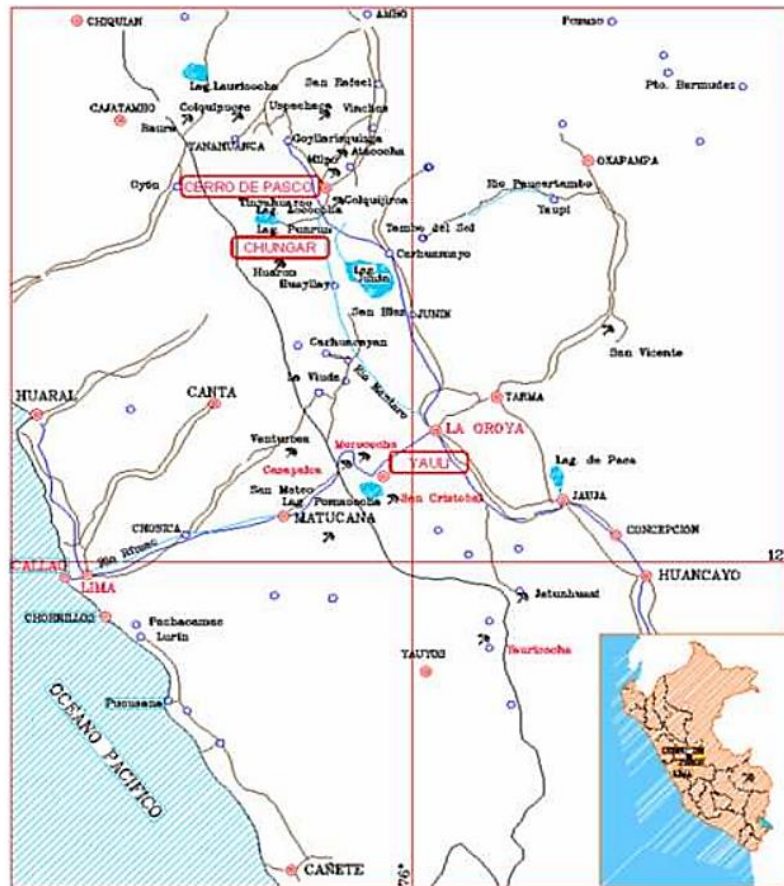


Figura 1. Ubicación de la U.E.A. Cerro de Pasco

Accesibilidad

Vía Terrestre El Tajo Raúl Rojas está a 130 Km de la Oroya y a 310 km. de la ciudad de Lima, interconectadas mediante una carretera asfaltada y vía férrea.

Geología

Geología regional

ESTRATIGRAFIA:

Filitas Excelsior (Silúrico-Devónico) “Son las rocas más antiguas de la zona y están compuestas de filitas, cuarcitas y lutitas carbonosas. Constituyen el núcleo del anticlinal de Cerro de Pasco”.

Grupo Mitu (Permico) “Yace discordante sobre el Excelsior y está constituido de areniscas, cuarcitas y conglomerados rojos. En los alrededores de Cerro de Pasco su potencia varía entre 50 y 80 m”.

Calizas Pucará “(Triásico-Jurásico) En el flanco oriental las calizas del Grupo Pucará sobreyacen en clara discordancia angular al Grupo Mitu, con potencia de 2900 m. Están compuestas por”:

- ❖ Capas de caliza de grano fino de color gris oscuro a negro y con venillas de calcita.
- ❖ Capas de caliza amarillenta de grano medio de composición dolomítica, con cristales de dolomita y siderita en venillas y como relleno de pequeñas cavidades.
- ❖ Interestratificaciones de horizontes bituminosos, lutíticos, fosilíferos y con nódulos de chert.
- ❖ Varios horizontes de tufos de composición dacítica.
- ❖ Esta facie ha sido de gran importancia en la localización de cuerpos mineralizados, principalmente las capas de caliza amarillenta que se extienden por 1 Km desde el borde oriental del Tajo hacia el E en el área de la Mina El Pilar.
- ❖ En el flanco occidental, a 6 Km al W de Cerro de Pasco, el Pucará aflora formando el núcleo del anticlinal de Rancas, con una potencia de sólo algunas decenas de metros.

2.3. Marco teórico

Estudio Geomecánica

“Para poder estimar una evaluación geomecánica, es necesario entender cómo será el comportamiento del macizo rocoso al ser intervenido por un proyecto ingenieril, es necesario estudiar las características de la matriz rocosa, del macizo rocoso y los modelos de tensión – deformación”.

2.3.1. Matriz rocosa.

“Es material rocoso sin rupturas o bloques intactos de roca en el medio. Aunque la matriz de roca se considera continua, presenta un comportamiento heterogéneo y anisótropo relacionado con su estructura y microestructura mineral. Mecánicamente se caracteriza por su peso específico, resistencia y deformabilidad. Las pruebas de laboratorio pueden cuantificar las propiedades físicas y mecánicas de la matriz rocosa que determinan su comportamiento mecánico”:

- La naturaleza de la roca.
- La resistencia ante la rotura.
- La deformación a corto y largo plazo.
- La influencia del agua en el comportamiento.
- El comportamiento ante la meteorización.
- El comportamiento en función del tiempo.

Existen ensayos de laboratorio, como los de corte o rozamiento sobre discontinuidades, que permiten extrapolar al comportamiento del conjunto matriz discontinuidades.

2.3.2. Macizo rocoso.

“Se entiende por macizo rocoso la interacción de la matriz rocosa (roca intacta) con el sistema de discontinuidades originadas por las diferentes tensiones a las que está sometida la masa rocosa. La presencia de discontinuidades rompe la continuidad de las propiedades mecánicas de los bloques rocosos, confiriendo al macizo un comportamiento geomecánico e hidráulico discontinuo, condicionado por la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad. Estas modificaciones en el estado tensional, junto con las características y propiedades resistentes y deformaciones de los materiales rocosos, controlan la respuesta mecánica y los modelos de

deformación y rotura”. Los factores geológicos que dominan el comportamiento y las propiedades mecánicas de los macizos rocosos son:

- ❖ La litología y propiedades de la matriz rocosa.
- ❖ La estructura geológica y las discontinuidades.
- ❖ El estado de esfuerzos a que está sometido el material.
- ❖ El grado de alteración o meteorización.
- ❖ Las condiciones hidrogeológicas

2.3.3. Propiedades físicas de la roca

“Toda roca tiene en su estructura interior una cierta cantidad de espacios libres, los cuales normalmente están rellenos con líquidos o gases (en general agua y aire)”.

2.3.4. Propiedades mecánicas de la roca

➤ Carga puntual

“El fragmento se introduce en la máquina de ensayos y los punzones se cierran para establecer contacto a lo largo de un diámetro del testigo (D). La distancia L existente entre los puntos y el extremo libre más cercano debe ser al menos 0,5 D. La distancia D se medirá con precisión + 2%.

La carga se incrementará de forma constante, de tal manera que se produzca la rotura entre 10 s y 60 s, quedando registrada la carga P. La resistencia a carga puntual no corregida, I_s , se obtiene de la expresión: $I_s = P/D^2$ ”.

“El índice de resistencia a carga puntual $I_s(50)$, de una roca, se define como el valor de I_s que se obtendría para la misma muestra con un diámetro equivalente de 50 mm. Para la corrección por tamaño se aplica la siguiente fórmula: $I_s(50) = F \cdot I_s$ ”

“Donde F es un factor de corrección que se obtiene a partir de la gráfica de la derecha o de la siguiente expresión: $F = (D/50)^{0,45}$ ”

El resultado se expresa en MPa.

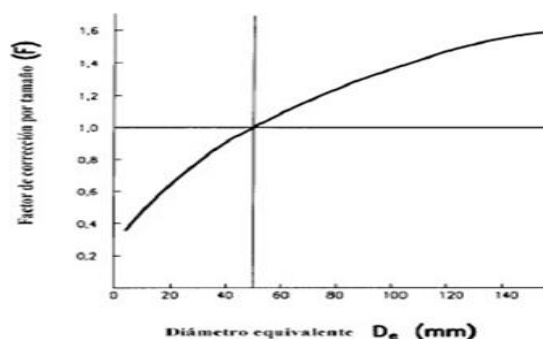


Figura 1. Diagrama del diámetro equivalente y el factor de correlación por tamaño

Fuente: Departamento de Planeamiento Mina

Procedimientos

- Medir las dimensiones de la muestra de roca.
- Limpiar la superficie de la muestra.
- Colocar la muestra en la máquina de ensayos controlando que las puntas cónicas tengan contacto con la superficie de la muestra.
- Aplicar una carga en forma constante hasta que la ruptura ocurra (10 a 60 segundos)
- Tomar nota de la carga máxima aplicada sobre la muestra.
- Armar la muestra fracturada con ayuda de una cinta adhesiva.
- Repetir este procedimiento para tres geniermuestras.

2.3.5. Taludes

“Los taludes son cualquier superficie inclinada, de un macizo rocoso o suelo, que forme un ángulo con la horizontal (Gerscovich, 2013), los taludes se clasifican en taludes naturales, y en taludes artificiales que pueden ser los cortes y terraplenes”. (Juárez, 1973).



Figura 2. Talud de excavación minera

Fuente: Llorente 2015.

Taludes naturales

Los taludes naturales son taludes que consisten en suelo aluvial residual y rocas que forman el talud. Los suelos residuales generalmente permanecen donde se formaron a través de la meteorización química y física de las rocas. Las pendientes y las pistas se estudian juntas.

Taludes artificiales

“Los taludes artificiales nacen de la intervención humana en una obra de ingeniería cortes, excavaciones, construcción de terraplenes, etc”.

2.3.5.1. Geometría del talud en mina

Se muestran en la Figura 3, los parámetros que definen un talud en mina.

“El ancho de berma se define de acuerdo al criterio original propuesto por Ritchie (1963) y modificado por” (Evans y Call, 1992).

$$B = 0.2h_b + 2.0; \text{ para } h_b < 90.0m$$

$$B = 0.2h_b + 4.5; \text{ para } h_b > 90.0m$$

Donde:

- B es ancho de la berma (m).
- h_b es la altura de banco (m).

2.3.5.1.4. Altura interrampa (h_r)

Corresponde a la altura máxima permisible entre rampas (Morales, 2009), este valor queda definido por el producto de la altura de banco y el número de bancos que se componen entre rampas.

2.3.5.1.5. Ángulo interrampa (α_r)

“Comprende a la inclinación respecto a la horizontal de una línea imaginaria que une las patas de los bancos” (Morales, 2009), este valor es utilizado en el plan minero”.

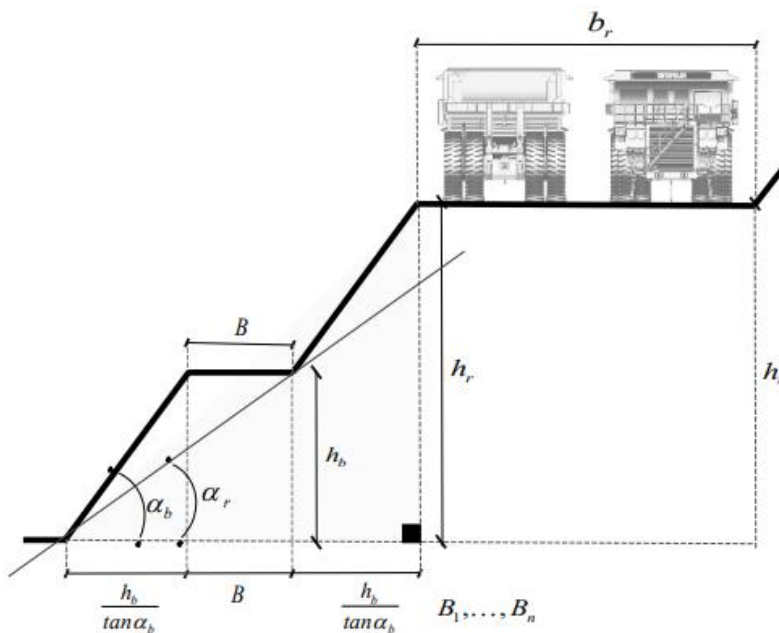


Figura 4. Ángulo interrampa

Fuente: Morales 2009.

Del triángulo rectángulo formado por el ángulo α_r .

$$\tan \alpha_r = \frac{h_b}{\frac{h_b}{\tan \alpha_b} + B}$$

Por lo tanto, el ángulo interrampa queda definido por:

$$\alpha_r = \tan^{-1} \left(\frac{h_b}{h_b \cdot \cot \alpha_b + B} \right)$$

Donde:

- α_r es el ángulo interrampa ($^\circ$).
- α_b es el ángulo de banco ($^\circ$).
- h_b es la altura de banco (m).
- B es el ancho de berma (m).

2.3.5.1.6. Ancho de rampa (***br***)

Este parámetro se determina en términos de condiciones de operación y seguridad según el tipo de equipo de transporte (Salas, 2011). Decreto Supremo No. El artículo 262 de la 024-2016-EM establece que las rampas o caminos anchos deben ser por lo menos tres (3) veces el ancho máximo de los vehículos en las zonas mineras y no menos de dos (2) veces el ancho de dos. -carreteras y dos (2) veces en calzadas muy anchas de un solo sentido.

2.3.5.1.7. Ángulo global (***\alpha_o***)

“Es el ángulo formado por la línea horizontal inferior y la línea imaginaria que conecta el pie inferior del banco con la parte superior del banco superior (Mendoza, 2017), el valor se determina geoméricamente según parámetros ya definidos como altura, pendiente, arcén, ancho de rampa,

número de pendientes y número de rampas. La ecuación propuesta para el cálculo del ángulo global fue desarrollada empíricamente por el autor de este trabajo, demostrando que es válida para cualquier conjunto de parámetros geométricos que componen la pendiente global”.

2.3.5.1.8. Altura global (*h_o*)

“Comprende a la altura de la pared del tajo, medida desde el pie del banco más inferior a la cresta del banco más superior, este valor es calculado por la suma de las alturas interrampas o el total de número de bancos por su altura”.

2.3.6. Suelos

El suelo se forma por la meteorización física y química de las rocas que se encuentran en la superficie terrestre (Bañón y Beviá, 2000). El suelo que permanece en su lugar se denomina suelo residual; de lo contrario, el suelo que migra y se asienta en otros lugares como resultado de la actividad física se denomina suelo transportado. Dependiendo de cómo fueron transportados, se dividen en tres grandes categorías: sedimentos aluviales o fluviales depositados por corrientes de agua, sedimentos glaciales depositados por glaciaciones y sedimentos eólicos depositados por el viento. (Das, 2001).

“La clasificación composicional de un suelo lo define el tamaño de las partículas que lo componen”.

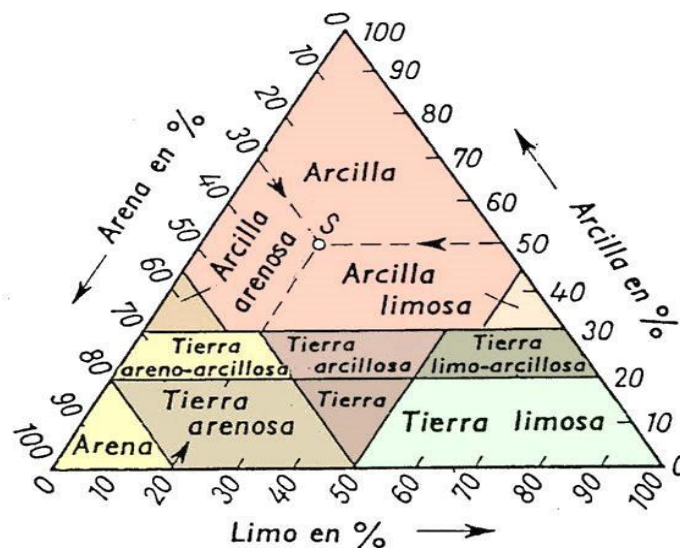


Figura 5. Diagrama de Feret

Fuente: Bañón, 2000.

2.3.7. Propiedades de los suelos y su determinación

2.3.7.1. Distribución granulométrica

Se requiere un análisis del tamaño de las partículas para comprender la proporción de cada sustancia en el suelo. El propósito de este análisis es determinar la proporción de partículas de diferentes tamaños presentes en una muestra representativa, o en otras palabras, determinar su tamaño de partícula. Para esta prueba se utilizan una serie de tamices con orificios cuadrados y aberturas hacia abajo, a través de los cuales se pasa cierta cantidad de suelo, y en cada tamiz se retiene aquella parte del suelo con un tamaño de partícula mayor que la abertura del tamiz dado. Cuando se complete el tamizado, haga un gráfico de media ventana que muestre el porcentaje en peso de la muestra retenida o el porcentaje en peso de la muestra que pasó a través de cada abertura de malla. (Bañón & Beviá, 2000).

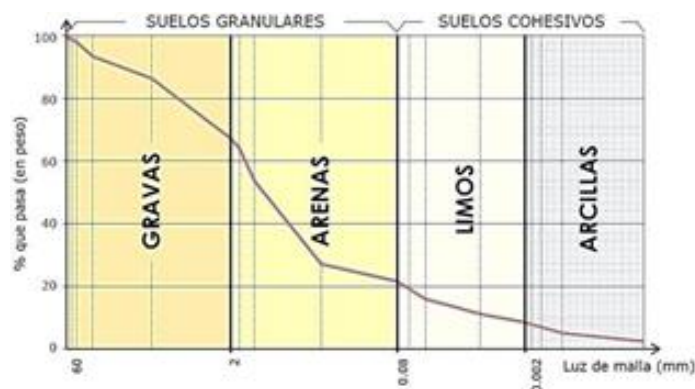


Figura 6. Curva granulométrica de un suelo

Fuente: Bañon, 2000.

Tabla 1. Clasificación granulométrica de los suelos

TIPO	DENOMINACIÓN	TAMAÑO (mm)	
SUELOS GRANULARES	Bolos y bloques	> 60	
	Grava	Gruesa	60 - 20
		Media	20 - 6
		Fina	2 - 6
	Arena	Gruesa	0.6 - 2
		Media	0.2 - 0.6
Fina		0.08 - 0.2	
SUELOS COHESIVOS	Limo	Grueso	0.02 - 0.08
		Medio	0.006 - 0.02
		Fino	0.002 - 0.006
	Arcilla	< 0.002	

Fuente: Bañon, 2000.

2.3.7.2. Estados de consistencia

“A principios de la década de 1900, el científico sueco Albert Maurits Atterberg desarrolló un método para describir la consistencia del suelo de grano fino con contenido de agua variable. describieron que estos estados de consistencia pueden presentarse en suelos cohesivos dependiendo de su contenido de humedad: líquido, plástico, semisólido y sólido”.

