



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN GEOTECNIA Y GEOMECÁNICA MINERA



TESIS

EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DE REFORZAMIENTO EN EL TALUD DEL CERRO TAMBILLO – SINA

PRESENTADA POR:

WILBER PASTOR CONTRERAS

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGISTER SCIENTIAE EN GEOTECNIA Y GEOMECÁNICA MINERA

PUNO, PERÚ

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN GEOTECNIA Y GEOMECÁNICA MINERA

TESIS

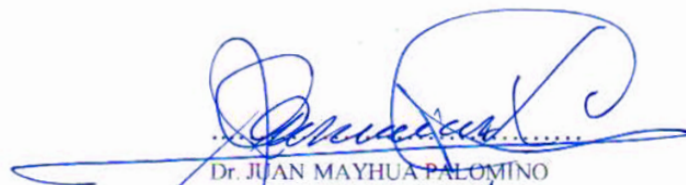
**EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DE REFORZAMIENTO
EN EL TALUD DEL CERRO TAMBILLO – SINA**

**PRESENTADA POR
WILBER PASTOR CONTRERAS**

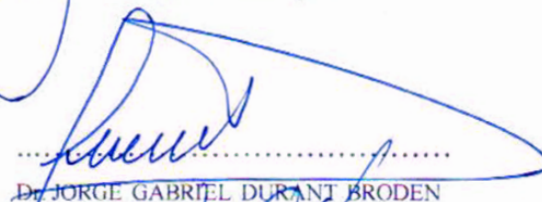
**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAGISTER SCIENTIAE EN GEOTECNIA Y GEOMECÁNICA MINERA**

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE


.....
Dr. JUAN MAYHUA PALOMINO

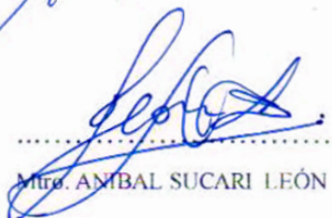
PRIMER MIEMBRO


.....
Dr. JORGE GABRIEL DURANT BRODEN

SEGUNDO MIEMBRO


.....
M.Sc. HENRY ARNALDO TAPIA VALENCIA

ASESOR DE TESIS


.....
Mtro. ANIBAL SUCARI LEÓN

Puno, 21 de enero del 2022

ÁREA: Evaluación de Taludes

TEMA: Geomecánica

LÍNEA: Diseño de Reforzamiento en Taludes



DEDICATORIA

Mis padres; Anastasio y María los que me dieron la vida, me inculcaron valores y me brindaron sabiduría; a mis queridos hermanos que siempre estuvieron apoyándome en cada momento e instante de mi vida, los que confiaron en mi poder extraordinario.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a nuestro padre celestial por ser mi guía en cada momento me dio el don de perseverancia, energía para conseguir mis metas, también de su eterna ternura y afecto.

Mi alma mater UNA-Puno, en sus aulas donde me forme profesionalmente.

Con todo aprecio a los docentes de la especialidad, quienes supieron impartir sus ilustraciones, prácticas, y fueron dispuestos a aclarar mis dudas en especial al Dr. Erasmo G. Carnero un gran maestro.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco teórico	2
1.1.1. Determinación de la matriz rocosa	2
1.1.1.1. Meteorización	2
1.1.1.2. Resistencia de las rocas	3
1.1.2. Mapeo en campo de las estructuras	4
1.1.3. Caracteres geomecánicas de las fracturas	5
1.1.3.1. Disposición de interrupciones	5
1.1.3.2. Espaciado de las distribuciones	6
1.1.3.3. Persistencia o continuidad de las interrupciones	8
1.1.3.4. Rugosidad de estructuras	9
1.1.3.5. Aguante de paredes de discontinuidad	10
1.1.3.6. Apertura de las discontinuidades	11
1.1.3.7. Relleno de las interrupciones	12
1.1.4. Medidas del sólido rocoso	13
1.1.4.1. Familias de interrupciones	13
1.1.4.2. Dimensión de bloque y categoría de fracturas	14
1.1.4.3. Calidad de meteorización	15
1.1.5. Deferencias frecuentes sobre la permanencia de taludes	15
1.1.6. Elementos responsables en la permanencia de taludes	16



1.1.7. Importancia de la estructura geológica	16
1.1.8. Componente de rotura del sólido rocoso en Taludes	17
1.1.8.1. Rotura planar	18
1.1.8.2. Fractura en cuña	18
1.1.8.3. Fractura por vuelco	18
1.1.8.4. Fractura por arqueo	18
1.1.8.5. Tensiones naturales	19
1.1.9. Técnicas de categorización del sólido rocoso	19
1.1.10. Índice de elección de roca (RQD)	20
1.1.11. Categorización de Bieniawski (1973 - 1989)	21
1.1.11.1. Proceso del índice RMR	22
1.1.12. Categorización de Bandis (1974)	24
1.1.12.1. Enunciación del Q	24
1.1.13. Semejanzas de RMR y Q	24
1.1.14. Método del índice GSI	25
1.1.15. Razonamiento de Hoek-Brown Generalizado	26
1.1.16. Medida de Imperfección	27
1.1.17. Criterio de Mohr - Coulomb	28
1.1.18. Firmeza del Macizo Rocosos	29
1.1.19. Proyección estereográfica	29
1.1.20. Persistencia de Taludes	30
1.1.21. Factor de Seguridad del Talud Natural	30
1.2. Antecedentes	31

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema	39
2.2. Enunciados del problema	39
2.2.1. Problema general	39
2.2.2. Problemas específicos	39
2.3. Justificación	40
2.4. Objetivos	41
2.4.1. Objetivo general	41
2.4.2. Objetivos específicos	41



2.5. Hipótesis	41
2.5.1. Hipótesis general	41
2.5.2. Hipótesis específicas	41

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio	42
3.1.1. Ubicación	42
3.1.2. Accesibilidad	42
3.1.3. Clima	43
3.1.4. Geología	43
3.1.4.1. Descripción geológica	43
3.1.4.2. Geomorfología	43
3.1.4.3. Estratigrafía	44
3.1.4.4. Edad del Paleozoico	44
3.1.4.5. Grupo San José	45
3.1.4.6. Formación Sandia	45
3.1.4.7. Formación de Ananea	45
3.2. Población	45
3.3. Muestra	46
3.4. Método de investigación	47
3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	48

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Influencia de los parámetros geomecánicos en el comportamiento del macizo rocoso	50
4.1.1. Propiedades físicas	50
4.1.2. Resistencia a la presión uniaxial (USC)	51
4.1.3. Caracterización geomecánica	52
4.1.4. Índice de designación de roca (RQD)	52
4.1.5. Clasificación RMR de Bieniawski	53
4.1.6. Categorización del método GSI	53
4.1.7. Criterio de firmeza realizado por Hoek - Brown	54



4.1.8. Resultados de parámetros de firmeza según RocData	54
4.2. Determinación del factor de seguridad del talud analizado	56
4.3. Influencia de la evaluación geomecánica para el diseño de reforzamiento en el talud del Cerro Tambillo – Sina	57
4.3.1. Diseño de reforzamiento por métodos numéricos (Software Phase2)	58
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	60
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	69



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Representación de la categoría de meteorización	3
2. Firmeza de las rocas por una picota de geólogo y la navaja (Brown, 1981)	4
3. Representación del espaciado	8
4. Grieta de las distribuciones, según ISRM (1981)	8
5. Representación de la prolongación	9
6. Representación del relleno de interrupciones	12
7. Representación de las permeabilidades en las fracturas	13
8. Categorización de sólidos rocosos y de familias de discontinuidades	14
9. Valoración de la escala de meteorización en solido rocoso	15
10. Componentes influyentes en la inestabilidad	17
11. Elección del RQD	20
12. Categorización de Deere (1967)	21
13. Valoraciones de RMR	22
14. Eficacia de sólidos rocosos en base a RMR	23
15. N° de familias de Uniones, Jn	24
16. RMR y Q para categorías análogas de sólidos rocosos	25
17. Localización del área de estudio	42
18. Acceso importante al lugar	43
19. Columna litoestratigráfica en el área del proyecto	44
20. Derivaciones pruebas de las propiedades físicas, contenido de humedad	51
21. Densidad de la masa de suelo (ASTM D 7263)	51
22. Resultados de resistencia a la compresión uniaxial	52
23. RQD del macizo rocoso	52
24. RMR para los tramos analizadas	53
25. Resultado de valores de GSI	53
26. Valores para los criterios de firmeza del sólido rocoso	54
27. Índice RMR para macizos rocoso tiempo de estabilidad	57

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Geometría de las interrupciones	5
2. Orientación de interrupciones	6
3. Dimensiones que presenta 3 linajes de distribuciones	7
4. Familia de discontinuidades	7
5. Presentadores de persistencia de varios linajes de discontinuidades (ISRM. 1981)	9
6. Rugosidad de distribuciones según ISRM. Brown, 1981	10
7. Evaluación de la firmeza a la presión mediante el martillo Schmidt	11
8. Apertura de una discontinuidad	12
9. Cantidad de familias en los diagramas	14
10. Estructuras geológicas de un talud alto	17
11. Ejemplos de rotura en taludes de roca	19
12. Evaluación del RQD mediante testigos de sondeo	20
13. Diversificación de la firmeza debido a la presión simple de la roca	21
14. Sistema RMR: entre RQD y espaciado de discontinuidad según Priest y Hudson	23
15. Correlación entre RMR y Q. Bieniawski (1979)	25
16. Carta de estimación del índice GSI para macizos rocosos fracturados	26
17. Igualdad entre energías principales mayores y menores	29
18. Predominio polar y ecuatorial	30
19. Resultados de deformación para roca III	55
20. Resultados de deformación para tipo de roca II	55
21. Factor de seguridad del talud de Cerro Tambillo para tipos de roca III y II	56
22. Abaco de Taylor para el diseño de soporte del talud de roca	57
23. Desplazamientos modelos III y II, reforzamiento de pernos de 3 m, shotcrete, espesor de 0,08 m	58
24. Factor de seguridad posterior al diseño de soporte del talud del Cerro Tambillo para los tipos de roca III y II	58



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Sección de imágenes	70
2. Datos Mapeo Lineal	74
3. Ensayos de Laboratorio	77
4. Estabilidad por el Método Estereográfico	80
5. Firmeza del Sólido Rocoso	87

RESUMEN

El trabajo de investigación se desarrolló en el distrito de Sina, con el propósito de diseñar y seleccionar un tipo de reforzamiento adecuado para el talud; el objetivo principal fue determinar cómo influye la evaluación geomecánica para el diseño de reforzamiento en el talud del Cerro Tambillo – Sina. Se aplicó la metodología de tipo descriptivo, cuantitativo, se realizó el mapeo geomecánico lineal de la matriz rocosa orientándose a la evaluación de la estabilidad del talud en macizos rocosos a partir de la caracterización geológica, resistencia a la compresión simple, con la valoración RMR y GSI, que están en razón a las variables desarrolladas en la investigación y el factor de seguridad. Se realizó aplicando la proyección estereográfica, y el método de equilibrio límite para cada tipo de rotura; los resultados obtenidos son; para la estación 1; RMR=58, clase III, GSI=53, FS=0,83, la estación 2; RMR=60, clase III, GSI=55, FS=0,88, estación 3; RMR=64, clase II, GSI=49, FS=0,92. En conclusión, con los resultados obtenidos se determinó el tipo de reforzamiento que se requiere en la parte superior del talud, pernos de anclaje y platina con características de 3 m de profundidad con espaciamiento de 3 m. respectivamente, con un refuerzo de mallas electrosoldadas y lanzado de concreto shotcrete de espesor 0,08 m. incluido con fibra metálica. Luego, se hizo una simulación de reforzamiento con el software phase 2, con los elementos de soporte recomendado y se obtuvo un factor de seguridad mayor a 1,8 el cual nos indica un talud estable.

Palabras clave: Caracterización geológica, factor de seguridad, macizo rocoso, parámetros geomecánicos, reforzamiento, talud.

ABSTRACT

The research work was developed in the Sina district, with the purpose of designing and selecting a suitable type of reinforcement for the slope; The main objective was to determine how the geomechanical evaluation influences the design of reinforcement in the slope of Cerro Tambillo - Sina. The methodology of descriptive, quantitative type was applied, the linear geomechanical mapping of the rocky matrix was carried out, oriented to the evaluation of the stability of the slope in rock masses from the geological characterization, resistance to simple compression, with the RMR evaluation and GSI, which are due to the variables developed in the investigation and the safety factor. It was carried out by applying the stereographic projection, and the limit equilibrium method for each type of break; the results obtained are; for station 1; RMR=58, Class III, GSI=53, FS=0.83, Station 2; RMR=60, class III, GSI=55, FS=0.88, station 3; RMR=64, class II, GSI=49, FS=0.92. In conclusion, with the results obtained, the type of reinforcement required in the upper part of the slope, anchor bolts and plate with characteristics of 3 m depth with a spacing of 3 m, was determined. respectively, with a reinforcement of electro-welded mesh and shotcrete with a thickness of 0.08 m. included with metallic fiber. Then, a reinforcement simulation was carried out with the phase 2 software, with the recommended support elements, and a safety factor greater than 1.8 was obtained, which indicates a stable slope.

Keywords: Geological characterization, geomechanical parameters, reinforcement, rock mass, safety factor, slope.

INTRODUCCIÓN

La evaluación de la permanencia de taludes es indispensable al inicio de ejecución y en el transcurso del mismo. los deslizamientos que ocurren en macizos rocosos son fenómenos sujetos a muchos grados de inseguridad debido a los diferentes dispositivos de falla que puede llegar a mostrar, la actual investigación denominada “Evaluación Geomecánica para el diseño de reforzamiento en el Talud del Cerro Tambillo – Sina”, abarca el área de investigación a evaluación de taludes, considerando la línea; diseño de reforzamiento y el tema vendría a ser Geomecánica, debido a la falta de información de los macizos rocosos presentes en el lugar, el propósito de este trabajo fue establecer la influencia de parámetros geomecánicos de estabilidad del talud utilizando metodologías de diseño de reforzamiento, en base a las peculiaridades geomecánicas, sobre el modelo adecuado haciendo usando métodos efectivos y numéricas de los elementos finitos, por lo tanto el trabajo se describe en cuatro capítulos.

Capítulo I, describe brevemente el marco teórico donde se ha recopilado las referencias de investigaciones elaboradas en contextos parejos que manipulen en la realización de la tesis por métodos validadas definitivas de excelencia previas y consideraciones teóricas para ordenar la creación científica mecánica y la notabilidad del argumento a estudiar.

Capítulo II, en este capítulo detalla el bosquejo del problema, en el que da a conocer las limitaciones del proyecto, a su vez se considera en base a los objetivos planteados en este trabajo.

Capítulo III, detalla el ámbito de estudio, se da a conocer la población, la muestra, el bosquejo metodológico que se utilizó, las variables dependientes y/o independientes, los tipos de materiales y equipos disponibles en la realización de la tesis ya sea, materiales, dispositivos, trabajos de campo y en gabinete desarrollado, describiendo las metodologías para alcanzar las metas del presente estudio.

Capítulo IV, describe los resultados de la tesis realizado durante la evaluación del talud, proceso de datos, pruebas de laboratorio, diseño de reforzamiento mediante el método empírico, numérico, a su vez se presenta las discusiones, conclusiones de la evaluación de este trabajo y sus respectivas recomendaciones necesarias.



CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco teórico

1.1.1. Determinación de la matriz rocosa

Es fundamental una caracterización o valor de tres medidas esenciales: reconocimiento geológico, situaciones de variación y tenacidad a la presión simple. La identificación de la roca se instaura a partir de su disposición, relaciones geométricas que conforman. A estos razonamientos conjugan desiguales, donde logran ser sacadas de la paragénesis, su composición química, forma y distribución del depósito, relaciones temporales y espaciales con otras rocas (Ortega, 2018).

1.1.1.1. Meteorización

Es un proceso de variación de su propiedad inicial del macizo rocoso debido a las actividades físicos como el agua, corrientes de glaciales temperaturas extremas y demás factores atmosféricos, a medida que pasa los años la meteorización toma un papel importante en el desarrollo de la dureza del material y esto hace que sea permeable según la exposición del mismo (Panez, 2019).

Tabla 1

Representación de la categoría de meteorización

Terminología	Representación
Nueva	No se observaron cifras de meteorización con la roca intacta
Desgastada	Se ve canjes en el tono único de la principal roca. Es útil mencionar el nivel de canje. La roca se ha modificado a la etapa de suelo, conservándose
Desintegrada	la única, pero las partículas de sólidos no están descompuestas.
Descompuesta	Alguno o todos los sólidos están descompuestos.

Fuente: (Reyes, 2020).

1.1.1.2. Resistencia de las rocas

Se relata al desgaste total de la entereza del espécimen, la anomalía que forman la falla dependerá de la ocupación que tenga la roca, varía desde el desgaste del elemento que compone, hasta la falla estructural, la mayor porción de las rocas sanas describe con firmeza y durezas por lo tanto se requieren el contenido en la base de una cimentación ordinaria, es beneficioso obtener este parámetro ya que persistirá en el tiempo (Iturbide, 2018).

$$\log(\sigma_c) = 0,00088 \gamma R + 1,01 \quad (1)$$

Donde:

σ_c = firmeza a presión simple (MPa)

γ = peso específico de la roca (kN/m³)

R = índice de rechazo

Tabla 2

Firmeza de las rocas por una picota de geólogo y la navaja (Brown, 1981)

Valor	Representación	apreciación de campo	UCS MPa
R 0	Considerablemente frágil	Se logra incluir con un dedo	0,25-1,0
R 1	Muy frágil	Quebradizo por golpes enérgicos con la parte punzante de la picota de geólogo, se logra cortar con la navaja.	1,0-5,0
R 2	Débil	Logra escindir con trance con una navaja; se consiguen hacer marcas escaso apaleando la punta de la picota	5,0-25
R 3	Media	No logra destrozar con navaja; los especímenes se logran destrozar con un golpazo con la picota.	25-50
R 4	Tenaz	Requiere aumento de un golpe con la picota de geólogo para destrozar el espécimen	50-100
R 5	Muy dura	Requieren diversos golpazos con la picota así destrozar el espécimen.	100-250
R 6	Enormemente dura	podrían destrabar gravas de muestra con la picota de geólogo	>250

Fuente: (González de Vallejo *et al.*, 2004).

1.1.2. Mapeo en campo de las estructuras

Las técnicas de mapeo de estructuras que examinan constantemente las particularidades geológicas son mapeo de ventana y lineal. La descripción lineal radica en extender la wincha en dirección del perfil del talud y describir todas las estructuras que presenta, las distancias son normalmente entre 40 y 90 m o también pueden ser mayor a ello. Los mapeos de ventanas o podríamos decir por celdas, percibe realizar una descripción de las interrupciones adentro de un fragmento característico o lumbrera de un volumen afianzado, dispersos a momentos normales regularmente pueden ser cerca de 10 m (Rincón, 2016).

1.1.3. Caracteres geomecánicas de las fracturas

Los inconvenientes de desequilibrio en Taludes rocosos y oquedades se mandan claramente por los tipos de familias de fracturas, que son examinadas por la geotécnica, las representaciones geomecánicas de discontinuidades que influyen en su conducta como: alineación, espaciado, extensiones, doblez, firmeza de los labios de la interrupción, espaciado y repleto (Cardenas, 2018).

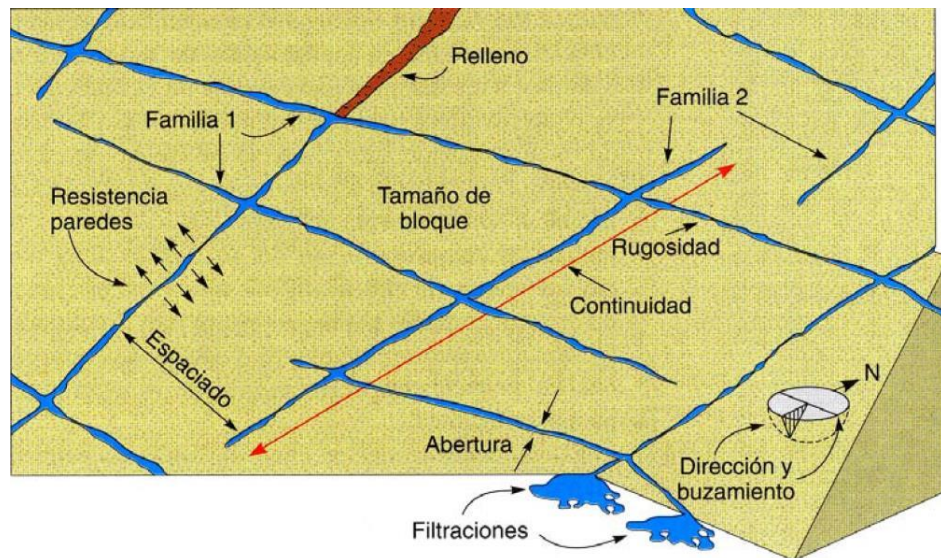


Figura 1. Geometría de las interrupciones

Fuente: (González de Vallejo *et al.*, 2004).

1.1.3.1. Disposición de interrupciones

Está figurado por la providencia de las esquinas, pendiente (β) y la orientación de la pendiente (α), son suficientes para la gráfica de alineación de una interrupción. Con el programa “Dip” podemos determinar el ángulo que forma desde 0 a 90° a su vez se mide la orientación respecto al norte desde (0 a 360°) se realiza el giro en forma horaria (Cardenas, 2018).

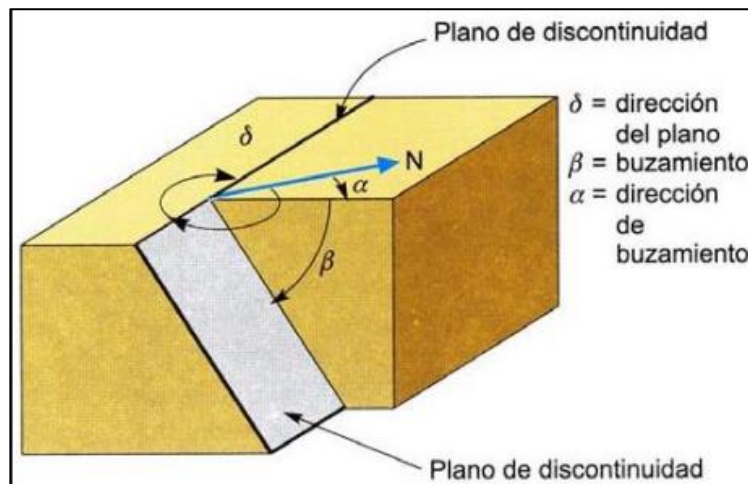


Figura 2. Orientación de interrupciones

Fuente: (González de Vallejo *et al.*, 2004).

