



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**EVALUACIÓN DE LA CARACTERIZACIÓN DE TALUDES
ROCOSOS PARA EL DISEÑO DE ESTABILIDAD EN LA
ZONA C1 DEL RECRECIMIENTO DEL PAD 1 FASE III
SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE, 2020**

PRESENTADO POR

BACH. ALEX ALBERTO CHALLCO ARIZACA

ASESOR

MAG. DENNYS GEOVANNI CALDERON PANIAGUA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN GEOTECNIA Y
TRANSPORTES**

MOQUEGUA – PERÚ

2022

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
PÁGINA DE JURADO	I
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCIÓN	XII
 CAPÍTULO I	
 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN..... 1	
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	1
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	5
1.2.1. Problema general.....	5
1.2.2. Problemas específicos	5
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.3.1. Objetivo general	5
1.3.2. Objetivos específicos.....	6
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.5. VARIABLES.....	8

1.5.1. Variable Independiente	8
1.5.2. Variable Dependiente	8
1.5.3. Operacionalización de variables.....	10
1.6. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.6.1. Hipótesis general	12
1.6.2. Hipótesis específicas	12

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO 13

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
2.2. BASES TEÓRICAS	17
2.2.1. Caracterización de taludes rocosos.....	18
2.2.2. Caracterización geomecánica	19
2.2.2.1. Macizo Rocoso.....	19
2.2.2.2. Clasificación del Macizo Rocoso.....	20
2.2.3. Caracterización Geotecnia.....	24
2.2.4. Estabilidad de Taludes	25
2.2.5. Diseño de inclinación de talud	26
2.2.6. Estabilidad talud	26
2.3. MARCO CONCEPTUAL	26

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO 30

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	30
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	31

3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA	31
3.3.1.	Población.....	31
3.3.2.	Muestra.....	31
3.3.3.	Ubicación de la zona de estudio	32
3.4.	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	32
3.4.1.	Geología Regional.....	32
3.4.2.	Estratigrafía	34
3.4.3.	Geología estructural	35
3.4.4.	Geomorfología	35
3.4.5.	Peligro Sísmico	37
3.4.6.	Características Geotécnicas del Talud.....	38
3.4.7.	Nivel freático.....	38
3.4.8.	Basamento Rocoso	38
3.4.9.	Parámetros geomecánicos	39
3.4.10.	GSI (Índice geológico de resistencia)	39
3.4.11.	Granodiorita	40
3.4.12.	Gneis	40
3.4.13.	Parámetros de resistencia de discontinuidades.....	41
3.4.14.	Análisis Geotécnico.....	42
3.4.14.1.	Evaluación estructural	42
3.4.14.2.	Análisis estereográfico	43
3.4.14.3.	Análisis de Esfuerzos Máximos	44
3.4.14.4.	Análisis cinemático	45
3.4.14.4.	Resultados de la evaluación cinemática	47

3.4.14.5. Diseño de estabilidad de talud	49
3.4.14.6. Metodología de análisis	50
3.4.14.7. Condiciones de análisis	50

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS 53

4.1. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.	53
4.1.1. Análisis por medio software - Slide v. 6.0	53
4.1.2. Clasificación geotécnica de los taludes	53
4.1.3. Diseño de talud mediante el software Slide 6.0 v	54
4.2. CONTRASTACIÓN DE LAS HIPÓTESIS	56
4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	61

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 64

5.1. CONCLUSIONES	64
5.2. RECOMENDACIONES	66

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA 67

ANEXOS 72

ANEXO 01: FOTOGRAFÍAS DE LA ZONA DE ANÁLISIS DEL TALUD 73

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Matriz de operacionalización de variables.....	11
Tabla 2 Clasificación de las rocas en función del RQD.....	21
Tabla 3 Clasificación de parámetros de Bieniawski 1989	23
Tabla 4 Corrección del RMR mediante ajustes por orientación de discontinuidades.....	24
Tabla 5 Aceleraciones horizontales máximas y aceleraciones espectrales	37
Tabla 6 Resumen de dureza	39
Tabla 7 Resumen de GSI.....	40
Tabla 8 Resumen de propiedades mecánicas de las discontinuidades.....	41
Tabla 9 Resumen de parámetros dinámicos para el análisis de respuesta sísmica	42
Tabla 10 Resumen de familias de discontinuidades por zona de análisis.....	44
Tabla 11 Resultados del análisis cinemático.....	49
Tabla 12 Resultados del análisis geotécnico del talud	54
Tabla 13 Resumen de resultados del análisis de estabilidad.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Representación de los tipos más comunes de rotura en taludes en roca: en proyección estereográfica y tridimensional. Modificado a partir de Hoek y Bray (1974).....	3
Figura 2. Ubicación de la zona de estudio	32
Figura 3. Área de evaluación estructural de la zona 1C.....	43
Figura 4. Zona 1C del pad 1 fase III - proyección estereográfica.....	44
Figura 5. Proyección estereográfica de esfuerzo máximo	45
Figura 6. Zona 1C, estaciones geomecánicas EGCV 113 y 114, talud 74°/130°. 48	
Figura 7. Zona 1C, estaciones geomecánicas EGCV 113 y 114, talud 74°/130°. 48	
Figura 8. Zona 1C, estaciones geomecánicas EGCV 113 y 114, talud 74°/130°. 49	
Figura 9. Vistas en planta de la zona 1C.....	51
Figura 10. Sección geotécnica de máxima pendiente A-A y mecanismo de falla circular, criterio en condición de estabilidad estática.	51
Figura 11. Sección geotécnica de máxima pendiente B-B y mecanismo de falla circular, criterio en condición de estabilidad estática.	52
Figura 12. Dimensiones del talud y el factor de seguridad de la sección A-A.	62
Figura 13. Dimensiones del talud y el factor de seguridad de la sección B-B.....	63

RESUMEN

Este estudio geométrico revela la estabilidad de taludes en operaciones de ingeniería o minería, lo cual es importante para garantizar la eficiencia y seguridad de los procedimientos de trabajo en estas áreas.

La evaluación geomecánica, en la estabilidad de talud en la zona 1C del recrecimiento del Pad I fase III, evaluando las propiedades del talud de roca afectado y determinando el factor de seguridad del talud; Información a evaluar mediante mediciones de campo e información existente, para lo cual se evalúa mediante: Se aplican RMR, SMR y GSI y Dips v5.103 y el software Slide.

Los resultados obtenidos se pueden decir: La medición de la estabilidad global en las laderas del macizo rocoso, así como mediante un estudio más detallado, puede indicar la presencia de inestabilidad local en algunas áreas debido a deslizamientos y explosiones.

Palabras Clave: Evaluación, caracterización factor de seguridad, Geomecánica, diseño, Talud.

ABSTRACT

The geomechanical study for the stability of the slopes in engineering or mining works is of vital importance to guarantee a normal, efficient and safe development of engineering and mining works.

This research presents the geomechanical evaluation for slope stability in zone 1C of the regrowth of Pad I phase III, by evaluating the characterization of affected rocky slopes and determining the safety factor of the slopes; Information that will be evaluated through in situ measurements and existing information, for this it will be evaluated through: RMR, SMR and GSI and the software Dips v5.103 and Slide will be applied.

With the results obtained, the design of the global stability in the slopes of the massif can be confirmed, as well as through a more detailed study it is possible to specify that there is local instability in certain sectors due to landslides and blasting.

Keywords: Evaluation, safety factor characterization, Geomechanics, design, Slope.

INTRODUCCIÓN

En el campo de la ingeniería civil y la minería, es común encontrar problemas con la estabilidad de los taludes, ya sea un trozo de tierra o de roca.

Muchas obras de ingeniería civil se ocupan del diseño y análisis de la estabilidad de taludes, como lo demuestra la necesidad de comunicar y satisfacer las necesidades humanas, origen de la construcción. Estructuras de línea (ferrocarril, carretera), canales y operaciones mineras, por lo que se construyen rampas al final. La pendiente más alta permitida contra el suelo, manteniendo condiciones aceptables de estabilidad.

Las pendientes serán permanentes en una infraestructura lineal diseñada para ser estable a largo plazo, se deben tomar medidas adicionales de estabilización cuando las pendientes no se puedan formar en altura, y el ángulo se proporciona por varias razones.

La naturaleza del material que forma un talud está relacionada con el grado de inestabilidad que este tiende a sufrir, presentando las diferentes litologías distinto grado de susceptibilidad potencial ante la ocurrencia de deslizamientos o roturas. Las propiedades físicas y resistentes de cada tipo de material, junto con la presencia de agua, gobiernan su comportamiento tenso de formación al y, por tanto, su inestabilidad. La determinación cuantitativa de factores de seguridad exige el empleo de técnicas y muestras propias de Mecánica de Rocas.

Este estudio requirió la evaluación de las características del talud rocoso y la determinación de la estabilidad, ya que el deslizamiento del talud podría influir en

el comportamiento de la región C1 durante la regeneración del colchón 1 etapa III, Sociedad Minera Cerro Verde.

El presente estudio demanda la realización de los siguientes trabajos:

- Recopilación de información existente.
- Indagación de los parámetros de entorno.

Se realiza visitas a la zona en estudio y, ayudándome con la información Se realizaron visitas al área de estudio y con la información consultada se evaluaron los parámetros ambientales: clima del área, geología regional, geología local, tectónica, hidrología, tectónica y sismicidad.

- Vigilar visualmente los taludes.

Con los datos reunidos en gabinete, campo y con los resultados por el informe geotécnico N°: CAP18045-H-210-35-OT-101, se han valorado todas aquellas causas tanto externas como internas al talud que pudieran actuar durante la fase de la inestabilidad.

- Medidas correctivas.

Conocidas las posibles causas de inestabilidad, se recomendará las medidas correctoras y protectoras para el talud.

Este estudio muestra con gran detalle la elección del método de análisis de estabilidad de taludes para el método de equilibrio finito en taludes controlados estructuralmente y así se puede obtener un factor de seguridad que les ayuda a comprender mejor el problema.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad problemática

El Perú tiene recursos de alta demanda respecto a los minerales de carácter pétreos, los cuales son vitales e indispensables para el desarrollo y progreso del país. Es en este entender, que realizar el diseño de taludes de forma correcta incide en el Pad Lixiviación, utilizado para la explotación puesto que el estudio del mismo no se viene realizando a cabalidad para maximizar su utilización.

A la fecha, Sociedad Minera Cerro Verde - Arequipa, con la expansión y explotación de Yacimiento Metálicos, requiere estimación de los macizos rocosos para el diseño de revestimiento y estabilidad taludes de la zona 1C, pudiendo originarse derrumbes y deslizamientos, los cuales afectarían las pozas de procesos y conflictos sociales.

Respecto a este tema, Gómez (2015) señala que “durante el estudio de evaluación de taludes se desarrollan los fenómenos que suceden en este último, abordando los temas de fractura de masas de suelo o macizo rocoso. Los agentes externos son responsables de la generación de inconsistencia, la cual es una fuerza de masa: el peso, cargas dinámicas, condiciones climáticas, sobre cargas estáticas,

factores climáticos, variación en la geometría, cambios en las condiciones hidrogeológicas y ocasionalmente los efectos de filtración”.

Se deben tener en cuenta los patrones de daño y algunas consideraciones generales de estabilidad de taludes, tales como (Ramírez Oyanguren & Alejano Monge, 2004) afirman:

En la mayoría de los casos, la inestabilidad de la pendiente no se puede estudiar a nivel general, sino una pendiente con pendiente, porque la inestabilidad generalmente se asocia con la presencia de discontinuidades específicas con orientaciones específicas. La estabilidad de los taludes se ve afectada generalmente por la presencia de agua, que es en muchos casos el factor limitante, ya que el factor de seguridad suele ser muy diferente en las presas excavadas en todo el macizo; Totalmente saturado o completamente seco.

Cuando el factor de seguridad de la pendiente cuidadosamente calculada es menor que 1, es muy fácil crear un problema, en la mayoría de las pendientes de explotación, solo es necesario garantizar la estabilidad en un tiempo relativamente corto, durante mucho tiempo., se considera suficiente un factor de seguridad igual o superior a 1,2. Si el problema es garantizar la estabilidad a largo plazo de la pendiente, se debe considerar el factor de seguridad de los escalones de 1,5 o más. Por cálculo, es posible determinar el ángulo de inclinación, en el caso de sequedad o saturación completa, para lograr un cierto factor de seguridad.

En cualquier parte de la superficie de la Tierra, la gravedad actúa constantemente sobre los materiales, tendiendo a las capas inferiores. El término

más común para referirse a los movimientos resultantes en pendientes pronunciadas es deslizamiento de tierra.

Los mecanismos de falla más comunes en los sectores de ingeniería civil y minería son fallas planas, fallas por cuña, fallas por vuelco, fallas circulares y fallas por cortes paralelos a la pendiente. En la Figura 1.0 se presentan, de acuerdo con las sugerencias originales de Hooke y Bray (1974) con modificaciones menores.

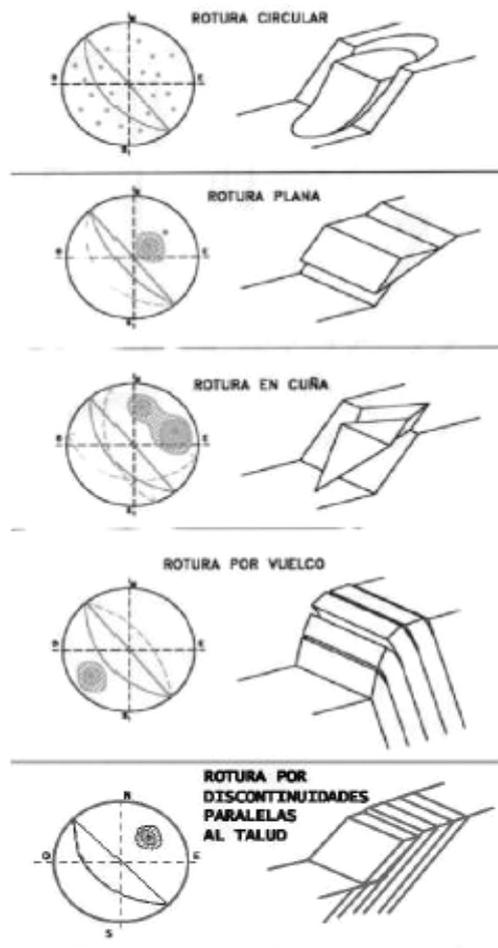


Figura 1. Representación de los tipos de daños más habituales en acantilados: en proyección estereoscópica y 3D. Modificado por Hoek y Bray (1974).