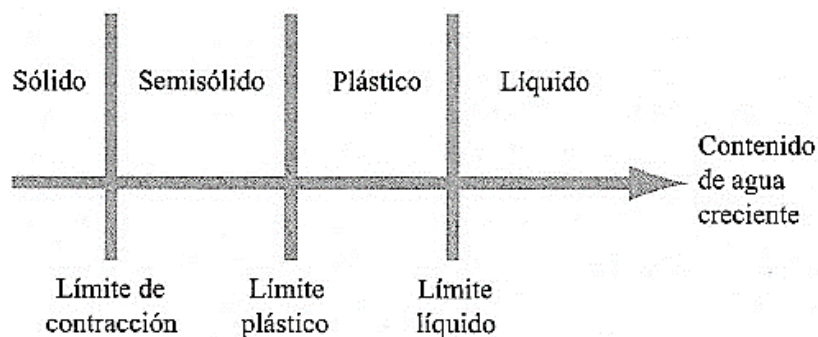


Figura 7. Límites de Atterberg

Fuente: Das, (2001)

2.3.8. Clasificación de suelos

“De las múltiples clasificaciones existentes, se describirá la que sin duda es la más racional y completa clasificación de Casagrande modificada”.

2.3.8.1. Clasificación general de Casagrande modificada

Casagrande desarrolló este sistema común de clasificación de suelos en 1942 y el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU. lo utilizó para construir pistas de aterrizaje durante la Segunda Guerra Mundial. Diez años después, la Oficina de Reclamación modificó levemente el sistema porque era muy útil en ingeniería, y se creó el Sistema de Clasificación Uniforme de Suelos (SUCS); El sistema fue adoptado por ASTM (Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales) como parte de su enfoque estandarizado. La clasificación utiliza símbolos que consisten en un prefijo que indica el tipo de suelo y un sufijo que describe sus características. La siguiente tabla muestra los símbolos y su significado.

Tabla 2. Símbolos de grupo SUCS

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobrementemente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo (<50)	H

Fuente: Bañon, 2000.

2.3.9. Tipos de fallas en deslizamientos rotacionales

“El ingeniero sueco Pettersson, tras estudiar con detenimiento estos modelos, concluyó que la falla de un suelo se produce a lo largo de una superficie de curvatura variable, que posteriormente asimiló a un arco de circunferencia dada su mayor simplicidad de cálculo”.

“Las fallas que actúan en rotación pueden presentarse pasando la superficie de falla por el pie del talud (falla de base), o delante del pie (falla por el pie del talud). Además, pueden presentarse las llamadas fallas locales, que ocurren en el cuerpo del talud, pero interesando zonas relativamente superficiales” (Juárez, 1973). En la Figura 8 se presentan estos tipos de fallas más usuales en taludes ideales.

“El ingeniero sueco Pettersson, después de un cuidadoso estudio de estos modelos, concluyó que la destrucción del suelo ocurre en superficies de curvatura variable, que luego equiparó a arcos circulares, porque era más fácil de calcular”.

Las fallas rotacionales pueden ocurrir fuera del plano de la falla en el pie del talud (falla inferior) o en frente del pie (parte superior del talud). Además, pueden presentarse las denominadas fallas locales, que se originan en el cuerpo del talud, pero involucran áreas relativamente someras (Juárez, 1973). La Figura 8 muestra los modos de falla más comunes en una rampa ideal.

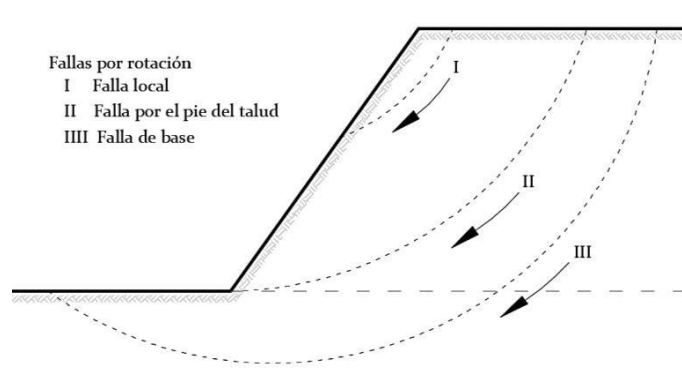


Figura 8. Tipos de fallas en deslizamientos rotacionales

2.3.10. Estabilización por modificación de la geometría

“Mediante la modificación de la geometría de los taludes se redistribuyen las fuerzas debidas al peso de los materiales, obteniéndose una nueva configuración más estable” (Gonzales de Vallejo et al., 2003). Las actuaciones más frecuentes son:

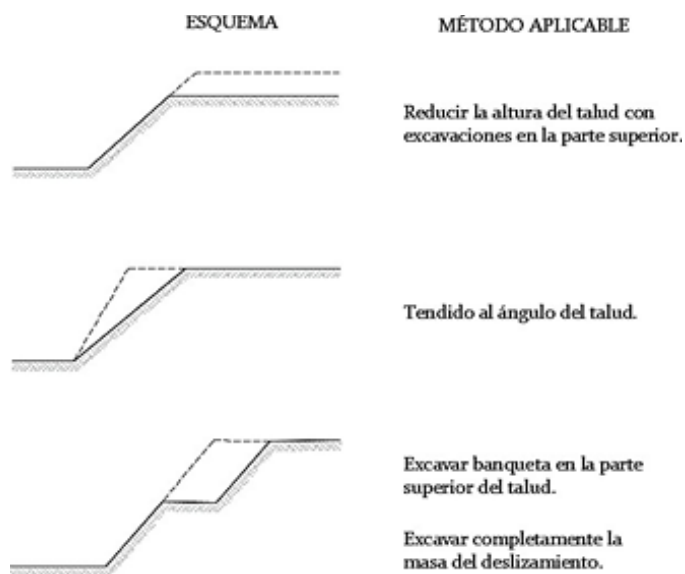


Figura 9. Métodos de estabilización de taludes por excavación

Fuente: Alva, (2016), modificado de Turnbull & Hvorslev, (1967)

2.3.11. Resistencia al corte

Hoyos (2001) define a “la resistencia al corte, como resistencia al deslizamiento que ofrece una masa de suelo en el plano de falla, por otro lado, Das (2001) lo define como la resistencia interna por unidad de área que el suelo ofrece para resistir la falla y el deslizamiento sobre un plano dentro de él”.

2.3.11.1. Criterio de rotura de Mohr Coulomb

“Según la teoría de Mohr un material falla debido a una combinación crítica de esfuerzo normal y esfuerzo cortante. Así entonces, la resistencia al corte viene dada por la siguiente expresión”:

$$\tau = f(\sigma_n)$$

Donde

- τ es el esfuerzo cortante sobre el plano de falla.
- σ_n es el esfuerzo normal sobre el plano de falla.

“La teoría de la resistencia de un material que actúa ante un esfuerzo cortante se define como la suma de su cohesión y del rozamiento en el plano de rotura, para tal rozamiento como el producto del esfuerzo normal (σ_n) a dicho plano y la tangente del ángulo de rozamiento interno. Esta ecuación se llama criterio de falla de Mohr-Coulomb y queda expresado como”:

$$\tau = c + \sigma_n \cdot \tan\phi$$

Donde:

- τ es el esfuerzo cortante.
- σ_n es el esfuerzo normal.
- c es la cohesión. ϕ es el ángulo de fricción

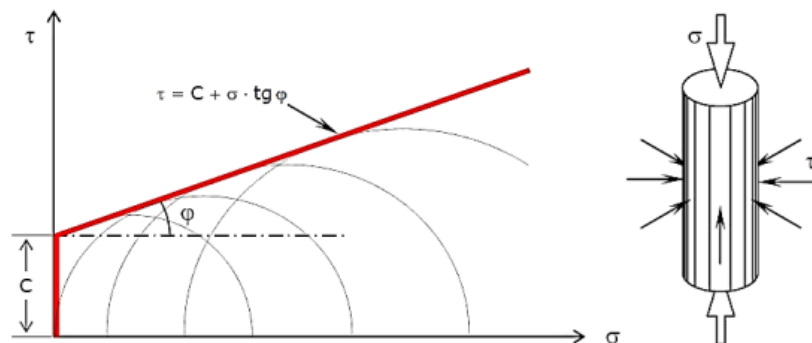


Figura 10. Círculo de Mohr y envolvente de falla

Fuente: Bañón & Beviá, (2000)

“Los parámetros geotécnicos y del suelo pueden ser estimados mediante ensayos de laboratorio como el ensayo de corte directo y el ensayo triaxial. Este último mucho más preciso que el primero debido a que simula de manera más cercana a la realidad las cargas verticales y horizontales a las que está sometido el suelo analizado”.

“La finalidad de hallar estas propiedades es para determinar el Factor de Seguridad al deslizamiento del talud, de esta manera identificar que tan estable es un talud en estudio y si se necesitaría algún tipo de estabilización que eleve su factor de seguridad hasta valores recomendados, tanto para el caso estático como dinámico (análisis sísmico)”.

2.3.12. Método de análisis de estabilidad de taludes

“Desde el punto de vista determinístico existen dos métodos para abordar el análisis de estabilidad de un talud: el de equilibrio límite (MEL) y métodos numéricos, elementos finitos (MEF).” En la Figura 11 se muestra un diagrama que recoge la clasificación de los métodos de cálculo de estabilidad de taludes

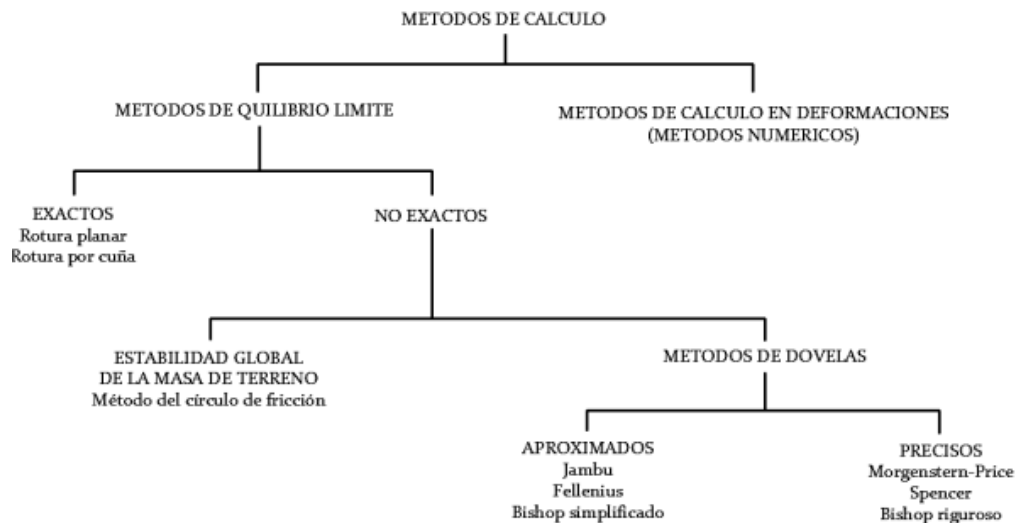


Figura 11. Métodos de cálculo de estabilidad de taludes

Fuente: IGME, (1991)

2.3.13. Método de equilibrio límite

“El método de equilibrio límite se basan en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. Para ello supone que, en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla equivalentes a un factor de seguridad de 1.0” (Suarez, 1998).

2.3.13.1. Factor de seguridad

“En la casi generalidad de los métodos de equilibrio limite la seguridad de un determinado talud se cuantifica por medio del factor o coeficiente de seguridad (F.S). El factor de seguridad se define como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla” (Das, 2001).

$$FS = \frac{\sum \text{Resistencia al corte}}{\sum \text{Esfuerzo al cortante}}$$

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

$$FS = \frac{\sum \text{Momento resistente}}{\sum \text{Momento actuante}}$$

“Pocos son los autores que han desarrollado el tema sobre los niveles de aceptación para los Factores de Seguridad recomendados en los diseños de taludes. Los valores más comunes han sido fijados por observaciones y a las experiencias de prueba y error en el campo, Un ejemplo de los valores de los Factores de Seguridad aceptables establecidos con estos métodos esta dado en la Figura 12”.

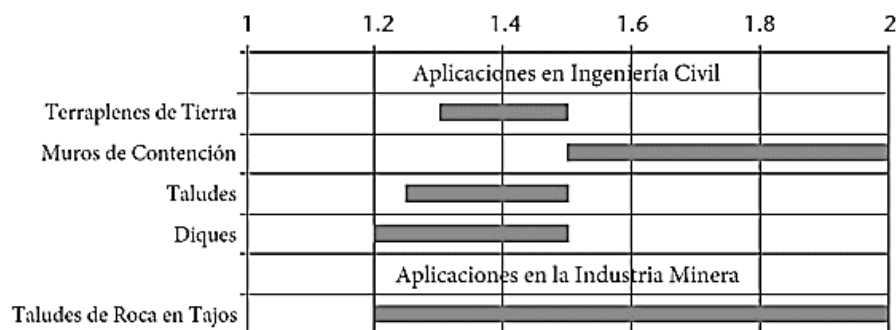


Figura 12. Ejemplo de factores de seguridad aceptables

Fuente: Read & Stacey, 2009, modificado de Priest & Brown, (1983)

“Por cuestiones prácticas los valores más usados en la ingeniería civil y de minas van desde los rangos de 1.2 para taludes no críticos a 1.5 para taludes críticos. En cuanto a los valores estáticos y pseudoestáticos típicos usados en la industria minera se resumen en la siguiente tabla”.

Tabla 3. Criterios de aceptabilidad típicos para F.S estático y pseudoestático

Escala del Talud	Consecuencia de Falla	Criterio de Aceptabilidad	
		FS (min) (Estático)	FS (min) (Pseudoestático)
Banco	Alta-Baja	1.1	NA
Inter-rampa	Baja	1.15-1.2	1
	Media	1.2	1
	Alta	1.2-1.3	1.1
General	Baja	1.2-1.3	1
	Media	1.3	1.05
	Alta	1.3-1.5	1.1

Fuente: Read & Stacey, (2009)

2.3.13.2. Métodos para determinar el factor de seguridad

“Los métodos conocidos para el análisis de fallas de taludes con geometría curva son el método de la masa total, hoy prácticamente en desuso y el método de las dovelas”.

Método de las dovelas

“Los métodos de dovelas consideran el problema bidimensional por lo que la estabilidad del talud se analiza en una sección transversal del mismo y consiste en dividir la superficie de deslizamiento en varios segmentos (dovelas) de igual ancho y analizar las condiciones de equilibrio de cada uno” (Gonzales de Vallejo et al., 2003).

Método de Bishop

Bishop presentó una forma de usar dovelas y considerar la acción de la fuerza entre dovelas, asumiendo que no hay fuerza X_i entre los bloques. Este método se basa en complacer la ecuación de momento de equilibrio y la ecuación de equilibrio de fuerza normal. [4].

Bishop supone que la fuerza de interacción entre las dovelas es horizontal; trata de decir que no tiene en cuenta las fuerzas de corte, lo que reduce el número de incógnitas.

E_i cómo se observa (Figura 13) es la fuerza de interacción (Fuerzas de contacto) que son horizontales.

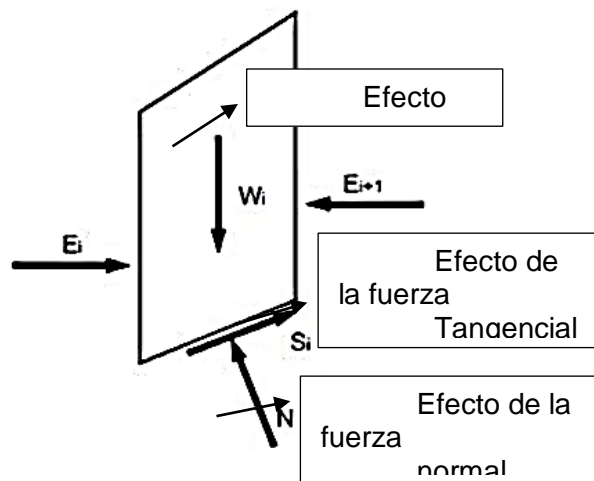


Figura 13. Fuerza sobre la dovela para el método de Bishop.

Fuente: “Geo-Juanp”, por Duncan, 2005.

El factor de la seguridad FS se localiza por medio la iteración sucesiva de la posterior expresión:

$$FS = \frac{1}{\sum_i W_i \cdot \sin \alpha_i} \cdot \sum_i \frac{c_i \cdot b_i + (W_i - u_i \cdot b_i) \cdot \tan \varphi_i}{\cos \alpha_i + \frac{\tan \varphi_i \cdot \sin \alpha_i}{FS}}$$

Siendo u_i la tensión de poros en la base de dicha dovela, c_i , φ_i valor efectivo de los parámetros del suelo (Parámetros de resistencia del suelo).

En la (Figura 14) se representa gráficamente la expresión FS , siendo n (Figura 14) el número de dovelas.

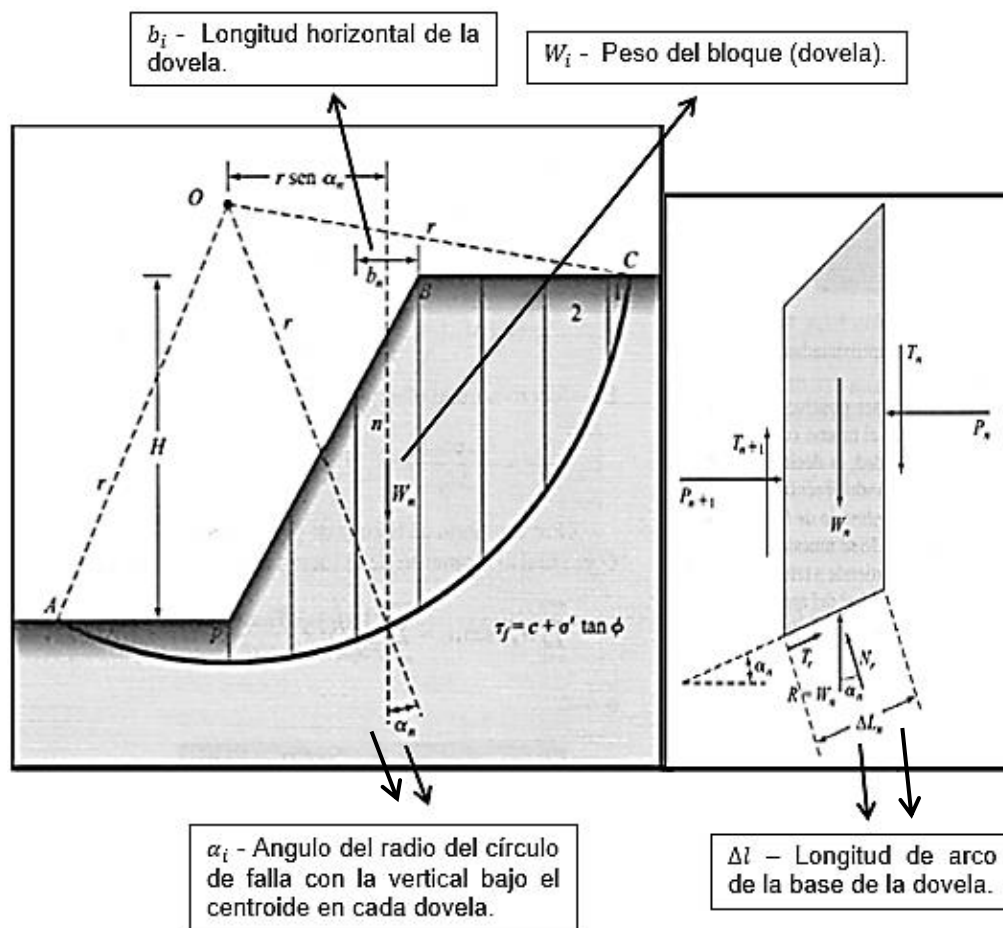


Figura 14. Estabilidad de Taludes Método Bishop.