1.1.3.2. Espaciado de las distribuciones

La longitud de discontinuidades es el cociente de los planos de agotamiento que se presenta en el sólido de roca y la dirección transversal al plano de interrupciones (Bieniawski, 1989). Es un elemento influyente en la dimensión de los mecanismos que acomodan el sólido rocoso, este semblante forma la máxima calidad en cuanto existe nuevos elementos que aportan a crecer la ondulación de sólido rocoso, por ejemplo, una porción firmeza al tajo de las interrupciones; posee asimismo gran dominio en la filtración del sólido rocoso, así mismo, en el contenido de agua. Se calcula tendiendo una wincha métrica de forma transversal a las interrupciones en el contacto (Pradhan & Siddique, 2020).

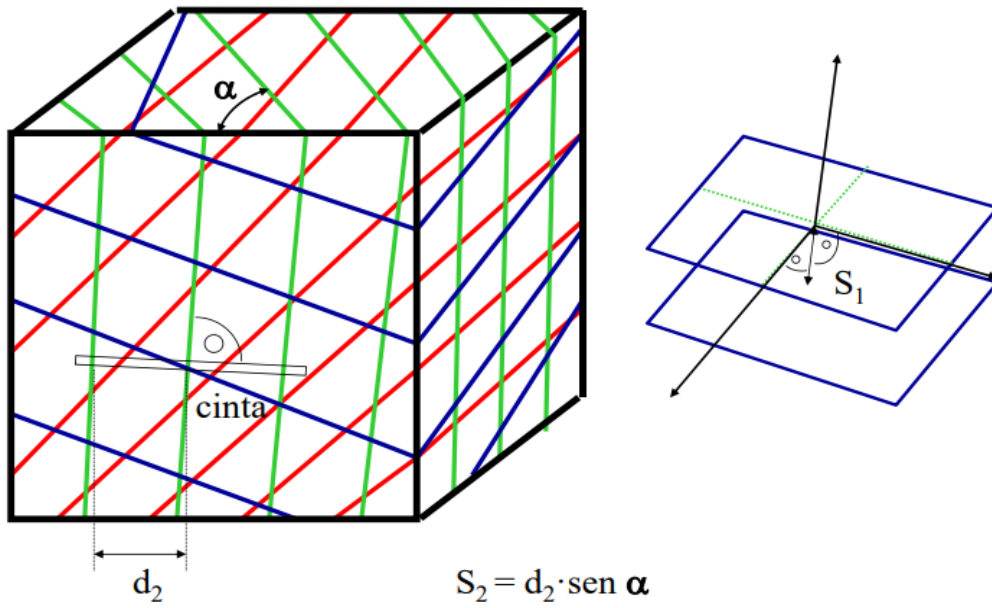


Figura 3. Dimensiones que presenta 3 linajes de distribuciones

Fuente: (Ramírez & Alejano, 2004).

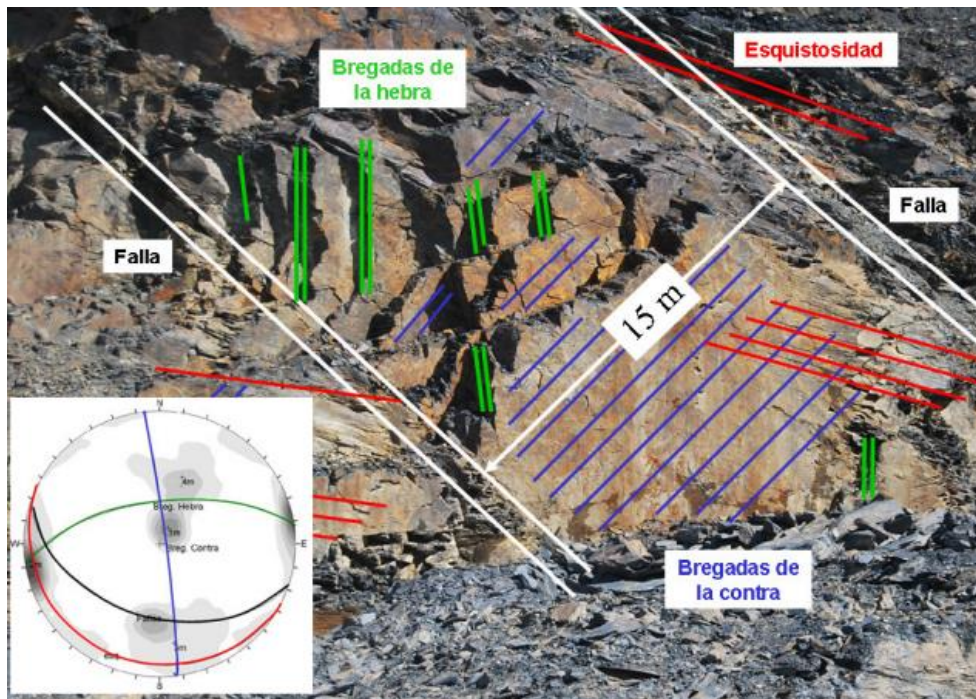


Figura 4. Familia de discontinuidades

Fuente: (García, 2013).

Tabla 3

Representación del espaciado

Representación	Extendido
Enormemente adyacente	< 0,02 m
Muy adyacente	0,02-0,06 m
Adyacente	0,06-0,2 m
Prudentemente adyacente	0,2-0,6 m
Alejado	0,6-0,2 m
Muy alejado	2,0-6,0 m
Considerablemente alejado	> 6,0 m

Fuente: (Orellana, 2020).

Tabla 4

Grieta de las distribuciones, según ISRM (1981)

Grieta	Representación	Aspecto
< 0,0001 m	Muy sellada	Aspecto cerrado
0,0001-0,00025 m	Sellada	
0,00025 - 0,0005 m	En parte cerrada	Aspecto semiabierto
0,0002 – 0,0025 m	Abierta	
0,0025- 0,01 m	Templadamente amplia	Aspectos abiertos
>0,010 m	Amplia	
0.01 – 0,1 m	Muy amplia	Aspectos abiertos
0,1 -1 m	Considerablemente amplia	
>1 m	Profunda	

Fuente: (Ramírez & Alejano, 2004).

1.1.3.3. Persistencia o continuidad de las interrupciones

Las extensiones de una interrupción se logran medir viendo su distancia en el lugar insítu teniendo en cuenta la orientación y el rumbo de los estratos. Es conveniente hacer el bosquejo que fulgure descriptivamente la dimensión referente de los linajes de discontinuidades (Bujaico y Gonzales, 2021).

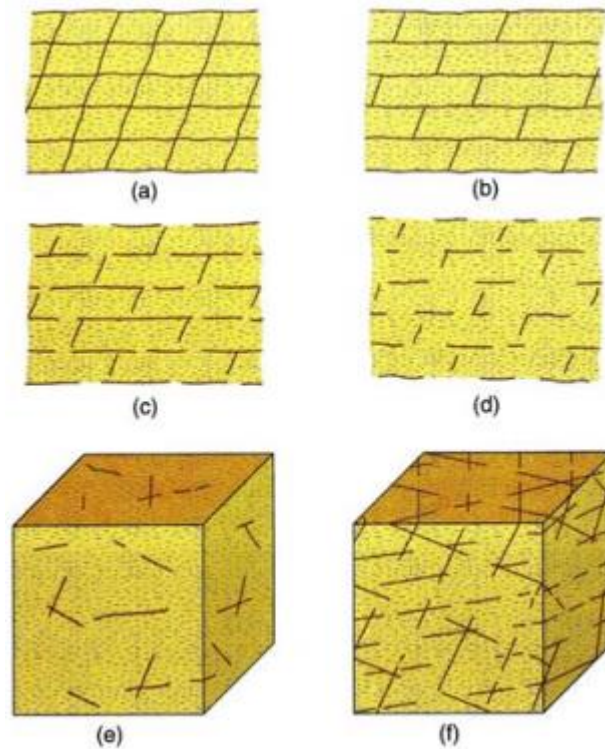


Figura 5. Presentadores de persistencia de varios linajes de discontinuidades (ISRM. 1981)

Fuente: (González de Vallejo *et al.*, 2004).

Tabla 5

Representación de la prolongación

Prolongación	Extensión
Muy baja prolongación	< 100 cm
Baja prolongación	100-300 cm
Prolongación	300-1000 cm
Alta prolongación	1000-2000 cm
Muy alta prolongación	> 2000 cm

Fuente: (González de Vallejo *et al.*, 2004).

1.1.3.4. Rugosidad de estructuras

Una rugosidad influye en la dureza de una roca ya que a medida que esto presenta pierde la capacidad de resistir al someterle una acción de fuerza para que se rompa, los estratos que presenta una roca dependiendo de su orientación respecto a la fuerza que es sometido naturalmente va incidir en la estabilidad (Cardenas, 2018).







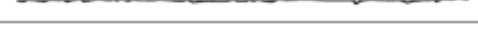


Clase	Escala		Perfil Típico de Rugosidad de la Estructura	JRC ₂₀	JRC ₁₀₀
	Intermedia	Menor			
I	Escalonada	Rugosa		20	11
II		Lisa		14	9
III		Pulida		11	8
IV	Ondulosa	Rugosa		14	9
V		Lisa		11	8
VI		Pulida		7	6
VII	Plana	Rugosa		2.5	2.3
VIII		Lisa		1.5	0.9
IX		Pulida		0.5	0.4

Figura 6. Rugosidad de distribuciones según ISRM. Brown, 1981

Fuente: (Llamoctanta, 2018).

1.1.3.5. Aguante de paredes de discontinuidad

Mediante un esclerómetro se puede medir la resistencia de las paredes de una discontinuidad, esto sometido aplicándole una energía de fuerza que es medido mediante el rechazo de su pistón duro con un muelle que se apalea contra la cara del plano de roca firme este equipo mide el grado de alteración y contenido de relleno en las aberturas ya sean sanas o limpias, la resistencia se puede medir o comparar mediante un ábaco que presenta en el mismo equipo (Reyes, 2020).

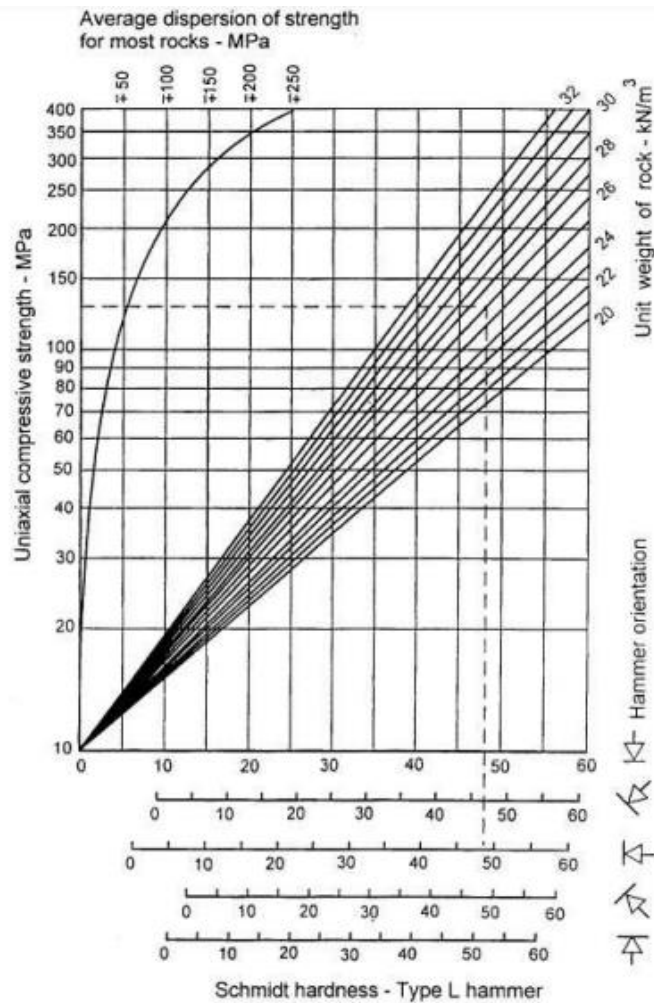


Figura 7. Evaluación de la firmeza a la presión mediante el martillo Schmidt
Fuente: (Llamoctanta, 2018).

1.1.3.6. Apertura de las discontinuidades

Consiste en la dimensión normal que aparta las paredes de interrupción cuando no está relleno. Esta cuantificación es inestable en otras franjas de un sólido rocoso, también en el plano de falla en algunos casos consiguen ser altas logrando obstruir, así mismo la distribución de la apertura en un sólido rocoso es significativo inclusive en interrupciones bastantes atrancadas (Cardenas, 2018).

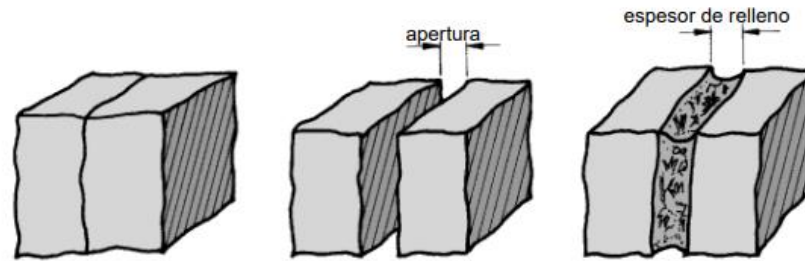


Figura 8. Apertura de una discontinuidad

Fuente: (Ramírez & Alejano, 2004).

1.1.3.7. Relleno de las interrupciones

Se designa atiborrado de una interrupción al basto que invade el área entre sus belfos, ejemplo: limo, fluorita, calcita, etc. Regularmente su grosor repleto es lo mismo a la trayectoria normal entre los labios. También provechoso calcular los grosores máximo y mínimo así apreciar, partiendo de ellos, el grosor mediano (ver Tabla 6) si la disconformidad, grosores inmenso, minúsculo es grandioso, podría ser completo a que la interrupción ha habituado desplazamientos tajantes (Cardenas, 2018).

Tabla 6

Representación del relleno de interrupciones

Dimensión (mm)	Representación	Tipo	Tamaño
> 600	Componentes		
200 a 600	Componentes		Muy Robusta
60 a 200	Bloques chicos		
20 a 60	Guijos robustos	Granular	
6 a 20	Guijos		
2 a 6	Guijos finos		Robusta
0,6 a 2	Partículas gruesas		

Fuente: (Ramírez & Alejano, 2004).

Tabla 7

Representación de las permeabilidades en las fracturas

Tipo	Interrupciones sin relleno	Interrupciones con relleno
I	Unión sellada Parece seca posible circule agua	Relleno consolidado y seco
II	Seca sin flujo de agua	Relleno húmedo
III	Evidencia circula agua	Goteo ocasional
IV	Húmeda, pero sin agua libre	Flujo de agua constante
V	Secreción, sin flujo incesante	Relleno lavado, flujo enorme según conductos dominantes
VI	Apertura, (apreciar el caudal en l/mm. y la presión).	Repletas plenamente abluciones, influencias de líquido sublimes.

Fuente: (Ortega, 2018).

1.1.4. Medidas del sólido rocoso

Para la evaluación completa del sólido rocoso a partir de un análisis en torno al afloramiento, también de la representación de sus mecanismos, la principal rocosa y las interrupciones, deben ser estimados otros elementos característicos del contiguo, por lo tanto, se describe:

- Cifras y disposición de familias de interrupciones.
- Dimensión e fracturación.
- Calidad de meteorización.

1.1.4.1. Familias de interrupciones

La calidad de fracturación y el volumen de los macizos de roca principal aparecen ofrecidos mediante la cifra de familias de interrupciones y por el extendido de cada familia. Cuando un grupo de fracturas tiene la misma inclinación y rumbo, ese grupo es llamado de fracturas, entre más alto el valor de J_n indica mayor cantidad de familias y una roca más débil (Cacao, 2018).

Tabla 8

Categorización de sólidos rocosos y de familias de discontinuidades

Sólido rocoso	N° de familias
I	Fuerte, interrupciones
II	Un linaje de interrupciones.
III	Un linaje de interrupciones + otras casuales.
IV	Dos linajes de interrupciones.
V	Dos linajes de interrupciones + otras casuales.
VI	Tres linajes de interrupciones.
VII	Tres linajes de interrupciones más otras ocasionales.
VIII	Cuatro linajes a más de interrupciones
IX	Consolidado

Fuente: (Ortega, 2018).

1.1.4.2. Dimensión de bloque y categoría de fracturas

La medidas de los bloques establecidos por un macizo rocoso establece de manera decisiva en el procedimiento de resistencia ya que a mayor tipos de familias de discontinuidades la roca va ser más débil y a menor discontinuidad es as resistente (Rodríguez, 2018).

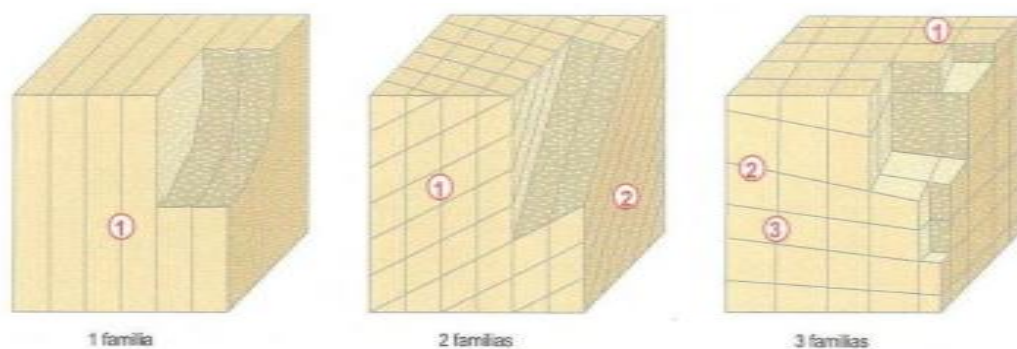


Figura 9. Cantidad de familias en los diagramas

Fuente: (González de Vallejo *et al.*, 2004).

1.1.4.3. Calidad de meteorización

La valoración de la calidad de meteorización del sólido rocoso se efectúa por información seguida del lugar y balance con las relaciones o patrones, designada además intemperización, está conexas por la transformación que sufre el plano de la roca también en los alrededores, esto se genera por la acción de meteorización a su vez influye los factores del clima, la categoría depende de situaciones morfológicas, tanto como la meteorización física, biológica y química que son factores que intervienen en el mecanismo de falla (Ortega, 2019).

Tabla 9

Valoración de la escala de meteorización en sólido rocoso

Categoría	Ejemplo	Representación
I	Nuevo	No presentan
II	Levemente	Muestra variación de la rocosa
III	Prudentemente	Un tercio aparece alterado.
IV	Altamente meteorizado	Más de la mitad es descompuesto
V	Totalmente meteorizado	Descompuesto
VI	Superficie residual	Suelo.

Fuente: (González de Vallejo *et al.*, 2004).

1.1.5. Diferencias frecuentes sobre la permanencia de taludes

El proceso de estabilización de un talud es determinada por tener agua en las aberturas y en diversas cuestiones es fundamental y terminante, en el que los medios para su seguridad son desiguales para taludes abiertos en un macizo rocoso, como resultado de la penetración se origina una extensión en la altura freática donde da parte a una ramificación de presión en los huecos, cuyo resultado es la depreciación supuesta de peso y la tenacidad a frote y por otra parte la carga de discontinuidades precedentes que involucran un esfuerzo hacia la superficie del talud (Chapa, 2016).

Algunos taludes han estado estables por varios años también tienden a fallar debido a la alteración topográfica que se puede presentar, esto puede ser por la acumulación de y concentración de aguas subterráneas que a medida que pasa el tiempo son más

probables que se depositen en el subsuelo, en este caso los factores que interviene como la mano del hombre inciden en la estabilidad de un talud (Linares, 2020).

1.1.6. Elementos responsables en la permanencia de taludes

La permanencia de un talud está definida mediante:

- Elementos correctos (entre la topografía, elevación o tendencia del talud)
- Compendios geológicos (regional y local, estos factores van a condicionar la apariencia de planos.
- Integrantes hidro geológicos (apariciencia de agua, altura freática).
- Componentes geotécnicos (Angulo de Masaje, Atracción y peso único; concernientes con el procedimiento mecánico del lugar).

La peripecia de quiebra y los mecanismos están registrados primariamente por elementos físicos y geométricos. Así mismo debemos considerar dentro de los elementos responsables los denominados factores condicionantes, o intrínsecos (Chapa, 2016).

1.1.7. Importancia de la estructura geológica

La apariencia geológica es importante en las situaciones de persistencia en los sólidos rocosos ya que la acción hidrotermal ha marcado la susceptibilidad de los materiales a ser degradados, la composición conformante con las medidas del talud, elevación, tendencia y disposición, definen las dificultades de permanencia. Los mecanismos de quiebra residen dictaminados sustancialmente por la correlación efectivo entre las tipologías estructurales (orientación, persistencia, espaciado) en algunas situaciones valioso logran mostrar innegable categoría de complejidad tornando arduo la elección de un solo acercamiento (Cacao, 2018).

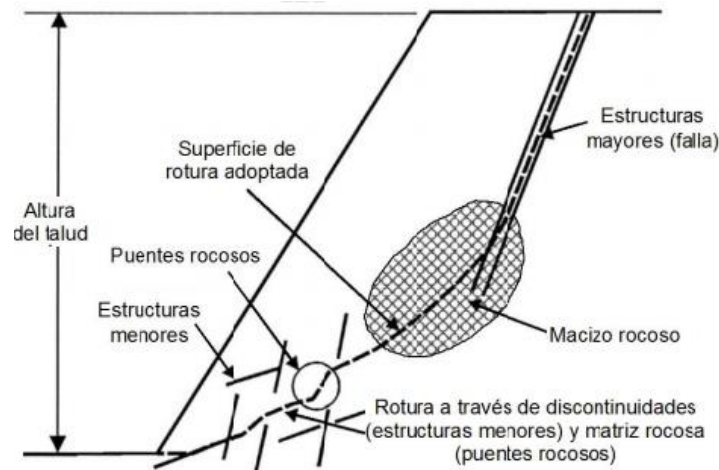


Figura 10. Estructuras geológicas de un talud alto

Fuente: (Montalván *et al.*, 2017).