Cuanto mayor es la pendiente, más complejos son los problemas que surgen. Estos problemas se pueden resumir en:

Mayor efecto de las condiciones estructurales y de las intermitencias geológicas.

- Fenómenos de fluencia y rotura sucesiva.
- Mayor dominio de los factores hidrogeológicos.
- Mayor capacidad frente a fenómenos dinámicos.
- Inconstancias relacionadas a estados tensionales elevados.

La determinación de los peligros de deslizamientos de tierra requiere el uso de varias herramientas estadísticas, como cálculos de probabilidad y análisis de confiabilidad, para ayudar a los ingenieros a tomar decisiones.

Uno de los mayores problemas encontrados por el Área 1C en el rebrote del Pad 1 Fase III en Sociedad Minera Cerro Verde, es el problema de inestabilidad de taludes, sin estudiar los taludes. Características geológicas, geotécnicas y geotécnicas, para diseñar adecuadamente las rocas.

“La capacidad de los ingenieros geotécnicos de modelar exactamente el comportamiento de un talud está comprometida por varios factores. El resultado neto de estas consideraciones es que el comportamiento exacto de los taludes no puede ser predicho exactamente” (Lynn Peterson, 1999).

Según mencionado en líneas arriba la finalidad de este estudio es la caracterización de los taludes rocosos, ante el comportamiento de la inestabilidad del talud rocoso, específicamente en la zona 1C, las cuales son consideradas zona de

inestabilidad dentro del recrecimiento del Pad I Fase II, cuya carterista del macizo rocoso.

1.2. Definición del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el diseño más eficiente de estabilidad de taludes al realizar la evaluación geomecánica y geotécnica de los macizos rocosos de la zona 1C del recrecimiento Pad 1 Fase III – Sociedad Minera Cerro Verde - 2020?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Qué características geotécnicas en el talud de la zona 1C del recrecimiento del Pad 1 Fase III – Sociedad Minera Cerro Verde, 2020?
- ¿Qué características geomecánicas en el talud de la zona 1C del recrecimiento del Pad 1 Fase III – Sociedad Minera Cerro Verde, 2020?
- ¿Cómo determinar el factor de seguridad en taludes rocosos en la zona 1C del recrecimiento del Pad 1 Fase II – Sociedad Minera Cerro Verde, 2020?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar las características de taludes rocosos del talud de la zona 1C del recrecimiento del Pad 1 Fase III – Sociedad Minera Cerro Verde - 2020.

1.3.2. Objetivos específicos

- Resolver la concentración de esfuerzos por medio de Software ingenieril en la zona 1C del recrecimiento del Pad 1 Fase III – Sociedad Minera Cerro Verde - 2020.
- Obtener el valor del RMR, SMR y GSI del macizo rocoso en la zona 1C del recrecimiento del Pad 1 Fase III – Sociedad Minera Cerro Verde - 2020
- Calcular el factor de seguridad a ser utilizando antes y después de aplicar un diseño eficiente en la zona 1C del recrecimiento del Pad 1 Fase III – Sociedad Minera Cerro Verde - 2020.

1.4. Justificación e importancia de la investigación

Relevancia Social

El presente trabajo surge a partir de la necesidad de evaluar el talud rocoso para el sistema de revestimiento en la zona 1C del recrecimiento del Pad 1 Fase II, dentro de las instalaciones de la empresa minera Cerro Verde.

Dichas necesidades son para evaluar el comportamiento del macizo rocoso; y con estas evaluaciones mitigaremos los deslizamientos, derrumbes e impactos ambientales que puedan afectar a la población aledaña y evitar los conflictos sociales.

Relevancia Técnica

La presente investigación busca realizar la evaluación geo mecánica para mejorar la estabilidad de los taludes en un sector 1C del recrecimiento del Pad 1 Fase III, iniciando en la caracterización geo mecánica del macizo rocoso afectado, posterior a esto se procederá a determinar el factor de seguridad de los taludes;

seguidamente con esta información se realizará la evaluación pertinente contando con muestras in situ, así como de información complementaria existente.

Relevancia Normativa

La presente investigación está de acuerdo a las normativas peruanas según la CE-020 - suelos y taludes. La cual es exigible a todos los trabajos en el campo de estabilización de taludes y suelos para obras de la rama de ingeniería civil. En este marco es necesario considerar las exigencias mínimas, las cuales no son limitativas para la realización del estudio y mitigación de las contingencias ante deslizamientos de laderas, taludes entre otras; siempre brindando un enfoque ambiental orientado al desarrollo de gestión por riesgos.

Relevancia Metodológica

Sobre este aspecto Zorrilla (1993) señala que “El tipo de investigación según su finalidad es “Aplicada” debido a que, mediante la utilización de la ciencia y teoría, busca generar conocimiento nuevo en base a la aplicación directa en casos prácticos en este caso es el diseño de estabilidad de taludes en rocas. La investigación aplicada en ese entender comprende la realización de solucionar problemas existentes, con un margen finito de generalización, la cual es ajustable a un tipo de lugar y tiempo, por lo que resulta significativa la implementación del mismo en un determinado caso específico”.

1.5. Variables

1.5.1. Variable Independiente

- *Caracterización de taludes rocosos/*

Identificar el valor del grado de estabilidad de un macizo rocoso y el permisible peligro del desprendimiento de rocas en su talud de la zona 1C. Los taludes son utilizados por medio de técnicas geológicas e informe geotécnico y así mismo determinan las características exigibles para la caracterización geomecánica según la metodología del Slope Mass Rating - SMR y RQD.

Dimensiones:

a.- X 1= Caracterización geomecánica: Están dados por la clasificación RQD y la clasificación SMR

b.- X 2= Caracterización Geotecnia: Para ello se utilizan una serie de criterios que permiten obtener los parámetros resistentes del terreno en función del método de rotura: “Mohr – Columb” y “Hoek & Brown”

1.5.2. Variable Dependiente

- **Consistencia de taludes**

La evaluación de la solidez de taludes durante las fases previas al desarrollo de un proyecto conlleva a pensar en el adecuado trabajo que se tiene que realizar en el campo de la ingeniería civil. Asimismo, los actores responsables para la inestabilidad es el peso de la masa, filtraciones, posibles cargas externas y otros factores secundarios.

Dimensiones:

a.- Y 1= Diseño de inclinación de Talud:

Consiste en el diseño límite para zonas donde existan taludes, en una superficie de falla, en los cuales se aplican los métodos de resistencia del material del cual está constituido el talud, asimismo cotejarlos para de ser el caso si este cuanto con la resistencia requerida o si existiese algún problema de falla.

Muy Buena====> mayor a 45°

Regular=====> de 30° a 45°

Pésimo====> menor a 30°

b.- Y 2= Estabilidad de Talud:

Los casos encontrados con suelos saturados y lugares de terrenos donde existe la presencia de un comportamiento del material de forma no línea, aunado que encontremos casos de pequeñas imperfecciones, de forma anisótropos y que estos dependan no solo de esfuerzos centrados, sino también de los normales. En este aspecto para afrontar los retos se plantean las siguientes hipótesis que ayudan a simplificar su desarrollo:

Considerar leyes constitutivas simplificadas, los cuales son modelos rígidos de forma perfectamente plásticos, que asumen resistencia al suelo, y se expresan de forma tal que los parámetros de cohesión (c) y ángulo de rozamiento (ϕ), constantes para la zona de estudio del terreno y especialmente característicos del estado plástico. Por lo que, en este entender se realiza el validado del trabajo con el criterio de rotura estudiado por Mohr-Coulomb.

- En ciertos casos, se considera la satisfacción de las condiciones de equilibrio.

Parámetros de Factor de seguridad en talud:

$FS > 1 \implies$ Estable

$FS < 1 \implies$ Inestable.

1.5.3. Operacionalización de variables

La Tabla 01, muestra la operacionalización de las variables teniendo en cuenta aspectos de variables, definiciones, medidas e indicadores.

Tabla 1*Matriz de operacionalización de variables*

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADOR
VARIABLE INDEPENDIENTE: CARACTERIZACIÓN DE TALUDES ROCOSOS	Se define como el nivel de estabilidad del macizo rocoso y la determinación del peligro de desprendimiento de las rocas en su talud, en este caso particular de la zona 1C, se ha evaluado la inestabilidad de este, por medio de la utilización de metodos del campo de la geología, e informes geotécnicos, en esa misma línea se realiza la determinación de las características que inciden en la geo mecánica, según lo indica el metodo del Slope Mass Rating (SMR) y RQD; Para la caracterización geo mecánicas y geotécnicas	Caracterización geomecánica	<ul style="list-style-type: none"> • Clasificación RQD. • Clasificación SMR
VARIABLE DEPENDIENTE: ESTABILIDAD DE TALUD	La evaluación de inestabilidades de taludes, al periodo de la realización de un proyecto, conlleva a tener encuenta estos factores para la construcción de una obra de ingeniería, asimismo la estabilidad de taludes son fenómenos asociados al dominio final de rotura de masas de suelo. En ese sentido existen agentes responsables en caso de inestabilidades como por cita el peso de la masa, filtraciones, posibles cargas externas y otros factores secundarios.	Diseño de inclinación de talud Estabilidad de Talud	<ul style="list-style-type: none"> • Muy Buena: mayor a 45° • Regular: de 30° a 45° • Pésimo: menor a 30 • Factor de seguridad > a 1: Estable • Factor de seguridad < a 1: Inestable

1.6. Hipótesis de la investigación

1.6.1. Hipótesis general

El análisis de las características del talud de la zona 1C del recrecimiento del Pad 1 Fase III de Sociedad Minera Cerro Verde en el año 2020, permitirá diseñar un talud con parámetros de estabilidad que aumenten la seguridad.

1.6.2. Hipótesis específicas

- La zona 1C del crecimiento del Pad 1 Fase III – Sociedad Minera Cerro Verde en el año 2020, mediante un software ingenieril se obtendrá la concentración esfuerzos máximos.
- En la zona de 1C del recrecimiento del Pad 1 Fase II de Sociedad Minera Cerro Verde en el año 2020, se obtendrá un valor de 50% – 75 % de calidad regular del macizo rocoso, según el RMR, SMR y GSI
- En la zona 1C del recrecimiento del Pad 1 Fase II de la Sociedad minera Cerro Verde en el año 2020, al aplicar un diseño eficiente se obtendrá un parámetro mayor que el consignado en el valor del factor de seguridad permisible.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Antecedentes de la Investigación

Internacional

Alcántara & Gutiérrez (2013). En su estudio señala que su objetivo fue identificar el grado de estabilidad de macizos rocosos en la zona de Monteagudo (Murcia), asimismo identificar la capacidad de peligro de desprendimiento de rocas en los taludes del sur, para lo cual se realizó un estudio de estabilidad del mismo por medio de la técnica geología de cartografía señalada, determinando las características necesarias para clasificarlas según el criterio del Slope Mass Rating (SMR) y analizar la orientación que presenta las juntas. En este sentido se llegó a definir cuatro familias de juntas en los macizos rocosos evaluados los cuales son de buena calidad, no existiendo probabilidad de producirse algún tipo de rotura planar, aunque sí de tipo en cuña, lo cual sería poco probable y aislada en una eventual zona sísmica. (Mira, Alcántara, & Gutiérrez, 2013)

Marcuzzi (2009). En su investigación describe que, durante el verano del 2008, producto de fuertes precipitaciones, el camino hacia el cerro San Bernardo presento deslizamientos de materiales de taludes rocosos, siendo los más importantes en los últimos años, lo cual había comprometido seriamente la estabilidad de este. Otro factor importante es el factor climático en los procesos de movimiento, tema importante que origina estos efectos, condiciones geológicas y geotécnicas de macizos rocosos que forman parte de los taludes de los caminos. Estos acontecimientos constituyen un conjunto de problemas que generan un riesgo en la estabilidad del camino y las obras existentes en esta, por lo que la investigación metodológica abarco el campo del análisis de estabilidad de taludes rocosos.(Marcuzzi & Cerusico, 2009)

Vaca (2018). En su investigación nos menciona que los ambientes geológicos de las zonas estudiadas presentan características conformadas por formaciones geológicas que forman parte de macizos rocosos, así como flujos piroclásticos, estancacion lagunales, coluviales y miradores. Estos macizos rocosos fueron evaluados según los parámetros físicos, mecánicos con la finalidad de establecer valores de calidad geo mecánica, los cuales fueron propuestos por Bieniawski en 1973, estos sirvieron para analizar la estabilidad de taludes naturales y artificiales. En este mismo sentido los parámetros desarrollados por Deere en 1963, permitieron caracterizar a estos macizos rocosos por medio de testigos de perforación, asimismo se valió de los estudios de Priest y Hudson (1976), en el cual diseñaron un método superficial, mediante el cual la relación entre el número de fisuras sobre un espacio específico determinar el valor de este índice. Ahora bien, en estos últimos tiempos el índice RQD, fue modificado a factores que presentaban

los macizos rocosos, pero que no se tenían en cuenta. Es en este entender que este estudio considero los ajustes realizados al índice de RQD mediante la inclusión de minerales de alteración considerando un factor para la calidad y la evaluación de la estabilidad de taludes.(Vaca, 2018)

Nacionales

Rómulo, (2015). Destaca en su investigación, el procedimiento corresponde a los procesos hechos para el diseño geotécnico de una pieza de agua lúbrica, la misma cosa incluye el análisis de las condiciones geográficas y geográficas. Artes de la interferencia del área material para la posición del amortiguador, así como la evaluación sísmica con respecto al desarrollo del proyecto y la implementación de entonces evaluar la estabilidad de las laderas en la basura de los trozos de arroz, como parte del método de diseño geotécnico de la El cojín de lixiviación, es básico para el conocimiento de los conceptos mecánicos básicos del suelo para las estructuras de la Tierra y el especial, para analizar la estabilidad de la pendiente. El diseño geótral del búfer de filtro se usa para verificar que la configuración geométrica esperada para buffers estables sea estable antes de aplicar estática y falsa, asegurando así la vida útil de la vida. »(Mayhua, 2015)

Miranda Jorge, (2015). Señala que, “para una mina a cielo abierto, el diseño de taludes y su ángulo global, tiene una importancia tanto económica como de seguridad al interior de la faena. Su diseño, a diferencia de los taludes de obras civiles, es construido con niveles de seguridad mínimos, debido a su corta vida operativa y al uso de monitoreo”.(Miranda, 2015)

Ramírez, (2008), señala en su investigación que un aumento en la demanda correspondiente al seccion de la construcción y minería correspondería en los

últimos años, a la generación del incremento exponencial en la extracción de materia prima, para cubrir las áreas en áreas irregulares se requiere estabilidad de taludes en zonas rocosos”.