Fuente: "SlidePlayer", por Castro, 2019.

2.3.14. Métodos numéricos

“El método consiste en dividir la masa de suelo en unidades discretas que se llaman elementos finitos, las cuales se interconectan en sus nodos y en bordes predefinidos. El método típicamente utilizado es el de la formulación de desplazamientos que presenta los resultados en forma de esfuerzos y desplazamientos a los puntos nodales” (Suarez, 2009).

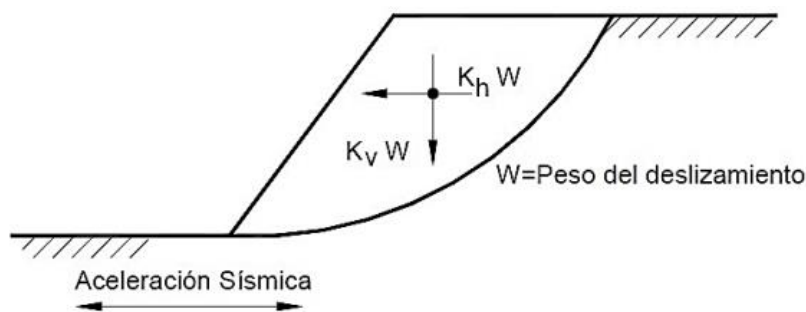


Figura 15. Análisis pseudoestático de equilibrio límite para una falla curva

Fuente: Suarez, (2009).

2.4. Definición de términos básicos

Ángulo de fricción. – “Ángulo entre el eje de esfuerzos normales y la tangente a la envolvente de Mohr en un punto que representa una condición dada de esfuerzo de ruptura de un material sólido” (Hoyos, 2001).

Deslizamientos. – “Término genérico que comprende una amplia variedad de procesos de erosión en masa que incluye el transporte pendiente abajo de masas de suelo o de roca. Esta misma se desplaza a lo largo de una superficie de deslizamiento” (Hoyos, 2001).

Diseño. – “Plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en una investigación”.

Equilibrio Límite. – “El sistema de equilibrio límite supone que, en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla equivalentes a un factor de seguridad de 1.0” (Suarez, 1998).

Factor de seguridad. – “Es la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla” (Das, 2001).

Geotecnia. – “Es un conjunto de técnicas de ingeniería del terreno aplicadas a las cimentaciones, refuerzo, sostenimiento, mejora y excavación del terreno y las citadas disciplinas de la mecánica del suelo, mecánica de rocas e ingeniería geológica” (Gonzales de Vallejo et al., 2003).

Talud. – “Cualesquiera superficies inclinadas respecto a la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las masas de tierra” (Gerscovich, 2013).

CAPITULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Método y alcance de la investigación

Para el desarrollo de esta investigación fue necesario la recogida de data del tipo de material conformante del talud en análisis, en este caso de la mina Volcan, para ello se utilizaron cartillas, formatos y guías establecidas en las NTP.

3.2. Tipo de investigación

(ÑAUPAS, VALDIVIA, PALACIOS, & ROMERO, 2018) Afirman que “el tipo de investigación se limita a dos, tales como: la investigación básica, pura o fundamental y la investigación aplicada. Según el sustento de estos autores se es posible definir que la tesis pertenece a la investigación aplicada. Ya que, la investigación consiste en el empleo practico de los conocimientos y teorías fundamentales de estabilidad de taludes con el objetivo de determinar los parámetros geométricos óptimos del talud, para garantizar la estabilidad del tajo superficial”.

3.3. Nivel de la investigación

“Los niveles de investigación desarrollados son: descriptivo, ya que el propósito de investigación es determinar los parámetros geométricos de diseño del talud para garantizar la estabilidad del talud del área de explotación en la unidad minera Cerro de Pasco”. Para ello se requiere analizar, precisar y describir la geometría óptima del talud.” (HERNANDEZ, 2006, págs. 102-105-108)

3.4. Método de investigación

Global

“El método de la investigación es el método científico de carácter cuantitativa, ya que para determinar los parámetros geométricos de diseño del talud no se realizará una estadística exhaustiva, sino más bien se hará uso de cálculos geotécnicos y criterios ingenieriles para establecer dichos parámetros y lograr su estabilidad”. (HERNANDEZ, 2006, pág. 5).

General

“Según el enfoque cuantitativo al que pertenece la investigación, le corresponde un método de diseño transversal - descriptivo, ya que se tomarán muestras del suelo en un solo momento, en un tiempo único con la finalidad de describir las variables y analizar la influencia que tiene al realizar los cálculos geotécnicos y así determinar los parámetros óptimos de del talud y lograr su estabilidad”.

3.5. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es experimental de tipo cuasi - experimental porque se analizan las condiciones del suelo que conforma el talud, y que a través de esos resultados será posible determinar los parámetros para lograr su estabilidad.

$G1 \quad X \quad OY$

$G1 = \text{Grupo experimental}$

$X = \text{Tratamiento}$

$OY = \text{Grupo control}$

3.6. Población y muestra

3.6.1. Población

La población de estudio “es un conjunto de casos, definido, limitado y accesible, que formará el referente para la elección de la muestra que cumple con una serie de criterios predeterminados” (Arias et al., 2016, p. 201). “La población estará constituida por el número de unidades litológicas del perfil estratigráfico del yacimiento que se encuentra en el tajo del área de explotación en la unidad minera Cerro de Pasco”.

3.6.2. Muestra

“La muestra es la parte representante de la población, de tal manera que los resultados que se obtienen en la muestra logren generalizar en absoluto los elementos que conforman dicha población”. (HERNANDÉZ , FERNÁNDEZ, & BAPTISTA, 2010).

La muestra del presente trabajo está definido el talud Raúl Rojas.

3.6.3. Muestreo

“El tipo de muestreo es no probabilístico por conveniencia, ya que el cuerpo en estudio presenta las condiciones ideales y que se ajustan a medir lo que se pretende con este trabajo”.

3.7. Variables de la investigación

3.7.1. Variable independiente

- Evaluación de los parámetros geométricos del talud

3.7.2. Variable dependiente

- Estabilidad del tajo superficial Raúl Rojas

3.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.8.1. Técnicas de recolección de datos

“La técnica que se empleo fue la observación directa que consiste en observar y en este caso en particular obtener por medio de esta observación la caracterización y toma del suelo en estudio para poder clasificar luego en gabinete y definir las condiciones en las que se presenta este material”. (HERNANDÉZ , FERNÁNDEZ, & BAPTISTA, 2010).

“La toma de muestra de la presente investigación se hará respetando las Normas Técnicas Peruanas NTP 339.151 (ASTM D4220) que consiste en tomar muestras alteradas del suelo y colocarlas en bolsas de plástico, en cantidad suficiente para realizar el ensayo de corte directo en laboratorios geotécnicos con la finalidad de obtener las propiedades físico mecánica de los suelos, (densidad, cohesión y ángulo de fricción, etc.) encontrados en el tajo superficial del área de explotación en la unidad minera Cerro de Pasco”.

Tabla 4. Técnicas de investigación

Técnicas	Instrumentos	Fuentes o informantes
Revisión Documental	Guía de revisión documental	Referencias Bibliográficas
Estudio de Suelos	Formato de Laboratorio	NTP
Observación	Guía de observación	Observación

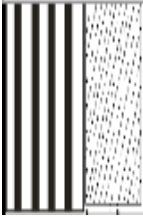

3.8.2. Instrumentos para procesamiento de datos

El instrumento que se utilizó:

- ❖ Cartillas de clasificación de suelos
- ❖ Guía de observación.

❖ Fichas técnicas laboratorio

Todo ello para registrar resultados del material ensayado. (HERNANDEZ , FERNÁNDEZ, & BAPTISTA, 2010).

PERFIL ESTATIGRÁFICO				
Tipo de excavación	Profundidad (Metros)	Estratos Obtenidos	Símbolo	Descripción del material
CALICATA – C1	1.00 m	E - 1 MH - OH		- Compuesto por material o deposito aluvial por detritos mal clasificados cuya granulometría varía desde gravas de cantos y gránulos hasta arenas de grano grueso
	2.60	E – 2 Arenisca		- Compuesto por material: Arena limosa, de color marrón jaspeado claro, de grano Arenisco fino a grueso, en su composición presenta mínimo porcentaje de gravas y gravillas de formas sub angulosas. La matriz areno limosa es de característica plástica y se

encuentra en
estado de
compacidad

Compacto inferido
alto a partir de las
auscultaciones con
la picota de
geólogo, denomina
como roca
sedimentaria.

- Arenisca de alta
capacidad de
soporte.

Inferior

E – 3
Arenisca



- Ídem al estrato
anterior con
posibilidad de
cambio por material
aluvial.

3.9. Equipos utilizados de recolección y procesamiento de datos

Dentro de los primeros equipos utilizados para el procesamiento de los ensayos se utiliza el equipo de perforación para obtener moldes adecuados para realizar los ensayos de corte directo.



Figura 17. Taladro diamantino para suelos y concreto

Fuente: Propia

Otro equipo utilizado y sumamente importante para clasificar el suelo es el equipo de granulometría denominado tamizador en este caso se utiliza el equipo eléctrico de clasificación granulométrica ELE.



Figura 18. Taladro diamantino para suelos y concreto

Fuente: Propia

“El equipo utilizado en esta práctica es convencional ya que el dispositivo de carga con el Aparato de corte directo trabaja como un sistema adecuado para así medir las tasas o ratas de deformaciones que son generadas por las fuerzas aplicadas a la muestra de suelo, con todos estos datos se podrán calcular los parámetros que describen la relación entre el esfuerzo cortante y el desplazamiento, para así obtener una gráfica de esfuerzo cortante vs esfuerzo normal”.

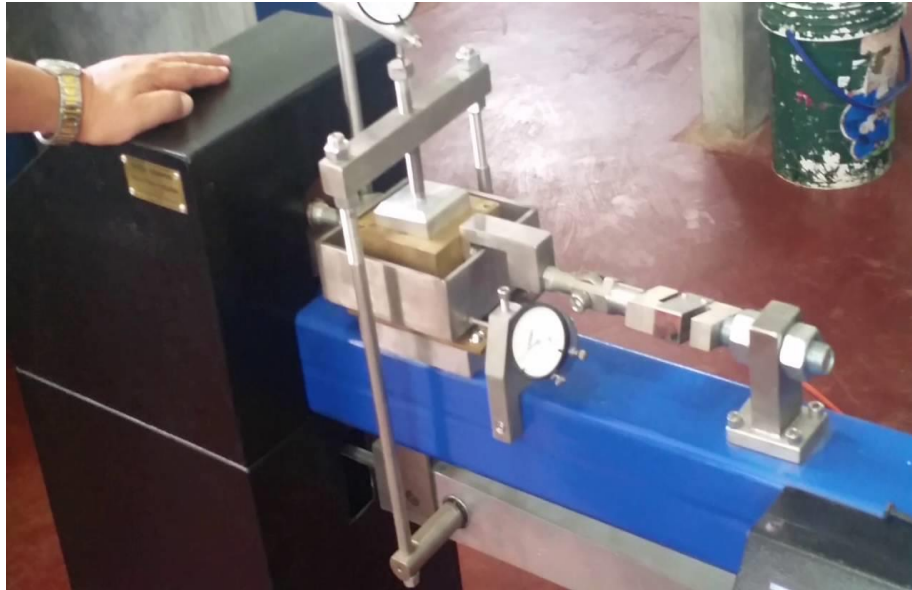


Figura 19. Ensayo de corte directo consolidación – drenada

Fuente: Propia

3.9.1. Procedimiento de ensayos

“Para este ensayo como sabemos se emplearon dos equipos fundamentales como lo son el Aparato de corte directo y un dispositivo de carga. Este Aparato de corte directo trabaja de una manera que le aplica carga que hará que se genere una fuerza normal a las caras de la muestra, este es capaz de mantener las cargas a las que se somete dicho suelo, este también es capaz de aplicar y medir una fuerza de corte para hacer fallar a lo largo de un determinado plano, los cuales serán paralelos a las caras de la muestra determina los desplazamientos laterales de esta. Para el dispositivo de carga funciona como un dispositivo para mantener la muestra dentro de un anillo el cual se puede fijar a la base o puede ser flotante, este mismo puede proporcionar también medios para sumergir la muestra, aplicarle carga vertical y medir el cambio de espesor de la misma. La caja de corte directo debe estar dividida por un plano horizontal que separa las dos mitades de igual espesor, esta deberá presentar tornillos de alineamiento o bloqueo”.

El procedimiento seguido para la realización de este ensayo fue el siguiente:

1. Se extrajo la muestra (dada por el técnico).
2. Seguido se agregó el material a la caja de corte se ajustó y se tallo.
3. Seguido se colocó el papel filtro y una piedra porosa.
4. encima se colocó una placa.
5. Se llevó a la máquina de corte directo y se ajustó el sistema en ella.
6. Se le montaron lo respectivos pesos al sistema de 54 kg
7. Se le aplicó una carga normal a la muestra.
8. Se graduó hasta que quedara completamente horizontal.
9. Por último se tomaron los datos que la maquina nos arrojó.

3.10. Programas utilizados para el procesamiento de datos

“Una vez realizada la recogida de muestras de campo, se analizará los datos geotécnicos de las muestras y se prepararan en datos manejables para su interpretación”.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Parámetros geotécnicos

4.1.1. Ensayos

“Los ensayos geotécnicos realizados durante la investigación son, el de corte directo, humedad, peso específico y granulometría con la finalidad de identificar sus principales parámetros geotécnicos. Para ello se recogió 2 muestras una muestra por cada estrato, la ubicación de las muestras se observa en la Tabla 5”.

Tabla 5. Muestras de investigación

MUESTRA	UTM WGS84, 19 Sur	
	ESTE	NORTE
M-01	299445 m E	8108114 m S
M-02	299467 m E	8108111 m S

En nuestro país los ensayos más comunes para determinar el ángulo de fricción y cohesión en un análisis de estabilidad de ESTE NORTE M-01 299445 m E 8108114 m S M-02 299467 m E 8108111 m S MUESTRA UTM WGS84, 19 Sur 6.7 m 4.2 m M-1 M-2 77 taludes son el ensayo de corte directo y los ensayos triaxiales.

Para la presente investigación se ejecutó el ensayo de corte directo.

Corte directo

“El objetivo del ensayo de corte directo es determinar el ángulo de fricción interna y la cohesión del suelo. Estos parámetros son importantes, para determinar la capacidad al corte del suelo. El ensayo consiste en aplicar esfuerzos de corte y normales, a tres muestras de suelo, y determinar el instante de falla de cada uno”.

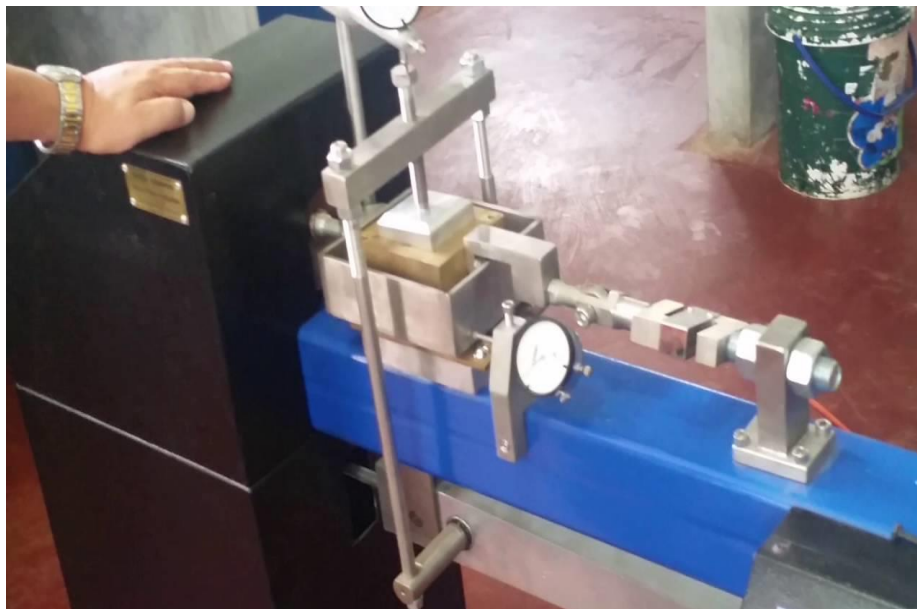


Figura 20. Esquema de ensayo de corte directo

Fuente: Propia

4.1.2. Parámetros geotécnicos

“De los ensayos geotécnicos desarrollados en el laboratorio (Ver ANEXO 5) para cada muestra de suelo se obtuvieron los siguientes parámetros”:

Tabla 6. Parámetros geotécnicos

MUESTRA	CLASIFICACION SUCS	PARAMETROS GEOTECNICOS				
		γ		C		ϕ
		(g/cm ³)	(KN/m ³)	(Kg/cm ²)	(KN/m ²)	(°)
M-01	SW	1.54	15.11	0.000	0.00	37.9
M-02	SP	1.47	14.41	0.008	0.78	34.7

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM D 422

PROYECTO

SOLICITA

FECHA

Datos de la Muestra

Ubicación

Muestras Nro.