Tabla 10

Componentes influyentes en la inestabilidad

Componentes condicionantes	Causas principales
Litología.	Sobrecargas estáticas
Distribución geológica.	Cargas dinámicas.
Contextos hidrogeológicos hidrogeológico.	Modificaciones en las condiciones hidro geológicas.
Propiedades físicas, duros y aberraciones.	Componentes atmosféricos
Tensiones normal y fase tenso-deformaciones.	Diferenciaciones en la forma
	Disminución de medidas resistentes.

Fuente: (González de Vallejo *et al.*, 2004).

1.1.8. Componente de rotura del sólido rocoso en Taludes

Es la causa física que genera en el sólido rocoso del talud se ejercen fuerzas externas que modifique la geometría producto de los esfuerzos generados que se propagan en los componentes de todo el entorno que conforma la matriz rocosa, debido a la relación que guarda estrechamente el uno al otro se dan los procesos de estabilidad (Ortega, 2019).

1.1.8.1. Rotura planar

Es el proceso que se genera mediante la composición de roca en la zona de falla, probablemente estos fenómenos se forman cuando existe una rotura dominante en el macizo y favorablemente conducente en relación al talud estudiado (Ortega, 2018).

1.1.8.2. Fractura en cuña

Debido a movimientos de bloques en forma de cuña, se desarrollan por la intersección de dos planos de falla en base a su estría de falla provenientes a través de dos interrupciones dispuestas sesgamente al plano del talud (Ortega, 2019).

1.1.8.3. Fractura por vuelco

Este fenómeno es producido en los estratos que son casi paralelos en donde forman ángulos verticales que han sufrido producto de esfuerzos normales (Ortega, 2019).

1.1.8.4. Fractura por arqueo

Es causado a favor de planos de capas semejantes del talud $\alpha - \psi$, mediante desniveles $>$ de su ángulo de fricción interna $\alpha - \phi$. esta fractura puede ocurrir mediante flexión del estrato, este fenómeno se da en base a los espesores de las capas de los estratos en correlación a la altura del tajo para que esto genere un pandeo (Ortega, 2019).

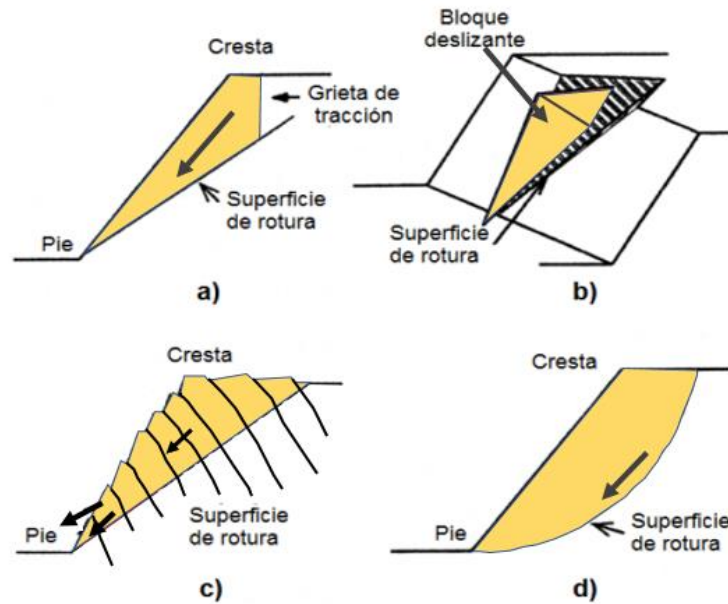


Figura 11. Ejemplos de rotura en taludes de roca

Fuente: (Sosa, 2016).

1.1.8.5. Tensiones naturales

La etapa de tensiones de un talud va depender de su distribución y geometría a su vez del movimiento de estos sólidos rocosos antes de la excavación, se sabe que las estructuras geológicas están sometidas a presión y tensión natural esto debido a los diferentes procesos de tectonismo que ha sido sometido durante varios millones de años formando un hecho de proporción de esfuerzos cerca de la labor ingenieril excavada (Ortega, 2018).

1.1.9. Técnicas de categorización del sólido rocoso

Estos sólidos rocosos, presentan un fenómeno mecánico muy complejo, debido a la aptitud que en ocasiones no se puede lograr estudiar por completo ya que son complejos por su forma y composición mineralógica que alberga en su interior también precisamente por eso se han realizado las clasificaciones de los tipos de roca mediante ensayos simples realizadas en los respectivos laboratorios donde se ha estudiado y determinado para el tipo de cimiento que este podría ser recomendado (Calcina, 2018).

1.1.10. Índice de elección de roca (RQD)

Esta categorización realizada por Deere, en 1967 planteó su método de diseño de reforzamiento en base a RQD, es un estimado cualitativo de la aptitud de roca en testigos de sondeo, es determinado como la relación de recortes de núcleo mayores o iguales a 10 cm en una extensión del núcleo (Sierra, 2019).

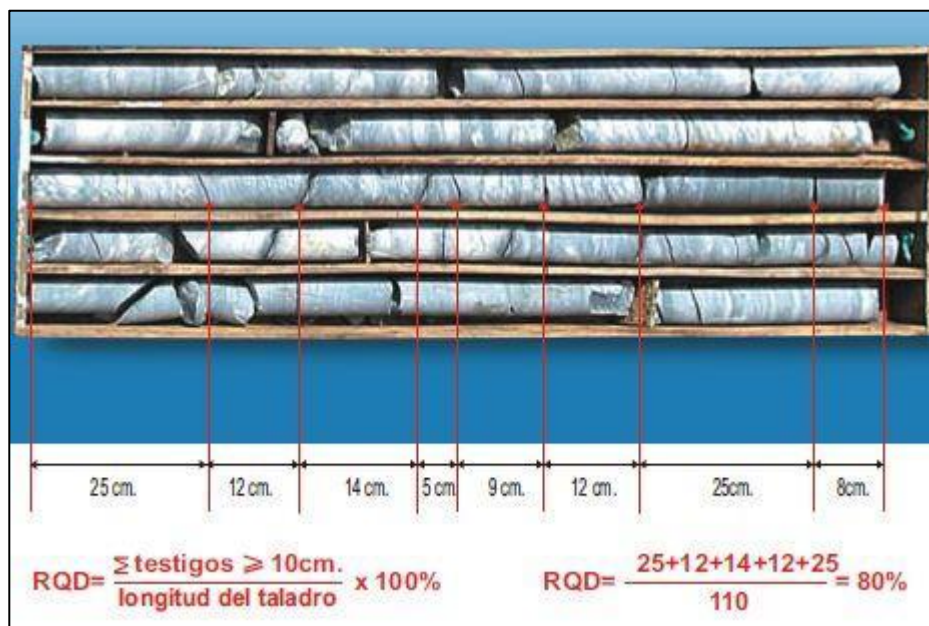


Figura 12. Evaluación del RQD mediante testigos de sondeo

Fuente: (González de Vallejo *et al.*, 2004).

Tabla 11

Elección del RQD

Disposición de la roca	Evaluación	RQD (%)
Estrechamente mala	I	<25%
Roca mala meteorizada	II	25 a 50%
Roca media ligeramente meteorizada	III	51 a 75%
Roca dura buena	IV	76 a 90%
Roca muy buena nueva e intacta	V	91 a 100%

Fuente: (Iturbide, 2018).

Tabla 12

Categorización de Deere (1967)

Representación	Extendido de juntas	Ejemplo de sólido rocoso
Muy abierto	> 3 m	Macizo
Abierto	1-3 m	Fuerte
Templadamente	0,3 - m	Bloques
Sellado	50 - 300 mm	Partido
Muy sellado	< 50 mm	Triturado

Fuente: (Ramírez & Alejano, 2004).

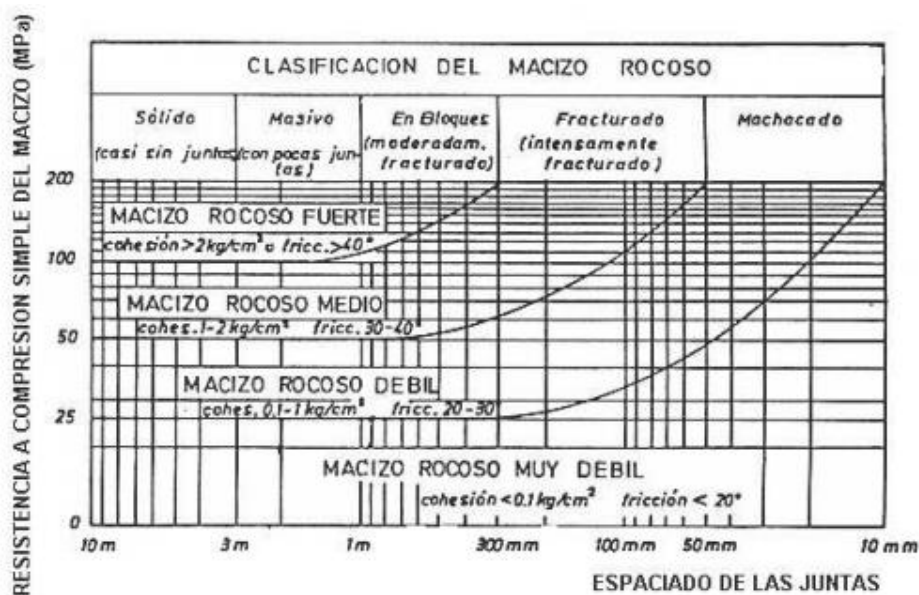


Figura 13. Diversificación de la firmeza debido a la presión simple de la roca

Fuente: (Bieniawski, 1993).

1.1.11. Categorización de Bieniawski (1973 - 1989)

Este autor desarrollo en primer lugar en las obras de ingeniería en el continente africano del sur, su investigación no tiene condiciones más bien recomienda que no es conveniente hacer la clasificación en rocas como por ejemplo se dan las expansivas y las fluyentes (Ramírez & Alejano, 2004).

1.1.11.1. Proceso del índice RMR

Debido a que el sistema RMR ha sido modificado varias veces, y dado que el método se conoce indistintamente como Clasificación Geomecánica o Sistema de Clasificación de Masa Rocosa, es sustancial afirman que el método ha persistido substancialmente igual en principio a pesar de los cambios. Por lo tanto, la valoración RMR se halla desde 0 y 100, la disposición es mejor cuando es 100 Bieniawski diferencia 5 tipologías dependiendo del RMR (Iturbide, 2018).

UCS: firmeza en aplastamiento de roca “sana”.

RQD: elección de disposición de la roca determinada por Deere *et al.* (1967).

S: espaciamiento entre las distribuciones.

JC: estado de las interrupciones, asociado a la propia logra alterar de 0.

WC: estado de la apariencia del agua.

Tabla 13

Valoraciones de RMR

Representación	Tipo de sólido rocoso	RMR
Solido rocoso muy buena	I	81 – 100
Solido rocoso buena	II	61 – 80
Solido rocoso regular	III	41 – 60
Solido rocosa mala	IV	21 – 40
Solido rocosa muy mala	V	0 - 20

Fuente: (Iturbide, 2018).

Tabla 14

Eficacia de sólidos rocosos en base a RMR

Variedad	Calidad	Estimación RMR	Cohesión kg/cm ²	Ángulo de fricción
I	Muy buena	100-81	> 4	>45°
II	Buena	80-61	3-4	35° - 45°
III	Media	60-41	2-3	25° - 35°
IV	Mala	40-21	1-2	15° - 25°
V	Muy mala	< 20	< 1	< 15°

Fuente: (Samané, 2019).

En este sentido, se evalúan las condiciones típicas promedio para cada conjunto de discontinuidades y se interpolan las calificaciones, utilizando las tablas de clasificación, en la Figura 13 permite una estimación del parámetro faltante. Además, debe tenerse en cuenta que las clasificaciones de importancia otorgadas para los espacios de discontinuidad se aplican a los sólidos rocosos que poseen tres conjuntos de interrupciones, se puede demostrar que cuando hay menos de tres conjuntos de discontinuidades, la clasificación hacia el espaciado de interrupciones logra aumentar en un 30% (Bieniawski, 1993).

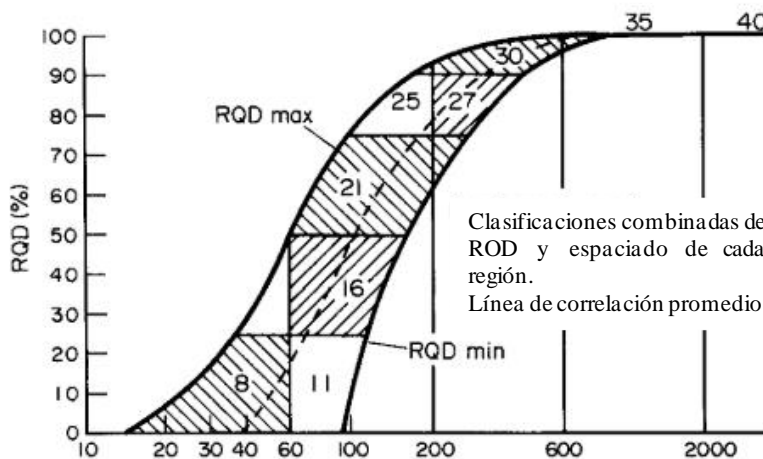


Figura 14. Sistema RMR: entre RQD y espaciado de discontinuidad según Priest y Hudson

Fuente: (Bieniawski, 1993).

1.1.12. Categorización de Bandis (1974)

1.1.12.1. Enunciación del Q

La categorización se relacionan los sólidos rocosos como el designado índice de Q (Ramírez & Alejano, 2004), fundado en las 6 medidas siguientes:

- RQD
- Jn Cifra de familias uniones.
- Jr Pliegue de juntas.
- Ja Meteorización de uniones.
- Jw Factor minimización de agua.
- SRF elemento anexo primariamente de las tracciones.

Los valores medidos Jr y Ja se precisa la aptitud del sólido rocoso de modo que:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF} \quad (2)$$

Tabla 15

N° de familias de Uniones, Jn

Representación	Jn
	0,5-1
Fuerte	2
1 linaje de diaclasas	3
1 linaje y algunas uniones casuales	4
2 linajes - dos linajes y algunas uniones	6
3 linajes	9
3 linajes y algunas uniones	12
4 o más linajes, roca muy partida.	15
Molida arcillosa	20

Fuente: (Ramírez & Alejano, 2004).

1.1.13. Semejanzas de RMR y Q

Estas semejanzas tienen relación de forma normal mediante una ecuación que sirve para hacer una igualdad por lo tanto se presenta de la forma siguiente (Ramírez & Alejano, 2004).

$$RMR = a \ln Q + b \quad (3)$$

Donde:

a y b, es invariables que penden del tipo de fracturación.

$$a = 5 \text{ a } 13,5$$

$$b = 26 \text{ a } 62$$

Tabla 16

RMR y Q para categorías análogas de sólidos rocosos

Variedad	Representación	RMR	Q
0	Considerablemente aceptable	----	100-1000
1	Muy satisfecha	81-100	40-100
2	Satisfecha	61-80	10-40
3	Media	41-60	4-10
4	Insatisfecha	21-40	1-4
5	Muy Insatisfecha	0-20	0,1-1
6	Considerablemente mala	----	0,001-0,1

Fuente: (Ramírez & Alejano, 2004).

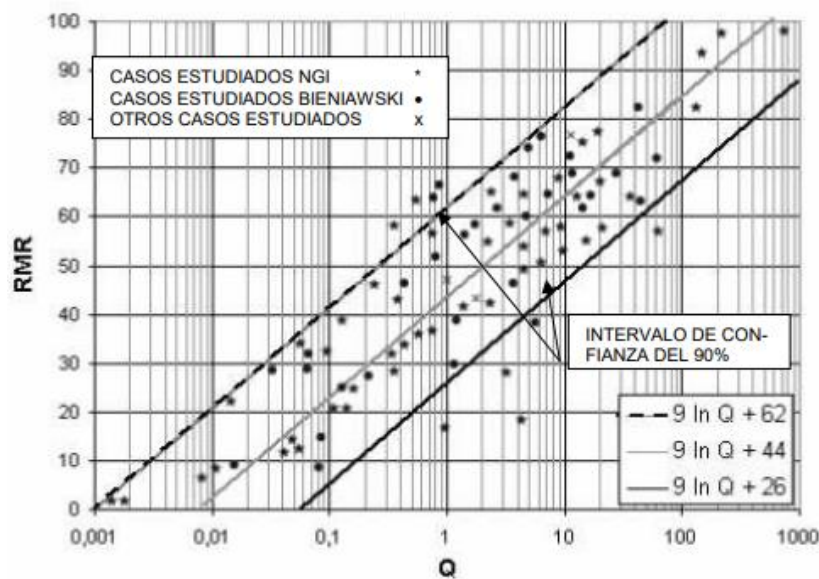


Figura 15. Correlación entre RMR y Q. Bieniawski (1979)

Fuente: (Ramírez & Alejano, 2004).

1.1.14. Método del índice GSI

Este método, es desarrollado para calcular los parámetros m_b y s de la simbolización (Hoek-Brown, 1980) en base a observación se puede describir a partir de las

perforaciones o sondeos del macizo rocoso y descrita de forma cualitativa la dureza y su tajo al talud de las fisuras (Ortega, 2018).

RMS: distribución del sólido rocoso, determinada en técnicas de sus bloques y valor de unión.

JC: estado de las distribuciones asistentes en el sólido rocoso.

La valoración del GSI, logra alterar de 0-100, consiente en precisar 5 variedades.

ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO	CONDICIONES DE LOS LABIOS DE LAS DISCONTINUIDADES				
	MUY BUENA	BUENA	MEDIA	MALA	MUY MALA
<p>INTACTO O MASIVO Muestras intactas de roca o macizos rocosos masivos con pocas discontinuidades muy espaciadas.</p>	90			N/A	N/A
<p>FORMADO POR BLOQUES Macizo rocoso consistente en bloques cúbicos delimitados por tres familias de discontinuidades, con los bloques bien encajados.</p>	80	70			
<p>FORMADO POR MUCHOS BLOQUES Macizo rocoso formado por bloques angulares de muchas caras delimitados por cuatro o más familias de discontinuidades. Los bloques están encajados pero sólo parcialmente.</p>		60	50		
<p>FORMADO POR MUCHOS BLOQUES, DISTORSIONADO Y BANDEADO Plegado con muchos bloques angulares formados por la intersección de muchas familias de discontinuidades. Planos de estratificación o de esquistosidad persistentes.</p>			40	30	
<p>DESINTEGRADO Macizo rocoso muy fracturado con una mezcla de bloques angulares y redondeados débilmente encajados.</p>				20	
<p>LAMINADO Y CIZALLADO Debido a la existencia de numerosos planos débiles muy próximos de esquistosidad o de cizalla, no existen bloques.</p>	N/A	N/A			10

Figura 16. Carta de estimación del índice GSI para macizos rocosos fracturados

Fuente: (Ramírez & Alejano, 2004).

1.1.15. Razonamiento de Hoek-Brown Generalizado

Es un razonamiento no directa, que simboliza el proceder de un sólido rocoso, es meramente práctico, que consiente valorar de modo natural la fractura de un intermedio rocoso mediante el preámbulo de las importantes tipologías geológicas y geotécnicas (Hoek & Brown, 2019).

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad (4)$$

Donde:

m_b : constante del material m_i dado

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right) \quad (5)$$

s y a : Invariables del sólido:

$$S = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right) \quad (6)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}(e^{-GSI/15} - e^{-20/3}) \quad (7)$$

D : Elemento que pende de la solidez a la presión uniaxial se obtiene creando $\sigma'_3 = 0$ (Hoek & Corkum, 2002).

$$\sigma_c = \sigma_{ci} S^a \quad (8)$$

$$\sigma_i = -\frac{s\sigma_{ci}}{m_b} \quad (9)$$

Los valores indicados en la ecuación sobre esfuerzos dadas en base a la formulación anterior (Bieniawski, 1993).

$$\sigma'_n = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} - \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \frac{d\sigma'_1/d\sigma'_3 - 1}{d\sigma'_1/d\sigma'_3 + 1} \quad (10)$$

$$\tau = (\sigma'_1 - \sigma'_3) \frac{\sqrt{d\sigma'_1/d\sigma'_3}}{d\sigma'_1/d\sigma'_3 + 1} \quad (11)$$

Siendo:

$$d\sigma'_1/d\sigma'_3 = 1 + am_b(m_b\sigma'_3/\sigma'_{ci} + s)^{a-1} \quad (12)$$

1.1.16. Medida de Imperfección

Las medidas de imperfección de sólidos rocosos están entregadas por:

$$E_m(Gpa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} 10^{\frac{GSI-10}{40}} \quad (13)$$

La ecuación 13 se usa por $\sigma'_{ci} \leq 100$ MPa, $\sigma'_{ci} > 100$ MPa, determinada mediante la ecuación:

$$E_m(Gpa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) 10^{\frac{GSI-10}{40}} \quad (14)$$

1.1.17. Criterio de Mohr - Coulomb

Es en base a la resistencia del sólido macizo en donde presenta según el autor dos procesos que son; cohesión y fricción, causando dependencia de la elasticidad efectiva sobre la cara de la fractura (Ortega, 2019).