Bray, (1974). En su investigación se menciona que los macizos rocos que forman parte de los taludes tienen una particularidad única, no habiendo metodología existente que permitan dar una receta única para realizar soluciones rutinarias, las cuales garanticen la respuesta rápida y efectiva para ser aplicadas.

Local

Para los estudios de los proyectos geotécnicos y geomecánicos; Sociedad minera Cerro Verde solicita los servicios de las empresas especializadas en consultoría; tal cual brinda información de años anteriores y recientes; para el mejor estudio e interpretación de las áreas o zona de estudio.

Las investigaciones realizadas de geología y geotecnia:

Gramsa SAC (2014), estudio “Geotécnicos de taludes y revestimiento del Pad 4B- Sociedad minera Cerro Verde”; estudio que enfoca al análisis y diseño de estabilidad de talud y el revestimiento con geosintéticos en área irregulares con mástico rocoso.

Anddes Asociados SAC (2018), estudio de la “Ingeniería de proyecto del recrecimiento del Pad 1 Fase II - Sociedad minera Cerro Verde”; estudio que enfoca al análisis, diseño de estabilidad de talud y el revestimiento con geosintéticos en área irregulares con mástico rocoso.

Sullcahuaman D. (2019), en su investigación menciona que se desarrolló un trabajo considerando como unidad de muestra a la Sociedad Minera Cerro Verde,

el cual es un complejo minero que se encuentra en la región de Arequipa, específicamente en el distrito de Uchumayo, en ese sentido la labor principal que tiene es la extracción de materiales mineros como el cobre y en una menor cantidad el material denominado molibdeno. Ahora bien la operación cuenta con dos máquinas chancadoras, las cuales se alimentan por fajas transportadores, el lugar donde se realiza la extracción se encuentra en el talud norma adyacente a la faja CV022, este tiene la peculiaridad de presentar un riesgo para las personas y operaciones debido al desprendimiento de material rocoso, el cual puede afectar a la persona causando daños irreparables. Por lo antes expuestos la empresa Maccaferri Construction, tenía la misión de realizar la limpieza y evaluación del talud, para posteriormente dejar de ser un peligro en el trabajo de campo. Sobre este sentido se realizó un estudio geo mecánico del talud, determinando que la mejor alternativa de solución era un sistema de permanente de mallas de acero stell grid, sujetado al macizo rocoso a unos 3 metros, en el cual los pernos quedarían sujetos mediante la perforación de puntos cubiertos por lechadas de cemento, inyectadas en los espacios libre entre el perno y el material rocoso.(Sullcahuaman, 2019)

Bases teóricas

La mayoría de los problemas de pendientes rocosas ocurren durante las operaciones de minería a cielo abierto y en las trincheras que surgen durante la construcción de carreteras y vías férreas. El estado actual de la tecnología en relación con el problema de las cubiertas inclinadas no es satisfactorio. Sin embargo, se pueden estudiar muchos de sus aspectos, y en el caso de rocas que no pueden soportarlos, se pueden encontrar ángulos críticos de pendiente; Por otro lado, en rocas duras, la

degradación de la pendiente aún no es predecible, incluso sin un procedimiento razonable probado para su cálculo (Coates, 1997).

Casi todas las fallas de taludes ocurren a lo largo de fallas preexistentes y predeterminadas, como discontinuidades o niveles de vulnerabilidad, como la falla de la zona de corte. En los problemas de estabilidad de taludes rocosos, el deslizamiento o colapso real de la superficie depende de la orientación espacial, la frecuencia y distribución de las discontinuidades y la resistencia al corte a lo largo de las discontinuidades. Durante el cizallamiento, se liberan formaciones rocosas geológicas, lo que conduce a deslizamientos de tierra (Jumikis, 1983).

2.1.1. Caracterización de taludes rocosos

Hablar sobre la caracterización de taludes rocosos, es hacer mención al grado de estabilidad del macizo rocoso y a la identificación del peligro de desprendimiento que pueda ocasionar en los materiales considerados como rocosos en una zona donde exista la presencia de un talud, en el caso de la investigación específicamente la zona 1C, por ende la evaluación del mismo debe realizarse considerando a bien las técnicas geológicas, e informe geotécnico, asimismo la determinación de las características requeridas para realizar la clasificación en base a la geomecánica, considerando el marco científico establecido por Slope mass Rating (SMR) y RQD; en este entender es necesario conocer las características geomecánicas y geotécnicas. (Cartaya, 2006)

Bajo este enfoque, es conocido que las rocas que se encuentran sometidas a acciones de los agentes atmosféricos, son propensas a sufrir cierta postergación que daña sus características geomecánicas, las características intrínsecas de cada

lugar de afloramiento son el resultado de las acciones de la tectónica de la zona, y propias de la naturaleza de los lugares rocosos.(González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002) Ahora bien, estas acciones, conllevarán generar nuevos comportamientos gravitatorios y sísmicos, los cuales pueden ocasionar inestabilidades que constituyan riesgos geológicos potenciales cuando perjudican las actividades del ser humano. (Alonso-Chaves, García-Navarro, Camacho, & Mantero, 2008)

2.1.2. Caracterización geomecánica

2.1.2.1. Macizo Rocosos

Es el estado natural del macizo rocoso en una superficie accidentada o con grandes alteraciones de la misma.

En este entender hablar de macizos rocosos, es referirnos a una serie de bloques que forman parte de una estructura discontinua también denominada familia, propiedades por su estructura como son por citar algunos, la estratificación que presenta, la forma de los pliegues y las fallas que en él se aprecian. En su efecto el comportamiento será dependiente de la roca, y la discontinuidad que tenga, influyendo directamente la función que caracteriza a este macizo, conjuntamente con sus propiedades, en esto también se ve la situación y el volumen de las obras proyectadas a realizarse, donde estas características de los taludes inciden de manera determinante.(Duque-Escobar, 2017)

2.1.2.2. Clasificación del Macizo Rocoso

Al realizar el proceso de clasificación se tiene la finalidad de analizar las propiedades del macizo rocoso de tal forma que se determine la calidad del mismo, en este sentido se debe tener precisión en los criterios de clasificación y la consistencia de tal manera no exista dudas al momento de ejecutar obras y las categorías deben ser específicas. (Morales, 2009)

Es importante considerar que se emplee dos o más métodos de clasificación para la relación entre las variables de tal forma que se logre realizar la evaluación de la calidad de los macizos.

- *Clasificación RQD*

Referirnos a la calidad de la roca es necesariamente considerar los valores establecidos por el R.Q.D, los cuales determinan a partir de especímenes de trozos de roca, mayores a unos 10 centímetros, los cuales son recuperados en sondeos o en base a las juntas J_v , permiten indicar la cantidad de juntas por metros cúbicos, observadas en un afloramiento. (Evert Hoek, 2006)

En este entender como primer paso se ve el análisis de la siguiente fórmula:

$$R.Q. D. = [\sum (Ripios > 10cm) / (total de la perforación)] \times 100 \quad (A)$$

Seguidamente en una segunda instancia se tiene que ver en el análisis la implementación de la siguiente fórmula:

$$R.Q. D. = 115 - 3.3 \times J_v \quad (B)$$

Los valores obtenidos de las fórmulas A y B son comparables con los de la siguiente tabla:

Tabla 2

Clasificación de las rocas en función del RQD

ÍNDICE DE CALIDAD R.Q.D. (%)	CALIDAD
0 – 25	Muy Mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 – 100	Excelente

Fuente: Bieniawski, 1989

Nota: Parametros de valores de Indice de calidad.

- **Clasificación SMR**

Las clasificaciones geomecánicas establecida en este párrafo, tiene a bien considerar parámetros que abarcan la resistencia y la deformabilidad del macizo rocos (p. ej. Orientaciones de discontinuidad, densidad de fractura, resistencia de rocas), que ayudan para cuantificar la calidad geomecánica de los afloramientos rocosos. Asimismo, el sistema SMR es una adaptación del RMR de Bieniawski, generado para ser aplicado en los taludes rocosos. Los parámetros del SMR consideran variaciones entre los 0 a 100, una puntuación de 100 equivale a hacer mención a un macizo rocoso caracterizado por una alta calidad geomecánica. Es preciso mencionar que cuando hablamos de un macizo rocos se refiere a la roca intacta que lo constituye y las interrumpido que este pudiese tener.(Romana, Serón, & Montalar, 2003)

En el valor del RMR “Rock Mass Rating” se logra obtener por la sumatoria de 5 parámetros, ya no considerado los 8 que anteriormente en 1973 se trabaja,

seguidamente se le considera una reducción la cual es establecida por la función de la disposición de las juntas.(Bieniawski, 1989)

Las diferencias que presentan los dos métodos de clasificación del año 1973 y 1979 son; a) Se agrupó en uno, tres grupos anteriormente existente sobre parámetros de los estados de las diaclasas, b) Asignación de valores negativos, exceptuando los casos muy excesivos.

Los valores asignados a los parámetros se han fijado de forma cuantitativa, en base a las disposiciones de la junta, la misma que se muestra en la tabla:

Tabla 3

Clasificación de Parámetros de Bieniawski 1989

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES							
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo de carga Puntual	> 10 Mpa	4-10 Mpa	2-4 Mpa	1-2 Mpa			
		Compresión Simple	>250 Mpa	100-250 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	5-25 Mpa	1-5 Mpa	< 1 Mpa
		Valor	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%		
		Valor	20	17	13	8	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	6-20 cm	< 6 cm		
		Valor	20	14	10	8	5		
4	Estados de las discontinuidades	Longitud de las Discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		Valor	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno Blando < 5mm	Relleno Blando > 5mm		
		Valor	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesto		
		Valor	6	5	3	3	0		
5	Flujo de aguas en Juntas	Relación agua/Pprinc	0	0 - 0.1	0.1 - 0,2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Condiciones Generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua Fluyendo		
		Valor	15	10	7	4	0		

Fuente: Bieniawski, 1989.

Nota: Rangos de valores según la clasificación geomecánica.

Tabla 4

Corrección del RMR mediante ajustes por orientación de discontinuidades

ORIENTACIÓN DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES		MUY FAVORABLE	FAVORABLE	REGULAR	DESFAVORABLE	MUY DESFAVORABLE
Valores	Túneles y mina	0	-2	-5	-10	-12
	Fundaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Fuente: Bieniawski, 1989

Nota: Parámetros de valores de orientación y buzamiento de las discontinuidades.

2.1.3. Caracterización Geotecnia

La caracterización y estudio geotécnico, tras la caracterización geomecánica y geológico.

Para ello se utilizan una serie de criterios que permiten obtener los parámetros resistentes del terreno en función del método de rotura que se considere:

- Mohr - Columb

En nuestro país, la necesidad de construir equipos de perforación en el sector minero en poco tiempo aumenta día a día. El aumento de la demanda debido a la minería a gran escala recientemente ha estado más abierto a la innovación y las nuevas tecnologías. Por este motivo, se decidió buscar un método alternativo que simplificara enormemente el procedimiento. Para lograr este objetivo, se tomó la teoría de Mohr-Coulomb como base para resolver el problema de manera bastante simple (Vanegas, 2010).

El criterio de falla de Mohr-Coulomb representa una envolvente de falla lineal en la que el ángulo de fricción interno y la fuerza adhesiva son constantes (Vanegas, 2010).

- **Hoek & Brown**

Hoek y Brown proporcionaron al conocimiento científico el criterio de rotura, con la intención de facilitar datos de partidas y estudio necesarios para los diseños por excavaciones subterráneas en rocas. Este criterio se inicia en el trabajo con rocas intactas, así como la utilización de factores reductores de las propiedades, las que se formulan por la existencia de macizos rocosos diaclasados.

Este nuevo conocimiento se basa en la introducción de la observación geológica, que complementa el criterio empírico, eligiendo la utilización del RMR (Rock Mass Rating) propuesto por Bieniawski. Luego de esto cuando se presentase un macizo rocoso de características débiles, se inserta la aplicación del criterio del Índice de Resistencia Geológica GSI (Geological Strength Index), en los cálculos matemáticos propuestos por Hoek-Brown Generalizado. (E. Hoek, Carranza-Torres, & Corkum, 2007)

2.1.4. Estabilidad de Taludes

Su propósito es evaluar la estabilidad o inestabilidad del talud al momento de implementar el proyecto, que conduce a la formación de un edificio en el campo de la ingeniería civil, y encontrar la necesidad de vincular sus estudios con la geología y la geoingeniería (Ramírez y Allejano, 2004)

2.1.5. Diseño de inclinación de talud

Se Buscó lograr una nueva configuración con un mayor nivel de estabilidad, basada en la modificación de la forma geométrica del talud, y la redistribución de fuerzas asociadas al peso del material (Maldonado, 2018).

2.1.6. Estabilidad talud

Incluye la creación de un ángulo de pendiente que, en condiciones normales, en condiciones de agua, en el flujo de agua, induce una masa de suelo y / o produce deformaciones causadas por o por cizallamiento; Manteniendo el principio de pendiente estable.

Para la evaluación de los taludes es necesario tomar en consideración las fuerzas resistentes como prioridad.