Datos de Ensayo

Tamices	Abertura en mm.	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que Pasa	Especificación	Indice de Consistencia
ASTM						
3"	76.200	0.00	0.00	100.00		
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	100.00		L. Líquido : : NP
2"	50.800	0.00	0.00	100.00		L. Plástica : : NP
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	100.00		Ind. Índice : : NP
1"	25.400	0.00	0.00	100.00		Clas. TUCS : : SW
3/4"	19.050	0.72	0.72	99.28		Clas. AASHTO : : A-1-b (2)
1/2"	12.700	1.63	2.35	97.65		% de Grava : : 11.24
3/8"	9.525	1.58	3.93	96.07		% de Arena : : 88.76
Nº4	4.760	7.34	11.24	88.74		% de Fines : : 11.5
10	2.000	16.75	28.00	72.00		D15 : : 0.32
20	0.840	30.72	58.75	41.25		D30 : : 0.40
40	0.420	72.60	81.35	18.65		D40 : : 1.45
60	0.300	7.22	88.57	11.43		Cu : : 4.2*
80	0.180					Ce : : 1.13
100	0.149	6.72	95.30	4.70		
140	0.106					
200	0.074	2.74	98.05	1.95		
250	0.060	1.95	100.00	0.00		



Figura 21. Análisis granulométrico

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

PROYECTO
SOLICITA
FECHA

Dimensiones del Material			
No. Ensayo	Altura de la Muestra (cm)	Diámetro de la Muestra (cm)	Tipo de la Muestra
1	2,000	6,000	Prisma
2	2,000	6,000	Prisma
3	2,000	6,000	Prisma

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Esfuerzo Normal (Kg/Cm ²)	ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3		
	0.5	1	2	3	4	5	
Esfuerzo Cortante (Kg/Cm ²)	0.698	0.376	1.169	0.767	2.306	1.544	
Fuerza Cortante (Kg)	21.812	11.755	37.177	23.995	72.099	48.282	
Angulo de Fricción (°)						47.163	37.399
Cohesión						0.139	0.000

ENSAYO 1			ENSAYO 2			ENSAYO 3		
Est. Cort. (Kg/Cm ²)	Des. Horiz. (Cm)	Des. Horiz. (%)	Est. Cort. (Kg/Cm ²)	Des. Horiz. (Cm)	Des. Horiz. (%)	Est. Cort. (Kg/Cm ²)	Des. Horiz. (Cm)	Des. Horiz. (%)
0.054	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.165	0.030	0.475	0.369	0.030	0.475	0.629	0.030	0.475
0.352	0.060	0.951	0.571	0.060	0.951	0.905	0.060	0.951
0.514	0.090	1.426	0.729	0.090	1.426	1.240	0.090	1.426
0.614	0.120	1.902	0.886	0.120	1.902	1.343	0.120	1.902
0.674	0.150	2.377	1.015	0.150	2.377	1.789	0.150	2.377
0.692	0.180	2.853	1.098	0.180	2.853	2.000	0.180	2.659
0.698	0.210	3.328	1.155	0.210	3.328	2.142	0.210	3.328
0.688	0.240	3.803	1.189	0.240	3.803	2.223	0.240	3.803
0.680	0.270	4.279	1.188	0.270	4.279	2.288	0.270	4.279
0.659	0.300	4.754	1.160	0.300	4.754	2.306	0.300	4.754
0.637	0.330	5.230	1.139	0.330	5.230	2.301	0.330	5.230
0.614	0.360	5.705	1.106	0.360	5.705	2.271	0.360	5.705
0.589	0.390	6.181	1.058	0.390	6.181	2.240	0.390	6.181
0.541	0.420	6.656	1.014	0.420	6.656	2.163	0.420	6.656
0.529	0.450	7.132	0.963	0.450	7.132	2.112	0.450	7.132
0.493	0.480	7.607	0.924	0.480	7.607	2.016	0.480	7.607
0.476	0.510	8.082	0.865	0.510	8.082	1.923	0.510	8.082
0.455	0.540	8.558	0.851	0.540	8.558	1.847	0.540	8.558
0.429	0.570	9.033	0.842	0.570	9.033	1.764	0.570	9.033
0.429	0.600	9.509	0.825	0.600	9.509	1.702	0.600	9.509
0.424	0.630	9.984	0.822	0.630	9.984	1.637	0.630	9.984
0.426	0.660	10.460	0.810	0.660	10.460	1.610	0.660	10.460
0.480	0.690	10.935	0.781	0.690	10.935	1.600	0.690	10.935
0.406	0.720	11.410	0.761	0.720	11.410	1.567	0.720	11.410
0.480	0.750	11.886	0.807	0.750	11.886	1.573	0.750	11.886
0.481	0.780	12.361	0.795	0.780	12.361	1.590	0.780	12.361
0.404	0.810	12.837	0.780	0.810	12.837	1.574	0.810	12.837
0.394	0.840	13.312	0.767	0.840	13.312	1.570	0.840	13.312
0.396	0.870	13.788	0.766	0.870	13.788	1.566	0.870	13.788
0.392	0.900	14.263	0.792	0.900	14.263	1.552	0.900	14.263
0.397	0.930	14.739	0.805	0.930	14.739	1.544	0.930	14.739
0.376	0.960	15.214	0.803	0.960	15.214	1.550	0.960	15.214
0.384	0.990	15.689	0.807	0.990	15.689	1.571	0.990	15.689
0.367	1.020	16.165	0.810	1.020	16.165	1.566	1.020	16.165
0.390	1.050	16.640	0.804	1.050	16.640	1.552	1.050	16.640
0.392	1.080	17.116	0.804	1.080	17.116	1.556	1.080	17.116
0.398	1.110	17.591	0.801	1.110	17.591	1.546	1.110	17.591
0.401	1.140	18.067	0.809	1.140	18.067	1.561	1.140	18.067
0.401	1.170	18.542	0.810	1.170	18.542	1.574	1.170	18.542

Figura 22. Ensayo de corte directo

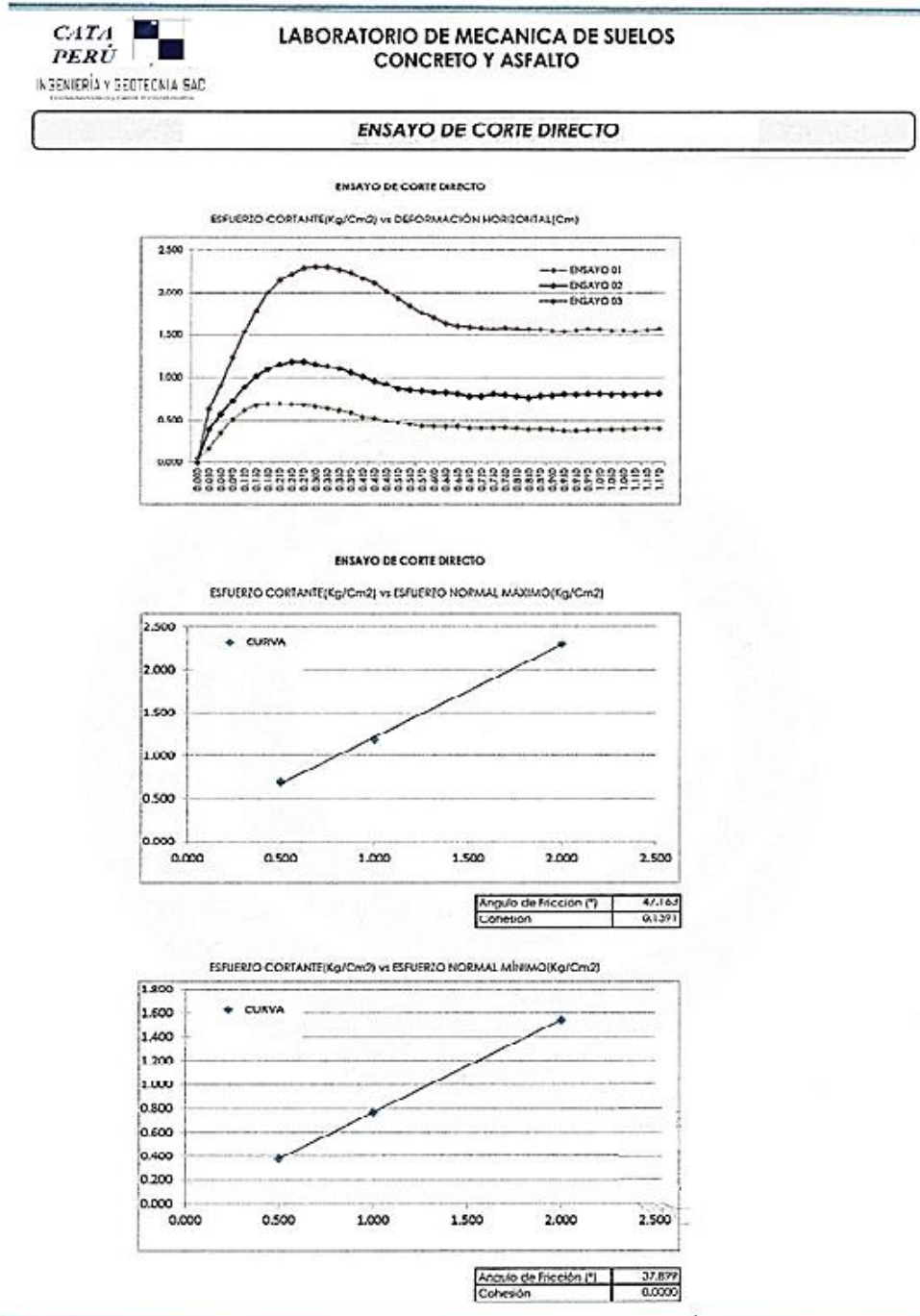


Figura 23. Ensayo de corte directo

4.2. Procedimiento para ingreso de parámetros al software geotécnico

Los parámetros de entrada se describen a continuación:

- ❖ Los parámetros geométricos, estos se deducen de los perfiles estratigráficos resultados del estudio de suelos suministrado.
- ❖ Los parámetros geotécnicos, estos se definen por los resultados del laboratorio de los estudios de suelo.
- ❖ Los parámetros sísmicos, se basan su deducción de los registros de actividad sísmica de la zona.
- ❖ Los hidrológicos, en donde se ubica el nivel freático y la influencia de parámetros como la relación de presión intersticial o presión de poros (R_u).

“El esquema que se utiliza para el ingreso de los datos al software geotécnico se muestra en el siguiente gráfico”.

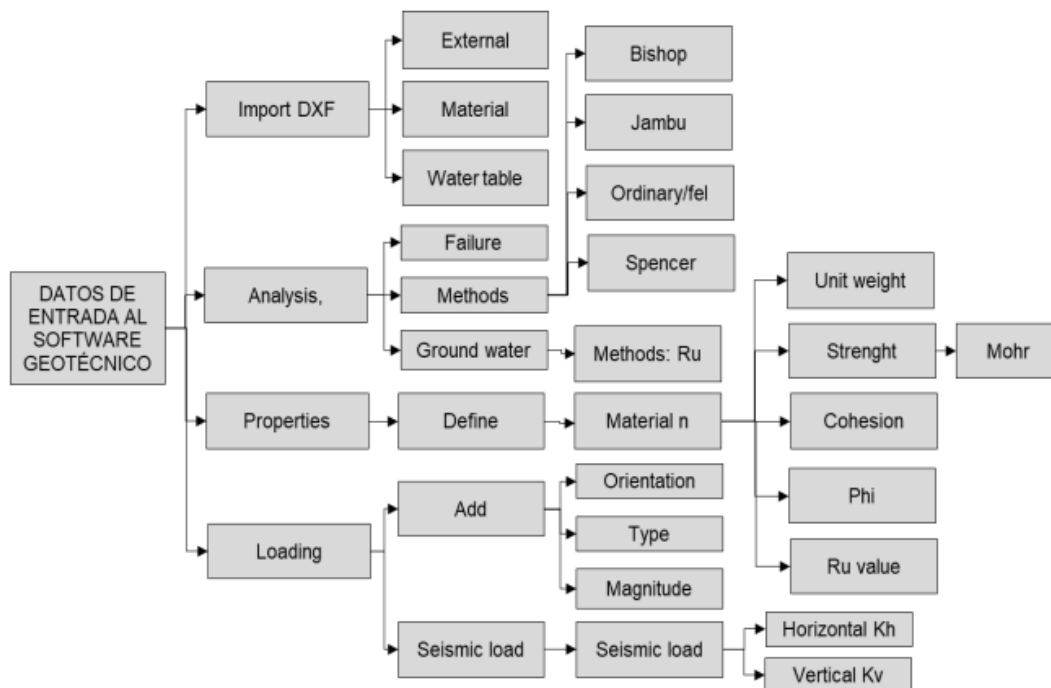


Figura 24. Datos de entrada al software geotécnico

4.3. Análisis de estabilidad en condiciones actuales

4.3.1. Perfil evaluado para el análisis de estabilidad

Para el análisis de estabilidad de taludes se tomó un perfil representativo de la zona de interés.

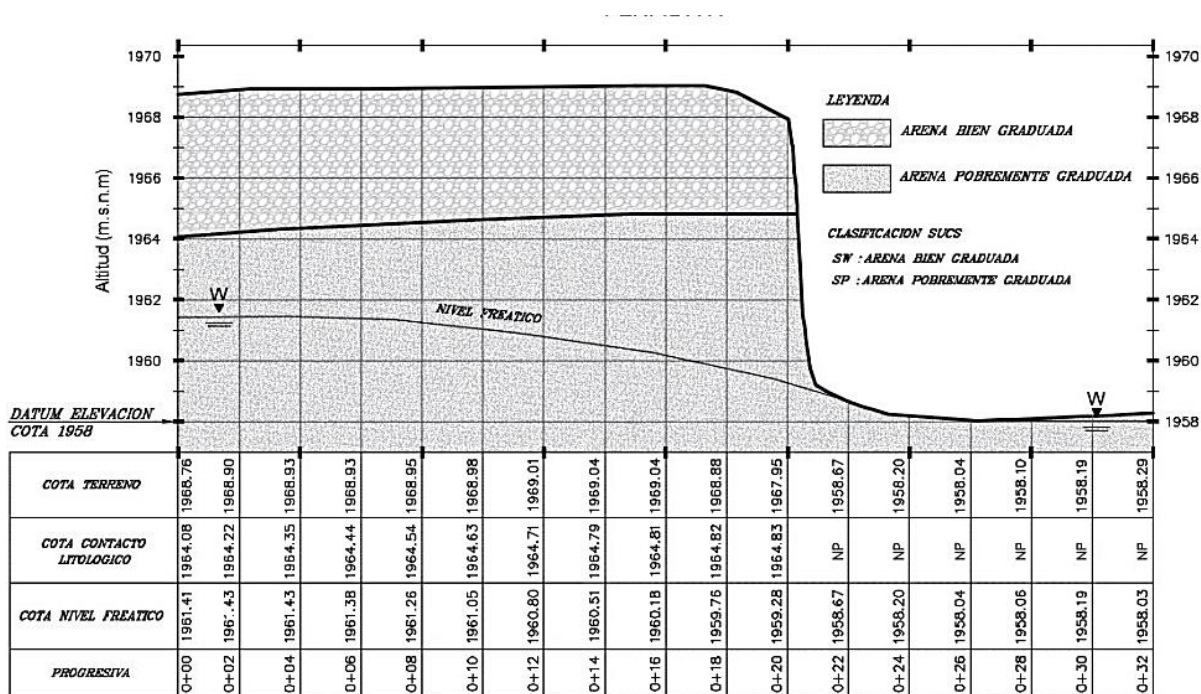


Figura 25. Vista del perfil estratigráfico A - A

4.3.2. Análisis de estabilidad en condiciones actuales

a) Análisis estático

“En los siguientes gráficos y tablas se presentan los factores de seguridad obtenidos para los métodos de análisis (Fellenius y Spencer) a una presión intersticial de $R_u = 0.1$ ”

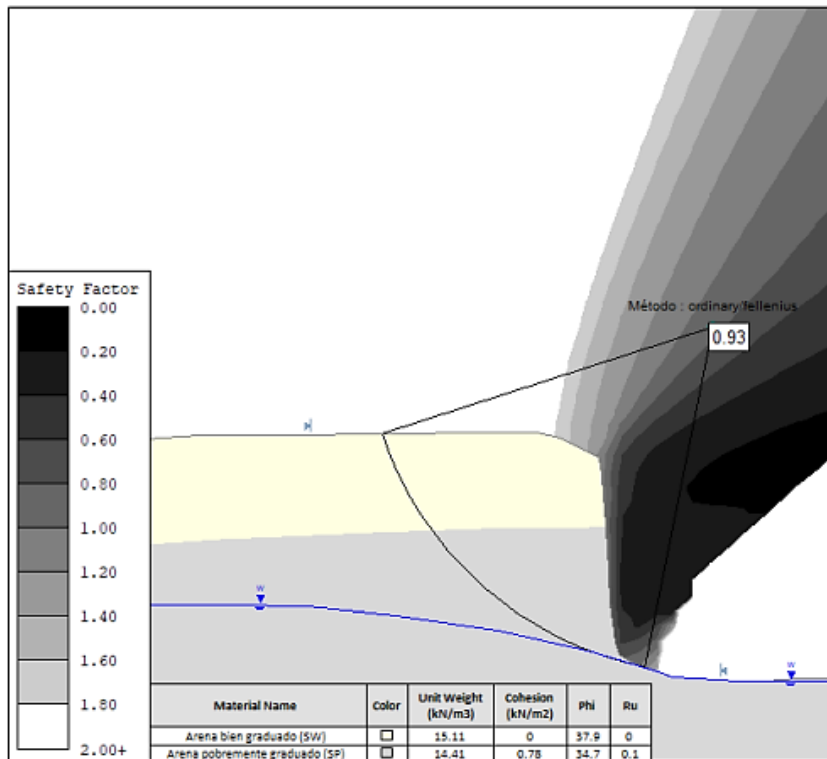


Figura 26. F.S. Fellenius

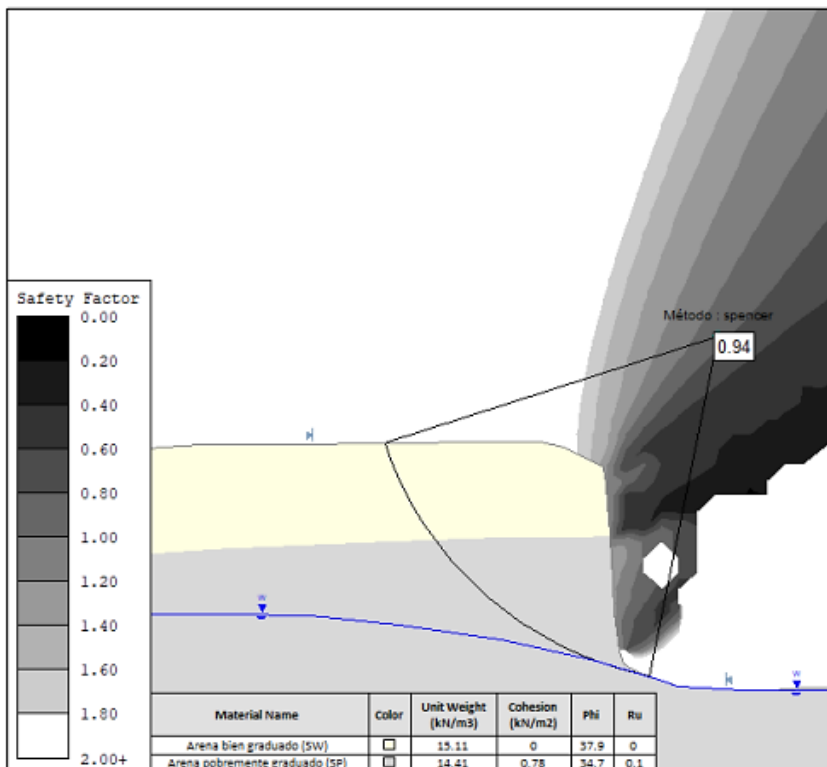


Figura 27. F.S. Spencer

b) Análisis pseudoestático

“Se emplea el análisis pseudoestático debido a que la unidad minera se encuentra en la zona sísmica 3, que según la norma sísmica E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones la aceleración máxima del suelo le corresponde el valor de 0.35. Para determinar la aceleración máxima de diseño se realizó el análisis basado en Marcuson (1981), el cual consiste en tomar la tercera parte de la aceleración máxima de diseño luego de haber sido amplificado, este valor también es conocido como el coeficiente sísmico k_h ”

El coeficiente sísmico k_h se calcula de la siguiente manera.

$$A_{(max-d)} = PGA \cdot S; \text{ donde } k_h = A_{(max-d)}$$

“Por tener el suelo características de resistencia intermedia (ver Tabla 7) y pertenecer a la zona sísmica 3, se considera la amplificación $S = 1.15$ ”.