Este mecanismo se puede ver mediante Mohr-Coulomb, en parte a las sucesivas ecuaciones para el ángulo de frote ϕ' y firmeza adherente c' (Hoek & Corkum, 2002).

$$\phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b(s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{a(1+a)(2+a)+6am_b(s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1}} \right] \quad (15)$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci} [(1+2a)s+(1-a)m_b\sigma'_{3n}](s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1+\frac{6am_b(s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)}}} \quad (16)$$

$$\sigma'_{3n} = \sigma'_{3max}/\sigma_{ci} \quad (17)$$

Mohr-Coulomb τ , para una energía estándar dado σ_n , se halla reemplazando los productos de c y ϕ en la igualdad: (González de Vallejo *et al.*, 2004).

$$\tau = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (18)$$

La fórmula equivalente, en técnicas de energías importantes menor y mayor, está dada por:

$$\sigma'_1 = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'} + \frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} \sigma'_3 \quad (19)$$

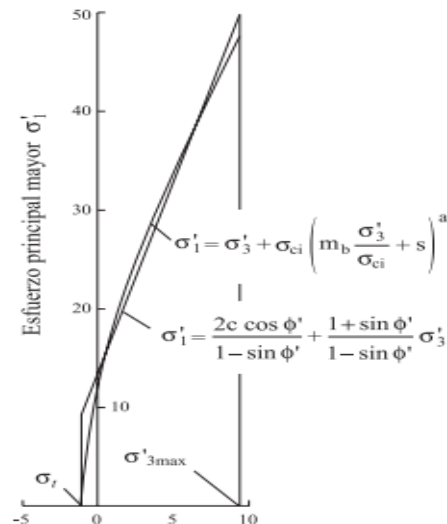


Figura 17. Igualdad entre energías principales mayores y menores

Fuente: (Hoek & Corkum, 2002).

1.1.18. Firmeza del Macizo Rocosó

Esta resistencia a la compresión σ_c , luego de eso se da una fractura cuando los esfuerzos logran alcanzar al rededor del espécimen aumenta el valor σ_c . la fractura se desarrolla a partir de este punto creando un espacio de energía biaxial en torno a la rotura y fortuitamente se afianza en correlación de esfuerzos de firmeza local, determinada, resulta mayor la composición de energías inducidos σ'_1 y σ'_3 (Hoek & Corkum, 2002).

$$\sigma'_{cm} = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'} \quad (20)$$

con c' y ϕ' definitiva $\sigma_1 < \sigma'_1 < \sigma_{ci}/4$, fundamento en

$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \frac{[m_b + 4s - a(m_b - 8s)](m_b/4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)} \quad (21)$$

1.1.19. Proyección estereográfica

Radica a partir de la línea ecuatorial en sentido a la orientación y sobre todo respecto al norte, la confluencia es de la mitad de la esfera de referencia se enmarca una línea magnífica en el plano del universo de reseña, para un plano este proceso de realización con la esfera es un arbotante circular denominado círculo máximo, mientras que, para una línea, la confluencia con la esfera de referencia un punto. Para desarrollar una proyección estereográfica de un plano o una línea, la empalme con el globo de

referencia se gira hacia fuera hasta un plano horizontal en la base de la esfera, en el exámenes de permanencia de taludes que utiliza estereonets, los planos se emplean para representar tanto discontinuidades como caras de taludes (Mamani, 2016).

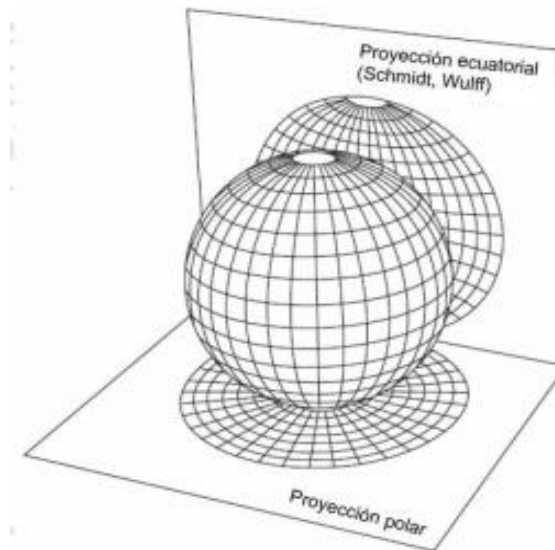


Figura 18. Predominio polar y ecuatorial

Fuente: (Alvarado & Villanueva, 2018)

1.1.20. Persistencia de Taludes

En el bosquejo de dimensiones seguras de taludes es transcendental pensar los orígenes de la inseguridad. Cuando se hace un análisis de un talud se considera su estabilidad su caracterización a la resistencia de la superficie estabilizar el perfil, las condiciones de filtraciones de agua pueden ser subterráneas filtradas por la superficie se considera también el elemento de seguridad se determina una superficie de falla crítica (Tardeo & Zanabria, 2016).

1.1.21. Factor de Seguridad del Talud Natural

Un criterio de fallamiento universalmente aceptado por la mecánica de rocas, lo compone el criterio de Mohor-Coulomb. La técnica que se aplica a un elemento de seguridad en función de los energías generados en la roca, el ángulo de cohesión y fricción interna (Linares, 2020).

$$F. S. = \frac{c \cos(\varphi) + 0.5(\sigma_{max} + \sigma_{min}) \operatorname{sen}(\varphi)}{0.5(\sigma_{max} - \sigma_{min})} \quad (22)$$

1.2. Antecedentes

Según Ttito (2018), realizó un estudio de estabilidad de un talud haciendo uso del factor de seguridad donde obtuvo parámetros de resistencia al corte y deformaciones de otros tipos que han influido en la estabilidad de su talud, presentó los resultados de sus ensayos de laboratorio ya sea geotécnicos mecánicos también geofísicos también ha usado el programa Slide V.6, para su análisis pseudo estáticos que se ven en los taludes de roca.

En su investigación realizado por Grattz *et al.* (2018), mencionan que; el aumento del elemento de seguridad sobre todo en grieta planar es influenciado por la variante de la cohesión, la altura del talud es determinante también que influyen en la inclinación cercanos a los 90° así menciona que el elemento de seguridad para un tipo de grieta por cuña es determinado por la dimensión de un bloque, el modo de resistencia de una roca influye en la estabilidad dependiendo a su influencia de seguridad el autor recomendó un sistema de soporte de mallas flexibles anclados a dimensiones de 4 x 4 m.

Por su parte Zhu *et al.* (2018), en su artículo concluyen que; el estudio, fundado por una teoría de similitud, el comportamiento del macizo rocoso bajo el refuerzo de pernos fue investigado a través de ensayos y disimulos numéricamente por FLAC3D con modelo a escala de 150 x 150 x 300 mm. el efecto de escala es importante en la objeción mecánica y utilidad de amarre del macizo rocoso, así la resistencia máxima como de elasticidad del sólido rocoso aumenta gradualmente con la extensión de la estratificación cohesión, el aumento de la cantidad de pernos aminora esta atribución de la cohesión, también las curvas tensión-deformación axial del sólido rocoso bajo el refuerzo de pernos muestra las peculiaridades de incremento ablandamiento por desproporción y refuerzo supletorio. La fuerza máxima del sólido rocoso estratificado persigue la logística en función con el perno, el modo de falla del sólido rocoso varía desde la fluencia autónoma de las capas rocosos hasta la falla ordinaria producidos.

Según Zheng *et al.* (2018), en su investigación realizada concluyen que; un enfoque para calcular el RQD en cualquier dirección la derivación teórica incorpora la varianza de las orientaciones y tamaños de las discontinuidades. Por lo tanto, la relación propuesta puede reflejar mejor las características de los macizos rocosos reales en comparación con la propuesta por Hudson y Priest (1979), en la que se suponía que las discontinuidades del mismo conjunto eran paralelas con tamaños infinitos. Además, la nueva fórmula requiere

muestrear orientaciones de discontinuidad adicionales, que suelen ser los parámetros básicos de las investigaciones en ingeniería de rocas.

Respecto a los modelos de compresión uniaxial Zhang *et al.* (2019), en su artículo de investigación concluyen que; el macizo rocoso se fortalece, pero se esperan post-pico frágiles con baja resistencia residual con mayor rigidez de la junta. Cuando se insertan diaclasas más blandas, el macizo rocoso se debilita y se observa un comportamiento dúctil. El estudio paramétrico del coeficiente de fricción muestra una tendencia similar cuando se incrementa el coeficiente de fricción. Las diferencias mecánicas entre las diaclasas y las rocas intactas se atribuyen a estas propiedades del macizo rocoso. Los parámetros SRM convergen bien con el sistema GSI/Hoek-Brown cuando las juntas predominantes tienen una orientación pronunciada. Las propiedades del macizo rocoso están en un nivel más alto en comparación con los parámetros empíricos cuando las diaclasas son menos favorables al deslizamiento por corte.

Para Johari y Fooladi (2020), los resultados muestran que; el uso de la CRF afecta no solo a las ETS del factor de seguridad y de la distribución del desplazamiento lateral máximo, pero también puede provocar variaciones en el valor medio. Además, el índice de confiabilidad del sistema de estabilidad de taludes disminuye cuando el análisis se realiza en base al URF.

Según Azarafza *et al.* (2020), en su artículo concluyen que; el estado de estabilidad-inestabilidad de pendientes rocosas discontinuas bajo fallas estructurales en bloque basadas en escenarios de cuña y deslizamiento del plano se da cuando la condición de inestabilidad determina el grado de confianza de la pendiente de la roca, es fácil de implementar un método de estabilización adecuado. En cuanto al mando enfoques, el algoritmo presentado tiene una excelente compatibilidad y proporciona satisfacción intuitiva y experimental. En comparación con el método de análisis existentes (software SWedge y RocPlane), el algoritmo enviado es relativamente simple y requiere poco tiempo de proceso, además, la metodología de asignación de expertos para decisión ponderada funciones del algoritmo presentado se cumple correctamente. En consecuencia, los resultados lógicos con la exactitud y la precisión adecuadas podrían extraerse del pre- algoritmo enviado.

Respecto al modelo de permanencia de taludes que maneja métodos según Bar *et al.* (2020), en su artículo mencionan; así como equilibrio límite (LE) y elementos finitos (FE)

en tres dimensiones (3D) también se está volviendo más accesible, fácil y más rápido de operar. Estos componentes clave permiten llevar a cabo investigaciones del sitio, desarrollar modelos geotécnicos y evaluar la estabilidad de taludes más rápido y con más detalle con menos exposición a los peligros de la caída del suelo en el campo. Esta investigación describe el proceso rápido y sólido utilizado en BHP Limite para evaluar la falla de un talud de mina, utilizando una combinación de fotogrametría UAV y modelos de estabilidad de taludes en 3D.

Según Pradhan y Siddique (2020), en su artículo mencionan que; mediante la estimación de permanencia de taludes haciendo uso del método numérico es importante en el logro del diseño seguro y sólido en diversas prácticas de ingeniería de taludes de roca. Debido a la disposición de las interrupciones, las fallas estructuralmente controladas, además, los elementos meteorológicos, geológicos y geotécnicos son los componentes principales que explican las fallas frecuentes a lo largo del talud, los resultados que se obtiene son SRF crítico y distribución del contorno de la deformación de corte dentro de las pendientes, están siendo apoyados por las condiciones del macizo rocoso. Se deben adoptar medidas de mitigación para tal desprendimiento de rocas. El criterio de MC es más adecuado para taludes de roca homogénea o escombros/suelo. Sin embargo, El macizo rocoso extensamente fracturado se puede tratar como homogéneo y el criterio puede adoptarse para el estudio de estabilidad.

Para que un talud sea permanente según Wu *et al.* (2020), en su artículo desarrollan un modelo, donde se observa que los resultados simulados coinciden con los efectos emanados por el cálculo tradicional de equilibrio límite, el modelo THM desarrollado para predecir el comportamiento de la pendiente se valida mediante comparaciones de tres estudios de caso en términos de experimentos de laboratorio y simulaciones numéricas. Un acuerdo favorable entre los resultados del modelado y los datos comparados confirma, desarrollado para describir con precisión el proceder de una pendiente afectada por procesos acoplados THM. Los resultados del modelado también pueden contribuir a una mejor comprensión de la falla de pendiente inducida por los acoplamientos THM.

Según Sjölander *et al.* (2020), en su artículo de investigación mencionan que; se presentó un modelo numérico capaz de simular la falla compleja de un FRS anclado con pernos a su vez estudió cómo los mecanismos de falla individuales afectan el comportamiento

estructural y la falla, los resultados confirman las soluciones analíticas lo que significa que el mecanismo de falla puede ser tratado individualmente en el diseño del hormigón proyectado. Además, se demostró que un diseño basado en la resistencia residual del FRS es más conservador, pero que un diseño basado en la fuerza de unión podría ser más económico. Sin embargo, investigaciones previas han demostrado que la fuerza de unión *in situ* puede variar significativamente. Posiblemente, el revestimiento esté más restringido *in situ*, lo que podría tener algunos efectos positivos en la capacidad estructural en comparación con la configuración de laboratorio estudiada en este artículo.

Por su parte los autores Renani y Martin (2020), adoptaron un modelo de Mohr-Coulomb en el que la cohesión y el ángulo de fricción se degradaron al aumentar la tensión de corte plástico. Se llevó a cabo una serie completa de análisis de elementos finitos en taludes con diversas geometrías y propiedades de resistencia al corte. Los resultados se usaron para desarrollar nuevas gráficas de estabilidad y ecuaciones para estimar el efecto del comportamiento de ablandamiento por deformación en el FOS del talud. Se demostró que el uso de la fuerza máxima en el análisis de estabilidad de pendientes en material de ablandamiento por deformación puede conducir a un diseño inseguro. Se presentaron dos ejemplos para ilustrar la aplicación del modelo de deformación-ablandamiento en el análisis de estabilidad de taludes. Como se esperaba, los resultados del análisis de equilibrio límite y el método SSR mostraron que presiones de poro más altas conducen a valores más bajos de FOS. Sin embargo, se encontró que la proporción de FOS del modelo de ablandamiento por deformación a la de un modelo perfectamente plástico era casi idéntica para varios niveles de presión intersticial considerados.

Con respecto a la investigación realizada por Zhang *et al.* (2021), como conclusión mencionan que; cuando se utilizan pernos de roca para reforzar un talud de roca de tipo de falla en vuelco, la posición en la que se aplica el refuerzo tiene una marcada influencia en el efecto del soporte. La posición óptima de instalación se encuentra dentro de la zona de derribo superpuesta y el refuerzo no puede ser efectivo si los pernos parten de la zona de falla en vuelco. La altura de la capa de roca tiene una influencia significativa en el efecto de refuerzo realizado usando pernos de roca en taludes de roca de lecho anti-buzamiento.

Según Fu *et al.* (2021), en su trabajo concluyen que; las correlaciones entre los modos de falla han considerado para calcular con mayor precisión el sistema probabilidad de falla, eso también se ha encontrado que la cohesión y el ángulo de fricción son los más influyentes. en la probabilidad de falla para los tres modos mientras que la corrosión El modelo y las fuerzas de unión iniciales solo influyen en la falla. probabilidad de falla de la unión entre el perno de anclaje y la lechada y ambas fallas de enlace respectivamente. Se puede concluir que estocástico-La probabilidad de primer paso basada en la teoría del proceso es una herramienta práctica para análisis de confiabilidad dependiente del tiempo de taludes de roca reforzados con roca pernos sujetos a corrosión

Por su parte Alejano *et al.* (2021), indican que; la resistencia máxima de la roca intacta varía continuamente con la orientación de los planos de debilidad. En comparación con el modelo JPW estándar, los modelos 2MC-JPW y 2HB-JPW propuestos son más precisos para predecir los resultados de resistencia de la pizarra observados. Estos modelos también han demostrado ser más precisos que el JPW estándar para otras rocas foliadas. es decir, esquisto de Boryeong, aunque no para todas las rocas de este tipo, sin embargo, si la resistencia a la compresión en las direcciones paralela y normal a la foliación difiere significativamente, la aureola plástica presentará una forma elíptica y potencialmente no se observará falla en la periferia del agujero más resistente normal a la foliación.

Los autores de su investigación Su & Shao (2021), afirman que; la dirección de deslizamiento se obtiene a partir de la suma de los vectores de esfuerzo cortante en la superficie de deslizamiento. El factor de seguridad local se determina con base en el esfuerzo cortante y la dirección de buzamiento. El factor de seguridad global es el valor medio integral del factor de seguridad local. Se dan dos tipos de métodos de parametrización para buscar la superficie de deslizamiento crítica. Los parámetros de cálculo de elementos finitos afectan el factor de seguridad a través del cálculo de la tensión. A medida que aumenta la relación de Poisson, aumenta el factor de seguridad. Cuando la relación de Poisson es cercana a 0.5, los resultados del método propuesto son cercanos a los del método de equilibrio límite. El ángulo de dilatación tiene poco efecto sobre el factor de seguridad de una superficie de deslizamiento asimétrica y tiene influencia sobre la dirección de deslizamiento. Sin embargo, los resultados de estos dos métodos son diferentes en el área de deslizamiento. En particular, la superficie constructiva de interpolación de puntos clave puede reflejar prueba previa del diario la

influencia de los atributos geométricos de la superficie de deslizamiento en el área de deslizamiento.

Para Li *et al.* (2022), los resultados numéricos son suficientes para obtener una media estadísticamente convergente del factor de seguridad con una fluctuación estable específica menor que 1.0% bajo condiciones especificadas, debido a la heterogeneidad y anisotropía del sistema DFN, el deslizamiento crítico La superficie del talud de roca fracturada puede tener una distribución no circular y no lineal a su vez los patrones de fabricación interna y externa características morfológicas afectan significativamente, tanto la distribución de la fractura como la pendiente la altura o el ángulo pueden alterar la superficie crítica, así como el factor de seguridad. Además, el elemento estimado de la seguridad disminuye ya sea el aumento de la altura y el ángulo de la pendiente, indicando la efectividad de las medidas de corte de taludes. El los resultados simulados pueden proporcionar conocimientos útiles para el diseño y optimización de contramedidas de estabilización de fracturas pendiente de roca, además, es necesario tener en cuenta el efecto de acoplamiento de las respuestas mecánicas e hidráulicas en taludes de roca fracturada.

Según Garcia (2013), en su investigación determinó que; para la identificación de parámetros, así como la evaluación del elemento de seguridad del talud, fue necesario considerar una serie de variables procurando cuantificar sus efectos. Tales variables comprendieron desde la concepción geológica de la zona, la integración geotécnica hasta las observaciones particulares hechas en campo. Por la complejidad del problema, se hizo uso del programa Phase 2 5.0 (Rocscience) para realizar los análisis geotécnicos.

Por su parte los autores Paulín y Hubp (2014), como conclusión mencionan; que, los métodos gravitacionales de 6 tipologías de superficies contenidos por escombros y avalanchas profundos donde fluyen materiales cuaternarios y solidos rocosos de dimensiones considerables a su vez describe doce formas de relieve donde ocurren algunos procesos gravitacionales tambien describe tres modelos de declives clasificados según la pendiente ya sea como alto, medio, bajo donde ocurren caidas de rocas desde las cabeceras no reguladas y laderas covergentes, esas tecnicas gravitacionales se presentan en declives moderados en barrancos no reglamentadas conn pendientes bajos, en llanuras con menor grado de incliacion permanece el material y no ocurre deslizamientos.

Según Fernández *et al.* (2018), en este artículo mencionan los autores; que el uso de un método probabilístico ayuda a determinar la inestabilidad del suelo, los métodos determinísticos y el análisis probabilístico son empleados en variables aleatorias para su caracterización de sus parámetros de resistencia, entonces para la generación de valores ha utilizado la teoría de Monte Carlo que le ayuda a la evaluación simultánea de una estabilidad de taludes en base a su factor de seguridad, la probabilidad que ocurra una grieta de algún tipo, esos resultados ofrecen un elemento de seguridad que se considera riesgoso ya que se debe aplicar otro método para su validación de las propiedades del material en general.

Según Gómez (2018), las franjas son vulnerables por la presencia de un talud que está en proceso de apertura debido al grado de inclinación del frente de la excavación y son inseguros en la subcuenca Canipaco, se podrían advertir los daños materiales y rurales que producen los fenómenos naturales en la franja, los cuales están en el rango de aprobación de la hipótesis disyuntiva (calculada la tabla ($g=8, \alpha=0,05$)) es decir $t_c > t$ ($15,558 > 1,860$), con lo que se efectúa el objetivo primordial y se aprueba la suposición primordial.

Las situaciones que se presentan durante una evaluación son los comportamientos pseudoestáticos Reyes (2020), en su investigación afirma que; conteniendo rasgos o dificultades por el contenido de agua en las discontinuidades de la roca esto induce que se genere debilidad y tienden a sufrir una falla en su geometría del tajo, luego haber realizado el análisis mediante los métodos apropiados tubo un resultado del factor de seguridad que no fueron alentadores indicando que el talud va a fallar por el tipo de geometría.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El país está compuesto por diferentes tipos de superficies y roca, donde se exhiben varias fallas espaciales, por lo que hay mayor inseguridad de pérdidas humanas, materiales y en donde se ven afectados el medio ambiente. Estas anomalías generalmente se delimitan en la sierra oriental y andina, sobre todo esta parte del territorio del departamento de Puno. El distrito de Sina presenta una topografía agreste de reducidos espacios planares, por lo tanto, no se pueden realizar construcciones de obras civiles de gran envergadura para el mejoramiento de la disposición de la población que habitan en la franja.

La geometría de un talud es considerado un aspecto más significativo de la ciencia geológica, (González de Vallejo *et al.*, 2004) durante la construcción de una obra civil, surgen problemas geomecánicos concernientes la permanencia de taludes donde la eficacia de permanencia de taludes depende de los análisis de determinación geológica y geomecánica del sólido rocoso.

Con la presente investigación, se ha evaluado y establecer la eficacia del sólido rocoso, para luego diseñar y seleccionar el tipo de reforzamiento adecuado para el talud, donde podrá realizar la construcción de una obra civil en beneficio de la población.

La falta de información de estudios en cuanto a la evaluación geomecánica del sólido rocoso en la franja hace que sea posible esta investigación ya que el proceso de inestabilidad del talud está condicionado por la disposición litológica del material, a su vez la presencia de materiales blandos, el nivel de fracturación del sólido rocoso, que precisan los bloques especificados de roca conveniente, la capacidad respectiva

de los distintos tipos de litologías que disponen el talud, las igualdades geométricas entre el talud y la gradación y la alineación de estratos de roca que presenta el área de estudio.

2.1. Identificación del problema

Durante el proceso de excavación superficial del talud, se presenta una serie de problemas de inestabilidad del terreno, debido al comportamiento de esfuerzos provocados por la alteración de la energía estática varía las propiedades físico-mecánicas de sólido rocoso originario. Por esta razón para compensar la inestabilidad provocada por la excavación se pretende incluir un reforzamiento del terreno para así formar un estado de estabilidad.