Ahora bien, es imprescindible tener conocimiento que un talud será considerado como estable, siempre en cuando el ángulo de inclinación sea menor en un rango de seguridad que el calculado, caso fuese contrario el talud presentaría riesgos.(Ramírez & Alejano, 2004)

Marco Conceptual

- **Caracterización.** La caracterización es importante para describir, todas las unidades geotécnicas y geomecánica que se hayan definido, cuantifican, en la medida de lo posible, los índices de los parámetros geotécnicos necesarios para la realización de los cálculos geotécnicos. (Chapilliquen, 2017)
- **Taludes.** Los taludes, son superficies de forma inclinada, con respecto a una base horizontal, los cuales adoptan esa posición de forma eventual o

permanente y que tienen una disposición variada pudiendo ser de suelo o de roca.(De Matteis, 2003)

- **Rocoso.** Superficie de cantidad de material rocosas y de formación de manera discontinua. Asimismo, son de forma discontinua, anisótropa y heterogénea.(Ramírez & Alejano, 2004)
- **Geomecánica.** Disciplina principal por la ingeniería geológica y las ramas de la ingeniería civil, entre otros. Comprende el análisis del estado situacional de la estabilidad, deformación e intransigencia de macizos rocosos. Y así mismo es la aplicación de la ciencia al comportamiento mecánico del macizo rocoso, originando fuerzas físicas en su entorno.(Ramírez & Alejano, 2004)
- **Geotecnia.** Es una rama de la geología aplicada, la cual se encarga del estudio de la composición y propiedades de la zona más superficial de la corteza terrestre, en ese entender es necesaria esta rama de la ciencia, para evaluar los lugares donde se realizarán posteriormente construcciones y obras públicas. Es el estudio de los materiales naturales como ser las rocas, la cual constituyen la corteza terrestre, implicados en el campo de la construcción, diseño y exploración de proyectos civiles.(Cevallos, 2017)
- **Índices de RQD / SMR.** El índice RQD (Rock Quality Designation) es definido como el valor porcentual de restauración de los testigos de más de 10 centímetros de longitud, los cuales sin tener en cuenta las roturas frescas del reciente proceso de perforación, respecto a la longitud total de la exploración. Este proceso se realiza en base a la determinación, posterior evaluación de campo y finalmente la realización de cálculos de gabinete.(SGS, 2019)

En SMR se consideran parámetros que restringen la resistencia y la deformabilidad del espécimen en estudio que en este caso es el rocoso macizo, y que posterior a esto es factible cuantificar la calidad geomecánica de un afloramiento rocoso.(Ramírez & Alejano, 2004)

- **Estabilidad.** Lo correspondiente a la consistencia de taludes, estudia básicamente a la estabilidad o la fluctuación, de un talud, en el momento necesario para la ejecución de un proyecto, o el paso previo que conlleva a la ejecución de una obra de ingeniería civil. Ahora bien, la inestabilidad de este, puede producirse debido a un desnivel en lugares determinados por diversas razones.(De Matteis, 2003)
- **Diseño.** Para el diseño de una superficie inclinada respecto a la horizontal permanente, es importante identificar el factor o coeficiente de seguridad (FS) al deslizamiento mayor a 1. Así mismo analizar la colaboración de los esfuerzos que tienden a generar el deslizamiento y definir la superficie de falla.(Valiente, Sobrecases, & Díaz, 2015)
- **Inclinación de Talud.** Para la dimensión de taludes, en ingeniería civil alcanzan alturas máximas de 40 a 50 m y así mismo estos superan según las necesidades del Proyecto.(JRA, 1984)

Las inclinaciones se pueden medir en tres formas: en grados, porcentaje y en relación de distancias.

Muy Buena====> mayor a 45°

Regular====> de 30° a 45°

Pésimo====> menor a 30°

- **Software Ingenieril.** Para el proceso de cálculo, especificar los parámetros geotécnicos y geotécnicos en el diseño del talud y el factor de seguridad. Hay varios softwares de ingeniería en el mercado, como GeoStudio, Geo05 y Slide 06, que son más comerciales. (E-CONSTRUIR, 2021).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

Aplicado:

El estudio de investigación es de tipo Aplicada puesto que busca resolver un determinado problema enfocándose en la aplicación del conocimiento sobre un caso en particular, en esta ocasión consistirá evaluar las características de taludes rocosos para el diseño de estabilidad en el recrecimiento Pad I fase III.

En este sentido hay que hacer mención que las investigaciones aplicadas, también conocidas como puras, dependen directamente de sus descubiertos y aportes teóricos, buscando acondicionar sus resultados a la realidad existente. (Tamayo, 2002)

3.2.Diseño de investigación

Cuasi Experimental:

Este estudio se considera que dentro del diseño metodológico utilizado es el cuasi experimental, esto debido a que describe las características del macizo rocoso con respecto a los factores geotécnicos, geológicos y geomorfológicos, teniendo en cuenta la valoración de los parámetros de RMR y GSI, asimismo el análisis de estabilidad de talud, en razón a las variables de investigación.

3.3.Población y muestra

3.3.1. Población

La investigación contempla en la zona 1C del recrecimiento del Pad 1 Fase II dentro las instalaciones de Sociedad Minera Cerro Verde. Teniendo como población específica la zona 1C. El desarrollo del recrecimiento del PAD 1 Fase III, de propiedad de Sociedad Minera Cerro Verde SAA. El proyecto se encuentra ubicado en el distrito de Uchumayo, provincia y región de Arequipa, a una altitud media de 2700 msnm, con un área de 108,900.00 m².

3.3.2. Muestra

Para la siguiente investigación la muestra la constituye específicamente zona 1C del recrecimiento Pad I fase III.

Así mismo se obtendrá información del estudio definitivo de la ingeniería de proyecto del recrecimiento del Pad I fase III. Dicho expediente técnico elaborado por la empresa Anddes Asociados SAC. En donde se contemplan los estudios a detalle de la morfología de la roca y todo el proceso de estabilidad del macizo roco en el talud de la Zona 1C.

3.3.3. Ubicación de la zona de estudio

El área de estudio se ubica en el sur del Perú, en el distrito de Uchumayo, provincia y región de Arequipa, a unos 1000 km al sur de la ciudad de Lima y 30 km al suroeste de Arequipa. La altitud promedio es de 2700 metros sobre el nivel del mar, y tiene un clima semiárido con temperaturas que oscilan entre los 2°C y los 25°C.

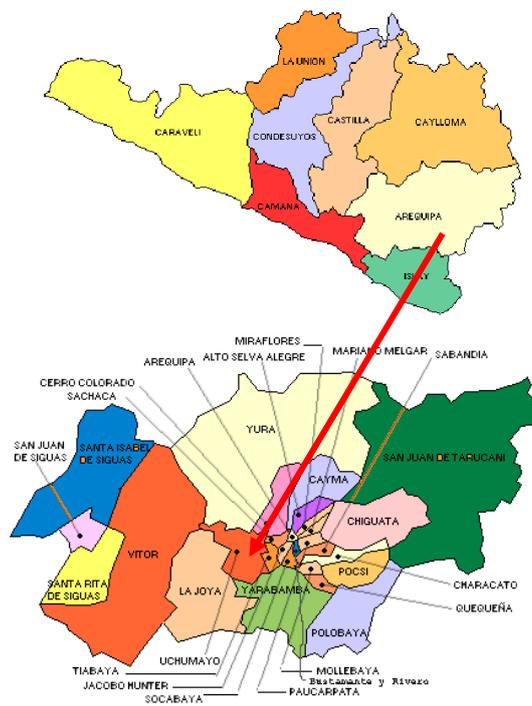


Figura 2. Ubicación de la zona de estudio

3.4. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.4.1. Geología Regional

Dentro de la escala regional, el área de estudio se caracteriza por presentar un rasgo morfo estructural definido como estribaciones andinas, las cuales, determinan el resultado de una larga evolución tectónica y erosiva en la corteza continental. Se presentan rocas que van desde el Precámbrico hasta el cuaternario reciente, no

obstante, no se registraron unidades paleozoicas por consecuencia de un alto grado de intemperismo prolongado en ambientes de regresión marina.

La información geológica regional fue obtenida de los estudios realizados por el INGEMMET(1968)(García, 1968).

- Complejo basal de la costa, está conformado por rocas metamórficas producto del metamorfismo regional que se expone en la costa sur del Perú, presenta una litología conformada por gneis granítico perteneciente al Neoproterozoico. Esta unidad representa al basamento rocoso más antiguo de la columna estratigráfica en el área de estudio.
- Grupo Yamayo, consiste en intercalaciones de rocas sedimentarias silicoclásticas y rocas volcánicas, característico de un ambiente continental a semicontinental de edad Triásico superior - Jurásico inferior.
- El volcánico Chocolate, se caracteriza por presentar secuencias volcánicas con intercalaciones esporádicas de sedimentos clásticos. Sobreyace en discordancia a los sedimentos del grupo Yamayo.
- Formación Socosani, litológicamente se conforma por rocas calcáreas, calizas recristalizadas depositadas entre fines del Liásico y Bajociano (Jurásico medio).
- Grupo Yura, se caracteriza por la presencia de rocas pelíticas intercaladas con areniscas en la base y en niveles superiores presencia de cuarcitas con espesores delgados, correspondiente al Cretáceo inferior. Esta unidad se ubica hacia el lado sur y suroeste de la zona de estudio.

- Rocas volcánicas, se desarrollan en gran parte hacia el lado este de la zona de estudio, se registra la siguiente unidad:
 - Volcánico Sencca, esta unidad se caracteriza por presentar tufos riolíticos y dacíticos de color blanco a rosado en profundidad, con un alto grado de meteorización.
- Rocas intrusivas, se distribuyen en gran parte del área de estudio presentando un alineamiento con dirección NW - SE y conformando el batolito de La Caldera. Litológicamente, se compone por unidades intrusivas de composición graboides a graníticas.
- Los sedimentos recientes son creados por factores atmosféricos en la superficie. En el área de estudio se identificaron depósitos aluviales, cicatrizados y acuosos, y también debido a la meteorización química del subsuelo se registraron suelos residuales altamente variables (García, 1968).

3.4.2. Estratigrafía

– Gneis Charcani

El Gneiss Charcani compuesto por rocas metamórficas del Precámbrico producto del metamorfismo regional, se identificaron gneis bandeados de grano medio a grueso de color gris oscuro a gris verduzco es una roca metamórfica con cuarzo de grano medio a grueso con bandas de mica. Esta roca forma el basamento regional, estando afectado por eventos de intrusión y mineralización que estarían relacionados al batolito de la costa. Esta unidad corresponde al basamento rocoso de mayor extensión donde se emplazará el recrecimiento del pad de lixiviación.

– Complejo intrusivo La Caldera

De origen ígneo, son cuerpos magmáticos intrusivos compuestos principalmente por granodiorita, se encuentran emplazados en unidades más antiguas como son las rocas metamórficas del Complejo basal de la costa, distribuidos hacia el lado oeste del área donde se emplazará el recrecimiento del pad de lixiviación.

3.4.3. Geología estructural

La zona norte del área de estudio, se caracteriza por presentar rasgos de eventos tectónicos debidos a la orogénesis andina y emplazamiento del Batolito de la Costa en el sur del Perú.

El sistema viene dominado por un fallamiento paralelo a la dirección andina (NO-SE), principalmente por las fallas Cenicienta y Variante. Hacia el norte del área de estudio, el sistema estructural viene dominado por un sistema de fallamiento con dirección hacia el NO con buzamientos en promedio de 75° al NE, alineado a la quebrada Huayrondo. Las esquistosidades se presentan definidas con una orientación E - W, con buzamientos de 83° a 88° al Norte (TWP-Anddes, 2012).

3.4.4. Geomorfología

El área de estudio presenta un relieve moderado, la cota promedio es de 2630 msnm. Se identificó tres unidades geomorfológicas principales, las cuales se mencionan a continuación:

– **Laderas**

Laderas de escombros rocosos es un relieve natural, relacionado a las características de los afloramientos rocosos, afectados por la meteorización física, se verifico bloques de hasta 2 m de diámetro. Se encuentran contiguos a las colinas con pendiente media uniforme, con una geometría convexa debido a una semejante meteorización a lo largo de una misma litología. Se localiza en el sector noreste del área de estudio.

– **Quebradas**

Superficies de laderas poco escarpadas producto de los agentes geodinámicos externos (aguas de escorrentía superficial), son el resultado de los procesos de abrasión fluvial, que genera un desgaste mecánico por impacto de partículas transportadas generando la erosión mecánica del cauce. Se representan por sus flancos de pendiente suave a media y se localiza hacia el noreste del área de recrecimiento.

– **Colinas y lomadas**

Se caracterizan por presentar pequeñas elevaciones niveladas con pendientes medias, alargadas con alturas menores a los 200 m, propias de las estribaciones andinas, con cumbres redondeadas producto de la elevación de las planicies y configurada por la erosión de las rocas intrusivas y metamórficas, bastante alteradas y meteorizadas. Se localiza hacia el área de recrecimiento y abarca casi en la totalidad del área de estudio.

3.4.5. Peligro Sísmico

Anddes realizó la revisión de información del memorando técnico realizado por Golder (2016) para definir la visión del peligro uniforme, la magnitud de momento, y la aceleración de diseño.

– Espectro de peligro uniforme

Según el estudio de Anddes - Golder en octubre de 2016 en donde se realizó una actualización del estudio de peligro sísmico, cuyo valor promedio de la magnitud de momento es de 8 y los espectros de peligro uniforme se muestran para el 5% de amortiguamiento y para 100 y 475 años como periodo de retorno, ver Tabla 05.

Tabla 5

Aceleraciones horizontales máximas y aceleraciones espectrales

Periodo de vibración (segundos)	Aceleración espectral – Sa (100 años)	Aceleración espectral – Sa (475 años)
Amax	0,230	0,430
0,050	0,363	0,679
0,100	0,556	1,059
0,200	0,615	1,196
0,300	0,453	0,863
0,400	0,374	0,714
0,500	0,298	0,576
0,070	0,215	0,422
0,100	0,151	0,306
0,200	0,067	0,138
0,300	0,032	0,073
0,400	0,024	0,052
0,500	0,018	0,039
0,600	0,013	0,027
0,700	0,009	0,021
0,800	0,007	0,016
0,900	0,005	0,012
1,000	0,004	0,010

Fuente: Informe de Golder 2016.

3.4.6. Características Geotécnicas del Talud

La estabilidad física de los componentes se ha desarrollado con base en los criterios de diseño definidos en este documento y en los datos de diseño calculados y construidos de acuerdo con los Estándares Nacionales de Ingeniería Geotécnica.

A partir de la revisión de información se determinaron las características geotécnicas de los materiales del suelo de cimentación y el mineral de lixiviación. El nivel de agua en la cimentación fue estimado a partir del análisis de infiltración, y teniendo en cuenta la lectura de instrumentación piezométrica instalada.

3.4.7. Nivel freático

El talud de la zona 1C del recrecimiento del Pad 1 Fase III, no evidenció niveles de agua, esto se determinó a partir de las perforaciones realizadas como parte del diseño y los piezómetros existentes del tipo tubo abierto ubicados fuera del área revestida, estos últimos registran niveles de agua que van desde 32 m hasta 78 m por debajo del nivel de terreno superficial.