Tabla 7. Factor de suelo Perú

Clasificación de suelos de acuerdo a la amplificación sísmica (E.030)				
Zonas Sísmicas	S0	S1	S2	S3
	Roca Dura	Roca o suelos muy rígidos	Suelos Intermedios	Suelos Blandos
Zona 4	0.80	1.00	1.05	1.10
Zona 3	0.80	1.00	1.15	1.20
Zona 2	0.80	1.00	1.20	1.40
Zona 1	0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente: Valiente et al., (2015)

$$A_{(max-d)} = \frac{(0.35) * (1.15)}{3}$$

$$A_{(max-d)} = 0.13 = k_h$$

“Considerado los movimientos verticales, por lo tanto, se ha tomado las dos terceras partes del coeficiente sísmico horizontal tal como sugiere la Norma E.030”.

$$k_v = 2/3$$

$$k_v = 0.09$$

“A continuación, se muestran los gráficos y tablas con los factores de seguridad obtenidos por los 2 métodos de análisis (Fellenius y Spencer) para una presión intersticial de $R_u = 0.1$ ”.

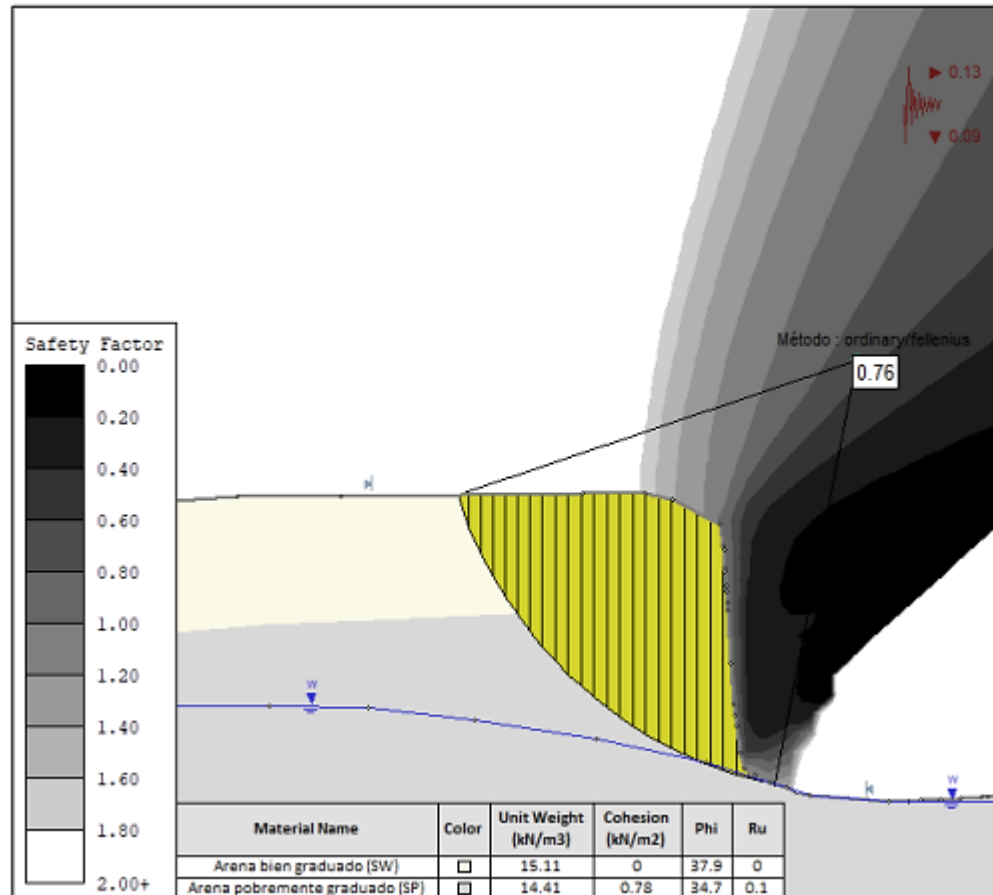


Figura 28. F.S. Fellenius en condiciones pseudoestáticas

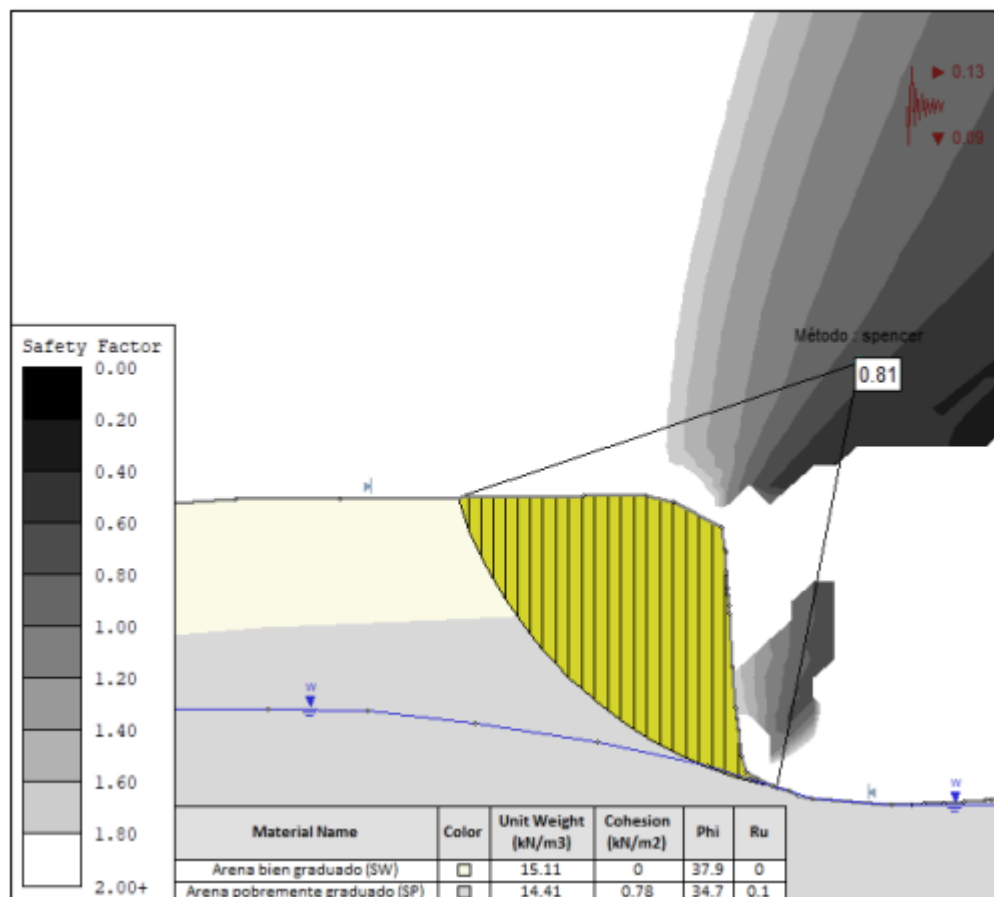


Figura 29. F.S. Spencer en condiciones pseudoestáticas.

“A continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos de los análisis de estabilidad realizados por cada método”.

Tabla 8. Resultados de los análisis del talud actual

METODOS DE CALCULO	FACTOR DE SEGURIDAD		CONDICIÓN
	Estático	Pseudoestático Kh=0.13, Kv=0.09	
Fellenius	0.93	0.76	Inestable
Spencer	0.94	0.81	Inestable

En condiciones estáticas, el factor de seguridad alcanzado es inferior a 1,2, que es el valor recomendado para esta situación, por lo que el talud actual se considera inestable. Para la condición cuasi-estática, aceleración sísmica $K_h=0.13$, $K_v=0.09$, los factores de seguridad obtenidos por

ambos métodos son menores al valor recomendado de 1.0, por lo que la pendiente de la corriente se considera inestable.

“Debido al diagnóstico de la situación actual del talud se requiere elaborar un estudio para determinar la geometría óptima del talud a fin de garantizar su estabilidad”.

4.4. Determinación de los parámetros geométricos óptimos del talud

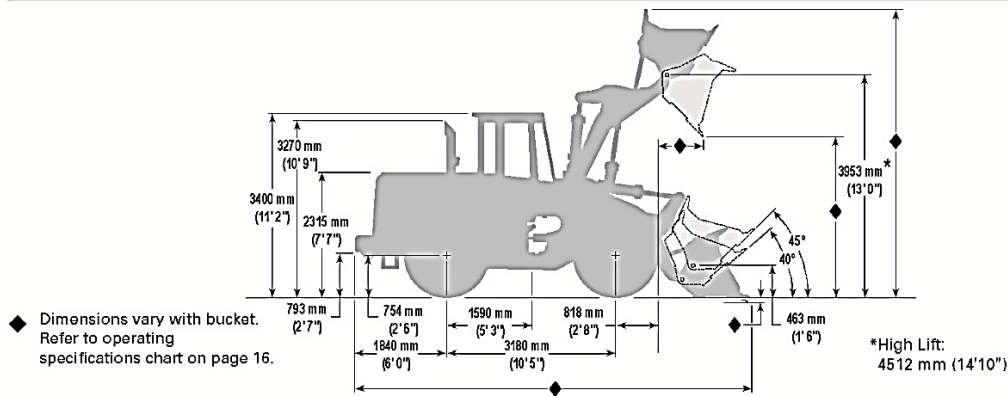
En esta sección, los parámetros geométricos básicos tales como la altura del banco, la berma y el ángulo de la pendiente se determinarán primero, y el método propuesto se utilizará para determinar el último. Los demás parámetros se calculan en base a los parámetros básicos ya descritos.

4.4.1. Determinación de la altura del talud

Determinar la pendiente o la altura del escalón requiere recopilar estándares operativos, incluida la revisión del alcance del equipo de carga y/o excavación seleccionada para la operación minera. Por lo tanto, según la ficha técnica del dispositivo. El cargador frontal CAT 950F tiene una altura máxima de cucharón de 4,5 m y la excavadora Komatsu WB93R tiene una altura máxima de excavación de 5,8 m. El promedio de la altura máxima, si el objetivo es aprovechar la eficiencia del equipo de carga y/o excavación, la altura óptima de la mesa para esta operación es de 5 m.

Dimensions

All dimensions are approximate



Tread width for all tires 2090 mm (82")

	Width over tires		Ground clearance		Change in vertical dimensions	
	mm	inches	mm	inches	mm	inches
23.5-25, 12 PR (L-2) standard	2753	108.4	474	18.7	—	—
23.5-25, 16 PR (L-3)	2749	108.2	474	18.7	—	—
23.5-R25 GP-2B (L-2/3) steel radial	2756	108.5	474	18.7	—	—
23.5-R25 XHA (L-3) steel radial	2761	108.7	460	18.1	-16	-0.62
20.5-25, 12 PR (L-2)	2684	105.6	394	15.5	-80	-3.1
20.5-25, 16 PR (L-2)	2684	105.6	394	15.5	-80	-3.1
20.5-25, 16 PR (L-3)	2675	105.3	423	16.7	-51	-2.0
20.5-25, 20 PR (L-3)	2675	105.3	423	16.7	-51	-2.0
20.5-R25 GP-2B (L-2/3) steel radial	2672	105.2	406	16.0	-68	-2.7
20.5-R25 XHA (L-3) steel radial	2676	105.4	402	15.8	-72	-2.8
20.5-R25 XGLA (L-2) steel radial	2683	105.6	393	15.5	-81	-3.19

Supplemental Specifications

	Change in Operating weight		Change in Articulated Static Tipping Load	
	kg	lb	kg	lb
Remove cab only, ROPS remains	-177	-390	-134	-295
23.5X25 L-3 16PR	+171	+377	+109	+240
23.5-R25, GP-2B (L-2/3) steel radial	+325	+715	+207	+456
23.5-R25 XHA, (L-3) steel radial	+409	+902	+260	+573
20.5-25, 12 PR (L-2)	-598	-1319	-380	-838
20.5-25, 16 PR (L-2)	-574	-1266	-402	-884
20.5-25, 16 PR (L-3)	-431	-950	-365	-805
20.5-R25, GP-2B (L-2/3) steel radial	-406	-893	-274	-604
20.5-R25, XHA (L-3) steel radial	-364	-803	-231	-510
20.5-R25 XGLA (L-2) steel radial	-536	-1182	-341	-751
Tire ballast 20.5-25 bias ply tires	+819	+1806	+1070	+2354
Tire ballast 23.5-25 bias ply tires	+1171	+2582	+1533	+3373

Note: Tire option include tires and rims.



Numero actual de especificaciones

RITCHIE Specs Todo Acerca de Equipo

[Inicio](#) > [Búsqueda de especificación](#) > [Construction](#) > [Wheel Loader](#) > [Caterpillar](#) > 950F

CATERPILLAR 950F WHEEL LOADER

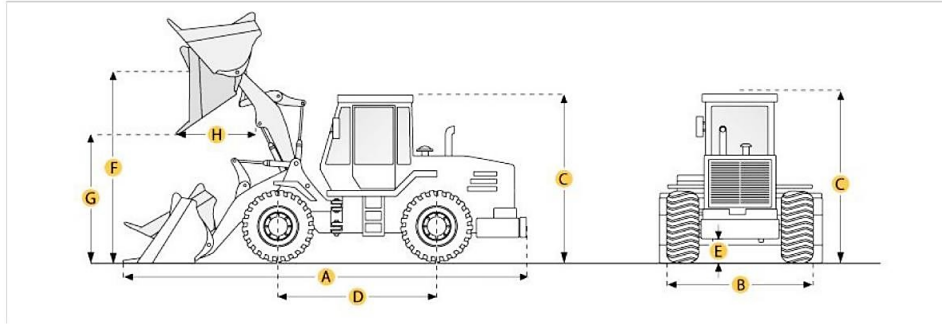
VER ARTÍCULOS ACERCA DE ESTE ÍTEM

Imprimir especificación

¿Quiere comprar este equipo?

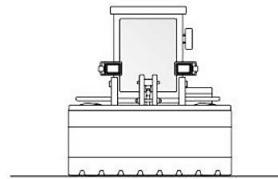
¿Necesita vender equipos?

[Encuentre en Caterpillar 950F Wheel Loader](#) que esta siendo vendido en las subastas de Ritchie Bros.

[Complete esta forma](#) y un representante de Ritchie Bros. lo contactará


Selected Dimensions

Cucharón		
G. DESPEJE DE LA DESCARGA A ELEVACIÓN MÁXIMA	9.6 ft in	2941 mm
Dimensiones		
A. LONGITUD CON EL CUBO EN LA TIERRA	25.2 ft in	7689 mm
B. NEUMÁTICOS EXCESIVOS DE LA ANCHURA	9 ft in	2753 mm
C. ALTURA HASTA LA PARTE SUPERIOR DE LA CABINA	11.5 ft in	3520 mm
D. DISTANCIA ENTRE EJES	10.4 ft in	3180 mm
E. DESPEJE DESDE EL SUELO	1.6 ft in	474 mm
F. HINGE PIN - MAX HEIGHT	13 ft in	3953 mm
H. ALCANCE EN LA ALTURA Y LA DESCARGA MÁXIMAS	3.6 ft in	1103 mm



Especificaciones

Engine		
MAKE	Caterpillar	
MODEL	3116	
NET POWER	170 hp	126.8 kw
GROSS POWER	180 hp	134.2 kw
POWER MEASURED @	2200 rpm	
DISPLACEMENT	402.8 cu in	6.6 L
NUMBER OF CYLINDERS	6	
ASPIRATION	Turbocharged	
Operational		
OPERATING WEIGHT	34678.7 lb	15730 kg
FUEL CAPACITY	58.6 gal	222 L
HYDRAULIC SYSTEM FLUID CAPACITY	40.4 gal	153 L
ENGINE OIL FLUID CAPACITY	5.3 gal	20 L
COOLING SYSTEM FLUID CAPACITY	12.9 gal	49 L
TRANSMISSION FLUID CAPACITY	9 gal	34 L
FRONT AXLE/DIFF FLUID CAPACITY	9.5 gal	36 L
REAR AXLE/DIFF FLUID CAPACITY	9.5 gal	36 L
STATIC TIPPING WEIGHT	23243.3 lb	10543 kg
TURNING RADIUS	21.1 ft in	6419 mm
OPERATING VOLTAGE	24 V	
ALTERNATOR SUPPLIED AMPERAGE	50 amps	
REAR AXLE OSCILLATION	26 degrees	
TIRE SIZE	23.5-25 12PR	
Transmission		
TYPE	Planetary powershift	
NUMBER OF FORWARD GEARS	4	
NUMBER OF REVERSE GEARS	4	
MAX SPEED - FORWARD	24.4 mph	39.3 km/h
MAX SPEED - REVERSE	26.7 mph	43 km/h
Hydraulic System		
RELIEF VALVE PRESSURE	3000 psi	20684.3 kPa
PLUMP FLOW CAPACITY	62.6 gal/min	237 L/min
RAISE TIME	6.6 sec	
DUMP TIME	2.2 sec	
LOWER TIME	3 sec	
Bucket		
BREAKOUT FORCE	35801 lb	159.3 kN



Viewing Photo 1 of 5


<http://www.ritchiespecs.com/es/especificacion?type=Construction&category=Wheel+Loader&make=Caterpillar&model=950F&modelid=103750#>

Figura 31. Ficha técnica cargador frontal CAT 950F

KOMATSU

Komatsu Europe
Tel. +32-2-255 24 11
Fax +32-2-252 19 81
www.komatsu.eu

WB93R

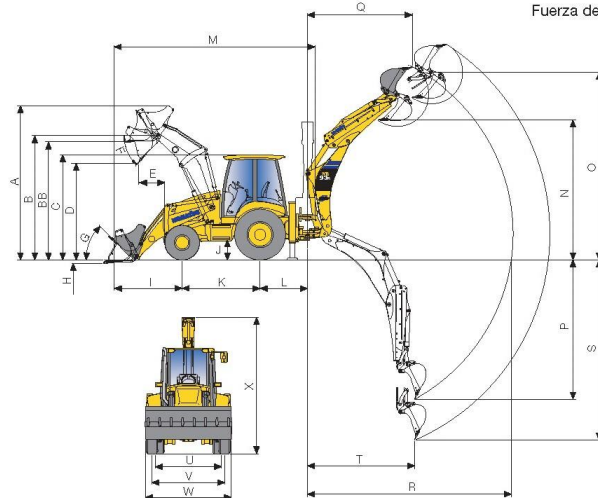
Datos técnicos

PALA

El diseño del brazo permite una mejor distribución de las fuerzas de excavación y el mantenimiento del paralelismo durante la bajada y subida; además, gracias al sistema cinemático específico, se han reducido los puntos de engrase.