Con este trabajo se cumple el estudio geomecánico del talud contrastando las metodologías de delineación de reforzamiento, así diseñar un soporte de la estructura rocosa particularmente para intervenir la franja plastificada, se pretende hallar las tipologías de permanencia de la franja se logren mostrar en su ejecución de apertura y dibujar posterior a ello el tipo de reforzamiento para intervenir la estabilidad del talud que por lo menos tenga una vida útil de 40 años.

2.2. Enunciados del problema

2.2.1. Problema general

¿Cómo influye la evaluación geomecánica para el diseño de reforzamiento en el talud del Cerro Tambillo - Sina?

2.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo influye los parámetros geomecánicos en el comportamiento del macizo rocoso?
- ¿Cuál será el factor de seguridad del talud analizado del Cerro Tambillo – Sina?

2.3. Justificación

Durante el proceso de excavación del talud, las tipologías de la zona han presentado rocas alteradas e inseguros que son rocas metamórficas pizarra y acumulaciones coluviales de la formación Sandía, ha originado traslaciones constantes, en ese sentido la construcción de una obra civil para el distrito de Sina, significa todo un desafío debido a que no cuenta con espacios suficiente para su construcción y se localiza adentro de las zonas abruptas pendientes de escabrosa topografía, el clima es impredecible y el peligro permanente a traslaciones causando la inseguridad del talud del Cerro Tambillo.

La metodología para la valoración de la estabilidad de taludes en roca mediante mapeos geomecánicos lineales que se realizó en 3 zonas específicas para identificar el tipo y la eficacia del macizo rocoso, se determinó por un ensayo en laboratorio de presión uniaxial de la roca, de esa manera fijar el tipo de reforzamiento para su permanencia del talud en roca.

En la actualidad no existe información de trabajos de investigación para examinar la permanencia de taludes en la franja, por esta razón se justifica la elaboración de esta tesis con el propósito de lograr cuantificaciones geotécnicos, que logren aportar en la solución de estas dificultades de inestabilidad, de tal manera con este estudio nos permitirá determinar el tipo de roca y su clasificación según Bieniawski 1989, mediante la calidad RMR; con el resultado, se hizo un diseño de reforzamiento adecuado, económico y seguro será de gran utilidad para continuar con la construcción del estadio con las dimensiones reglamentarias que posiblemente será ejecutada por la entidad del distrito.

El deslizamiento de un talud crea un impacto social enorme ante estos fenómenos naturales, factores climatológicos, desprendimiento de rocas, la caída de huacos tanto a las carreteras y derrumbes en los pueblos contiguos creando pérdidas materiales, económicas y hasta humanas de las ciudades sensibles a este tipo de inestabilidades formando catástrofes. Al hacer esta evaluación geomecánica se cuenta con una información que servirá para otras futuras evaluaciones que puede darse en cuanto a este tipo de investigación por lo tanto será de gran utilidad esta información.

Por esta razón se justifica el estudio en la persistencia a extenso plazo para optimizar la disposición de la población, evitando incidentes, accidentes, que sería lamentable en el futuro las consecuencias que se darían si fallaría o caería parte de este talud.

2.4. Objetivos

2.4.1. Objetivo general

Determinar cómo influye la evaluación geomecánica para el diseño de reforzamiento en el talud del Cerro Tambillo – Sina.

2.4.2. Objetivos específicos

- Determinar cómo influye los parámetros geomecánicos en el comportamiento del macizo rocoso.
- Determinar el factor de seguridad del talud analizado del Cerro Tambillo – Sina.

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

La evaluación geomecánica influye positivamente en el diseño de reforzamiento del talud del Cerro Tambillo – Sina.

2.5.2. Hipótesis específicas

- Los parámetros geomecánicos del talud influye positivamente en el comportamiento del macizo rocoso.
- El factor de seguridad influye positivamente en el talud analizado del Cerro Tambillo – Sina.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio

3.1.1. Ubicación

El Cerro Tambillo está localizada al sur del país, en el flanco de la cordillera oriental en la ceja de selva, políticamente pertenece al distrito de Sina, provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno, cota de 3122 msnm. una distancia del distrito de 500 metros en dirección Norte definido por coordenadas UTM en el sistema WGS-84.

Tabla 17

Localización del área de estudio

N°	Este	Norte	Elevación
1	469755	8398281	3090
2	469796	8398151	3095
3	469660	8398127	3205
4	469633	8398251	3200

3.1.2. Accesibilidad

A la zona se accede de la siguiente forma, considerando a partir de la ciudad de Puno.

Tabla 18

Acceso importante al lugar

Tramo	Distancia (km)	Tiempo	Tipo
Puno - Juliaca	45	50 min	Asfaltada
Juliaca - Huancané	58	1,20	Asfaltada
Huancané - Vilquechico	9	20 min	Asfaltada
Vilquechico - Cojata	55	1,30	Asfaltada
Cojata – Sina	68	2,00	Afirmada
Total	235	6,00 hrs.	-

3.1.3. Clima

El lugar se halla en la región geográfica llamada Selva Alta, pertenece al clima sub tropical, donde hay neblina y es lluvioso con precipitaciones periódicos altos. Durante los meses del año como octubre hasta abril representado regularmente entusiasta y por lo ordinario lluvioso en las otras épocas persiste con arrebatos casuales, se sitúa en la estación especiales, estar de día es un tanto soleado y en las noches hace frio y hay presencia de neblina intensa.

3.1.4. Geología**3.1.4.1. Descripción geológica**

La zona de interés fue estudiada por el “INGEMMET”, se describe los tipos de depósitos geológico del cuadrángulo de la formación Sandia (29y), las rocas corresponden a la etapa Ordovícico del Paleozoico menor, y están compuestas por Pizarras grises, también contiene esquistos areno arcillosos y lutitas negras y amarillentas con contenido de cuarcita perteneciente al conjunto San José, de las formaciones Sandia, Ananea y depósitos cuaternarios (Jaimes y Trelles, 2021).

3.1.4.2. Geomorfología

Constituida por una longitud de la sierra oriental y colinas Nororiental, Suroccidental. La zona ha avanzado medios morfológicos específicos, consienten la componente montaña y la altiplanicie ya sean montes y alturas, aberturas fluviales y declives inclinadas. La zona prominencia se determina

mediante relieve escabroso, en cuantiosos blancos de esta franja ha sido principio a varios quebradas, ríos, constituyendo a formaciones de valles recónditos, cuyos arroyos y cumbres se dan discrepancias de elevación de 1000, 1200, 3000 m en áreas colindantes (Jaimes y Trelles, 2021).

3.1.4.3. Estratigrafía

El área de investigación está formada primariamente por las rocas metamórficas que contiene en especial las denominadas pizarras, cuarcitas, lutitas y areniscas, las edades de estos depósitos percibidas entre el Ordovísico inferior hasta el Holoceno, estos forman la base de la sucesión estratigráfica, desde edades antiguas hasta la actualidad y tienen aparente correlación por meta lutitas, estos estratos conforman según las formaciones de Sandia, Ananea. Los establecimientos plio-pleistocénicos y nuevos emergen áreas específicas constituyendo depósitos antiguos y recientes en todo su conjunto, estas sedimentaciones constituyen la cordillera oriental (Jaimes y Trelles, 2021).

Tabla 19

Columna litoestratigráfica en el área del proyecto

Tiempo	deposito	sucesión	componente litoestratigráfica	
Cenozoica	Cuaternario	Holoceno	Deposito aluvial	Qh - al
		Pleistoceno		
Paleozoico	Siluro Devoniano	Superior	F. Ananea	SD - a
		Cara dociano	F. Sandia	Os - s
	Ordovícico	Grupo San José	F. Purun pata F. Iparo	Oi - p Oi - p

Fuente: (Jaimes & Trelles, 2021)

3.1.4.4. Edad del Paleozoico

Están definidas por las rocas antiguas que pertenecen al Ordovícico del Paleozoico que perteneciente al conjunto San José que a su vez contiene a las formaciones de Iparo y Purun pata, en donde se puede observar las faces pizarrosas , con intercalación de meta lutitas que están conformados en el

grupo Sandia y Ananea de sucesiones fliohoides que en concordancia esta de forma plegadas y que presentan fallas (Jaimes y Trelles, 2021).

3.1.4.5. Grupo San José

Esta formación fue estudiada por (Laubacher, 1978) que afirmaba que eran depósitos sedimentarios pero luego fue corroborado por de la cruz en los años 1996 y lo designo a la categoría de Grupo que sobre yacen dos formaciones Iparo y Purun pata (Jaimes y Trelles, 2021).

3.1.4.6. Formación Sandia

De la edad del Paleozoico, del Ordoviciano Superior, esta deposito ocupa una gran ramificación en el espacio de trabajo, se halla enérgicamente doblada y fallada. Por lo general la litología constituye de una variación cargante de pizarras que contiene cuarcitas de desiguales volúmenes, estas rocas son aparente sobresalientes en la parte baba donde han sido depositados por lo que sobre yacen en la parte central del área de estudio y sus contornos como en las partes (Jaimes y Trelles, 2021).

3.1.4.7. Formación de Ananea

Pertenece al Paleozoico preferente, del régimen Silúrico y Devónico, de la Formación Ananea (Siluro Devoniano), este depósito se halla largamente mercada en el rectángulo de rinconada proveniente del flanco de Ananea, son depósitos litológicos que abarcan desde la parte de Cuyocuyo y alcanza hasta Ananea, su aspecto físico de la roca aparece diferencias en los tamaños de clastos que han sido transformados ya sea por la glaciación o meteorización, dichos afloramientos presentan; cuarzo, micas, cloritas y basto carbonoso, está en otros afloramientos al lado sur oeste (Jaimes y Trelles, 2021).

3.2. Población

Está compuesta por el área del talud de 10,000 m² y a su vez tiene un área de influencia de 5,000 m² ubicada en el Cerro Tambillo – Sina referidas a la construcción de un estadio ejecutadas por la Municipalidad distrital de Sina.

3.3. Muestra

Corresponde a las muestras que fueron extraídos del macizo rocoso, que se tomó del Cerro Tambillo, para la presente investigación el tipo de muestreo es no probabilístico, se realizó con bastante cuidado siguiendo las instrucciones según la normativa ASTM D 420 (MTC, 2016), la muestra fue extraída de la zona, de estaciones geomecánica para establecer las participaciones geomecánicas de la roca insitu, evaluando las interrupciones del sólido rocoso.

Para la determinación de las estaciones de muestreo fueron tomadas en cuenta de acuerdo a la distribución litológica del macizo rocoso, se consideró las alteraciones propi líticas de la roca indemne y las familias de discontinuidades.

La dimensión de la muestra se estableció haciendo uso de la habilidad de muestreo de una población y se designa mediante la ecuación:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 (N - 1) + Z^2 * p * q} \quad (23)$$

En que:

n = Dimensión de muestra

N = Dimensión de la población = 71 m

Z = Medida estadístico dependiente la confiabilidad del 95%

e = Es el error de evaluación aprobado = 5%

p = Posibilidad que suceda el suceso asimilado = 50%

q = (1-p) = Posibilidad que no suceda el caso = 50%

Se realizó una medición de la zona a fin de lograr obtener información de la ubicación de las 3 zonas evaluadas.

$$\eta = \frac{71 * 1,96^2 * 0,5 * 0,5}{0,05^2 (71 - 1) + 1,96^2 * 0,5 * 0,5} = 60,0$$

El muestreo se ejecutó cerca de cada 20 m de extensión del talud dependiendo de las tipologías estructurales equivalentes en cada tiempo; lográndose 3 tiempos geomecánicas.

3.4. Método de investigación

Este método de trabajo es descriptivo, cuantitativo, orientándose a la evaluación de estabilidad en taludes en sólido rocoso por la determinación geológica y firmeza a presión simple, evaluación geomecánicos, obteniendo valores RMR y GSI, que se dan en razón a las variables avanzadas del proyecto, para este caso se realizó los siguientes pasos que se describe a continuación.

- Exploración del marco teórico que percibe la tesis y la recopilación de información para su aplicación en campo.
- Se caracterizó el macizo rocoso con la cogida de información de lugar, mapeo lineal geomecánico y posterior recolección de muestra para el análisis en laboratorio se consideró los aspectos litológicos de la zona (alteración, familia de discontinuidades), se determinaron las partes físicas y mecánicas necesarias del peñasco intacto (δ y UCS).
- Pruebas de laboratorio, para la intrepidez de medidas geomecánicos y software Rocscience.
- Para el proceso de datos y su determinación geomecánica luego el diseño de permanencia se usó el software de Rocscience.
- Elección del método de estabilidad apropiado para el talud.
 - Transformación de la forma del talud.
 - Elección de drenajes.
 - Extensión de la firmeza del lugar mediante el preámbulo en el talud.
 - Reconstrucción de murallas u otros elementos de sujeción.
- Análisis de efectos.

3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

Se recolectó la información del área a fin de tener información necesaria y ubicar los puntos de muestreo.

a) **Determinar cómo influye los parámetros geomecánicos en el comportamiento del macizo rocoso**

Las estimaciones en campo es la más fundamental y significativa en las valoraciones de la permanencia de taludes. Para determinar cómo influyen los parámetros geomecánicos, se realizó un mapeo geomecánico lineal de dicha estructura de la matriz rocosa de acuerdo a la habilidad usada en la exploración y la determinación, que consistió en observar delicadamente el lugar, anómalo, habituado o caso, tomando información y registrado para su estudio.

Se obtuvo un bloque de macizo rocoso del área, las cuales fueron extraídas y recolectadas durante el trabajo de campo, mediante los testigos se evaluaron las pertenencias físicas (consistencia, ligereza y peso definido), firmeza a la presión uniaxial (UCS), pruebas de carga exacto (PLT), estas pruebas se efectuaron en el laboratorio, Laia Consul E.I.R.L. Ingeniería, Geotecnia y Construcción. bajo la normativa del ASTM y ISRM.

Los esfuerzo y deformaciones como consecuencia de la construcción han sido liberados y controlados después de la excavación, en donde se ha generado una geometría adecuada para su estabilidad.

b) **Determinar el factor de seguridad del talud analizado del Cerro Tambillo – Sina**

En este caso para saber su factor de seguridad, los datos se procesaron con softwares expertos mediante el estudio, la determinación geológica estructural de sólidos rocosos estuvieron acumulados en Excel, la información coherentes, ubicación de estructuras y examen de los tipos de falla concurrencias en el talud, se usó el programa Dips v.6.0, que a su vez fue para apreciar y examinar las disposiciones de las familias de discontinuidades del sólido rocoso, establecido mediante datos geológicos recolectados que permitió ejecutar un examen cinemático por medio de proyección estereográfica, los posibles tipos de rotura, para el examen de permanencia por la

técnica de equilibrio límite también se usó para calcular el componente de seguridad, usando programa RocData v.3.0, Slide v.6.0, Phase 2, la sociedad Rocscience.

c) Variables a ser analizados en los objetivos específicos

Variable dependiente

- Estabilidad del talud.

Variables independientes

- Clasificación geomecánica de los macizos rocosos.
- Factor de seguridad del talud.

d) Descripción detallada del uso de materiales y otros

Materiales que se utilizaron son:

- Libreta de notas.
- Flexómetro, Wincha métrica.
- Martillo de geólogo.
- Lupa de geólogo.
- Materiales de escritorio.
- Cámara.
- Laptop.
- Peine de Barton.

Equipos utilizados

- Equipo estación total (TOPCON OS 105 BG).
- GPS (Garmin).
- Brújula Geomecánica Brunton.
- Equipo de compresión simple de roca (Tilt test - GT).

Software especializado

- Dips v.6.0.
- RocData v.3.0.
- Phase2.
- Slide v.6.0.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Influencia de los parámetros geomecánicos en el comportamiento del macizo rocoso

Se realizó el muestreo a partir de una observación visual de la zona que representa todo el talud, la extracción de este bloque de roca se realizó en la parte central del talud con una dimensión de 20 x 30 cm, con el fin de obtener los testigos de roca talladas en laboratorio fueron de forma adecuada espesor 50 mm y el diámetro del testigo según el equipo de compresión simple, para tener ensayos exactos, tilt test, también se obtuvo las propiedades físicas de acuerdo a la norma.

Durante el mapeo lineal de las estructuras geológicas se hizo una representación detallada de todas las estructuras concurrentes en el talud, se consideró los parámetros como: la dirección de buzamiento, también los linajes de discontinuidades y disposición de las juntas por intermedio del análisis estereográfico ejecutados con el programa Dips v.6.0, y cuantificaciones ya asociados fueron realizados, habiendo como medidas y características propias para cada familia, el espaciamiento de estas estructuras así también la continuidad, abertura de las fracturas, rugosidad, relleno, meteorización, las condiciones hidrogeológicas, coeficiente de rugosidad de las juntas, todo los datos recolectados podemos ver en el Anexo A-2.

4.1.1. Propiedades físicas

Estos resultados como la prueba de porosidad, consistencia y peso específico, fueron ejecutados considerando la norma del ASTM C 97-02 y ISRM, estos ensayos se realizaron en; Laia Consul E.I.R.L. Ingeniería, Geotecnia y Construcción.

Tabla 20

Derivaciones pruebas de las propiedades físicas, contenido de humedad

N° de Tara	C-21	C-200	C-16
Peso de tara	28	25,5	25,9
Peso de Tara + M. Húmeda	139,9	122,6	127,6
Peso de la Tara + M. Seca	138,2	120,9	126,3
Peso de Agua	1,79	1,7	1,3
Peso Muestra Seca	110,2	95,4	100,4
Humedad W%	1,54	1,78	1,29
Promedio Humedad W%		0,0154	

Tabla 21

Densidad de la masa de suelo (ASTM D 7263)

Descripción	Unidad	M1	M2	M3
Peso de la muestra al aire	G	146,6	96,1	105,2
Peso de la muestra + parafina	G	146,8	100,1	106,5
Peso de la muestra + parafina inmersa	G	913	64,3	61,4
Peso de la parafina	G	0,2	4	1,3
Volumen de la muestra de suelo y parafina	cm ³	55,5	35,8	45,1
Peso específico de la parafina	g/cm ³	0,85	0,85	0,85
Volumen de la parafina	cm ³	0,24	4,71	1,53
Volumen de la muestra	cm ³	55,26	31,09	43,57
Peso determinado de masa	g/cm ³	2,65	3,09	2,41
Promedio peso específico de masa	g/cm ³		2,72	

4.1.2. Resistencia a la presión uniaxial (USC)

Estas pruebas fueron ejecutadas para establecer el aguante a la presión simple en base a la normativa ASTM D 2938- 95; mediante los testigos de manera cilíndricas que fueron preparados, efectuando según las instrucciones y etiquetas de trabajo en laboratorio; Laia Consul E.I.R.L. Ingeniería, Geotecnia y Construcción, el equipo que se utilizó ha sido una prensa de 2000 KN.

Tabla 22

Resultados de resistencia a la compresión uniaxial

Prob. N°	Elemento	Muestras estado natural (seco)								Resistencia a la compresión Kg/cm ²
		Dimensiones			Área (cm ²)	Peso Volumétrico		Carga	Carga	
		Volumen (cm ³)	Diámetro (cm)	Altura (cm)		PESO (Gr.)	Peso Vol. Kg/m ³	Max (kN)	Max (Kg)	
1	Especimen 01	120,53	4,2	8,7	13,85	325,5	2700,49	98,62	10056,3	725,85
2	Especimen 02	86,17	4,21	6,19	13,92	234,2	2717,95	166,34	16961,7	1218,47
3	Especimen 03	93,07	4,19	6,75	13,79	252,4	2711,86	94,21	9606,59	696,71
Firmeza a la presión simple, promedio (Kg/cm ²):								880,34		

Los resultados de la tabla describen la firmeza a la presión uniaxial obtenida a partir de muestra del sólido rocoso que fue analizada en el laboratorio Laia Consul E.I.R.L. Ingeniería, Geotecnia y Construcción, de este análisis se obtuvo valores de cada espécimen y un promedio de 880,34 kg/cm², teniendo así una resistencia de 88 Mpa.

4.1.3. Caracterización geomecánica

Con la evaluación de los parámetros geomecánicos se determinó la clase geomecánica de sólido rocoso se realizó por medio de un mapeo lineal que se hizo halla en el lugar insitu considerando la litología, las estructuras de la matriz rocosa se obtuvo el RQD, también RMR, GSI y Q (Zhao *et al.*, 2020).

4.1.4. Índice de designación de roca (RQD)

Para hallar el RQD se tomó en cuenta la teoría de Priest y Hudson, ellos piensan la cantidad de discontinuidades en un metro todo esto por medio de un mapeo lineal según (Acosta y Baron, 2019), haciendo una comparación con el autor, los resultados obtenidos de RQD son confiables (Zhang, 2016).

Tabla 23

RQD del macizo rocoso

Estación	λ	RQD _{prom}
1	10 fract. / ml	65
2	11 fract. / ml	52
3	12 fract. / ml	42

Los resultados de la tabla 23 se obtuvieron a partir de la evaluación del tamaño de las fracturas en un metro lineal, haciendo uso el criterio de Priest y Hudson a su vez se corrobora con los resultados de (Zheng *et al.*, 2018).

4.1.5. Clasificación RMR de Bieniawski

Con la clasificación del RMR se determinó la disposición del sólido rocoso, los efectos se obtuvieron por las pruebas de presión simple de la roca en laboratorio Laia Consul E.I.R.L, la determinación de las interrupciones, presencia de agua y la dirección de las interrupciones, estos han sido ejecutadas mediante las observaciones en campo del sólido rocoso.

Tabla 24

RMR para los tramos analizadas

Estación	Distancia	RMR	Representación	Tipo de roca	Estabilidad
1	0+000 – 0+020	58	Roca Regular	III	Normalmente estable
2	0+021 – 0+040	60	Roca Regular	III	Normalmente estable
3	0+041 – 0+060	64	Roca Buena	II	Normalmente estable

En la tabla 24 se describe los resultados promedios de RMR, II y III tipos lo cual indica que es una roca regularmente buena, a su vez las situaciones de permanencia del talud según clasificación RMR, Bieniawski es normalmente estable.

4.1.6. Categorización del método GSI

Estas valoraciones dadas se lograron con la analogía del RMR de Bieniawski, considerando el criterio de Hoek y dice, para calcular el GSI es restarle menos cinco al resultado del RMR.