3.4.8. Basamento Rocoso

Para determinar los coeficientes de resistencia., se usó la información de los estudios anteriores, las investigaciones geotécnicas, apreciación de materiales durante el mapeo geológico y ensayos de laboratorio realizados por Anddes para el desarrollo del presente estudio, correlaciones empíricas sustentadas en la literatura existente y la experiencia de nuestro equipo geotécnico en este tipo de proyectos.

Para el diseño de estabilidad de talud de la zona 1C zona del recrecimiento del Pad 1 fase III, del talud expuesto en roca, se usó el criterio de rotura de Hoek-

Brown Generalizado. A continuación, se detalla la obtención de cada parámetro según el criterio de rotura mencionado:

3.4.9. Parámetros geomecánicos

De acuerdo a la información revisada, asimismo, a las investigaciones geotécnicas y ensayos realizados para el presente estudio, se determina la dureza de las rocas que se encuentran expuestas en los taludes del PAD 1. El resultado de las durezas según litología se indica en la siguiente tabla N° 06:

Tabla 6

Resumen de dureza

Litología	σ_c (MPa)	Grado de dureza
Granodiorita	200	R5,0
Gnesis	60 - 100	R4,0

Fuente: Informe GeotécnicoCAP18045-H-210-35-OT-101.

3.4.10. GSI (Índice geológico de resistencia)

Como parte de los datos de ingreso requeridos para la obtención de los parámetros del criterio de rotura Hoek-Brown Generalizado (2002), se encuentra el llamado GSI, este valor ha sido estimado conservadoramente del mapeo geológico y de lo registrado en las estaciones geomecánicas para cada litología según se detalla EL Informe de Investigaciones de Campo (CAP18045-H-210-1-INF-101), de acuerdo a lo propuesto por Hoek en 1995. A continuación, se encuentra el resumen de los valores de GSI considerados por Anddes para cada una de las rocas encontradas en los taludes expuestos en la zona 1C del recremineto del el Pad 1 Fase III.

Tabla 7

Resumen de GSI

Litología	RMR	GSI
Granodiorita	54	40 – 50
Gnesis	50	30 – 40

Fuente: Informe GeotécnicoCAP18045-H-210-35-OT-101.

Las condiciones de contorno del modelo obtenido dependen del terreno, el diseño proyectado y la geología local. Además, para el caso del lecho rocoso se utilizan valores de turbulencia (D) de 0,7, que tienen en cuenta el efecto de las turbulencias generadas por la minería y excavación controladas en taludes adyacentes, de acuerdo con los criterios de Hoek. A continuación, se muestran los artículos con sus respectivos parámetros.

3.4.11. Granodiorita

Para el prototipo de esta roca se usó el modelo constitutivo de Hoek y Brown generalizado, asimismo, se usó los parámetros siguientes: la potencialidad a la compresión no confinada (UCS) de 200 MPa, GSI de 40 relacionado al fracturamiento y la alteración de las superficies observados en las estaciones geomecánicas y durante la realización del mapeo, índice de roca intacta de 27, y factor de disturbancia D: 0,7. El peso específico considerado fue 26 kN/m³.

3.4.12. Gneis

Para el modelamiento de esta roca se usó el modelo constitutivo de Hoek y Brown generalizado, asimismo, se usó los parámetros siguientes: resistencia a la compresión no confinada (UCS) de 60 MPa, GSI de 30 relacionado al fracturamiento y la alteración de las superficies observados en las estaciones geomecánicas y durante la realización del mapeo, índice de roca intacta de 26, y factores de disturbancia D = 0,7. El peso específico considerado fue 26 kN/m³.

Para los casos analíticos en que el basamento rocoso se encuentra en la cimentación, se empleó los siguientes valores de manera conservadora, según el método de rotura de Mohr-Coulomb: 150 kPa de cohesión y 30° de ángulo de fricción interna. Esto deberá ser revaluado durante el proceso constructivo, con la toma de muestras de los cortes del talud.

3.4.13. Parámetros de resistencia de discontinuidades

Para las discontinuidades se utilizó el criterio de rotura de Barton-Bandis, tomando como base los valores utilizados en el estudio de análisis geotécnico realizado para la Ingeniería de Detalle del PAD 1 Fase III realizado por TWP-Anddes (2012), lo que fue complementado con la apreciación geomecánica a los taludes actuales durante la campaña de campo y con el levantamiento de información de las estaciones geomecánicas (Anexo A.3 del Informe de Investigaciones de Campo). En la siguiente tabla, se presenta los parámetros de las dos litologías según el criterio mencionado.

Tabla 8

Resumen de propiedades mecánicas de las discontinuidades

Material	Litología	JCM (MPa)	JCR	ϕ_r^*
Discontinuidad	Granodiorita	50	7	30
	Gnesis	40	7	30

Fuente: Informe GeotécnicoCAP18045-H-210-35-OT-101.

Tomado del informe de Ingeniería de Detalle del PAD 1 Fase III realizado por TWP-Anddes (2012).

Para el análisis de mecanismos de falla, estos parámetros permitirán modelar las secciones geológicas y determinar su factor de seguridad mediante análisis de estabilidad por equilibrio límite bajo el modelamiento geotécnico.

Estos parámetros deberán ser recalculados durante el proceso constructivo, ya que se tendrá mayor información en los cortes de talud, con muestras de discontinuidades representativas.

Tabla 9

Resumen de parámetros dinámicos para el análisis de respuesta sísmica

Material	Familia de Curvas	Vs (m/s)
Basamento rocoso	Schnabel (1972)	900 - 1000

Fuente: Informe Geotécnico CAP18045-H-210-35-OT-101.

3.4.14. Análisis Geotécnico

3.4.14.1. Evaluación estructural

Para la evaluación estructural, se trabajó con las estaciones geomecánicas realizadas para el presente estudio, la ubicación y los registros respectivos se encuentran en el informe geotécnico N°: CAP18045-H-210-35-OT-101. En el registro de las discontinuidades se tuvo en cuenta la condición de los taludes debido a la voladura y su intrascendencia en el interior del macizo rocoso. Asimismo, los taludes han sido analizados considerando su condición temporal.

Según la evaluación y análisis de las estaciones geomecánicas y ensayos de laboratorio en roca, según el informe geotécnico N°: CAP18045-H-210-35-OT-101, se han considerado analizar la zona 1C, para ello se ha realizado la evaluación estructural según la figura N°: 03.

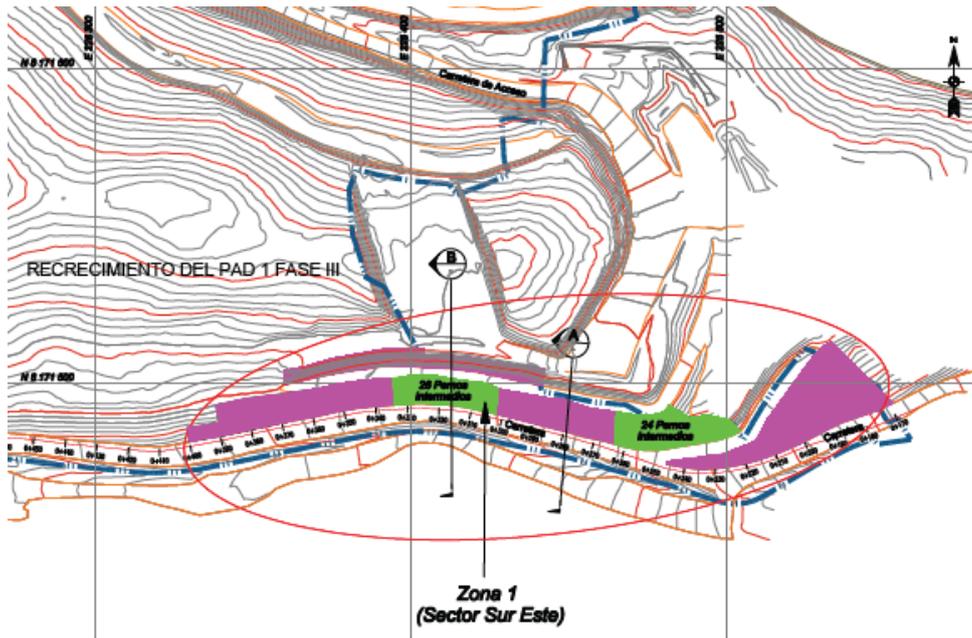


Figura 3. Área de evaluación estructural de la zona 1C

3.4.14.2. Análisis estereográfico

Este análisis identifica discontinuidades mayores y menores para identificar áreas de evaluación estructural. La información estructural disponible ha sido procesada para el modelo de la zona 1C del recrecimiento del Pad 1 Fase III con el apoyo del software Dips V7 (Rocscience).

En el análisis estereográfico, en todos los casos (independientemente de sus formaciones geológicas), se considera como estructuras geológicas principales, a la familia de juntas principales que presentan un comportamiento estructuralmente más denso que el resto de discontinuidades.

Los análisis estereográficos desarrollados se presentan en la tabla siguiente, se presenta la orientación promedio de las familias principales de discontinuidades halladas en cada zona de evaluación estructural.

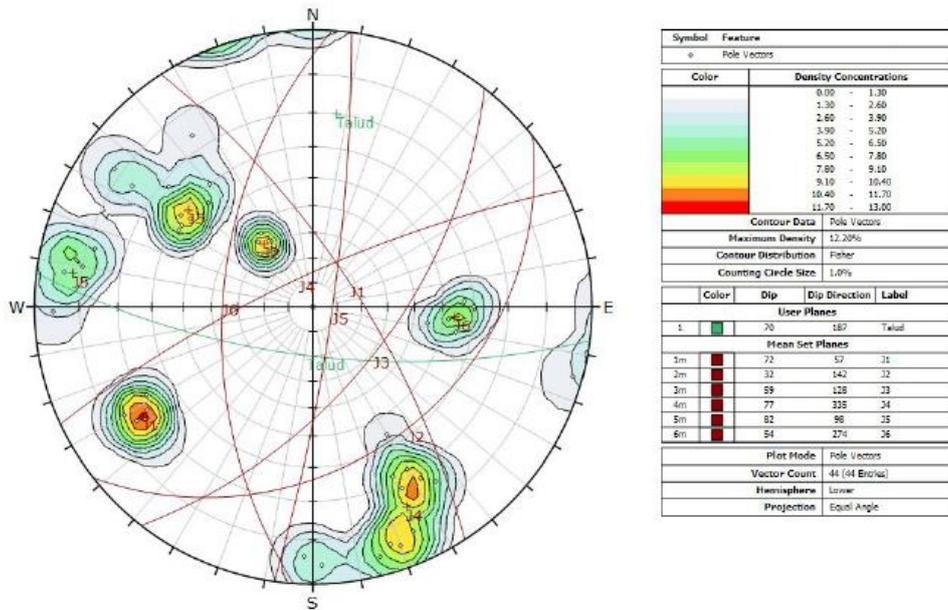


Figura 4. Zona 1C del Pad 1 Fase III - Proyección Estereográfica

Tabla 10

Resumen de familias de discontinuidades por zona de análisis

Zona de Análisis	Estaciones Geomecánicas	Litología	Familias de discontinuidades	Buz. (°)	Dir. buz. (°)
Zona 1C	EGCV-113	Gnesis	J1	72	57
			J2	32	142
			J3	58	128
			J4	77	335
			J5	82	98
			J6	54	274

Fuente: Informe Geotécnico N°: CAP18045-H-210-35-OT-101.

3.4.14.3. Análisis de Esfuerzos Máximos

Para este análisis, el estudio actual se realiza utilizando pilares planos, es decir, con una proyección estereoscópica de la línea natural del plano, para facilitar la identificación de los grupos estructurales. Estructura (orientaciones preferidas de estructuras y planos), el programa es Responsable de planificar planes y estructuras a partir de datos para sus respectivas orientaciones.

El diagrama de grietas en el plano 2D se renderiza mediante proyección estereoscópica utilizando el software Dips v5.103.

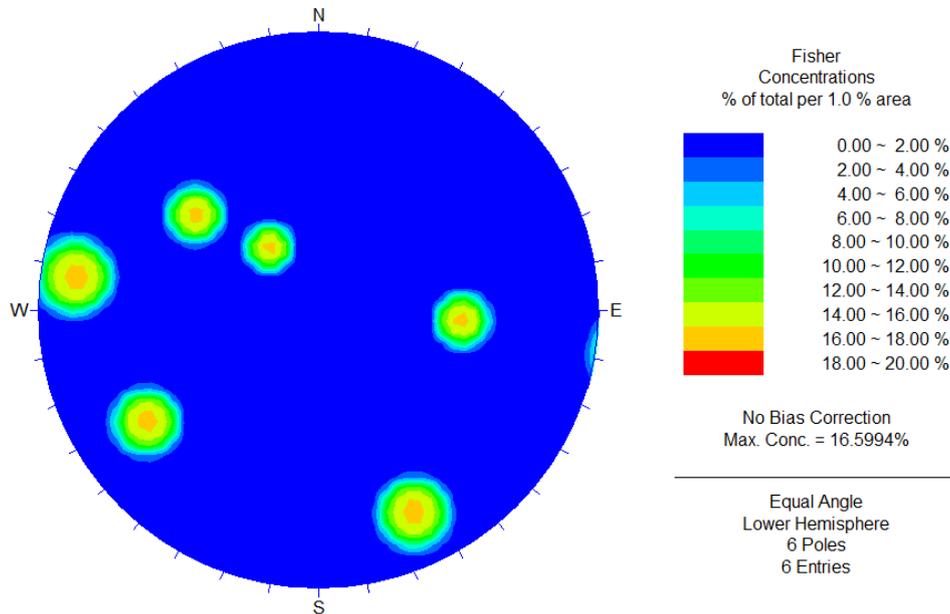


Figura 5. Proyección Estereográfica de esfuerzo máximo

3.4.14.4. Análisis cinemático

Estructuralmente, los mecanismos de ruptura de la roca ocurren deslizándose a lo largo de un nivel preexistente (discontinuidad). Los tres principales mecanismos de falla de los acantilados controlados estructuralmente son: daño del plano, daño por cuña y falla por balanceo, que explicamos a continuación.

El mecanismo de falla del tipo planar se produce cuando una discontinuidad geológica sumerge de la pendiente del talud en un ángulo que es menos profunda (horizontal), y la inclinación del talud es más empinada que la efectiva (ángulo de fricción en la discontinuidad).

Los errores de nivel generalmente ocurren si la relación de discontinuidad geológica es $\pm 20^\circ$, con respecto al acimut de la pendiente de aproximación.