Anchura de cuchara estándar	2.320 mm
Capacidad cuchara estándar (ISO 7546)	1,03 m ³
Peso cuchara estándar	430 kg
Capacidad de elevación	
a altura máxima	3.820 daN (3.900 kg)
Capacidad de elevación	
al nivel del suelo (ISO 8313)	5.195 daN (5.300 kg)
Fuerza de arranque (ISO 8313)	6.383 daN (6.500 kg)
Anchura cuchara 4 en 1	2.340 mm
Capacidad cuchara 4 en 1 (ISO 7546)	1,0 m ³

DIMENSIONES



A	altura máxima	4.290 mm
B	altura máx. al bulón de la cuchara	3.375 mm
BB	altura máx. de carga con horquillas	3.175 mm
C	altura cabina	2.750 mm
D	altura máx. de descarga	2.720 mm
E	alcance máx. de descarga (45°)	750 mm
F	ángulo de descarga	45°
G	ángulo de recogida	45°
H	profundidad de excavación	130 mm
I	distancia al extremo de la cuchara (transporte)	1.930 mm
J	altura libre mínima	430 mm
K	distancia entre ejes	2.175 mm
L	distancia al eje de giro de la retroexcavadora	1.320 mm
M	longitud de transporte	5.895 mm
N	altura de descarga SAE	3.760 mm
	altura máx. de descarga	4.170 mm
	- con telescópico SAE	4.415 mm
	- con telescópico máx.	4.880 mm

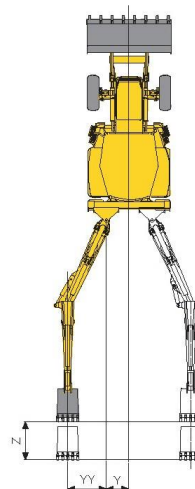
CAPACIDADES

Aceite motor	12,8 l
Refrigeración	16,5 l
Depósito de combustible	150 l
Depósito hidráulico	41 l
Sistema hidráulico	97 l
Eje delantero	8,5 l
Eje trasero	14,5 l
Transmisión	16 l

RETROEXCAVADORA

El brazo principal reforzado permite que el operario realice rotaciones de 180° manteniendo constantes las prestaciones de excavación. Soporte retroexcavadora, terminales brazo de excavación y biela de accionamiento de cazo hechos de fundición. Estabilizadores de tipo vertical con recuperación de juegos laterales y frontales con placas de apoyo basculantes.

Fuerza de arranque (ISO 6015)	5.980 daN (6.100 kg)
Fuerza de excavación en el brazo (ISO 6015)	3.920 daN (4.000 kg)



O	altura máxima de excavación	5.800 mm
	- con telescópico	6.405 mm
P	profundidad de excavación SAE	4.540 mm
	- con telescópico	5.650 mm
Q	alcance a altura máxima	2.830 mm
	- con telescópico	3.645 mm
R	alcance máx. desde el centro de giro	5.750 mm
	- con telescópico	6.715 mm
S	profundidad máxima de excavación	5.020 mm
	- con telescópico	6.055 mm
T	alcance de excavación	2.320 mm
U	ancho de vía trasera	1.800 mm
V	ancho de vía delantera	1.934 mm
W	anchura total (con cuchara)	2.320 mm
X	altura de transporte de la retroexcavadora	3.710 mm
	- con telescópico	3.870 mm
Y	desplazamiento carro desde el eje longitudinal	605 mm
YY	desplazamiento del brazo articulado	1.080 mm
Z	desplazamiento del brazo telescópico	1.140 mm

Figura 32. Ficha técnica retroexcavadora sobre ruedas WB93R

4.4.2. Determinación del ancho de berma del talud

El ancho de la berma del talud se calcula según la ecuación propuesta por Ritchie (1963) y modificada por Evans y Kahl en 1992, pero la elección de la ecuación depende de si el talud es mayor o menor a 9 m. la altura de la pendiente por encima de ella es de 5 m y el ancho de la muralla es inferior a 9 m.

$$W = 0.2 * (5) + 2.0$$

$$W = 3m$$

Por lo tanto, el ancho de berma es 3 m.

4.4.3. Determinación del ángulo del talud

Este parámetro generalmente se define de acuerdo con los parámetros geotécnicos del terreno y debe verificarse de acuerdo con los pasos del diagrama de flujo para determinar los parámetros geométricos óptimos de la pendiente.

4.4.4. Análisis de estabilidad

El Apéndice 1 presenta pruebas para determinar el ángulo de pendiente óptimo utilizando software geotécnico, análisis de condiciones estáticas y cuasiestáticas para diferentes variaciones de ángulos de pendiente; se dan un total de 24 pruebas, que indican que el factor de seguridad obtenido por el método analítico (Fellenius y Spencer).

Resultados por el método de Fellenius

“En la siguiente tabla se muestra los factores de seguridad obtenidos por cada ángulo de talud de las pruebas”.

Tabla 9. Resultados de los factores de seguridad por el método Fellenius

Angulo del talud (°)	F.S Estádico	F.S Pseudoestático
32	1.44	1.09
35	1.33	1.02
36	1.30	1.00
38	1.25	0.97
40	1.20	0.94
41	1.18	0.93
42	1.15	0.91
43	1.13	0.89
44	1.11	0.87
45	1.08	0.85
47	1.05	0.83
50	0.98	0.78

Mediante el método de Fellenius se determinó la pendiente óptima de 36° que corresponde a los factores mínimos de estabilidad. El factor de seguridad es 1,30 para condiciones estáticas y 1,00 para condiciones pseudoestáticas. El factor mínimo requerido para lograr la estabilidad es 1,2 para condiciones estáticas y 1,00 para condiciones pseudoestáticas. El ángulo óptimo elegido se muestra en la Figura 30.

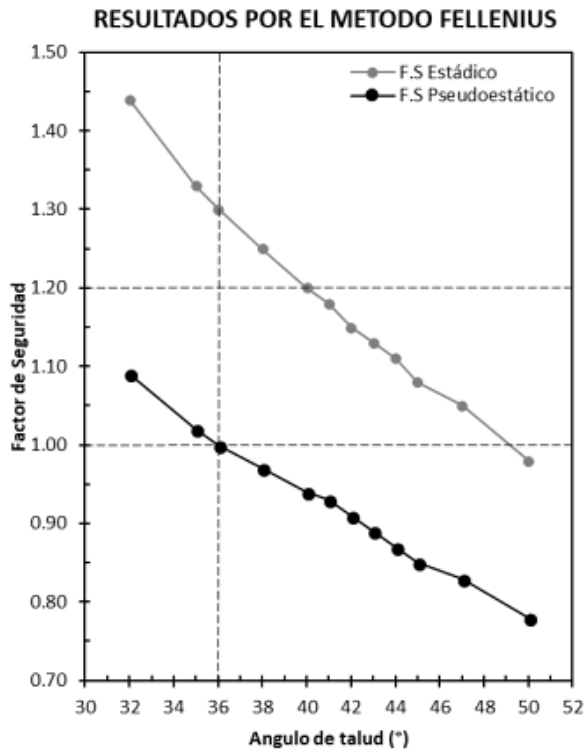


Figura 33. Resultados por el método Fellenius

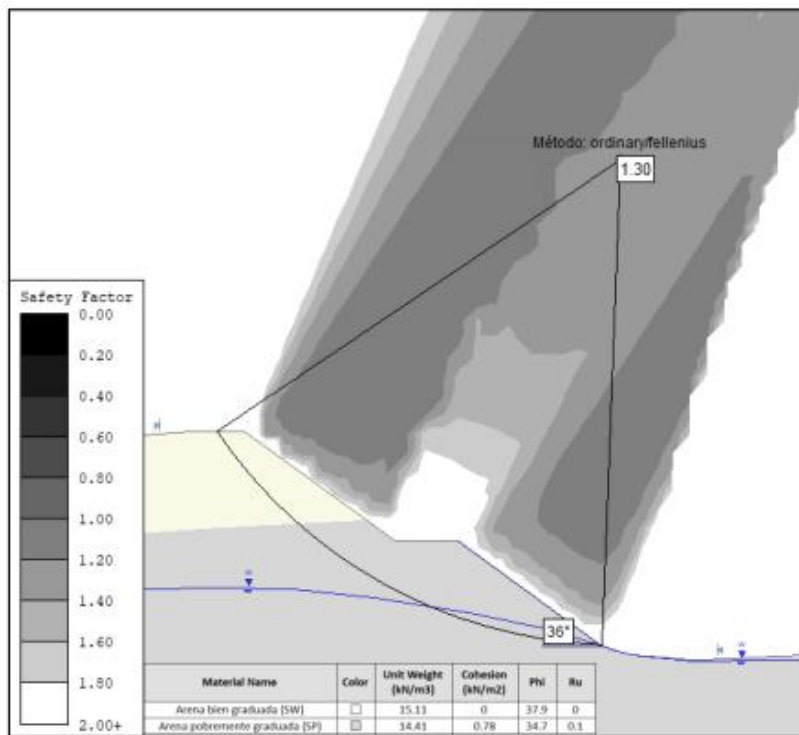


Figura 34. Talud óptimo seleccionado por el método Fellenius en condiciones estáticas

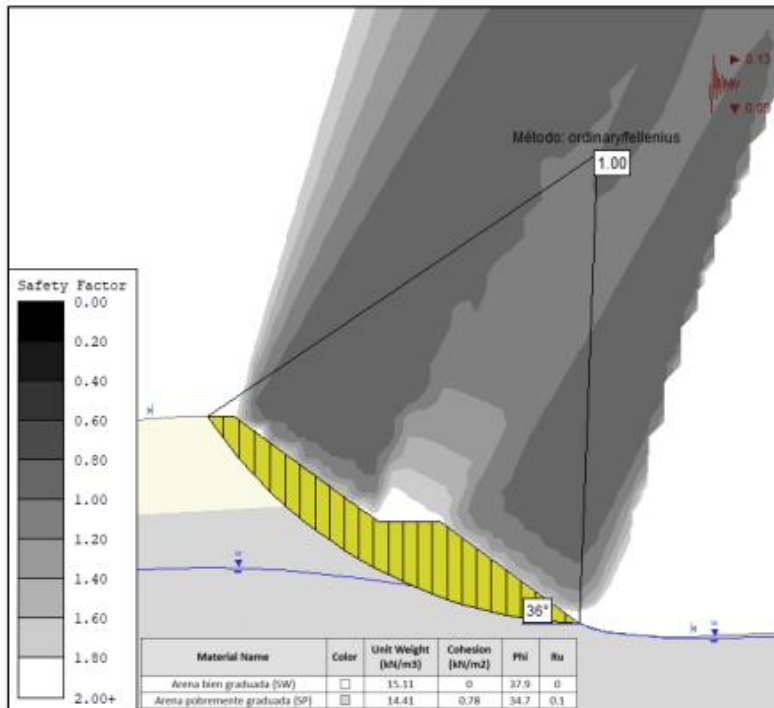


Figura 35. Talud optimo seleccionado por el método Fellenius en condiciones pseudoestáticas

Resultados por el método Spencer

“En la tabla se muestra los factores de seguridad obtenidos para cada ángulo de talud en prueba, desarrollados por el método Spencer”.

Tabla 10. Resultados de los factores de seguridad por el método Spencer

Angulo del talud (°)	F.S Estádico	F.S Pseudoestático
32	1.49	1.14
35	1.38	1.07
36	1.34	1.06
38	1.33	1.05
40	1.30	1.04
41	1.28	1.03
42	1.25	1.01
43	1.22	0.98
44	1.19	0.96
45	1.17	0.95
47	1.14	0.93
50	1.08	0.88

Utilizando el método de Spencer se determinó la pendiente óptima de 42° que corresponde a los factores mínimos de estabilidad. El factor de seguridad es 1,25 para condiciones estáticas y 1,01 para condiciones pseudoestáticas. El factor mínimo requerido para lograr la estabilidad es 1,20 para condiciones estáticas y 1,00 para condiciones pseudoestáticas.

El ángulo óptimo seleccionado se presenta en las figuras (Figura 33).

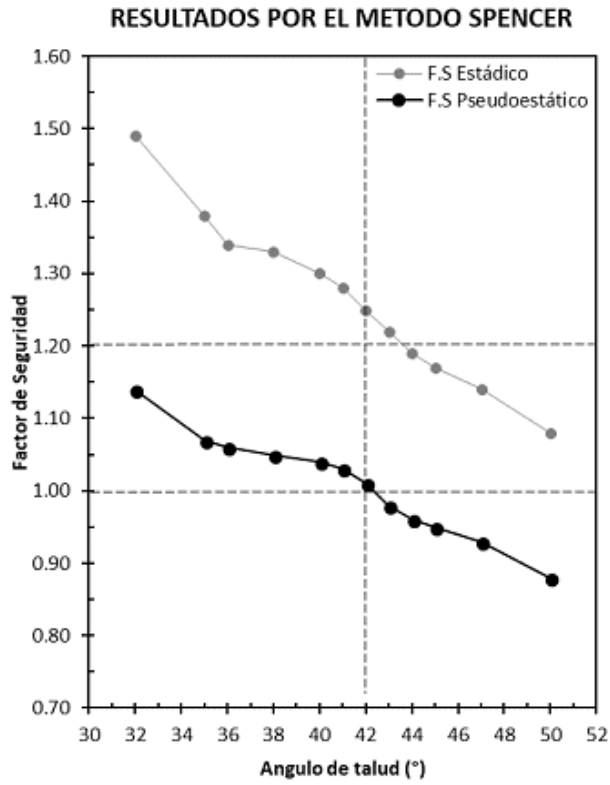


Figura 36. Resultados por el método Spencer

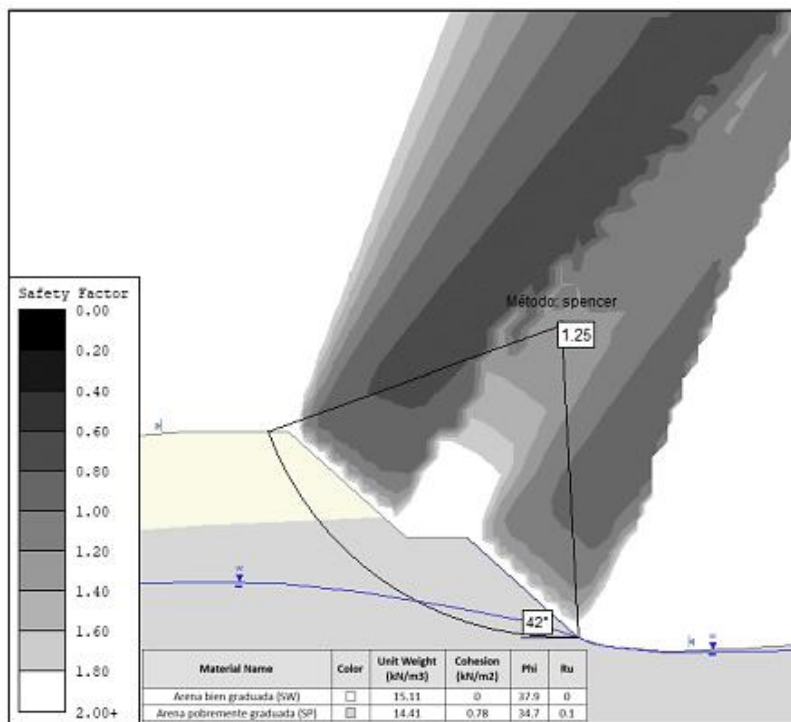


Figura 37. Talud optimo seleccionado por el método Spencer en condiciones estáticas

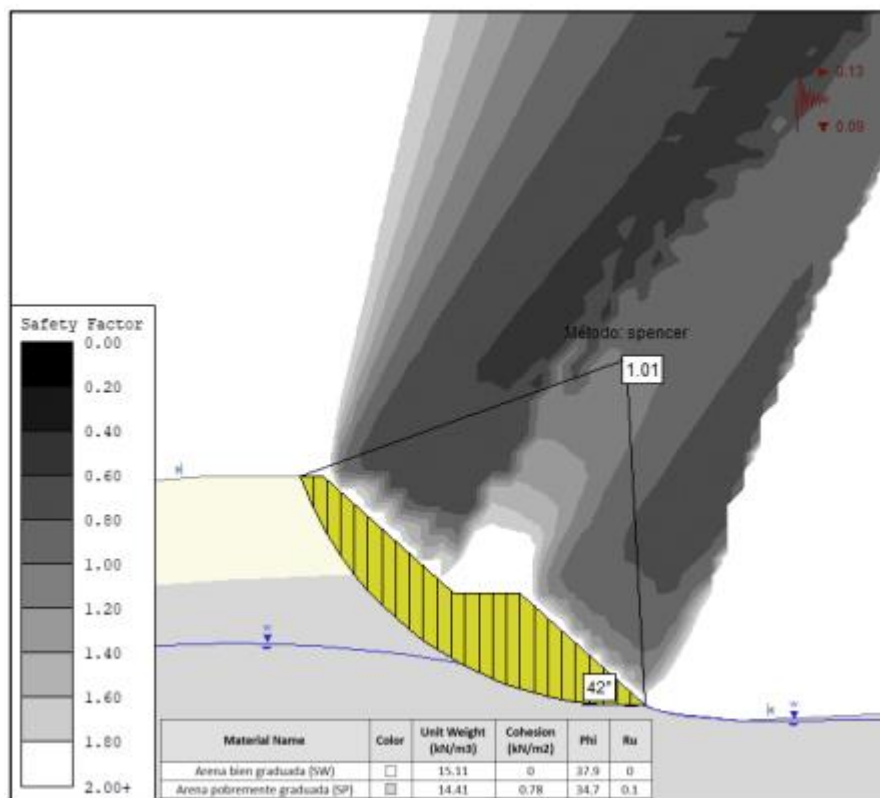


Figura 38. Talud óptimo seleccionado por el método Spencer en condiciones pseudoestáticas

Los resultados obtenidos por el método de Fellenius en el análisis de estabilidad de taludes son valores conservadores, por lo que se utilizan como base para otros métodos, mientras que el valor de Spencer se diferencia del de Fellenius, más realista y preciso, porque tiene en cuenta más intensidades y momentos entre las dovelas. Para ello se elegirá un ángulo de bisel de 42° como sugiere el método de Spencer.

4.4.5. Determinación del ángulo interrampa del talud

La ecuación (4) se utiliza para determinar el ángulo de la rampa. Esto se debe a que se conocen los valores de altura de banco, tabla y ángulo de inclinación.

De los siguientes valores:

- Ángulo de banco, $ab=42^\circ$.

- Altura de banco, $h_b = 5m$.
- Ancho de berma, $B = 3m$.
- Ángulo interrampa, α_r .

Ecuación para calcular el ángulo interrampa

$$a_r = \tan^{-1} * \left(\frac{h_b}{h_b * \cot \alpha_b + B} \right)$$

Reemplazando valores

$$a_r = \tan^{-1} * \left(\frac{5}{5 * \cot(42) + B} \right)$$

Por lo tanto el ángulo interrampa es 30.3°

4.4.6. Determinación del ángulo global del talud

Los ángulos de talud global se calculan geoméricamente utilizando parámetros básicos ya definidos, tales como: altura del talud, ángulo del talud, bermas y el número de taludes que los forman. Según la ecuación (6), el ángulo global es:

$$a_o = \tan^{-1} * \left(\frac{\tau_b * h_b}{\tau_b * h_b * \cot \alpha_b + (\tau_b - 1)B} \right)$$

Donde

- Ángulo global, α_o
- Ángulo de banco, $\alpha_b = 42^\circ$
- Altura de banco, $h_b = 5m$
- Ancho de berma, $B = 3m$
- Número de bancos, $\lambda_n = 2$

$$a_o = \tan^{-1} * \left(\frac{(2) * (5)}{(2) * (5) * \cot(42^\circ) + (2 - 1)B} \right)$$

$$a_o = 35.3^\circ$$

Por lo tanto el ángulo global es 35.3°

4.4.7. Determinación de la altura global del talud

“La altura global del talud se calcula sumando las alturas interrampas o el producto de la altura de banco y el número de bancos existentes en el talud. En este caso el talud en análisis no cuenta con rampas, por lo tanto, la ecuación para determinar la altura global es”:

$$h_0 = N_b * h_b$$

- Altura global, h_0
- Número de bancos, $N_b = 2$
- Altura de banco, $h_b = 5m$

Reemplazando se tiene

$$h_0 = (2) * (5)$$

$$h_0 = 10 m$$

Por lo tanto, la altura global es de 10 m. A partir de los estudios realizados la modificación de la geometría muestra un efecto positivo en la estabilidad del talud.