Tabla 25

Resultado de valores de GSI

Estación	RMR	GSI	Descripción	Tipo de roca	Q
1	58	53	Roca Regular	III	4,74
2	60	55	Roca Regular	III	5,92
3	64	59	Roca Buena	II	9,23

Los valores RMR, GSI muestran el grado de aptitud de sólido rocoso, y asimismo se contiene el Q de Barton, definido por la ecuación del $RMR=9\ln Q+44$; que forma el talud del Cerro Tambillo.

4.1.7. Criterio de firmeza realizado por Hoek - Brown

El criterio de resistencia del sólido rocoso que forma el talud del Cerro Tambillo, se ejecutó para establecer propiedades físicas de la maza rocosa esto se obtuvo con la ayuda de los programas RocData v.3.0, un programa que sirve para contemplar criterios de firmeza del sólido Hoek - Brown y Morh Coulomb, para lo cual se tienen los datos de ingreso al programa, en los que podemos apreciar en la tabla siguiente.

Tabla 26

Valores para los criterios de firmeza del sólido rocoso

Estación	UCS (Mpa)	GSI	m_i	D	γ (MN/m ³)	Elevación
1	88	53	7	0,7	0,0272	70
2	88	55	7	0,7	0,0272	70
3	88	59	7	0,7	0,0272	70

4.1.8. Resultados de parámetros de firmeza según RocData

El software sirvió para establecer medidas de dureza y estado de deformación del sólido rocoso, cohesión, ángulo de fricción de las paredes de discontinuidades y demás resultados según el criterio de (Hoek & Brown, 2019) y Barton.

Según (Acosta y Baron, 2019), en su trabajo de investigación determinó un RQD, con un RMR y tipo de roca III obteniendo una valoración Q concluyendo que el análisis geomecánica de su investigación en algunos labores son inseguros y por lo tanto requieren de un tipo de reforzamiento.

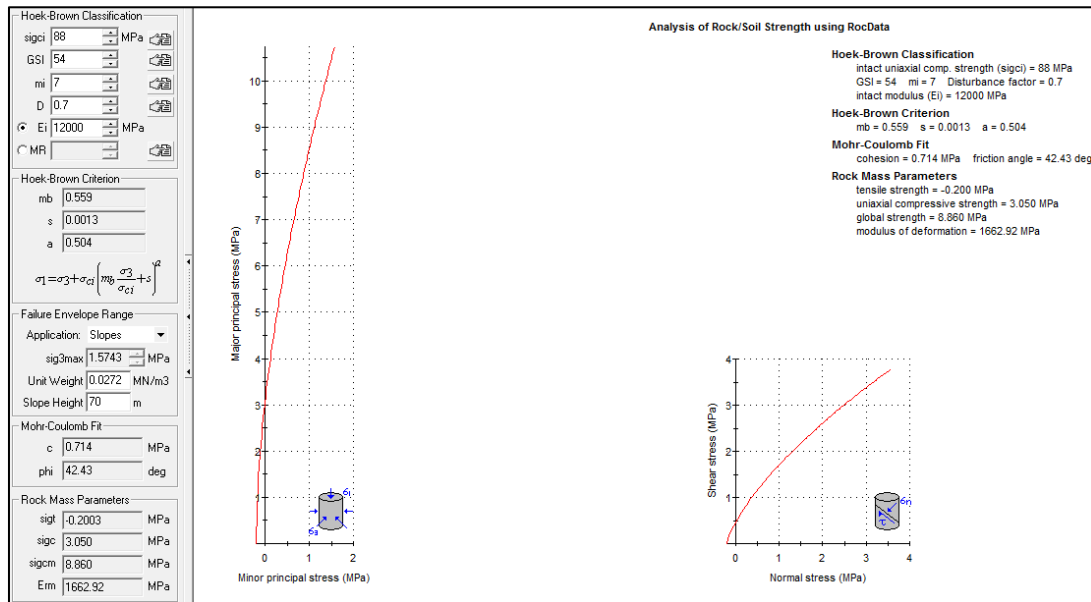


Figura 19. Resultados de deformación para roca III

Según la sistematización de Hoek-Brown es; el módulo de deformación $E_m = 1662,92$ MPa, $mb = 0,559024$ $s = 0,00127263$, $a = 0,504342$, Firmeza a la tracción $\sigma_t = -0,200334$ MPa, Firmeza a la presión $\sigma_c = 3,04974$ MPa, $\sigma_{m\acute{a}x.} = 1,57433$ MPa, $c = 0,714489$ MPa.

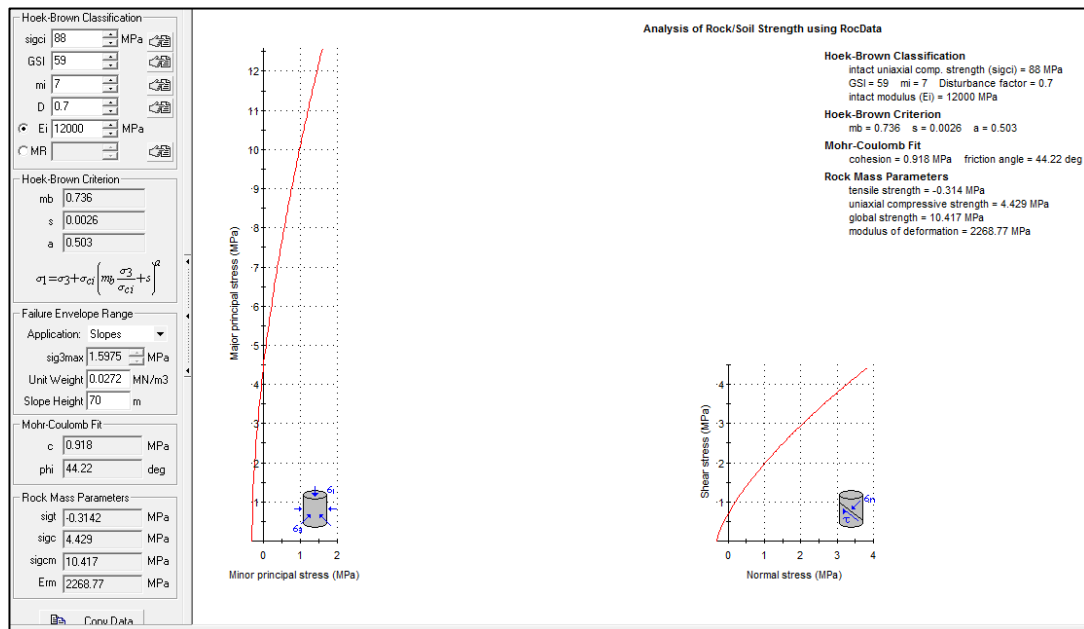


Figura 20. Resultados de deformación para tipo de roca II

En la figura 20 para tipo de roca II los resultados del análisis son; módulo de deformación $E_m = 2268,77$ MPa, $mb = 0,73577$ $s = 0,00262669$, $a = 0,503051$ firmeza

a tracción $\sigma_t = -0,314159$ MPa, firmeza debido a presión $\sigma_c = 4,42909$ MPa, $\sigma_{max} = 1,59745$ MPa, $\sigma_{cm} = 10,4174$ MPa.

4.2. Determinación del factor de seguridad del talud analizado

Se ha determinado un elemento de seguridad que ofrece el talud en situaciones de amenaza, se ingresó al software los datos calculados mediante el RocData luego se hizo el proceso en el programa Phase 2 logrando así obtener un factor de seguridad que no son alentadores para continuar con el proceso constructivo.

He utilizado el procedimiento de equilibrio límite, la permanencia del talud del Cerro Tambillo fue intervenida por la solidez que brindan las estructuras, luego se deducen los resultados del elemento de seguridad (Hoek & Brown, 2019), a su vez la forma del talud de acuerdo al tajo que se ejecutó, a su vez se ha considerado la altura, el ángulo y trayectoria del talud, también el criterios de rotura, y demás cuantificaciones, se determinó un factor de seguridad, los resultados se describen ver Figura 21.

La estación 01 fue analizado y logrando como resultados un FS = 0,92 esto nos indica que es una condición inestable, en el cual no certifica la permanencia del talud ya que el FS es por debajo de 1,20 con este resultado nos dice que va sufrir una rotura. Para los tramos 2 y 3 de la misma manera tiene un FS = 0,88 y 0,83 respectivamente.

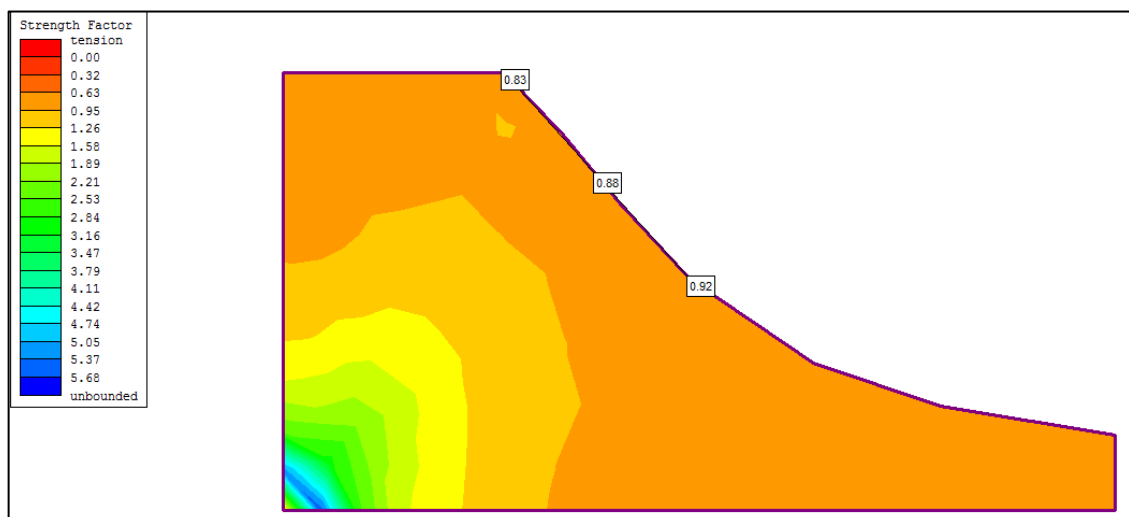


Figura 21. Factor de seguridad del talud de Cerro Tambillo para tipos de roca III y II Según Su & Shao (2021), estableció valores de factor de seguridad utilizan en el cálculo de tensiones por el método de elementos finitos. La dirección de deslizamiento se obtiene a partir de la suma de los vectores de esfuerzo cortante en la superficie de deslizamiento.

4.3. Influencia de la evaluación geomecánica para el diseño de reforzamiento en el talud del Cerro Tambillo – Sina

La atribución de la estimación geomecánica para diseño de reforzamiento es indispensable, ya que mediante los valores que se genera como el cálculo de RQD, Q de Barton, RMR de Bieniawski de 1989, llamado también RMR 89 donde se obtuvo la eficacia del macizo rocoso y tipo del macizo que consiente en intermediación el ángulo de cohesión y rozamiento, el tiempo y longitud del talud, a su vez se compara con los resultados que obtuvieron (Zheng, *et al.*, 2019).

Tabla 27

Índice RMR para macizos rocoso tiempo de estabilidad

Variedad	I	II	III	IV	V
Mantenimiento y longitud	10 años	6 meses	1 semana	10 horas	30 min.
Adherencia	>4	3-4	2-3	1-2	<1
Ángulo de rozamiento	>45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	<15°

Fuente: (Hoek & Corkum, 2002).

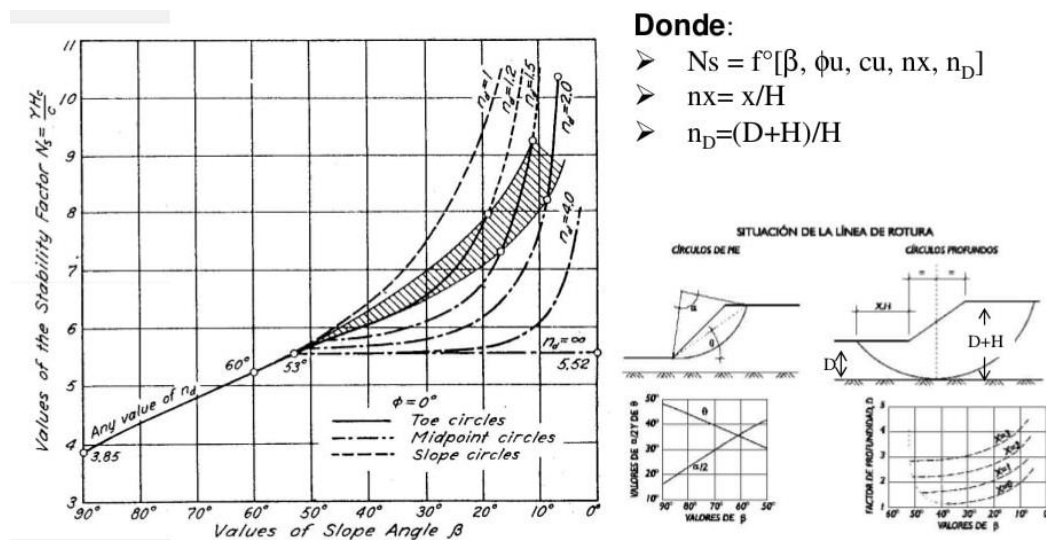


Figura 22. Abaco de Taylor para el diseño de soporte del talud de roca

Fuente: (Hoek & Corkum, 2002).

4.3.1. Diseño de reforzamiento por métodos numéricos (Software Phase2)

Phase 2 es un programa que ofrece resultados mediante elementos finitos que admite examinar el proceder del sólido rocoso de manera elástica y plástica, se ingresó los datos al programa en los que se consideró la forma del tajo y el tipo de material, altura y peso específico, esfuerzos constantes, carga sísmica, tipologías y características del material, relación según Poisson, Young, criterio de falla de resistencia, tipos y características elementos de anclaje, y otros, los datos de salida que nos dan son, desplazamientos ya sea vertical u horizontal y totales, esfuerzos mayores y factor de seguridad, etc.

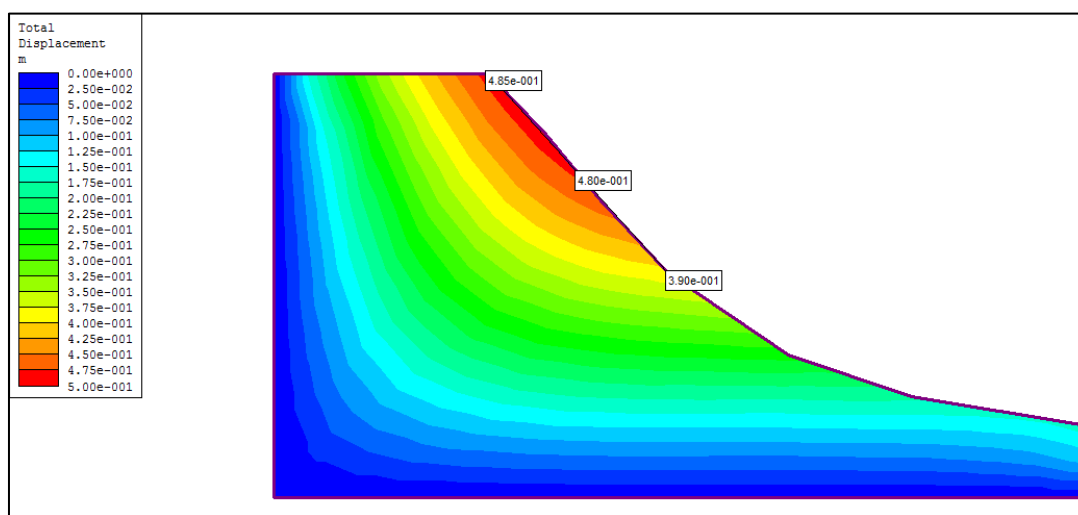


Figura 23. Desplazamientos modelos III y II, reforzamiento de pernos de 3 m, shotcrete, espesor de 0,08 m.

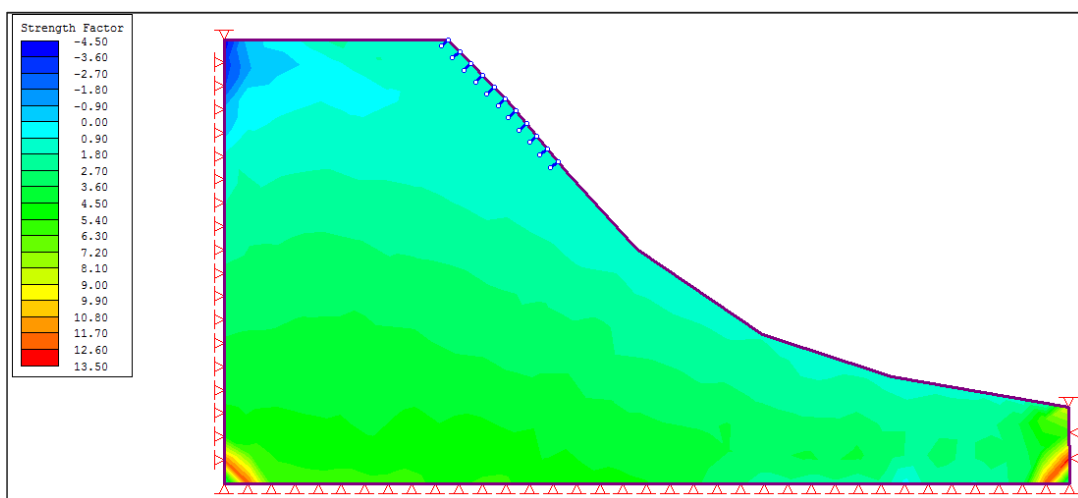


Figura 24. Factor de seguridad posterior al diseño de soporte del talud del Cerro Tambillo para los tipos de roca III y II

CONCLUSIONES

- La evaluación geomecánica determinó los tipos de diseño de reforzamiento adecuado mediante el método de elementos finitos en situaciones estáticas, con este resultado se determinó el tipo de reforzamiento que requiere en la parte superior del talud pernos de anclaje y platina con características de 3 m de profundidad como mínimo a un espaciamiento de 3 m respectivamente, con un refuerzo de mallas electrosoldadas y lanzado de concreto shotcrete de espesor 0.08 m. Incluido con fibra metálica.
- Mediante las cuantificaciones geomecánicas se obtuvo la variedad de sólido rocoso según el GSI de 54 y RMR con un puntaje de 59, estando dentro a una calidad geomecánica regular, según la clasificación RMR se determinó los tipos de roca III y II que son regularmente estables, se hizo uso el criterio de Q de Barton para establecer medidas de firmeza de las interrupciones, para el método de equilibrio, se consideró situaciones in situ del talud, la categorización geomecánica RMR, se realizó como diseño de soporte la inserción de materiales estructurales para optimizar la firmeza del sólido rocoso.
- Se consiguieron los Factores de Seguridad del talud en estado inicial, con; $FS = 0,92$ esto nos indica que es una condición inestable, no avala la fijeza del talud ya que el FS es por debajo a 1,20; indicando así que, podría sufrir una quiebra. Los tramos 2 y 3 de la misma manera tiene un $FS = 0,88$ y $0,83$ respectivamente, se halló con el modelo Hoek generalizado, luego, se hizo la simulación de reforzamiento incluidos los elementos de soporte recomendado y se obtuvo el factor de seguridad mayor a 1,8 indicando un talud estable.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer un estudio de permanencia de talud utilizando otras metodologías en diferentes condiciones.
- Realizar la clasificación geomecánica por otro método para realizar una comparación entre ambos y así hacer la comparación de ambas clasificaciones, a su vez se recomienda hacer uso del software original para el cálculo de factor de seguridad antes y después del diseño de soporte en estado estático por la técnica de elementos finitos.
- Realizar un reforzamiento en el talud del Cerro Tambillo con pernos de anclaje con características de 3 m de profundidad a un espaciamiento de 3 m respectivamente, con un refuerzo de lanzado de concreto shotcrete de espesor 0,08 m. Incluido con fibra metálica y malla electrosoldada, por ende, debe darse una mayor seguridad ante posibles deslizamientos y caídas de rocas que ocasionarían accidentes fatales.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, I., & Baron, B. (2019). *Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7-Chongoyape-Lambayeque* (Universidad Cesar Vallejo). Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/38854>
- Alejano, L. R., González-Fernández, M. A., Estévez-Ventosa, X., Song, F., Delgado-Martín, J., Muñoz-Ibáñez, A., ... Alvarellós, J. (2021). Anisotropic deformability and strength of slate from NW-Spain. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 148. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2021.104923>
- Alvarado, M. M. I., & Villanueva, H. L. (2018). *Evaluación Geomecánica y Geotécnica para el diseño de estabilidad de taludes de la cantera Agocucho, Cajamarca 2018* (Universidad Privada del Norte). Recuperado de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14988>
- Azarafza, M., Akgün, H., Feizi-Derakhshi, M., Azarafza, M., Rahnamarad, J., & Derakhshani, R. (2020). Discontinuous rock slope stability analysis under blocky structural sliding by fuzzy key-block analysis method. *Heliyon*, 6(5), e03907. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03907>
- Bar, N., Kostadinovski, M., Tucker, M., Byng, G., Rachmatullah, R., Maldonado, A., ... Yacoub, T. (2020). Rapid and robust slope failure appraisal using aerial photogrammetry and 3D slope stability models. *International Journal of Mining Science and Technology*. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.05.013>
- Bieniawski, Z. T. (1993). Classification of rock masses for engineering: the RMR system and future trends. *Comprehensive Rock Engineering*. Vol. 3, 553–573. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-042066-0.50028-8>
- Bujaico, C., & Gonzales, A. (2021). *Categorización geomecánica del macizo rocoso en labores de avance empleando la cartilla del Q de Barton para determinar el sostenimiento* (Universidad Continental). Recuperado de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10459/2/IV_FIN_11_0_TE_Bujaico_Gonzales_2021.pdf