El mecanismo de falla en cuña ocurre cuando dos o más discontinuidades geológicas se cruzan para formar una cuña inestable. Para que se produzca esta falla, la línea de intersección de la cuña debe tener una inclinación favorable con respecto con la inclinación de la pendiente, pero más empinada que el ángulo efectivo de fricción a lo largo de las discontinuidades. La falla por cuña sólo se desarrollará de forma significativa si el azimut de la línea de intersección es $\pm 45^\circ$, con respecto a la dirección de la inmersión del talud del acceso.

Los mecanismos de colapso inverso se desarrollan cuando el macizo rocoso contiene paralelos entre fallas y el colapso de estructuras geológicas continuas (contacto, estratificación, entre otros). Este mecanismo ocurre cuando el plano es aproximadamente paralelo al plano de la pendiente de las rocas.

Por lo general sólo se desarrollan estas fallas cuando la dirección de las estructuras es de $\pm 20^\circ$ con respecto al azimut de la cara del talud del acceso.

El alcance y la frecuencia de los mecanismos de falla controlados estructuralmente están directamente relacionados con la continuidad y divergencia de las estructuras propensas a deslizamientos de tierra. La estabilidad de estos mecanismos está fuertemente influenciada por la presión del agua durante las interrupciones.

Cabe señalar que, debido a la incertidumbre de las características geométricas de las discontinuidades en profundidad, Según el informe Geotécnico N°: CAP18045-H-210-35-OT-101 define márgenes conservadores de dirección de las estructuras de $\pm 30^\circ$ con respecto al azimut de la cara del talud del acceso.

3.4.14.4. Resultados de la evaluación cinemática

Para el análisis cinemático de la región 1C para la regeneración del cojín 1 etapa III, se asume que la resistencia al corte a lo largo de las familias se expresa como el ángulo de fricción dependiendo del tipo de roca presente y sin fuerza adhesiva ($c = 0$ MPa), basado en la evaluación empírica de la resistencia al corte a lo largo de las discontinuidades. El ángulo de fricción utilizado en la evaluación cinemática es de 30 grados.

Las evaluaciones cinéticas se presentan en las Figuras 6, 7 y 8, donde se presentan los análisis cinemáticos del mecanismo de falla plano, en cuña y facial, respectivamente. Para estos análisis, se consideraron las tendencias de las pendientes en diferentes regiones. Esta división se realiza en base a la similitud de la distribución de familias de puntos discontinuos entre las estaciones geomecánicas implementadas.

La Tabla 10 a continuación presenta los resultados del análisis cinético; Muestra las familias de interrupciones que determinarán el mecanismo de falla potencial.

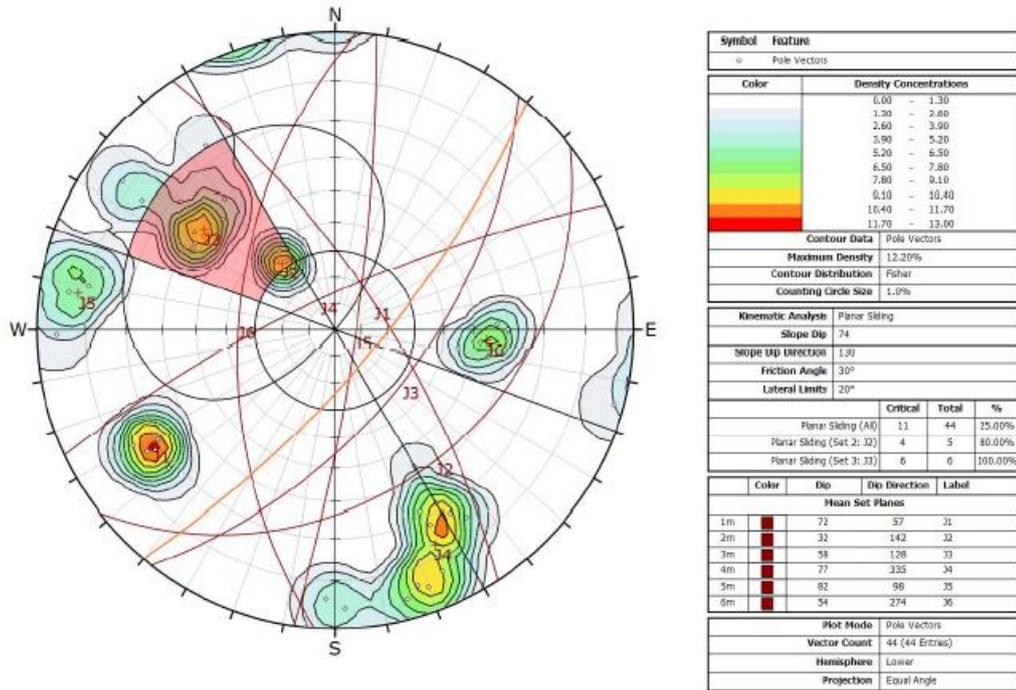


Figura 6. Zona 1C, estaciones geomecánicas EGCV 113 y 114, Talud 74°/130°.

Nota: Las familias de diaclasas J2 y J3 presenta condiciones para mecanismo de falla planar.

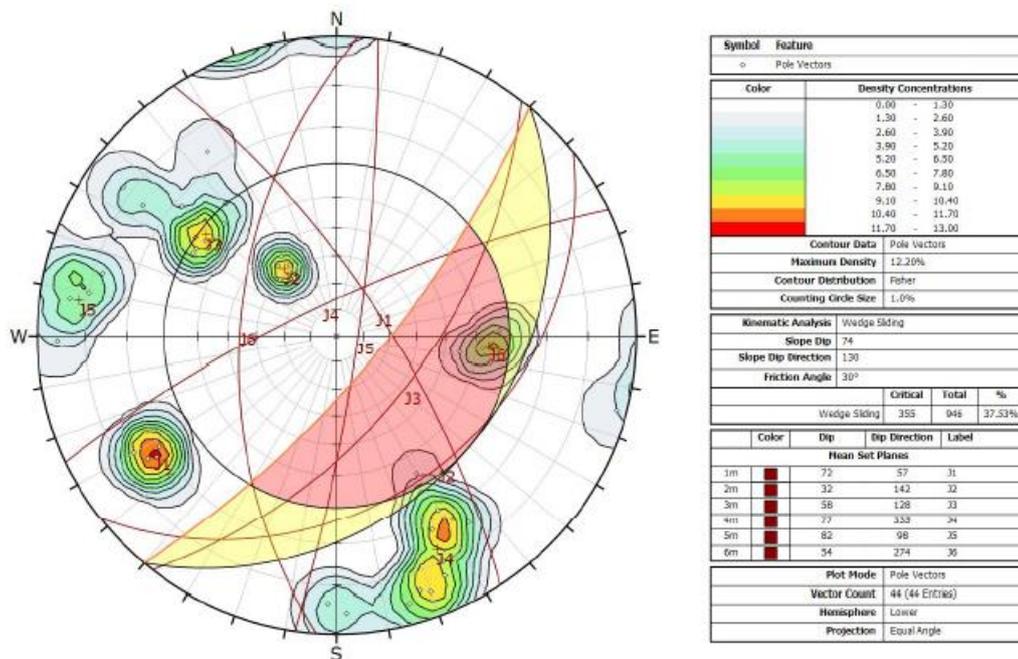


Figura 7. Zona 1C, estaciones geomecánicas EGCV 113 y 114, Talud 74°/130°.

Nota: Las familias de diaclasas J1/J3 y J3/J5 presentan condiciones para mecanismo de falla por cuña.

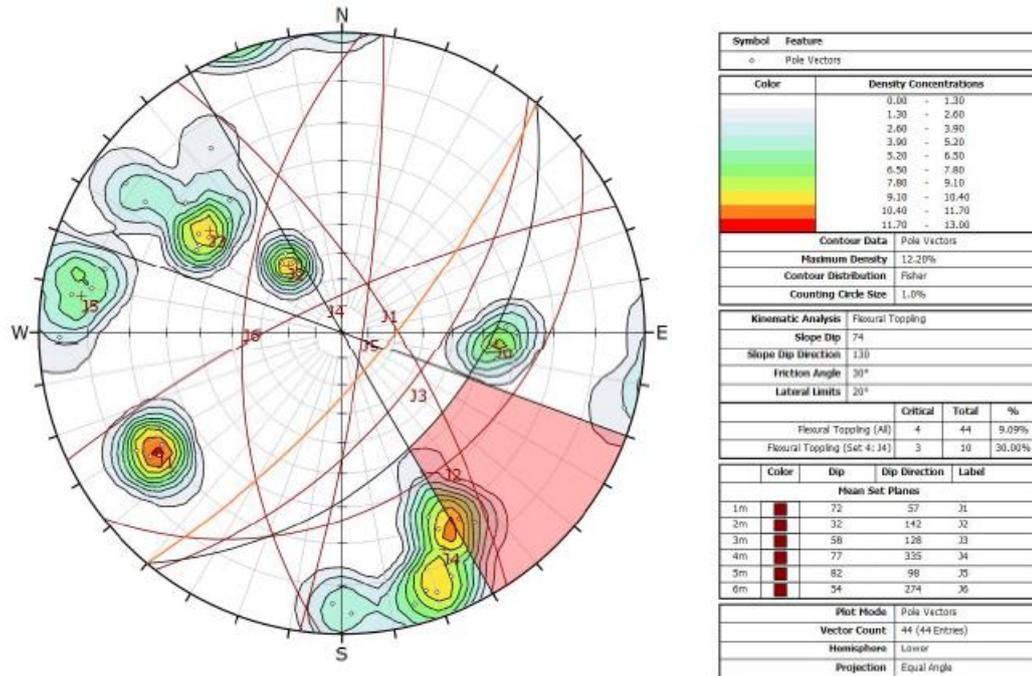


Figura 8. Zona 1C, estaciones geomecánicas EGCV 113 y 114, Talud 74°/130°.

Nota: La familia de diaclasas J4 presenta condiciones para mecanismo de falla por vuelco.

Tabla 11

Resultados del análisis cinemático

Zona de Análisis	Litología	Diseño de talud (Buz / Dir. Buz)	Mecanismo de Falla Planar	Falla Cuña	Falla Vuelco
1C	Gneis	74° / 130°	J2, J3	J1-J3 J3-J5	J4

3.4.14.5. Diseño de estabilidad de talud

Para el presente estudio se consideraron superficies de rotura rotacional - no circular para el macizo rocoso. Con este análisis se podrá determinar si las condiciones actuales en que se encuentran los taludes son las adecuadas.

En las Figuras 9, 10 y 11 representan las vistas en planta y secciones transversales analizadas. A continuación, se muestra una descripción de la metodología y condiciones del análisis geotécnico:

3.4.14.6. Metodología de análisis

El análisis de estabilidad física de talud global, se realizó con el programa de cómputo Slide versión 7.0 (Rocscience 2016). Este programa permite modelar la roca usando el criterio de rotura generalizado de Hoek y Brown, y las discontinuidades usando el criterio de rotura de Mohr-Coulomb. Finalmente, el criterio de rotura anisotrópico generalizado permite acoplar los dos criterios antes mencionados (roca y discontinuidades), lo cual optimiza la búsqueda de superficies de rotura teniendo en cuenta la anisotropía presente a causa de las discontinuidades que buzan en dirección de los taludes del acceso.

El factor de cálculo de seguridad se realiza en una zona donde existen las condiciones más peligrosas para poder realizar un análisis bidimensional y afrontar el problema en caso de estrés de la aeronave. Este método se basa en el método de equilibrio marginal, que combina varios métodos simples y rigurosos para calcular el factor de seguridad (Bishop, Spencer, Morgenster Price, entre otros). El programa tiene la capacidad de utilizar simultáneamente diferentes métodos de análisis de estabilidad; Sin embargo, para el análisis actual se utilizó el método de Spencer, que satisface simultáneamente todas las ecuaciones de equilibrio estático (fuerzas y momentos) y se considera el más estable numéricamente.

3.4.14.7. Condiciones de análisis

Se ha tomado en cuenta las siguientes condiciones para el análisis:

- Para el análisis de la zona 1C, se definieron dos sectores críticos, teniendo en cuenta las máximas alturas de corte proyectadas, una para cada litología y las condiciones del macizo rocoso.

- Se definieron dos secciones en la zona 1C del para realizar su análisis a nivel global en los sectores identificados como críticos.
- Las propiedades de los materiales fueron obtenidas a partir de la información revisada del informe Geotécnico N°: CAP18045-H-210-35-OT-101 mostrados los ensayos de laboratorio realizados para el presente estudio,

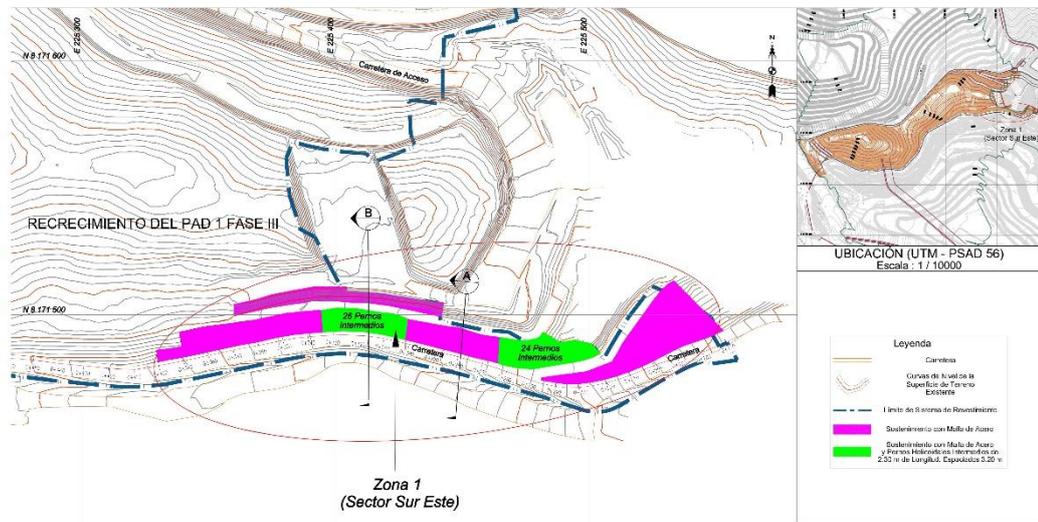


Figura 9. Vistas en planta de la zona 1C.