Hipótesis

a) Planteamiento de la hipótesis

Ho: “A partir de los parámetros geométricos óptimos del talud no es posible garantizar la estabilidad del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022. Ha: A partir de los parámetros geométricos óptimos del talud es posible garantizar la estabilidad del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022”.

b) Valor de correlación en la prueba estadística t de Student

Coeficiente de correlación: 0,437; significancia hallada: 0,000

Reemplazando en la formula t de Student para rho de Spearman

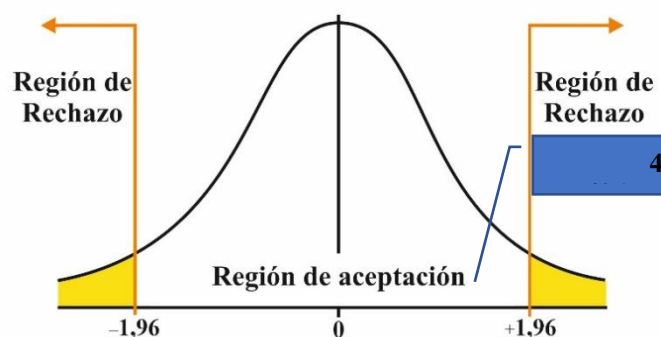
$$t = \frac{r_s \sqrt{n - 2}}{\sqrt{1 - r_s^2}}$$

$$t = \frac{0,437 \sqrt{85 - 2}}{\sqrt{1 - (0,437)^2}}$$

$$t = 4,426$$

c) Representación gráfica en la campana de gauss

Figura 25. Ubicación de la t de Student del objetivo específico 1



d) Decisión y conclusión estadística de la prueba

“Se rechaza la hipótesis nula con un coeficiente de correlación de 0,437; y una significancia hallada de 0,000, lo que significa que A partir de los parámetros geométricos óptimos del talud es posible garantizar la estabilidad del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022”.

CONCLUSIONES

- La ingeniería geotécnica está cobrando cada vez más importancia en la planificación, diseño y operación de métodos mineros, principalmente en lo que se refiere a los estudios de estabilidad de taludes en minas a cielo abierto, que es uno de los factores más importantes en la geometría propuesta y ejecutada de acuerdo con las normas generales. propósito. En estos estudios, el talud se divide en varias secciones y se establece una sección de referencia para el análisis para crear un plan minero que depende de la seguridad de excavar frente a la mina. Posteriormente, se requiere un trabajo analítico con parámetros geotécnicos, así como la investigación de cada sección de levantamiento; el trabajo coordina el estudio de los factores operativos y de seguridad de la geometría final específica en el método y la presentación y análisis de los resultados. Se pueden determinar parámetros geométricos óptimos para garantizar la estabilidad del rajo en áreas mineras, parámetros geométricos derivados del análisis de estabilidad de taludes para obtener un factor de seguridad en el rango propuesto por Read & Stacy (2009).

Extensiones	Valor (m)
Altura de banco	5
Ancho de berma	3
Altura de talud total	10
Inclinaciones	Valor (°)
Ángulo de Banco	42.0
Ángulo Interrampa	30.3
Ángulo Global	35.3

- En respuesta al objetivo específico número 1, se ha determinado que el comportamiento del suelo por medio de ensayos granulométricos y de corte directo demuestran que el ángulo

óptimo de banco es de 42° para el tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022.

- Al Evaluar los parámetros geométricos óptimos del talud influyen en la estabilidad global del tajo superficial Raúl Rojas en la unidad minera Cerro de Pasco compañía minera Volcán S.A.A. 2022, se puede afirmar que por normatividad peruana y siguiendo los criterios de Geometría recomendada para las dimensiones lineales y Geometría recomendada para las dimensiones angulares los resultados ideales son:

Extensiones	Valor (m)
Altura de banco	5
Ancho de berma	3
Altura de talud total	10

Inclinaciones	Valor ($^\circ$)
Ángulo de Banco	42.0
Ángulo Interrampa	30.3
Ángulo Global	35.3

RECOMENDACIONES

- Para analizar el comportamiento de suelos y/o rocas con diferentes propiedades geotécnicas en el área de desarrollo del estudio, se deben considerar otros escenarios con otras condiciones hidrogeológicas. El uso del coeficiente de presión de poros (R_u) se vuelve interesante porque tiene un efecto significativo en el análisis de estabilidad y es difícil de evaluar, o en casos hipotéticos no es posible determinar el nivel de agua piezométrico formado por la pendiente como variable y comprobar el efecto de esta variación en el análisis de estabilidad.
- Integrar las actualizaciones de mapeo y topografía geotécnica en las prácticas mineras y actualizar continuamente los datos de la estructura geológica minera a medida que evolucionan los límites. Con base en los datos de campo, se debe ingresar a la base de datos y se debe volver a estimar la probabilidad de falla del talud a partir del análisis de estabilidad usando el análisis de equilibrio límite usando el método propuesto.

BIBLIOGRAFIA

- HERNANDEZ , S., FERNÁNDEZ, C., & BAPTISTA, M. (2010). Metodología de la investigación. Mexico: Jesús Mares Chacón.
- HERNANDEZ, R. (2006). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
- LOPEZ, E. (2016). Estudio geotécnico y diseño del talud final de una mina cielo abierto aplicando modelos numéricos. *Ingeniero de Minas*. Repositorio institucional Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12672/4816>
- MALIMBA, A. (2019). cálculo de flota de carguío y transporte para optimizar la producción diaria en el tajo Ciénaga Norte – Coimolache. *ingeniero de minas*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca. Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/3091/TESIS%20PROFESIONAL%20CI%3%89NAGA%20NORTE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- MAMANI, L. (2018). Clasificación geomecánica para el diseño de sostenimiento en la galería principal - contrata minera Pelyos, U. E. A. -Ana María. *Maestro en geotecnia minera*. Universidad Nacional Del Altiplano, Puno. Obtenido de <https://1library.co/document/qo5vv6my-clasificacion-geomecanica-diseno-sostenimiento-galeria-principal-contrata-peyols.html>
- MENDOZA, J. (2016). Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina Antapaccay. *Ingeniero de minas*. PUCP, Lima. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/7614>
- MORALES, H., & VALIENTE, M. (2017). EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE INESTABILIDAD DE TALUDES. CASO DE ESTUDIO: INSTITUCIÓN SOCIAL JARDÍN INFANTIL LIPAYA, CASCO URBANO BARRANQUILLA. *Ingeniero civil*. Repositorio Universidad de Cartagena, Cartagena. Obtenido de <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/4152/PROYECTO%20DE%20GRADO%20%28MARIO%20VALIENTE%20Y%20HERN%C3%81N%20MORALES%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ÑAUPAS, H., VALDIVIA, R., PALACIOS, J., & ROMERO, H. (2018). *Metodología de la investigación Científica*. Bogota, Colombia: Ediciones de la U. Obtenido de http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/MetodologiaInvestigacionNaupas.pdf
- RAMIREZ , V. (2018). *CURSO TALLER - DE SISTEMA DE GESTIÓN DE TIEMPO EN OPERACIONES MINERAS*. Obtenido de <http://www.nringenieros.com.pe/wp-content/uploads/2018/07/publicacion-del-curso-de-taller-sistema-de-gestion-de-tiempos-en-operaciones-mineras-para-goldfields.pdf>
- RAMOS, M. (2018). Determinación del número óptimo de volquetes mediante el factor de acoplamiento considerando un cargador frontal 980G CAT en la ruta de mineral del banco 330 – PAD 18 del tajo seductora de la CIA MINERA SANTA ROSA S.A. – COMARSA. *ingeniero de minas*.

- Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion, Cerro de Pasco. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/720/1/TESIS_MIGUEL_RAMOS.pdf
- SALAS, D. (2011). ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL DISEÑO DEL RAJO DEL PROYECTOANGOSTURA, SANTANDER, COLOMBIA. *ingeniero civil de minas*. Repositorio Universidad de Chile, Santiago. Obtenido de https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104189/cf-salas_dp.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- THOMAS, C. (2014). Estudio comparativo entre requerimientos de soporte y fortificación de túneles definidos según métodos empíricos de clasificación geomecánica versus métodos analíticos y numéricos. *Ingeniero civil*. Universidad Catolica de Chile, Santiago. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/132024>
- VALENTIN, C. (2018). Control y mejora de la productividad del acarreo y transporte de mineral desde las labores de profundización hacia la superficie en la unidad de producción San Cristobal – Volcan Compañía Minera S.A.A. *Ingeniero de minas*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion, Pasco.
- ZORRILLA, L. (2015). La seguridad en el sostenimiento con criterios geomecánicos en la excavación subterránea de la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila. *Doctor en seguridad minera*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. Obtenido de <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1366>

ANEXO 1. ENSAYOS DE LABORATORIO

Datos de Ensayo										
Tamices	Abertura en mm.	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especificacion	Indice de Consistencia				
ASTM										
3"	76.200	0.00	0.00	100.00						
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	100.00					L Líquido	HP
2"	50.800	0.00	0.00	100.00					L Plástico	HP
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	100.00					Ind. Plástico	HP
1"	25.400	0.00	0.00	100.00					Clas. SUCS	SW
3/4"	19.050	0.72	0.72	99.28					Clas. AASHTO	A-1-6 [5]
1/2"	12.700	1.63	2.35	97.65					% de Grava	11.26
3/8"	9.525	1.68	3.93	96.07					% de Arena	86.78
No.4	4.760	7.34	11.26	88.74					% de Finos	1.95
10	2.000	16.73	28.00	72.00					D10	0.22
20	0.840	30.75	58.75	41.25					D30	0.40
40	0.420	22.60	81.35	18.65					D40	1.44
50	0.300	7.22	88.57	11.43					Cu	4.59
80	0.180								Ce	1.13
100	0.149	6.73	95.30	4.70						
140	0.106									
200	0.074	2.74	98.05	1.95						
pasa		1.95	100.00	0.00						



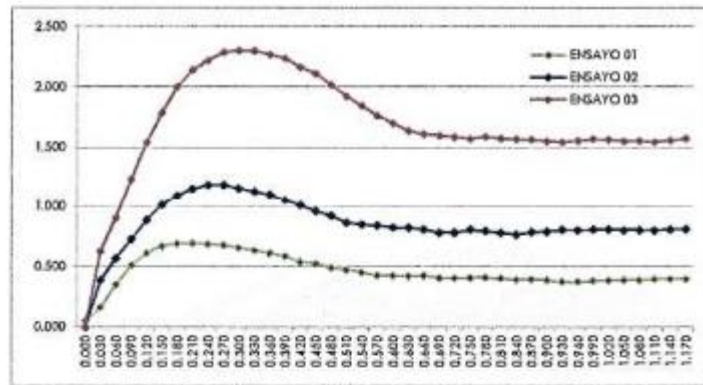
Dimensiones del Material			
Nro Ensayo	Altura de la Muestra (cm)	Diámetro de la Muestra (cm)	Tipo de la Muestra
1	2.000	6.000	Prisma
2	2.000	6.000	Prisma
3	2.000	6.000	Prisma

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Esfuerzo Normal (Kg/Cm ²)	ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3	
	0.5		1		2	
Eslopa	Resis.	Resid.	Resis.	Resid.	Resis.	Resid.
Esfuerzo Cortante (Kg/Cm ²)	0.698	0.376	1.189	0.767	2.306	1.544
Fuerza Cortante (Kg)	21.812	11.755	37.177	23.995	72.099	48.282
Ángulo Fricción (°)					47.163	37.899
Cohesión					0.139	0.000

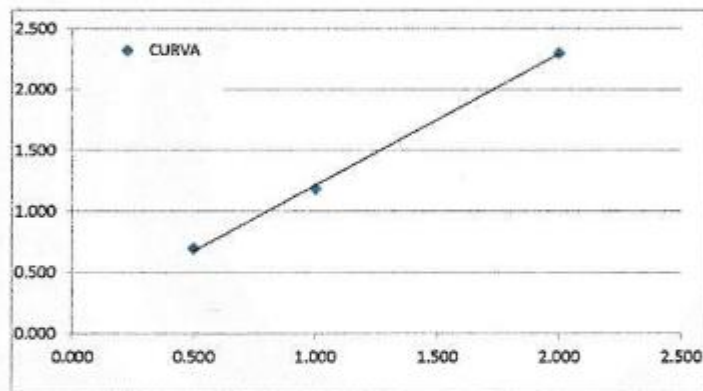
ENSAYO 1			ENSAYO 2			ENSAYO 3		
Esf. Cort. (Kg/Cm ²)	Des. Horiz. (Cm)	Des. Horiz. (%)	Esf. Cort. (Kg/Cm ²)	Des. Horiz. (Cm)	Des. Horiz. (%)	Esf. Cort. (Kg/Cm ²)	Des. Horiz. (Cm)	Des. Horiz. (%)
0.054	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.165	0.030	0.475	0.386	0.030	0.475	0.629	0.030	0.475
0.352	0.060	0.951	0.571	0.060	0.951	0.905	0.060	0.951
0.514	0.090	1.426	0.729	0.090	1.426	1.240	0.090	1.426
0.614	0.120	1.902	0.886	0.120	1.902	1.543	0.120	1.902
0.674	0.150	2.377	1.015	0.150	2.377	1.789	0.150	2.377
0.692	0.180	2.853	1.098	0.180	2.853	2.000	0.180	2.853
0.698	0.210	3.328	1.155	0.210	3.328	2.142	0.210	3.328
0.688	0.240	3.803	1.189	0.240	3.803	2.223	0.240	3.803
0.680	0.270	4.279	1.188	0.270	4.279	2.288	0.270	4.279
0.659	0.300	4.754	1.160	0.300	4.754	2.306	0.300	4.754
0.637	0.330	5.230	1.133	0.330	5.230	2.301	0.330	5.230
0.614	0.360	5.705	1.106	0.360	5.705	2.271	0.360	5.705
0.589	0.390	6.181	1.058	0.390	6.181	2.240	0.390	6.181
0.541	0.420	6.656	1.014	0.420	6.656	2.165	0.420	6.656
0.529	0.450	7.132	0.963	0.450	7.132	2.112	0.450	7.132
0.493	0.480	7.607	0.924	0.480	7.607	2.016	0.480	7.607
0.476	0.510	8.082	0.865	0.510	8.082	1.923	0.510	8.082
0.435	0.540	8.558	0.851	0.540	8.558	1.847	0.540	8.558
0.429	0.570	9.033	0.842	0.570	9.033	1.764	0.570	9.033
0.429	0.600	9.509	0.826	0.600	9.509	1.702	0.600	9.509
0.424	0.630	9.984	0.822	0.630	9.984	1.637	0.630	9.984
0.426	0.660	10.460	0.810	0.660	10.460	1.610	0.660	10.460
0.410	0.690	10.935	0.781	0.690	10.935	1.600	0.690	10.935
0.406	0.720	11.410	0.781	0.720	11.410	1.587	0.720	11.410
0.410	0.750	11.886	0.807	0.750	11.886	1.573	0.750	11.886
0.411	0.780	12.361	0.795	0.780	12.361	1.590	0.780	12.361
0.404	0.810	12.837	0.780	0.810	12.837	1.574	0.810	12.837
0.394	0.840	13.312	0.767	0.840	13.312	1.570	0.840	13.312
0.396	0.870	13.788	0.786	0.870	13.788	1.565	0.870	13.788
0.392	0.900	14.263	0.792	0.900	14.263	1.552	0.900	14.263
0.377	0.930	14.739	0.805	0.930	14.739	1.544	0.930	14.739
0.376	0.960	15.214	0.803	0.960	15.214	1.556	0.960	15.214
0.384	0.990	15.689	0.807	0.990	15.689	1.571	0.990	15.689
0.387	1.020	16.165	0.810	1.020	16.165	1.565	1.020	16.165
0.390	1.050	16.640	0.804	1.050	16.640	1.552	1.050	16.640
0.392	1.080	17.116	0.804	1.080	17.116	1.556	1.080	17.116
0.398	1.110	17.591	0.801	1.110	17.591	1.546	1.110	17.591
0.401	1.140	18.067	0.809	1.140	18.067	1.561	1.140	18.067
0.401	1.170	18.542	0.810	1.170	18.542	1.574	1.170	18.542

ESFUERZO CORTANTE[Kg/Cm2] vs DEFORMACIÓN HORIZONTAL[Cm]



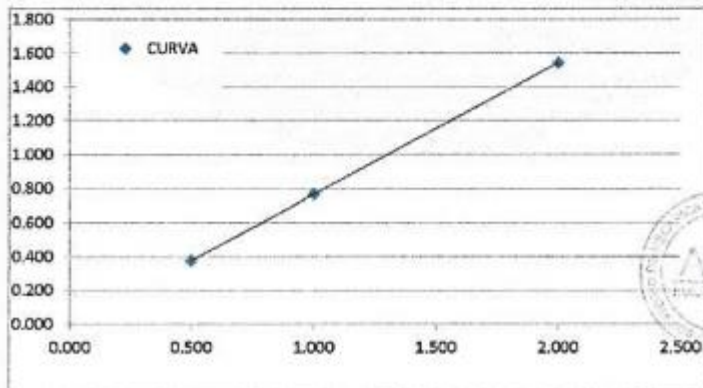
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ESFUERZO CORTANTE[Kg/Cm2] vs ESFUERZO NORMAL MÁXIMO[Kg/Cm2]



Angulo de Fricción (°)	47.163
Cohesión	0.1391

ESFUERZO CORTANTE[Kg/Cm2] vs ESFUERZO NORMAL MÍNIMO[Kg/Cm2]



Angulo de Fricción (°)	37.899
Cohesión	0.0000

DENSIDAD RELATIVA**Datos de la Muestra**

Ubicación

Muestras No.

IDENTIFICACION	Unid.	J
DENSIDAD NATURAL	g/cc	1.540
DENSIDAD MAXIMA	g/cc	1.647
DENSIDAD MINIMA	g/cc	1.436
DENSIDAD RELATIVA	%	53%

Dr : 53% Material Medianamente Denso

DENSIDAD IN SITU ASTM D 1556**Datos de La Muestra**

Ubicación

Muestras No.

ENSAYO DE DENSIDAD IN SITU		
PESO INICIAL DE ARENA	grs	8252.00
PESO FINAL DE ARENA	grs	2865.00
PESO CONO CORRECCION	grs	1332.66
PESO DE LA ARENA EMPLEADA	grs	4054.34
P.U. DE ARENA CALBRADA	grs/cm3	1.367
VOLUMEN DE CAVIDAD	cm3	2965.87
CORRECCION POR GRAVA		
PESO DE SUELO EXTRAIDO	grs	4713.00
P.E. DE GRAVA	grs/cm3	2.43
PESO GRAVA MAYOR 3/4	grs	33.88
% GRAVA	%	0.72
VOLUMEN DE GRAVA MAYOR 3/4	cm3	13.93
VALORES CORREGIDOS		
CONT. DE HUMEDAD %	%	2.92
DENSIDAD HUMEDA	grs/cm3	1.589
DENSIDAD HUMEDA CORREGIDA	grs/cm3	1.585

DENSIDAD NATURAL SECA	1.540	grs/cm3
-----------------------	-------	---------

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ASTM D 1557

Datos de la Muestra

Ubicación
Muestras No.