- Cacao, E. (2018). *Clasificación de calidad de roca con el método slope mass rating (smr) en un tramo de la ruta ca-9, para la identificación de taludes inestables y herramienta para estudio diagnóstico* (Universidad de San Carlos de Guatemala). Recuperado de [http://www.repositorio.usac.edu.gt/9022/1/Erick Noe Cacao Chiquin.pdf](http://www.repositorio.usac.edu.gt/9022/1/Erick_No%C3%A9_Cacao_Chiquin.pdf)
- Calcina, E. (2018). *Diseño y Sostenimiento del bypass 942 (nivel 3340) Para Optimizar la Seguridad de las Operaciones en la Mina Chipmo* (Universidad Nacional de San agustin Arequipa; Vol. 942). Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5055>
- Cardenas, J. (2018). *Determinación por métodos probabilísticos en discontinuidades para la estabilidad de los Túneles y Semitúneles Viales de Karkatera- Abancay, Apurímac* (Universidad Nacional del Altiplano). Recuperado de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/12635/Jose_Adolfo_Cardenas_Catalan.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chapa, I. (2016). *Análisis de estabilidad de taludes mediante la revisión cinemática del macizo rocoso en la zona poniente de Monterrey (Cerro de la Loma Larga y Mitras), Nuevo León, México* (Universidad Autónoma de Nuevo León). Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/17837/1/1080243028.pdf>
- Fernández, W., Villalobos, S., & King, R. (2018). *Probabilistic analysis of slope stability in completely decomposed granite residual soils*. 33, 5–14. <https://doi.org/dx.doi.org/10.4067/S0718-50732018000100005>
- Fu, G., Deo, R., Ji, J., & Kodikara, J. (2021). Failure assessment of reinforced rock slopes subjected to bolt corrosion considering correlated multiple failure modes. *Computers and Geotechnics*, 132(November 2020), 104029. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2021.104029>
- Garcia, F. (2013). *Análisis retrospectivo para la determinación de las propiedades geomecánicas y revisión de la estabilidad del talud izquierdo del vertedor de la c. h. la Yesca* (Universidad Nacional Autónoma de México). Recuperado de <http://132.248.9.195/ptd2013/diciembre/0706808/0706808.pdf>

- Gomez, M. G. F. (2018). *Análisis de riesgos por inestabilidad de taludes en la subcuenca Río Canipaco, tramo distrito de Colca provincia de Huancayo departamento de Junín* (Universidad Nacional Federico Villarreal). Recuperado de <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/2573>
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2004). *Ingeniería Geológica* (I. Capella, Ed.). Recuperado de https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5540850/mod_resource/content/1/Livro_2.pdf
- Grattz, K., Salazar, J., & Rodríguez, C. (2018). *Análisis de los factores que determinan el diseño de mallas metálicas para la estabilización de taludes en macizos rocosos*. 25–38. <https://doi.org/doi.org/10.4067/s0718-28132018000100025>
- Hoek, E., & Brown, E. T. (2019). The Hoek–Brown failure criterion and GSI – 2018 edition. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 11(3), 445–463. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.08.001>
- Hoek, E., & Corkum, B. (2002). *El criterio de rotura de Hoek-Brown – Edición 2002 Hoek-Brown failure criterion – 2002 Edition*. (1), 1–8. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/255644086_El_criterio_de_rotura_de_Hoek-Brown_-_Edicion_2002_Hoek-Brown_failure_criterion_-_2002_Edition
- Iturbide, O. (2018). *Criterios de Diseño para Cimentaciones en Roca* (Benemérita Universidad Autónoma de Puebla). Recuperado de <https://repositorioinstitucional.buap.mx/bitstream/handle/20.500.12371/7272/741918T.pdf?sequence=1>
- Jaimes, F., & Trelles, G. (2021). *Geología de los cuadrángulos de Sandia (hojas 29y1, 29y2, 29y3, 29y4) y San Ignacio (hoja 29z4)*. INGEMMET, *Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000)* (Primera ed, Vol. 1). Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3115>
- Johari, A., & Fooladi, H. (2020). *Comparative study of stochastic slope stability analysis based on conditional and unconditional random field Computers and Geotechnics Comparative study of stochastic slope stability analysis based on conditional and unconditional random field*. (June). <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2020.103707>

- Li, X., Liu, J., Gong, W., Xu, Y., & Bowa, V. (2022). A discrete fracture network based modeling scheme for analyzing the stability of highly fractured rock slope. *Computers and Geotechnics*, 141(November 2021). <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2021.104558>
- Linares, M. (2020). Análisis Comparativo de Estabilidad de Taludes Usando Metodologías Gráficas, Numéricas y de Equilibrio Limite (Universidad Militar Nueva Granada). Recuperado de <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/37741?show=full>
- Llamoctanta, J. (2018). *Estimación del comportamiento de parámetros Geomecánicos aplicando técnicas Geoestadísticas en la Concesión mi Grimaldina 1, Caserío de Piñipata, Hualgayoc-Cajamarca* (Universidad Nacional de Cajamarca). Recuperado de https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/3034/Tesis_Marchena_UNC_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mamani, R. (2016). *Análisis de la estabilidad de taludes en macizo rocoso de la carretera sina yanahuaya tramo iii - sub tramo 02, a partir de la caracterización geológica y resistencia a la compresión simple*. (Universidad Nacional del Altiplano). Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2976>
- Montalván, F., Loor, M., Perez, L., Carrión, P., Álvarez, A., Reyes, B., & Herrera, G. (2017). *Estabilidad de taludes para un diseño de un relleno sanitario manual para una población de 5000 habitantes*. IV, 103–110. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/8c3b/933d7cd94c2bb9404b97b899efe0999c1e07.pdf>
- MTC. (2016). Manual de Ensayo de Materiales. *Manual de Ensayo de Materiales*, p. 1090. Recuperado de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual Ensayo de Materiales.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf)
- Orellana, E. (2020). *Selección de la alternativa óptima de sostenimiento en rampas para el control de inestabilidades subterráneas* (Universidad Nacional del Centro del Perú). Recuperado de https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5862/T010_199134

61_D.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Ortega, D. (2019). *Factor de seguridad y análisis de estabilidad del talud en roca, en la Carretera Sarhua – Porta Cruz, Progresiva km 35+000 – 2018* (Universidad Nacional de Huancavelica). Recuperado de [https://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/3259/TESIS-2019-CIENCIAS DE INGENIERÍA-ORTEGA CÁCERES.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/3259/TESIS-2019-CIENCIAS_DE_INGENIERÍA-ORTEGA_CÁCERES.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ortega, J. (2018). *Estudio geotécnico y geomecánico para el diseño del túnel principal de la Mina Polveros, Empresa Green Mine Ltda, Maripí – Boyacá, Colombia.* (Universidad Nacional De Huancavelica). Recuperado de <https://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/2537/TESIS-2018-MAESTRÍA EN MINERÍA-ORTEGA PÉREZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Panez, J. (2019). *Método de monitoreo de placas para verificar desplazamiento de muro gavión en la Urbanización Álamos de Monterrico, Surco- Lima* (Universidad Peruana los Andes). Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.12848/1278>
- Paulín, G., & Hubp, J. (2014). Zonación de peligros por procesos gravitacionales en el flanco suroccidental del volcán Pico de Orizaba, México. *Investigaciones Geográficas: Boletín Del Instituto de Geografía*, 2014(84), 20–31. <https://doi.org/10.14350/rig.37004>
- Pradhan, S., & Siddique, T. (2020). Stability assessment of landslide-prone road cut rock slopes in Himalayan terrain: A finite element method based approach. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 12(1), 59–73. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.12.018>
- Ramírez, P., & Alejano, L. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes.* Recuperado de http://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf
- Renani, H., & Martin, C. (2020). Factor of safety of strain-softening slopes. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 12(3), 473–483. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2019.11.004>

- Reyes, L. (2020). Causas del deslizamiento del km. 78+600 al km. 78+800 de la ruta Centroamericana CA-9 Norte, Municipio de Guastatoya, Departamento el Progreso (Universidad de San Carlos de Guatemala; Vol. 5). Recuperado de [http://www.repositorio.usac.edu.gt/14590/1/Luis Héctor Reyes Reyes.pdf](http://www.repositorio.usac.edu.gt/14590/1/Luis_Héctor_Reyes_Reyes.pdf)
- Rincón, B. (2016). Caracterización geomecánica del macizo rocoso del área del contrato 01-068-96 "Cooperativa Cooprocabón Sugamuxi" municipio de Gámeza Boyacá (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia). Recuperado de <https://repositorio.uptc.edu.co/jspui/handle/001/1693?mode=full#.Xd9Rbnli-4s.mendeley>
- Rodríguez, P. (2018). *Caracterización del peligro geológico en los domos volcánicos Colli y Tajo ubicados al occidente de la zona metropolitana de Guajalajara, Jalisco, México.* (Instituto Politécnico Nacional). Recuperado de <https://tesis.ipn.mx/jspui/handle/123456789/26553?mode=full>
- Samané, P. (2019). Análisis metodológico de sostenimiento y proceso de excavación por método perforación y voladura y tuneladora Túnel Trasandino de Olmos con estallidos de roca (Universidad Nacional de Huancavelica). Recuperado de <https://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1501>
- Sierra, G. (2019). Análisis y aplicación de métodos no destructivos para la estabilidad de pilares en Minas de Roca Fosfórica (Universidad Nacional de Huancavelica). Recuperado de [https://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/2896/TESIS-2019-POSGRADO-CIENCIAS DE INGENIERÍA-SIERRA ALBARRACIN.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/2896/TESIS-2019-POSGRADO-CIENCIAS_DE_INGENIERÍA-SIERRA_ALBARRACIN.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Sjölander, A., Hellgren, R., Malm, R., & Ansell, A. (2020). Verification of failure mechanisms and design philosophy for a bolt-anchored and fibre-reinforced shotcrete lining. *Engineering Failure Analysis*, 116(May), 104741. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104741>
- Sosa, J. (2016). *Evaluación geomecánica para el diseño de Tajeos de producción en la unidad Minera Cerro Lindo – Compañía Minera Milpo* (Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion). Recuperado de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/250>

- Su, Z., & Shao, L. (2021). A three-dimensional slope stability analysis method based on finite element method stress analysis. *Engineering Geology*, 280, 105910. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105910>
- Tardeo, C., & Zanabria, E. (2016). “Análisis dinámico de estabilidad de taludes por elementos finitos en la zona de Huayllapampa del distrito de Cuenca - Huancavelica.” *Repositorio Institucional - UNH*, 24, 25. Recuperado de <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1935>
- Ttito, D. (2018). *Análisis de Estabilidad de Taludes de la Zona ‘los Baluartes’ en el Parque Arqueológico de Saqsayhuamán*. 7(2018), 322–333. Recuperado de <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-andina-del-cusco/ingenieria-geotecnica/80-texto-del-articulo-anonimo/21044084>
- Wu, D., Deng, T., Duan, W., & Zhang, W. (2020). *ScienceDirect A coupled thermal-hydraulic-mechanical application for assessment of slope stability*. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2019.12.007>
- Zhang, L. (2016). Determination and applications of rock quality designation (RQD). *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 8(3), 389–397. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.11.008>
- Zhang, Q., Yao, B., Fan, X., Li, Y., Li, M., Zeng, F., & Zhao, P. (2021). A modified Hoek-Brown failure criterion for unsaturated intact shale considering the effects of anisotropy and hydration. *Engineering Fracture Mechanics*, 241, 107369. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2020.107369>
- Zhang, Y., Liu, X., Liu, X., Wang, S., & Ren, F. (2019). Numerical characterization for rock mass integrating GSI/Hoek-Brown system and synthetic rock mass method. *Journal of Structural Geology*, 126(April), 318–329. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2019.06.017>
- Zhao, L., Yu, C., Li, L., An, A., Nie, Z., Peng, A., & Zuo, S. (2020). Rock slope reliability analysis using Barton-Bandis failure criterion with modified pseudo-dynamic approach. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 139(August), 106310. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106310>



- Zheng, J., Yang, X., Lü, Q., Zhao, Y., Deng, J., & Ding, Z. (2018). A new perspective for the directivity of Rock Quality Designation (RQD) and an anisotropy index of jointing degree for rock masses. *Engineering Geology*, 240(April), 81–94. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.04.013>
- Zheng, Y., Chen, C., Liu, T., Song, D., & Meng, F. (2019). Stability analysis of anti-dip bedding rock slopes locally reinforced by rock bolts. *Engineering Geology*, 251(March 2018), 228–240. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.02.002>
- Zhu, W., Jing, H., Yang, L., Pan, B., & Su, H. (2018). Strength and deformation behaviors of bedded rock mass under bolt reinforcement. *International Journal of Mining Science and Technology*, 28(4), 593–599. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.03.006>

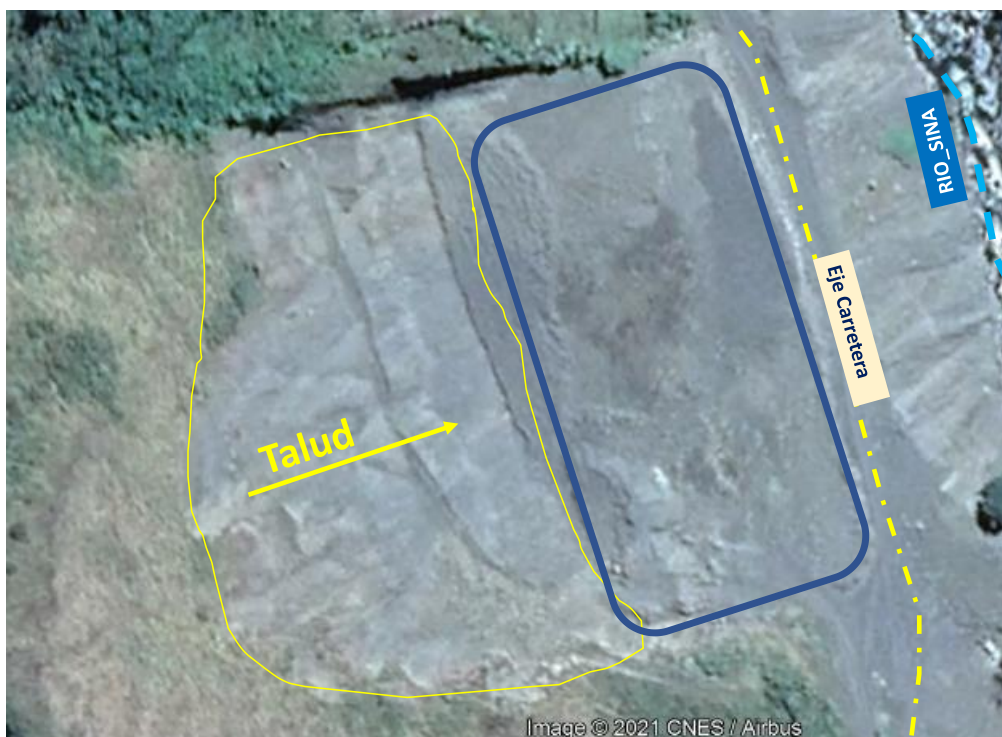


ANEXOS

Anexo 1 Sección de imágenes



Fotografía N° 1 Vista de frente del talud durante el proceso constructivo.



Fotografía N° 2 Imagen satelital de toda el área del talud octubre 2021.



Fotografía N° 3 Familia de discontinuidades del macizo rocoso, setiembre 2021.



Fotografía N° 4 Muestra del macizo rocoso agosto 2021.



Fotografía N° 5 Muestra del macizo rocoso agosto 2021.



Fotografía N° 6 testigo de roca pizarra del macizo rocoso agosto 2021.



Fotografía N° 7 Equipo de compresión simple del laboratorio Laia Consul E.I.R.L. Ingeniería, Geotecnia y Construcción.



Fotografía N° 8 resultados del análisis de compresión simple.



Fotografía N° 9 resultados del análisis de compresión simple de la muestra 03.


Anexo 2 Datos Mapeo Lineal

CARACTERIZACIÓN DE MACIZOS																																								
		PROYECTO: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DE REFORZAMIENTO EN EL TALUD DEL CERRO TAMBILLO - SINA																																						
		LEVANTADO POR: WILBER PASTOR CONTRERAS																																						
UBICACIÓN: DISTRITO DE SINA		FECHA: 25/08/2021																																						
REGISTRO LINEAL: MAPEO GEOMECANICO LINEAL		HOJA DE: 30-Y																																						
ESTUDIO:		TIPO: PIZARRA																																						
TALUD		CONDICIONES DE EXPOSICION																																						
Inclinac.	Azimit	Resist. (MPa)		Long. (m)	Grieta (mm)					Rugosidad					Relleno					Alteración					Agua					N° de fracturas					Tipo					
N° DISCONTINUIDAD	Distancia discontinuidad	DIRECCION DE BUZAMIENTO		Compresion Uniaxial	Longitud de la Traza	Grieta (mm)					Rugosidad					Relleno					Alteración					Agua					N° de fracturas					Tipo				
		Orientación discontinuidad				1. Cerrada	2. Angosta < 0.1 mm.	3. Moderada 0.1-1 mm.	4. Amplio 1-5 mm.	5. Muy Amplio > 5 mm.	1. Suave	2. Ondulada	3. Ligera. Rugosa	4. Rugosa	5. Muy rugosa	1. Ninguno	2. Relleno duro < 5mm	3. Relleno duro > 5mm	4. Rell. Blando < 5mm	5. Rell. Blando > 5mm	1. Inalterada	2. Ligera	3. Moderada	4. Muy alterada	5. Descompuesta	1. Seco	2. Ligeram. humedo	3. Humedo	4. Goteado	5. Agua fluyendo	Fractura / metro lineal	1. Falla	2. Estratificacion	3. Tension (juntas)	4. Corte	5. Otros (indicar)				
1	0-1	71	67	88	>20	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	1	1	1	1	1	8/1.00	3	3	3	3	3							
2	0-2	81	305	88	>20	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	1	1	1	1	6/1.40	3	3	3	3	3								
3	0-3	74	250	88	>20	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	1	1	1	1	11/1.30	3	3	3	3	3								
1	0-4	85	302	88	>20	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	7/1.00	3	3	3	3	3								
2	0-5	72	255	88	>20	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	5/1.40	3	3	3	3	3								
3	0-6	89	301	88	>20	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	5/1.10	3	3	3	3	3								
1	0-7	84	319	88	>20	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	6/1.40	3	3	3	3	3								
2	0-8	87	326	88	>20	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	2	2	2	2	8/1.60	3	3	3	3	3								
3	0-9	82	302	88	>20	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5/1.00	3	3	3	3	3								
1	0-10	62	356	88	>20	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	8/1.30	3	3	3	3	3								
2	0-11	66	4	88	>20	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	1	8/1.40	3	3	3	3	3								
3	0-12	58	271	88	>20	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	7/1.00	3	3	3	3	3								

1	0-13	81	8	88	>20	2	3	4	2	2	2	2	8/1.20	3
2	0-14	53	312	88	>20	2	3	4	2	2	2	2	6/1.00	3
3	0-15	75	274	88	>20	2	3	4	2	2	2	2	7/1.00	3
1	0-16	65	340	88	>20	3	3	5	2	2	2	2	8/1.10	3
2	0-17	32	278	88	>20	3	2	5	2	2	2	2	9/1.50	3
3	0-18	74	275	88	>20	3	2	5	2	2	2	2	5/1.30	3
1	0-19	41	2	88	>20	4	2	5	2	2	2	1	8/1.50	3
2	0-20	79	265	88	>20	4	2	5	2	2	2	1	5/1.10	3
3	0-21	39	310	88	>20	2	2	5	2	2	2	1	9/1.20	3
1	0-22	76	264	88	>20	3	3	4	2	2	2	1	6/1.00	3
2	0-23	42	324	88	>20	3	3	4	2	2	2	1	6/1.00	3
3	0-24	78	278	88	>20	3	2	5	2	2	2	1	8/1.00	3
1	0-25	33	320	88	>20	4	3	4	2	2	2	1	10/1.50	3
2	0-26	62	261	88	>20	2	3	4	2	2	3	1	11/1.20	3
3	0-27	87	71	88	>20	2	2	4	2	2	3	1	8/1.30	3
1	0-28	88	169	88	>20	4	3	4	2	2	3	1	9/1.00	3
2	0-29	81	264	88	>20	2	2	1	2	2	3	1	6/1.00	3
3	0-30	72	280	88	>20	4	3	1	2	2	3	1	10/1.30	3
1	0-31	71	321	88	>20	2	3	1	2	2	3	1	11/1.50	3
2	0-32	71	168	88	>20	4	3	1	2	2	3	1	10/1.20	3
3	0-33	64	66	88	>20	4	3	1	2	2	3	1	9/1.30	3
1	0-34	46	274	88	>20	4	1	1	2	2	3	1	8/1.20	3
2	0-35	30	304	88	>20	4	2	1	2	2	3	2	7/1.00	3
3	0-36	42	274	88	>20	4	2	1	2	2	3	2	8/1.10	3
1	0-37	47	302	88	>20	4	1	1	2	2	3	2	7/1.30	3
2	0-38	87	254	88	>20	4	1	4	2	2	3	2	9/1.10	3
3	0-39	80	296	88	>20	2	1	4	2	2	3	2	11/1.30	3
1	0-40	62	312	88	>20	2	2	4	2	2	3	2	10/1.10	3

2	0-41	68	251	88	>20	2	3	4	2	1	11/1.30	3
3	0-42	54	53	88	>20	3	3	4	2	1	9/1.20	3
1	0-43	64	270	88	>20	3	3	4	2	1	8/1.10	3
2	0-44	57	296	88	>20	3	3	4	2	1	7/1.00	3
3	0-45	57	58	88	>20	3	3	1	2	1	9/1.20	3
1	0-46	54	266	88	>20	3	3	1	3	1	8/1.10	3
2	0-47	50	342	88	>20	3	3	1	3	1	11/1.20	3
3	0-48	55	304	88	>20	3	3	1	3	1	10/1.10	3
1	0-49	74	306	88	>20	3	2	1	2	1	11/1.00	3
2	0-50	71	36	88	>20	3	2	1	2	1	10/1.20	3
3	0-51	66	38	88	>20	3	2	1	3	1	12/1.50	3
1	0-52	35	258	88	>20	2	2	1	3	1	8/1.00	3
2	0-53	41	271	88	>20	2	2	1	3	1	9/1.00	3
3	0-54	87	261	88	>20	2	2	1	3	2	8/1.00	3
1	0-55	84	264	88	>20	3	2	1	3	2	9/1.00	3
2	0-56	60	65	88	>20	2	3	1	2	2	7/1.10	3
3	0-57	47	310	88	>20	2	3	4	2	2	9/1.20	3
1	0-58	44	261	88	>20	2	3	4	2	2	9/1.00	3
2	0-59	70	55	88	>20	3	3	4	3	2	11/1.10	3
3	0-60	46	272	88	>20	2	2	4	3	2	10/1.20	3

Anexo 3 Ensayos de Laboratorio



**INGENIERÍA, GEOTECNIA
Y CONSTRUCCIÓN**
RUC: 20602559000

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAxIAL
(ASTM D 2938-95)**

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DE REFORZAMIENTO EN EL TALUD DEL CERRO TAMBILLO - SINA"

SOLICITANTE : WILBER PASTOR CONTRERAS

UBICACIÓN : SINA - SAN ANTONIO DE TUTINA - PUNO

FECHA : 23.08.2021

COORDENADAS UTM : 8398134 N 469714 E

ALTITUD : 3147 m.s.n.m.