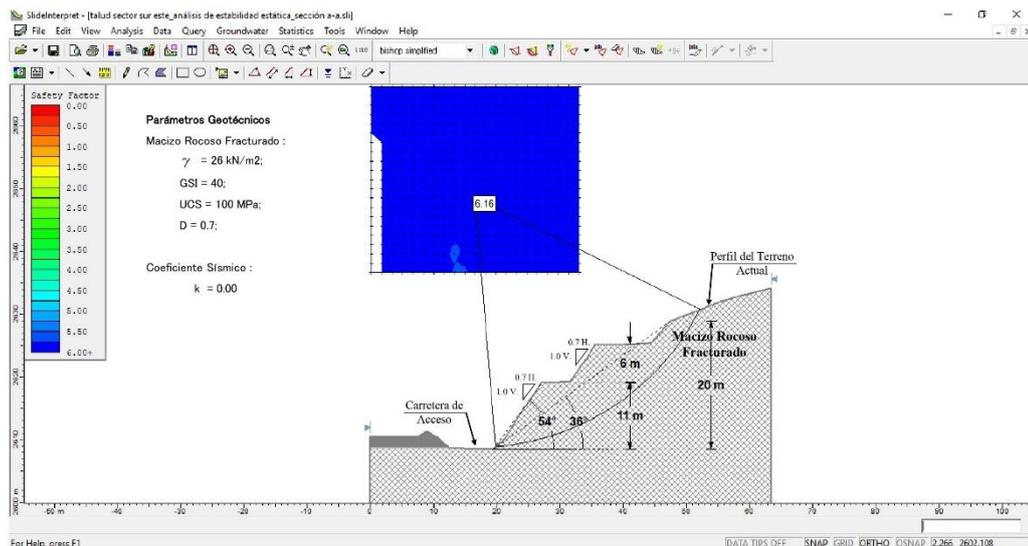


Figura 10. Sección geotécnica de máxima pendiente A-A y mecanismo de falla circular, criterio en condición de estabilidad estática.

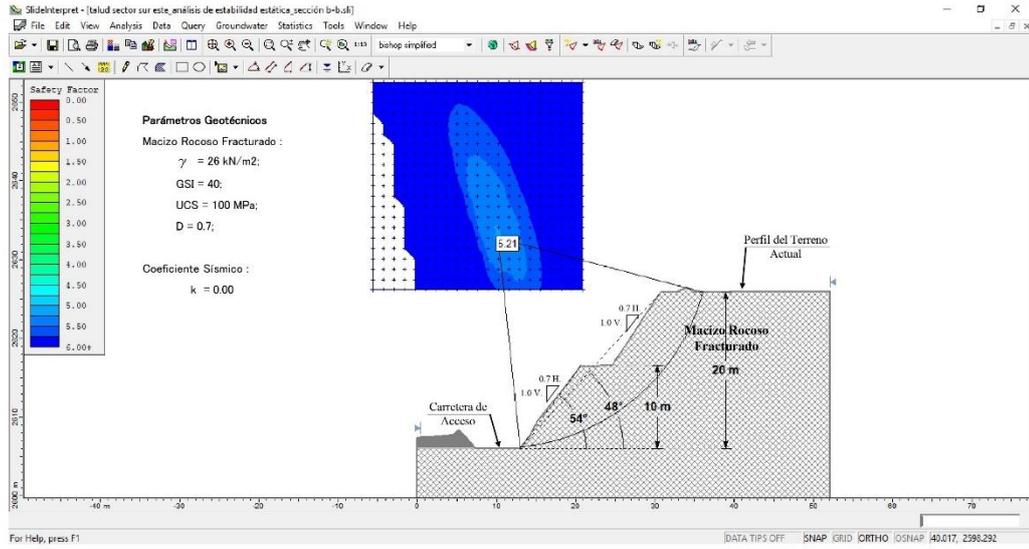


Figura 11. Sección geotécnica de máxima pendiente B-B y mecanismo de falla circular, criterio en condición de estabilidad estática.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados han determinados la concentración de esfuerzos, valor del RMR, SMR y GSI, factor de seguridad en taludes rocosos zona 1C del recrecimiento del Pad 1 Fase III – Sociedad Minera Cerro, en donde se obtienen valores favorables.

4.1. Presentación y análisis de resultados.

4.1.1. Análisis por medio software - Slide v. 6.0

Proyección estereográfica de esfuerzo máximo

La proyección estereográfica de la recta normal al plano, de manera de facilitar la definición de sets estructurales (orientaciones preferenciales de estructuras y planos), el software se encarga de proyectar planos y estructuras tomando como base los datos de sus orientaciones respectivas.

Del análisis del software, se obtiene el esfuerzo máximo de 16.59%.

4.1.2. Clasificación geotécnica de los taludes

Se obtuvieron los parámetros geotécnicos necesarios, previamente descritos, para lograr la clasificación de taludes rocosos. Para esta clasificación, se tomaron en cuenta el índice de masa de pendiente (SMR), el índice de masa de roca (RMR1989) y el índice de resistencia geológica (GSI).

– **Zona 1C del recrecimiento del Pad I Fase III.**

El área de estudio en la Zona 1C incluye las rocas Gneis, que son rocas metamórficas compuestas de minerales similares al granito (cuarzo, feldespato y mica) pero con una orientación de banda específica, con capas alternas de minerales claros y oscuros. A veces aparecen bloques de hormigón de feldespato distribuidos uniformemente, en este caso estamos hablando de gneis.

Tabla 12

Resultados del análisis geotécnico del talud

Análisis	Resultados	Descripción
RMR	Calidad del macizo a grado II con la característica de roca buena.	50
SGI	Según su estructura tenemos que es Muy Fracturada: macizo perturbado con bloques entabados y angulares formados por la intersección de 4 o más sistemas. Según la condición de superficie es Regular: superficies lisas, moderadamente meteorizadas y alteras.	40
SMR	Calidad del macizo rocoso: Tipo normal, parcialmente estable, con algunas juntas o muchas cuñas.	50

4.1.3. Diseño de talud mediante el software Slide 6.0 v

Para el estudio, se realizó con el software Slide, que mostró que se realizaron análisis de equilibrio limitados en las pendientes generales. Estas salidas contienen información sobre las dos secciones, las propiedades del material y la posición de la superficie de falla crítica con el factor de seguridad mínimo.

En la tabla siguiente, se presenta un resumen de los resultados obtenidos de los análisis de estabilidad realizados para la condición estática.

Tabla 13

Resumen de resultados del análisis de estabilidad

Sección	Talud	Factor de Seguridad Análisis Estático
Sección A-A	Global	6.16
Sección B-B	Global	5.21

De los resultados obtenidos se observa que las causas de seguridad (FS) de los taludes de los cortes proyectados, se encuentran por encima de los valores mínimos aceptables.

4.2. Contrastación de las hipótesis

Hipótesis General

El análisis de las características del talud de la zona 1C del recrecimiento del Pad 1 Fase III de Sociedad Minera Cerro Verde en el año 2020, permitirá diseñar un talud con parámetros de estabilidad que aumenten la seguridad.

Contrastación de Hipótesis

Para las pruebas de estadística de t de Student, utilizamos los valores obtenidos de la caracterización del macizo según SMR y los factores de seguridad por el método de equilibrio límite.

Tabla 14

Valores SMR y Factor de Seguridad por Estación Geomecánica, taludes permanentes, el valor de seguridad a aceptar debe ser igual o superior a 2.0

Estación Geomecánica	Valores SMR	Valor SMR en tanto por uno	Factor de seguridad equilibrio limite
EG-01	46	0.92	2.5
EG-02	42	0.84	5.2
EG-03	45	0.9	1.5
EG-04	44	0.88	6.8
EG-05	41	0.82	6.16
EG-06	49	0.98	5.21
EG-07	49	0.98	3.4

Hipótesis nula (Ho): La propuesta no permite la función.

Hipótesis no nula (H1): La propuesta permite la función.

Nivel de significancia (alfa, $\alpha=5\%$).

Valores obtenidos de la Media : 0.903 – 4.396

Valores obtenidos de la Varianza : 0.004 – 3.862

Valores obtenidos de las Observaciones : 07.000 – 07.00

Valor obtenido de la Correlación de Pearson	: -0.393
Valor obtenido de la Hipotética de las medias	: 0.0000
Valor obtenido del Grados de libertad	: 06.000
Valor obtenido de estadístico t	: -4.642
Valor obtenido $P(T \leq t)$ dos colas	: 0.004
Valor obtenido valor crítico de t (dos colas)	: 2.447
Valor obtenido Teórico t	: 3.225

Toma de decisión

Empleando un margen de error del 5 %, si $P \leq 0,05 \rightarrow$ se rechaza H_0 .

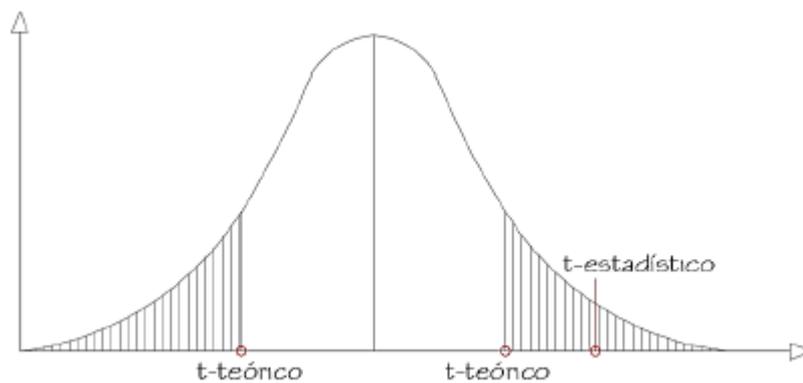


Figura 12. Distribución t de student

Se desestima la hipótesis nula para un alfa 5 %; y se ACEPTA la hipótesis alterna o general.

Primera hipótesis específica

La zona 1C del crecimiento del Pad 1 Fase III – Sociedad Minera Cerro Verde en el año 2020, mediante un software ingenieril se obtendrá la concentración esfuerzos máximos.

Contrastación de Hipótesis

Hipótesis nula (H_0): La propuesta no permite la función.

Hipótesis no nula (H1): La propuesta permite la función.

Valores obtenidos de la Media	: 62.500 – 16.688
Valores obtenidos de la Varianza	: 340.700 – 0.892
Valores obtenidos de la Observaciones	: 06.00 – 06.00
Valor obtenido del Coeficiente de correlación de Pearson	: 0.251
Valor obtenido de la Diferencia hipotética de las medias	: 0.00
Valor obtenido del Grados de libertad	: 05.000
Valor obtenido del Estadístico t	: 6.151
Valor obtenido del P(T<=t) dos colas	: 0.002
Valor obtenido crítico de t (dos colas)	: 2.571

Empleando un margen de error del 5 %, si $P < 0,05 \rightarrow$ se rechaza H_0 .

Se desestima la hipótesis nula para un alfa 5 %. Se ACEPTA la primera hipótesis alterna o específica.

Segunda hipótesis específica

En la zona de 1C del recrecimiento del Pad 1 Fase II de Sociedad Minera Cerro Verde en el año 2020, se obtendrá un valor de 50% – 75 % de calidad regular del macizo rocoso, según el RMR, SMR y GSI.

Contrastación de Hipótesis

Hipótesis nula (H_0): La propuesta no permite la función.

Hipótesis no nula (H1): La propuesta permite la función.

Nivel de significancia (alfa, $\alpha=5\%$).

Valores obtenidos de la Media	: 45.143 – 41.143
Valores obtenidos de la Varianza	: 9.810 – 22.810
Valores obtenidos de las Observaciones	: 07.000 – 07.000

Valor obtenido del Coeficiente de correlación de Pearson	: -0.403
Valor obtenido del Diferencia hipotética de las medias	: 0.0000
Valor obtenido del Grados de libertad	: 06.000
Valor obtenido del Estadístico t	: 1.583
Valor obtenido del P(T<=t) dos colas	: 0.164
Valor obtenido crítico de t (dos colas)	: 2.447

Empleando un margen de error del 5 %, si $P < 0,05 \rightarrow$ se rechaza H_0 .

Se desestima la hipótesis nula para un alfa 5 %. Se RECHAZA la segunda hipótesis alterna o específica.

Tercera hipótesis específica

En la zona 1C del recrecimiento del Pad 1 Fase II de la Sociedad minera Cerro Verde en el año 2020, al aplicar un diseño eficiente se obtendrá un parámetro mayor que el consignado en el valor del factor de seguridad permisible.

Contrastación de Hipótesis

Hipótesis nula (H_0): La propuesta no permite la función.

Hipótesis no nula (H_1): La propuesta permite la función.

Nivel de significancia (alfa, $\alpha=5\%$).

Valores obtenidos de la Media	: 1.146 – 4.396
Valores obtenidos de la Varianza	: 0.133 – 3.862
Valores obtenidos de la Observaciones	: 07.000 – 07.000
Valor obtenido del Coeficiente de correlación de Pearson	: 0.286
Valor obtenido del Diferencia hipotética de las medias	: 0.0000
Valor obtenido del Grados de libertad	: 06.000
Valor obtenido del Estadístico t	: -4.541

Valor obtenido del $P(T \leq t)$ dos colas : 0.004

Valor obtenido crítico de t (dos colas) : 2.447

Empleando un margen de error del 5 %, si $P < 0,05 \rightarrow$ se rechaza H_0 .

Se desestima la hipótesis nula para un alfa 5 %. Se ACEPTA la tercera hipótesis alterna o específica.

4.3. Discusión de Resultados

4.3.1. Discusión de Resultados por Antecedentes

Internacional

Alcántara & Gutiérrez (2013). En su estudio señala que su objetivo fue identificar el grado de estabilidad de macizos rocosos en la zona de Monteagudo (Murcia), asimismo identificar la capacidad de peligro de desprendimiento de rocas en los taludes del sur, para lo cual se realizó un estudio de estabilidad del mismo por medio de la técnica geología de cartografía señalada, determinando las características necesarias para clasificarlas según el criterio del Slope Mass Rating (SMR) y analizar la orientación que presenta las juntas. En este sentido se llegó a definir cuatro familias de juntas en los macizos rocosos evaluados los cuales son de buena calidad, no existiendo probabilidad de producirse algún tipo de rotura planar, aunque sí de tipo en cuña, lo cual sería poco probable y aislada en una eventual zona sísmica. (Mira, Alcántara, & Gutiérrez, 2013)

De acuerdo a lo indicado por el autor, es importante la evaluación de todos los elementos que contemplan es un estudio de estabilidad de talud, llegando a las evaluaciones geomecánica, mediante la aplicación de los métodos de clasificación según el Slope Mass Rating (SMR), el Rock Mass Rating (RMR1989) y el Geological Strength Index (GSI), se determina la calidad del macizo rocoso.