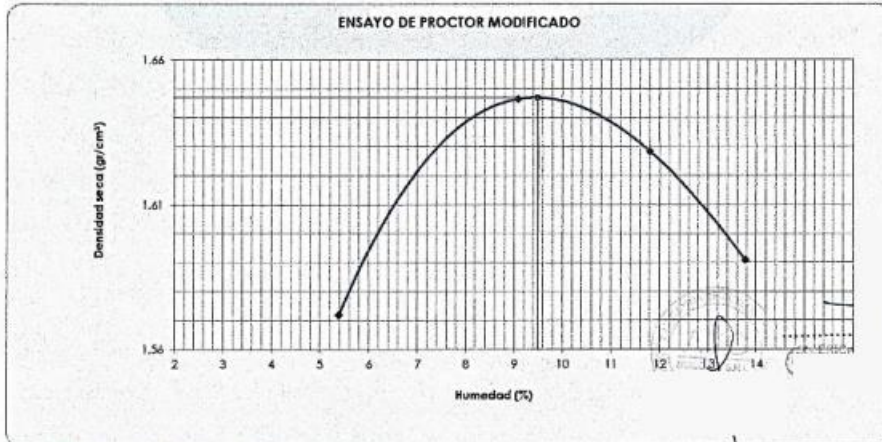
Compacción

Prueba N°	1	2	3	4
Número de capas	5	5	5	5
Número de golpes	25	25	25	25
Molde Aplicado	A	A	A	A
Peso suelo + molde (gr.)	5588	5720	5743	5733
Peso molde (gr.)	4022	4022	4022	4022
Peso suelo compactado (gr.)	1566	1698	1721	1711
Volúmen del molde (cm ³)	945.31	945.31	945.31	945.31
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.657	1.796	1.821	1.810

Determinación del % de Humedad ASTM D-2216/D-4959

Tara N°	1	2	3	4
Tara + suelo húmedo (gr.)	500.60	500.40	502.10	501.60
Tara + suelo seco (gr.)	475.00	458.70	449.10	441.00
Peso de agua (gr.)	25.60	41.70	53.00	60.60
Peso de tara (gr.)	0.00	0.00	0.00	1.00
Peso de suelo seco (gr.)	475.00	458.70	449.10	440.00
Humedad (%)	5.4	9.1	11.8	13.8
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.572	1.647	1.628	1.591

Máxima Densidad Seca (gr/cm ³) :	1.647
Óptimo Contenido de Humedad (%) :	9.50



LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D 4318

Datos de la Muestra

Ubicación

Muestras No.

Límite Líquido

ENSAYO Nº	Unid.	1	2	3		
Nº de Golpes						
Recipiente Nº						
R + Suelo Hum.	gr.					
R + Suelo Seco	gr.					
Peso de agua	gr.					
Peso de Recip.	gr.					
Peso de S. Seco	gr.					
% de Humedad	%					

Límite Plástico

ENSAYO Nº	Unid.	1	2	3	4	
Recipiente Nº						
R + Suelo Hum.	gr.					
R + Suelo Seco	gr.					
Peso de agua	gr.					
Peso de Recip.	gr.					
Peso de S. Seco	gr.					
% de Humedad	%					



Resultados	
Límite Líquido	NP
Límite Plástico	NP
Ind. Plástico	NP

CONTENIDO DE HUMEDAD EN LABORATORIO ASTM D-2216/D-4959

Datos de la Muestra

HUMEDAD NATURAL

<i>Nº de Ensayo</i>	<i>Unid.</i>	1	2	3
<i>Tara Número</i>				
<i>Peso de tara + Suelo Húmedo</i>	gr.	637.40	664.10	660.10
<i>Peso de Tara + Suelo Seco</i>	gr.	620.30	645.30	640.30
<i>Peso de Tara</i>	gr.	0.00	0.00	0.00
<i>Peso del Agua</i>	gr.	17.10	18.80	19.80
<i>Peso del Suelo Seco</i>	gr.	620.3	645.30	640.30
<i>Porcentaje de Humedad Contenida</i>	%	2.76	2.91	3.09
<i>Promedio de % de Humedad</i>	%	2.92%		

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM D 422

Datos de la Muestra

Ubicación

Colección No.

Datos de Ensayo

Tamices ASTM	Abertura en mm.	%Retenido		% que Pasa	Especificación	Indice de Consistencia	
		Parcial	Acumulado				
3"	76.200	0.00	0.00	100.00			
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	100.00			L Líquido : 1 HP
2"	50.800	0.00	0.00	100.00			L Plástico : 1 HP
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	100.00			Inst. Plástico : 1 NP
1"	25.400	0.00	0.00	100.00			Clas. SUCS : 1 SP
3/4"	19.050	0.00	0.00	100.00			Clas. AASHTO : 1 A-1-U (6)
1/2"	12.700	0.00	0.00	100.00			% de Grava : 1 0.07
3/8"	9.525	0.00	0.00	100.00			% de Arena : 1 97.12
No4	4.760	0.07	0.07	99.93			% de Finos : 1 2.81
10	2.000	3.37	3.44	96.56			D15 : 1 0.17
20	0.840	17.74	21.18	78.82			D30 : 1 0.31
40	0.420	39.24	60.42	39.58			D60 : 1 0.60
50	0.300	19.00	79.42	20.58			Cu : 1 3.53
60	0.180						Cc : 1 0.94
100	0.149	14.20	93.62	6.38			
140	0.106						
200	0.074	3.57	97.19	2.81			
para		2.81	100.00	0.00			



Dimensiones del Material			
Nro Ensayo	Altura de la Muestra (cm)	Diámetro de la Muestra (cm)	Tipo de la Muestra
1	2,000	6,000	Prisma
2	2,000	6,000	Prisma
3	2,000	6,000	Prisma

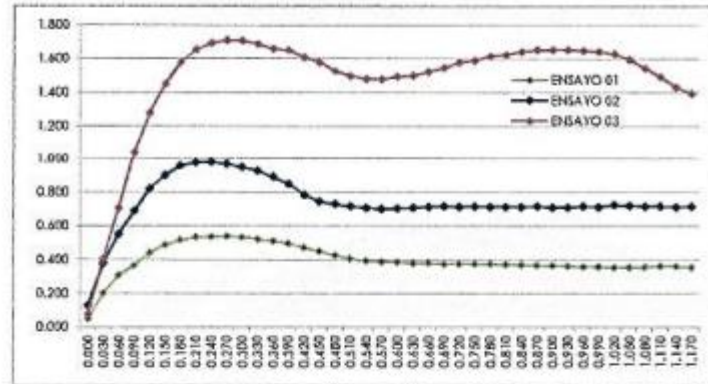
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Esfuerzo Normal (Kg/Cm ²)	ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3	
	0.5		1		2	
Etapas	Resis.	Resid.	Resis.	Resid.	Resis.	Resid.
Esfuerzo Cortante (Kg/Cm ²)	0.539	0.355	0.978	0.701	1.710	1.395
Fuerza Cortante (Kg)	16.848	11.086	30.573	21.928	53.471	43.608
Angulo Fricción (°)					37.735	34.735
Cohesión					0.173	0.008

Esf. Cort. (Kg/Cm ²)	ENSAYO 1			ENSAYO 2			ENSAYO 3		
	Des. Horiz. (Cm)	Des. Horiz. (%)	Esf. Cort. (Kg/Cm ²)	Des. Horiz. (Cm)	Des. Horiz. (%)	Esf. Cort. (Kg/Cm ²)	Des. Horiz. (Cm)	Des. Horiz. (%)	
0.050	0.000	0.000	0.127	0.000	0.000	0.078	0.000	0.000	
0.201	0.090	0.475	0.376	0.030	0.475	0.404	0.030	0.475	
0.307	0.060	0.951	0.552	0.060	0.951	0.706	0.060	0.951	
0.367	0.090	1.426	0.687	0.090	1.426	1.042	0.090	1.426	
0.440	0.120	1.902	0.820	0.120	1.902	1.278	0.120	1.902	
0.487	0.150	2.377	0.900	0.150	2.377	1.450	0.150	2.377	
0.517	0.180	2.853	0.957	0.180	2.853	1.577	0.180	2.853	
0.532	0.210	3.328	0.976	0.210	3.328	1.603	0.210	3.328	
0.538	0.240	3.803	0.978	0.240	3.803	1.694	0.240	3.803	
0.539	0.270	4.279	0.968	0.270	4.279	1.710	0.270	4.279	
0.535	0.300	4.754	0.949	0.300	4.754	1.706	0.300	4.754	
0.521	0.330	5.230	0.925	0.330	5.230	1.687	0.330	5.230	
0.511	0.360	5.705	0.889	0.360	5.705	1.657	0.360	5.705	
0.496	0.390	6.181	0.849	0.390	6.181	1.650	0.390	6.181	
0.471	0.420	6.656	0.783	0.420	6.656	1.608	0.420	6.656	
0.450	0.450	7.132	0.745	0.450	7.132	1.581	0.450	7.132	
0.426	0.480	7.607	0.728	0.480	7.607	1.527	0.480	7.607	
0.406	0.510	8.082	0.716	0.510	8.082	1.498	0.510	8.082	
0.394	0.540	8.558	0.707	0.540	8.558	1.480	0.540	8.558	
0.388	0.570	9.033	0.701	0.570	9.033	1.479	0.570	9.033	
0.385	0.600	9.509	0.704	0.600	9.509	1.494	0.600	9.509	
0.378	0.630	9.984	0.708	0.630	9.984	1.501	0.630	9.984	
0.380	0.660	10.460	0.712	0.660	10.460	1.524	0.660	10.460	
0.375	0.690	10.935	0.715	0.690	10.935	1.547	0.690	10.935	
0.377	0.720	11.410	0.712	0.720	11.410	1.579	0.720	11.410	
0.376	0.750	11.886	0.715	0.750	11.886	1.591	0.750	11.886	
0.374	0.780	12.361	0.712	0.780	12.361	1.615	0.780	12.361	
0.372	0.810	12.837	0.712	0.810	12.837	1.624	0.810	12.837	
0.369	0.840	13.312	0.712	0.840	13.312	1.642	0.840	13.312	
0.367	0.870	13.788	0.716	0.870	13.788	1.653	0.870	13.788	
0.365	0.900	14.263	0.711	0.900	14.263	1.653	0.900	14.263	
0.363	0.930	14.739	0.710	0.930	14.739	1.655	0.930	14.739	
0.360	0.960	15.214	0.717	0.960	15.214	1.648	0.960	15.214	
0.359	0.990	15.689	0.713	0.990	15.689	1.643	0.990	15.689	
0.355	1.020	16.165	0.724	1.020	16.165	1.629	1.020	16.165	
0.357	1.050	16.640	0.720	1.050	16.640	1.595	1.050	16.640	
0.358	1.080	17.116	0.714	1.080	17.116	1.546	1.080	17.116	
0.363	1.110	17.591	0.717	1.110	17.591	1.494	1.110	17.591	
0.361	1.140	18.067	0.712	1.140	18.067	1.431	1.140	18.067	
0.356	1.170	18.542	0.714	1.170	18.542	1.395	1.170	18.542	

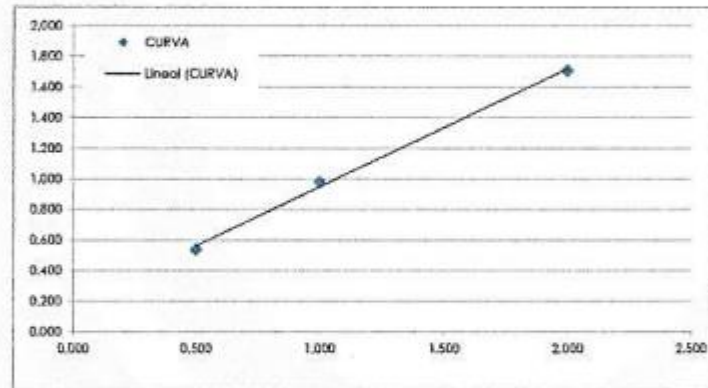
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ESFUERZO CORTANTE(Kg/Cm2) vs DEFORMACIÓN HORIZONTAL(Cm)



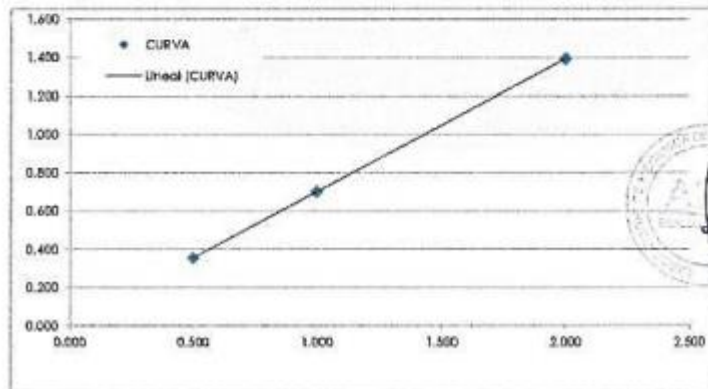
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ESFUERZO CORTANTE(Kg/Cm2) vs ESFUERZO NORMAL MÁXIMO(Kg/Cm2)



Angulo de Fricción (°)	37.735
Cohesión	0.1726

ESFUERZO CORTANTE(Kg/Cm2) vs ESFUERZO NORMAL MÍNIMO(Kg/Cm2)



Angulo de Fricción (°)	34.735
Cohesión	0.0079

DENSIDAD RELATIVA

Datos de la Muestra

IDENTIFICACION	Unid.	I
DENSIDAD NATURAL	gr/cc	1.469
DENSIDAD MAXIMA	gr/cc	1.516
DENSIDAD MINIMA	gr/cc	1.318
DENSIDAD RELATIVA	%	79%

DENSIDAD IN SITU ASTM D 1556

Datos de La Muestra

Ubicación

Calicata No.

ENSAYO DE DENSIDAD IN SITU		
PESO INICIAL DE ARENA	grs	8232.00
PESO FINAL DE ARENA	grs	2907.00
PESO CONO CORRECCION	grs	1332.66
PESO DE LA ARENA EMPLEADA	grs	3992.34
P.U. DE ARENA CALBRADA	grs/cm3	1.367
VOLUMEN DE CAVIDAD	cm3	2920.51
CORRECCION POR GRAVA		
PESO DE SUELO EXTRAIDO	grs	4351.00
P.E. DE GRAVA	grs/cm3	2.43
PESO GRAVA MAYOR 3/4	grs	0.00
% GRAVA	%	0.00
VOLUMEN DE GRAVA MAYOR 3/4	cm3	0.00
VALORES CORREGIDOS		
CONT. DE HUMEDAD %	%	1.39
DENSIDAD HUMEDA	grs/cm3	1.490
DENSIDAD HUMEDA CORREGIDA	grs/cm3	1.490

DENSIDAD NATURAL SECA	1.469	grs/cm3
-----------------------	-------	---------

**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN****CONSTANCIA N° 036-2023-FIMGC**

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, en segunda instancia para las **Escuelas Profesionales** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 281-2022-FIMGC- UNSCH-D**, deja constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

Apellidos y Nombres : ESPINOZA BULEJE, Albert Jefferson
Escuela Profesional : INGENIERÍA DE MINAS
Título de la Tesis : "EVALUACION DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DEL TALUD, PARA GARANTIZAR LA ESTABILIDAD DEL TAJO SUPERFICIAL RAÚL ROJAS EN LA UNIDAD MINERA CERRO DE PASCO COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A. 2022"
Evaluación de la Originalidad : 28 % Índice de Similitud
Identificador de la entrega : 2105019057

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 03 de junio del 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado
Departamento Académicos de Matemática y Física

EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DEL TALUD, PARA GARANTIZAR LA ESTABILIDAD DEL TAJO SUPERFICIAL RAÚL ROJAS EN LA UNIDAD MINERA CERRO DE PASCO COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A. 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

28%

INDICE DE SIMILITUD

24%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

11%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1 repositorio.unam.edu.pe 13%
Fuente de Internet

2 Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga 8%
Trabajo del estudiante

3 vsip.info 2%
Fuente de Internet

4 repositorio.urp.edu.pe 1%
Fuente de Internet

5 kupdf.net 1%
Fuente de Internet

6 repositorio.unamba.edu.pe 1%
Fuente de Internet

7 repositorio.uncp.edu.pe 1%
Fuente de Internet

repositorio.unap.edu.pe

8

Fuente de Internet

1 %

9

hdl.handle.net

Fuente de Internet

<1 %

10

tesis.pucp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo

**UNSCH**FACULTAD DE
INGENIERÍA
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 039-2023-FIMGC

En la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 223-2023-FIMGC-D**, siendo los doce días del mes de junio del 2023, a horas 11:00 am.; se reunieron los jurados del acto de sustentación, en el Auditorium virtual google meet del Campus Universitario de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Siendo el Jurado de la sustentación de tesis compuesto por el presidente el **Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES**, Jurado el **Dr. Ing. Johnny Henry CCATAMAYO BARRIOS**, Jurado el **Mg. Ing. Jaime PALOMINO CLAUDIO**, Jurado - Asesor el **Dr. Ing. Víctor Félix FLORES MORENO** y secretario del proceso el **Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**, con el objetivo de recepcionar la sustentación de la tesis denominada titulado: **“EVALUACION DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DEL TALUD, PARA GARANTIZAR LA ESTABILIDAD DEL TAJO SUPERFICIAL RAÚL ROJAS EN LA UNIDAD MINERA CERRO DE PASCO COMPAÑÍA MINERA VOLCAN S.A.A. 2022”**, presentado por el/la Sr./Srta., **Albert Jefferson ESPINOZA BULEJE**, Bachiller en **Ciencias de la Ingeniería Minas**.

El Jurado luego de haber recepcionado la sustentación de la tesis y realizado las preguntas, el sustentante al haber dado respuesta a las preguntas, y el Jurado haber deliberado; califica con la nota aprobatoria de **16 (dieciséis)**.

En fe de lo cual, se firma la presente acta, por los miembros integrantes del proceso de sustentación.



Firmado digitalmente por
Efraín Elías Porras Flores
Fecha: 2023.06.17
12:59:11 -05'00'

Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES
Presidente



Firmado digitalmente por
Dr. Johnny Henry
Ccatamayo Barrios
Fecha: 2023.06.13
05:47:31 -05'00'

Dr. Ing. Johnny Henry CCATAMAYO BARRIOS
Jurado




Dr. Ing. Víctor Félix FLORES MORENO
Jurado Asesor



Firmado digitalmente por
JAIME PALOMINO CLAUDIO
Fecha: 2023.06.12 12:34:00
-05'00'

Mg. Ing. Jaime PALOMINO CLAUDIO
Jurado


Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR
Secretario del Proceso

C.c.:
Bach. Albert Jefferson ESPINOZA BULEJE
Jurados (4)
Archivo