Representado por RMR = 50 Tiene buenas características y calidad Macizo Romana representado por macizo SMR = 50 Corresponde a descripción normal, parcialmente estable, pocas articulaciones o múltiples ángulos.

Nacionales

Miranda Jorge, (2015). Señala que, “para una mina a cielo abierto, el diseño de taludes y su ángulo global, tiene una importancia tanto económica como de seguridad al interior de la faena. Su diseño, a diferencia de los taludes de obras civiles, es construido con niveles de seguridad mínimos, debido a su corta vida operativa y al uso de monitoreo”.(Miranda, 2015).

Local

Anddes Asociados SAC (2018), estudio de la “Ingeniería de proyecto del recrecimiento del Pad 1 Fase II - Sociedad minera Cerro Verde”; estudio que enfoca al análisis, diseño de estabilidad de talud y el revestimiento con geosintéticos en área irregulares con mástico rocoso.

4.3.2. Discusión de resultados de la Investigación

Gracias a la evaluación geomecánica, mediante la aplicación de los métodos de clasificación según el Slope Mass Rating (SMR), el Rock Mass Rating (RMR1989) y el Geological Strength Index (GSI), se determina la calidad del macizo rocoso. Representado por RMR = 50 Tiene buenas características y calidad Macizo Romana representado por macizo SMR = 50 Corresponde a descripción normal, parcialmente estable, pocas articulaciones o múltiples ángulos.

El talud de la zona 1C según la excavación, perfilado y extracción del macizo, se realizó utilizando métodos de perforación y voladura por medio de equipos de línea amarilla.

Por lo expuesto anteriormente el presente estudio realizado en la Zona 1C del recrecimiento del Pad I Fase III de la Sociedad minera Cerro Verde en el año 2020, se propone de forma previa el análisis global del talud según la configuración de la superficie, obtención de información de campo y el informe geotécnico N° CAP18045-H-210-35-OT-101:

Parámetros geotécnicos para análisis estabilidad estático:

- Macizo rocoso: Fracturado.
- γ : 26 KN/m².
- GSI: 40.
- UCS: 100 MPa.
- D: 0.7

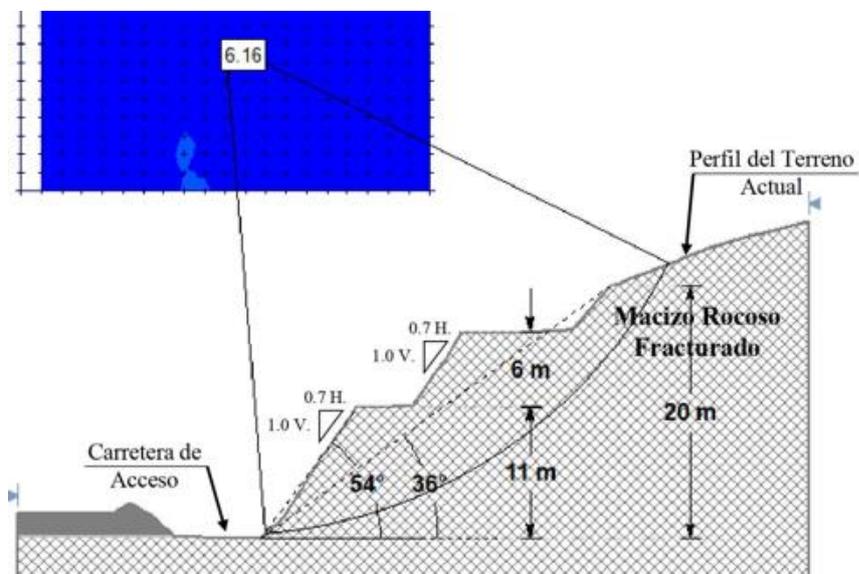


Figura 13. Dimensiones del talud y el factor de seguridad de la sección A-A.

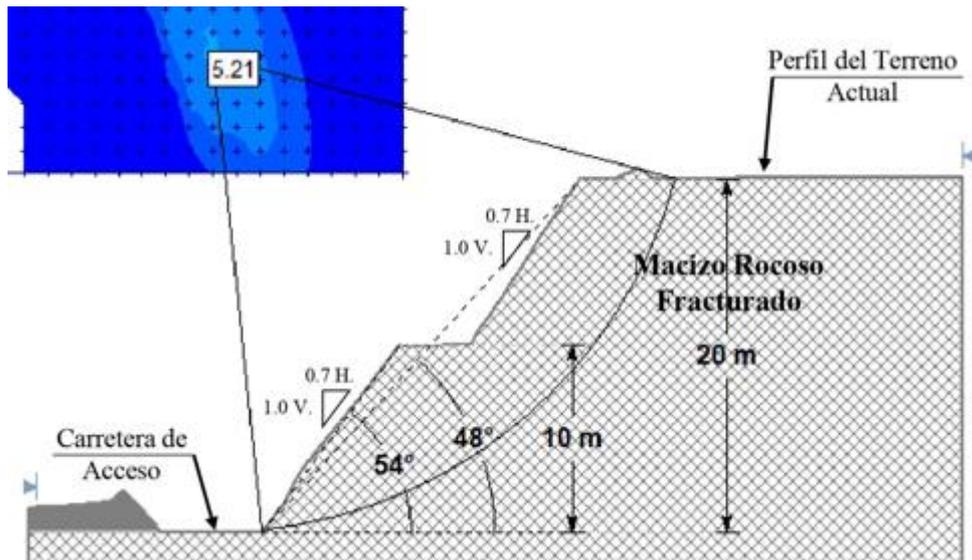


Figura 14. Dimensiones del talud y el factor de seguridad de la sección B-B.

Según el modelamiento por el software ingenieril utilizado, se obtiene valores y parámetros superiores a lo permitido según establecido en la norma N°: CE.020 - suelos y taludes.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Primera. La zona de estudio según la proyección estereográfica y los datos obtenidos de acuerdo al software ingenieril es de 16.59 % de esfuerzo máximo, ubicado en el lado sur este y oeste. Este esfuerzo máximo expresado en Mohr–Coulomb para el cálculo del coeficiente de seguridad, F.

Segunda. Se establece que, de las propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso del talud, está constituido por una litología Gneis, con valores obtenidos en el muestro geomecánicos, se establece que el macizo rocoso se encuentre: entre la caracterización a grado II de tipo buena con una valoración RMR 50. Según su estructura, encontramos que es muy propenso a defectos: el macizo está perturbado por bloques compactos y angulares formados por la intersección de 4 o más sistemas, según el estado. La superficie es llana: superficie lisa, moderadamente alterada y alterada por materiales duros. GSI Quality 40 Rocky Rating: Normal, parcialmente estable, con pocas juntas o más empastes, con SMR 50.

Tercera. Para el área de estudio se utilizó un programa geométrico (Slide), en el cual se modeló la pendiente según las secciones AA y BB en su pendiente máxima, la cual se analizó mediante el método de equilibrio. A partir de los datos obtenidos, el factor de seguridad FS: 6.16 y 5.21. De hecho, el diseño es eficiente y respeta los estándares definidos por la Norma N °: CE.020 - Suelo y Pendiente. Sin embargo, ya no es necesario realizar ningún otro tipo de análisis o modelado de ingeniería del diseño de talud anterior.

5.2. Recomendaciones

- Primera.** Evaluación permanente con un prototipo general de simulación de la concentración de esfuerzos versus factor de seguridad para los futuros cortes de material de voladura.
- Segunda.** Durante la realización de los futuros cortes de talud se deberá identificar la formación de bloques de roca con potencial deslizamiento para evaluar su estabilidad. En caso se detecte bloques pequeños, es recomendable desprenderlos con los equipos de excavación para evitar futuras caídas de roca.
- Tercera.** El análisis de equilibrio límite para los bancos de corte en roca se muestra problemas de inestabilidad por ocurrencia de fallas en sectores puntuales. Estos deberán evaluarse durante la construcción pues las familias de discontinuidades están a favor de la falla y posibles perfilados con voladura podrían generar un alto grado de fracturamiento.
- Cuarto.** En caso de agregar cargas por mineral lixiviado (ROM) sobre el talud de estudio de la zona 1C, se recomienda determinar el tipo de sostenimiento adecuado. Esta sectorizara de acuerdo a función de la caracterización geomecánica, fracturamiento, tamaño de bloque, específicamente, para asegurar el correcto funcionamiento del sostenimiento.
- Quinta.** En cumplimiento de las disposiciones de las normas de seguridad e higiene de la mina estipuladas en el artículo 213, que antes del inicio o continuación de los trabajos en la mina, se realizará una evaluación geotécnica.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Alonso-Chaves, F. M., García-Navarro, E., Camacho, M. A., & Mantero, E. M. (2008). Análisis de los tipos de inestabilidades del macizo rocoso de La Virgen de la Peña (Huelva, España). *Geogaceta*, (44), 43-46.
<https://sge.usal.es/archivos/geogacetas/Geo44/Art11.pdf>
- Bieniawski, Z. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering* (Wiley Ed. Primera ed.). Estados Unidos.
- Cartaya, M. (2006). Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental de país (Resumen de Tesis Doctoral / 2001). *Minería y Geología*, 22(3).
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=2235/223517652004>
- Cevallos, E. (2017). Geotecnia. Retrieved from <https://ingenieriaciviluees.wordpress.com/suelos/>
- Chapilliquen, V. (2017). *Caracterización geotécnica del suelo y roca para el diseño de pozas sedimentadoras en la zona de ciénega norte – Tantahuatay, Cajamarca*. (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional De Cajamarca, Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/250105991.pdf>
- Coates, D. (1997). *Fundamentos de mecánica de rocas*. Madrid: Litoprint.
- De Matteis, Á. (2003). *Geología y Geotecnia - Estabilidad de taludes*. Universidad Nacional de Rosario.
<https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiygeotecnia/Estabilidad%20de%20Taludes.pdf>

- Duque-Escobar, G. (2017). *Manual de geología para ingenieros*. In UNAL (Ed.). Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>
- E-CONSTRUIR. (2021). Software para geotecnia, geología y áreas afines. Retrieved from <http://e-construir.com/geotecnia/software.html>
- García, W. (1968). Geología del cuadrángulo de Mollendo y La Joya (Hojas 34-r, 34-s) - [Boletín A 19]. *INGEMMET*. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/137>
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica* (PRENTICE-HALL Ed. Primera ed.). Madrid.
- Hoek, E. (2006). *Practical Rock Engineering*. In *Capítulo 3: "Rock mass classification"* (pp. 341). Retrieved from <https://www.roscience.com/assets/resources/learning/hoek/Practical-Rock-Engineering-Full-Text.pdf>
- Hoek, E., Carranza-Torres, C., & Corkum, B. (2007). El criterio de rotura de Hoek-Brown – Edición 2002. *Ingeopres*, (156), 18-22. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2252610>
- JRA. (1984). *Serie de trabajos de tierra en carreteras - Manual de proteccion de taludes* (MASONIC Ed. Primera ed.).
- Jumikis, A. (1983). *Rock Mechanics* (2da ed.). EEUU: Trans Tech Publications.
- Maldonado, Y. (2018). Métodos o medidas de estabilización de taludes. GEOLOGÍAWEB. Retrieved from <https://geologiaweb.com>
- Marcuzzi, J., & Cerusico, L. (2009). Propuesta metodológica para la caracterización geotécnica de los taludes rocosos del camino de acceso al cerro San Bernardo, Ciudad de Salta. *Cuadernos de la Facultad*, (4), 39-61.

https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/RIUCASAL_7267d9ab7d30b28b550ed0a3d7c5e33a

Mayhua, R. (2015). *Diseño geotecnico del Pad de Lixiviación ampliación Sur - Fase 5 - La Libertad*. (Tesis de Posgrado), Universidad Nacional de Ingeniería, Retrieved from <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/7757>

Mira, A., Alcántara, A., & Gutiérrez, F. (2013). Caracterización geomecánica y análisis de la estabilidad del talud sur del macizo rocoso de Monteagudo (Murcia, España). *Geogaceta*, (54), 151-154. <http://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/7777>

Miranda, J. (2015). *Factibilidad de aumentar ángulos de talud globales en minas a cielo abierto*. (Tesis de Pregrado), Universidad de Chile, Retrieved from <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/134136>

Morales, M. (2009). *Caracterización geotécnica y determinación de ángulos de talud en yacimiento Franke* (Tesis de Pregrado), Universidad de Chile Retrieved from http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103406/morales_m.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Ramírez, P., & Alejano, L. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes* (UPM Ed. Primera ed.). Madrid.

Romana, M., Serón, J., & Montalar, E. (2003). *SMR Geomechanics classification: Application, experience and validation*. Paper presented at the ISRM 2003–Technology roadmap for rock mechanics, South African Institute of Mining and Metallurgy.

https://www.researchgate.net/publication/303102453_SMR_Geomechanics_classification_Application_experience_and_validation

SGS. (2019). Designación de la calidad de la roca (RQD). Retrieved from <https://www.sgs.pe/es-es/mining/metallurgy-and-process-design/unit-operations-and-metallurgical-services/comminution-and-beneficiation/rock-quality-designation-rqd>

Sullcahuaman, D. (2019). *Evaluación diferencial entre la Aplicación de Cargas Monotónicas y Cíclicas del ensayo Pull Out Test en la instalación del Sistema de Sostenimiento del Talud Norte C2 - Cerro Verde, Arequipa.* (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Retrieved from <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8918>

Tamayo, M. (2002). *El proceso de la investigación científica* (LIMUSA Ed. Cuarta ed.). México.

Vaca, A. (2018). *Evaluación de la estabilidad de taludes en San Antonio de Pichincha, mediante la caracterización de macizos rocosos, para el análisis de la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa.* (Tesis de Pregrado), Escuela Politécnica Nacional, Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19060>

Valiente, R., Sobrecases, S., & Díaz, A. (2015). Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, Parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo. *CIVILIZATE*, (7), 50-54.
<http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/article/download/16157/16579/0>

Vanegas, C. (2010). *Estudio sobre criterios de rotura mediante metodos tenso deformacionales y metodos de equilibrio limite para un macizo rocoso con aplicación al talud izquierdo del cuenco disipador del proyecto hidroelectrico Mazar*. (Tesis de Maestría), Universidad de Cuenca, Retrieved from <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2577/1/tm4329.pdf>