DATOS DE LA MUESTRA:

UBICACIÓN : SINA - SAN ANTONIO DE TUTINA - PUNO

FECHA DE MUESTREO : 16.08.2021

PROFUNDIDAD : --

NOTA :


ESPECIMEN 01 NÚCLEO DE ROCA LIGERAMENTE INTemperIZADA - PIZARRA

ESPECIMEN 02 NÚCLEO DE ROCA LIGERAMENTE INTemperIZADA - PIZARRA


ESPECIMEN 03 NÚCLEO DE ROCA LIGERAMENTE INTemperIZADA - PIZARRA

PROB. N°	ELEMENTO	DIMENSIONES				PESO VOLUMETRICO		CARGA MAX (kN)	CARGA MAX (Kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/Cm ²)
		VOLUMEN (Cm ³)	DIÁMETRO (Cm)	ALTURA (Cm)	AREA (Cm ²)	PESO (Gr.)	PESO VOL. (Kg/m ³)			
MUESTRAS EN ESTADO NATURAL (SECO)										
1	ESPECIMEN 01	120.53	4.20	8.70	13.85	325.50	2700.49	98.62	10056.28	725.85
2	ESPECIMEN 02	86.17	4.21	6.19	13.92	234.20	2717.95	166.34	16961.69	1218.47
3	ESPECIMEN 03	93.07	4.19	6.75	13.79	252.40	2711.80	94.21	9606.59	696.71


RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE, PROMEDIO (Kg/cm²) : 880.34



ESPECIMEN 01




RESTOS DE MUESTRA 02 (M3)



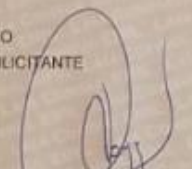
FALLA MUESTRA 03 (M3)

OBSERVACIONES:

- * LAS MUESTRAS FUERON DEBASTADAS EN LABORATORIO
- * LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADAS POR EL SOLICITANTE



Br. Yony M. Mamani Condori
TECNICO DE LABORATORIO
DNI. 70123227



Ing. Mariano R. Garcia Leayza
CIR. 26223

LAJA CONSUL EIRL.
Ingeniería, Geotecnia y Construcción
Urb. Manto 2000 Mz E Lote B-B Puno - Puno - Puno
Cel. 993648466 E-mail: lajaconsul12@gmail.com



**INGENIERÍA, GEOTECNIA
Y CONSTRUCCIÓN**
RUC: 20602559000

**CONTENIDO DE HUMEDAD
(ASTM D 2216)**

PROYECTO	"EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DE REFORZAMIENTO EN EL TALUD DEL CERRO TAMBILLO - SINA"
SOLICITADO	WILBER PASTOR CONTRERAS
UBICACIÓN	SINA - SAN ANTONIO DE PUTINA - PUNO
FECHA	23.08.2021
DATOS DE LA MUESTRA:	
UBICACIÓN	SINA - SAN ANTONIO DE PUTINA - PUNO
CALICATA	ROCA
ESTRATO	7 ^o
NIVEL F.	7 ^o
PROFUNDIDAD	

Nro De Tara	C-21	C-200	C-16
Peso de Tara	21.00	25.50	25.90
Peso de Tara + M. Humeda	139.90	122.60	127.60
Peso de Tara + M. Seca	120.20	120.50	126.30
Peso de Agua	19.70	1.70	1.30
Peso Muestra Seca	110.50	95.40	100.40
Contenido de humedad W%	17.8	1.78	1.29
Promedio cov. Humedad W%		1.54 %	

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el solicitante

Br. Yony M. Mamani Condori
TÉCNICO DE LABORATORIO
DNI. 70123227

Ing. Mariano R. Garcia Loayza
CIP- 26223

LAIA CONSUL EIRL
Ingeniería, Geotecnia y Construcción
Urb. Manto 2000 Mz E Lote 8-B Puno - Puno - Puno
Cel. 993648466 E-mail: laiaconsul12@gmail.com



**INGENIERÍA, GEOTECNIA
Y CONSTRUCCIÓN**
RUC: 20602559000

**DENSIDAD DE LA MASA DE SUELO
(ASTM D 7263)**

PROYECTO	"EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DE REFORZAMIENTO EN EL TALUD DEL CERRO TAMBILLO - SINA"
SOLICITADO	WILBER PASTOR CONTRERAS
UBICACIÓN	SINA - SAN ANTONIO DE PUTINA - PUNO
FECHA	23.08.2021

DATOS DE LA MUESTRA:	
UBICACIÓN	SINA - SAN ANTONIO DE PUTINA - PUNO
CALICATA	ROCA
ESTRATO	
NIVEL F.	

Descripción	Unidad	M1	M2	M3
Peso de la muestra al aire	g	146.60	96.10	105.20
Peso de la muestra + parafina	g	146.80	100.10	106.50
Peso de la muestra + parafina sumergida	g	91.30	64.30	61.40
Peso de la parafina	g	0.20	4.00	1.30
volumen de la muestra de suelo y parafina	cm ³	55.50	35.80	45.10
Peso específico de la parafina	g/cm ³	0.85	0.85	0.85
Volumen de la parafina	cm ³	0.24	4.71	1.53
Volumen de la muestra	cm ³	55.26	31.09	43.57
Peso específico de masa	g/cm ³	2.65	3.09	2.41
Promedio peso específico de masa	g/cm³	2.72		

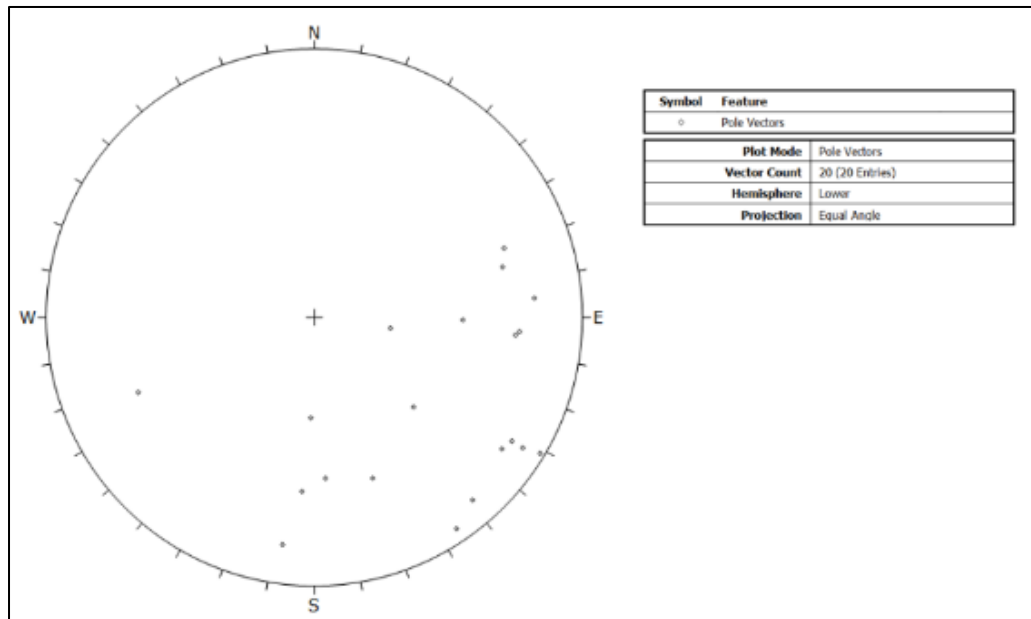


[Signature]
Dr. Yenny M. Mamani Condori
TÉCNICO DE LABORATORIO
DNI. 70123227

[Signature]
Ing. Mariano R. Garcia Loayza
CIP - 26223

LAIA CONSULT EIRL
Ingeniería, Geotecnia y Construcción
Urb. Manto 2000 Mz E Lote B-B Puno - Puno - Puno
Cel. 993648646 E-mail: laiaconsult12@gmail.com

Anexo 4 Estabilidad por el Método Estereográfico



Distribución de polos mediante la estereografía.

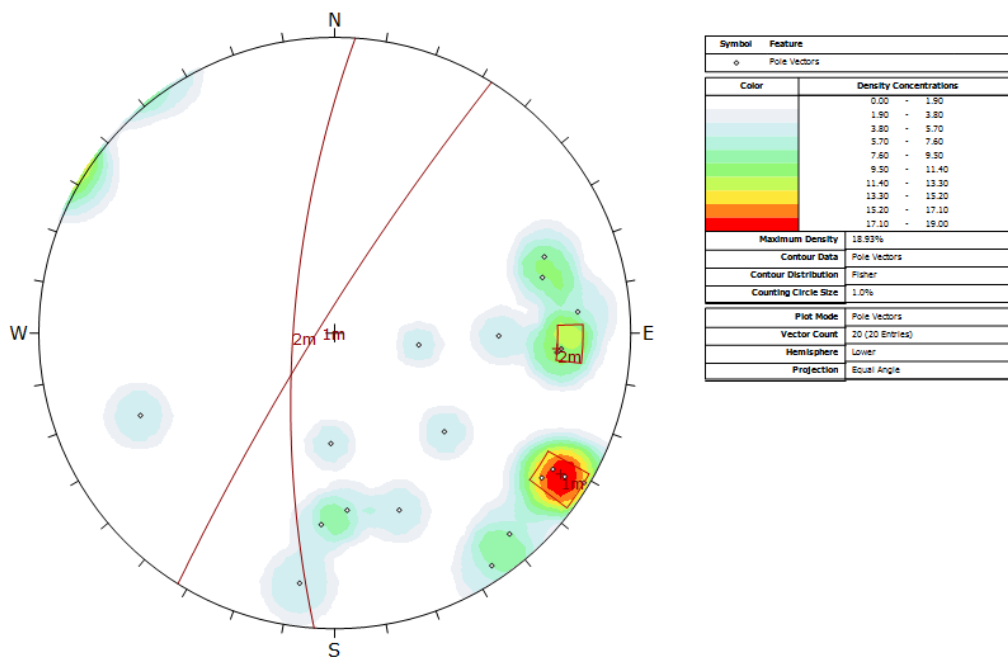
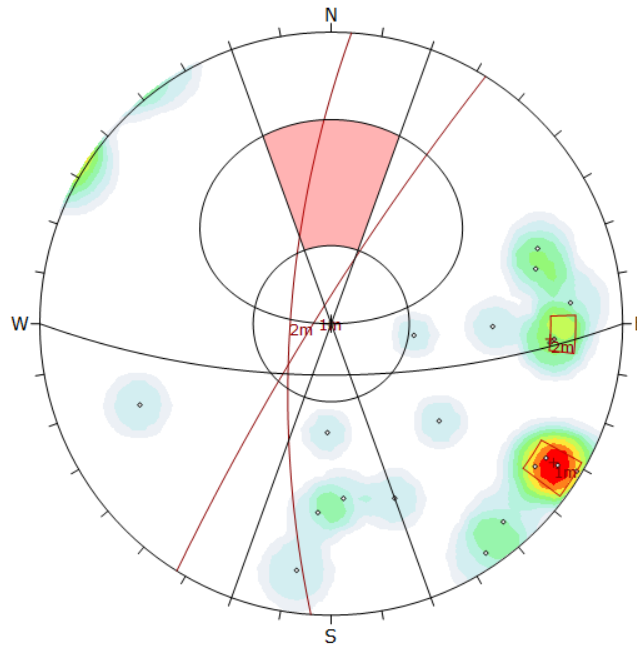
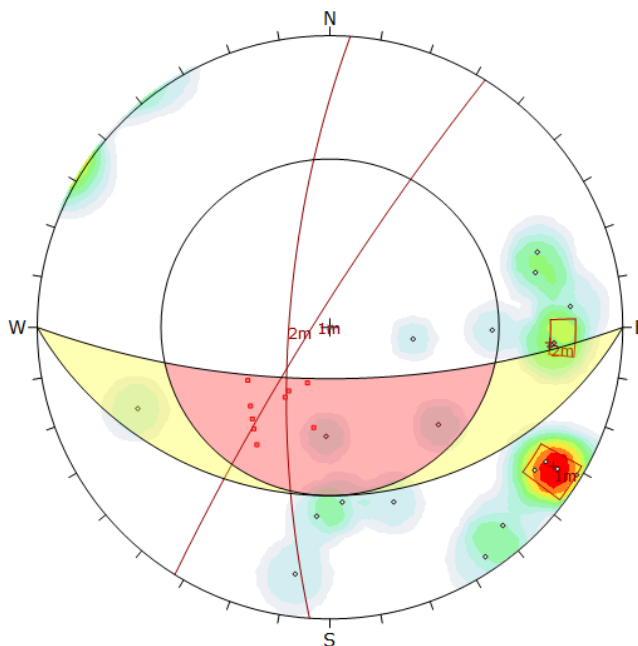


Diagrama de polos simbolizado por distintas familias en la proyección.



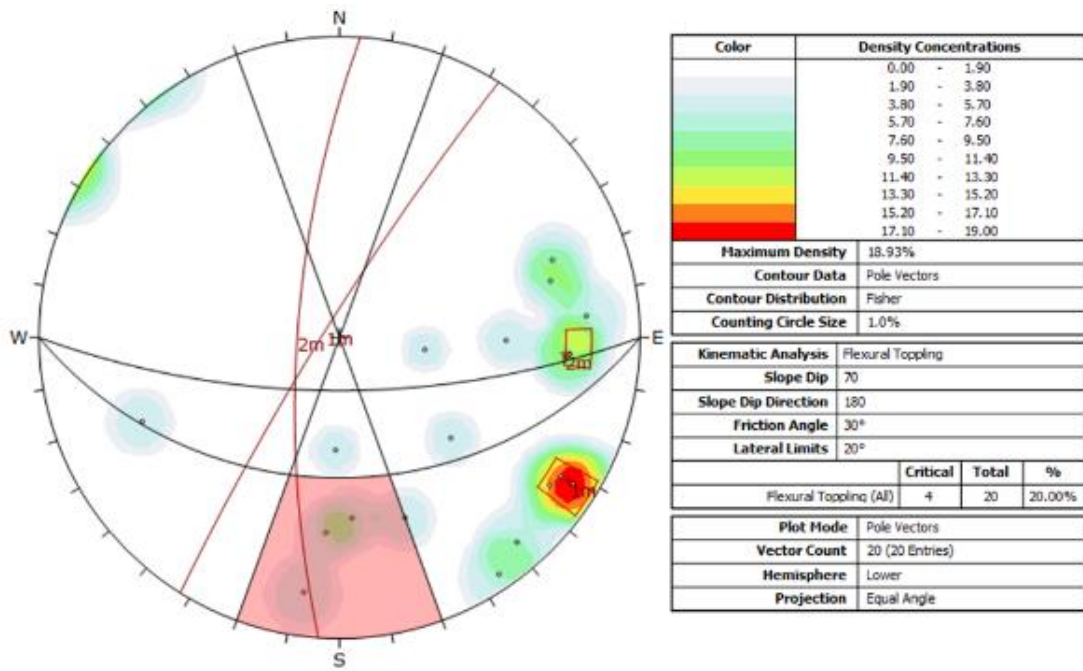
Symbol	Feature		
o	Pole Vectors		
Density Concentrations			
Color	Density Concentrations		
	0.00 - 1.90		
	1.90 - 3.80		
	3.80 - 5.70		
	5.70 - 7.60		
	7.60 - 9.50		
	9.50 - 11.40		
	11.40 - 13.30		
	13.30 - 15.20		
	15.20 - 17.10		
	17.10 - 19.00		
Maximum Density	18.93%		
Contour Data	Pole Vectors		
Contour Distribution	Fisher		
Counting Circle Size	1.0%		
Kinematic Analysis			
Kinematic Analysis	Planar Sliding		
Slope Dip	70		
Slope Dip Direction	180		
Friction Angle	30°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	0	20	0.00%
Plot Mode	Pole Vectors		
Vector Count	20 (20 Entries)		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal Angle		

Representación de falla planar.



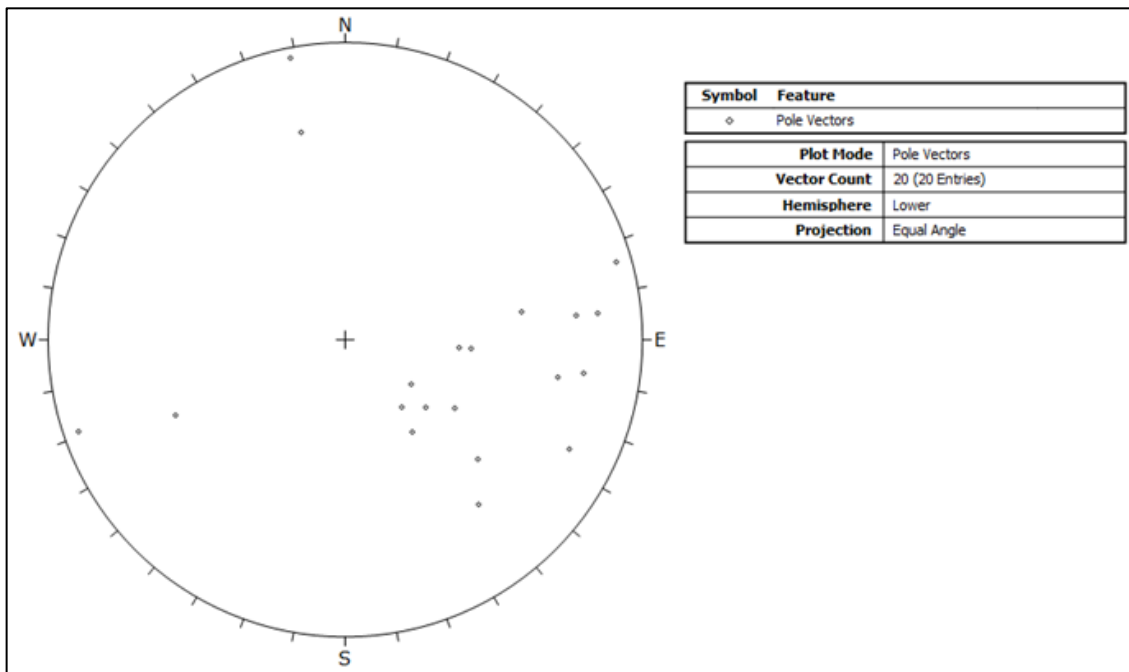
Color	Density Concentrations		
	0.00 - 1.90		
	1.90 - 3.80		
	3.80 - 5.70		
	5.70 - 7.60		
	7.60 - 9.50		
	9.50 - 11.40		
	11.40 - 13.30		
	13.30 - 15.20		
	15.20 - 17.10		
	17.10 - 19.00		
Maximum Density	18.93%		
Contour Data	Pole Vectors		
Contour Distribution	Fisher		
Counting Circle Size	1.0%		
Kinematic Analysis			
Kinematic Analysis	Wedge Sliding		
Slope Dip	70		
Slope Dip Direction	180		
Friction Angle	30°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	9	190	4.74%
Plot Mode	Pole Vectors		
Vector Count	20 (20 Entries)		
Intersection Mode	Grid Data Planes		
Intersections Count	190		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal Angle		

Método estereográfico para falla por cuña.

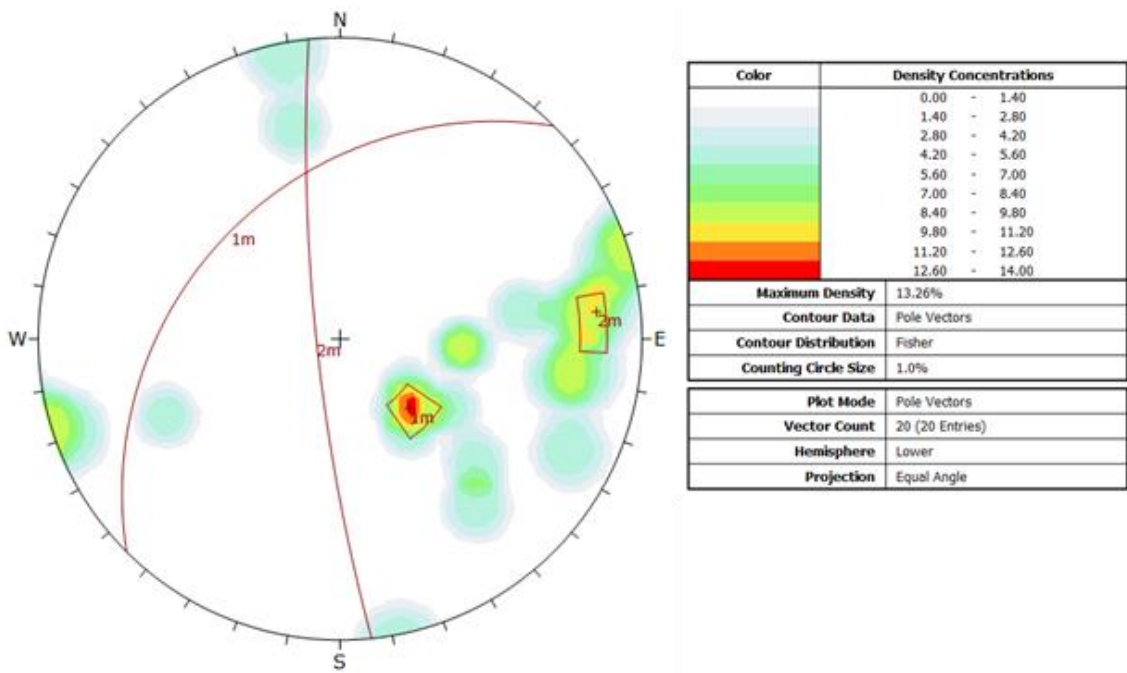


Método estereográfico para falla por vuelco.

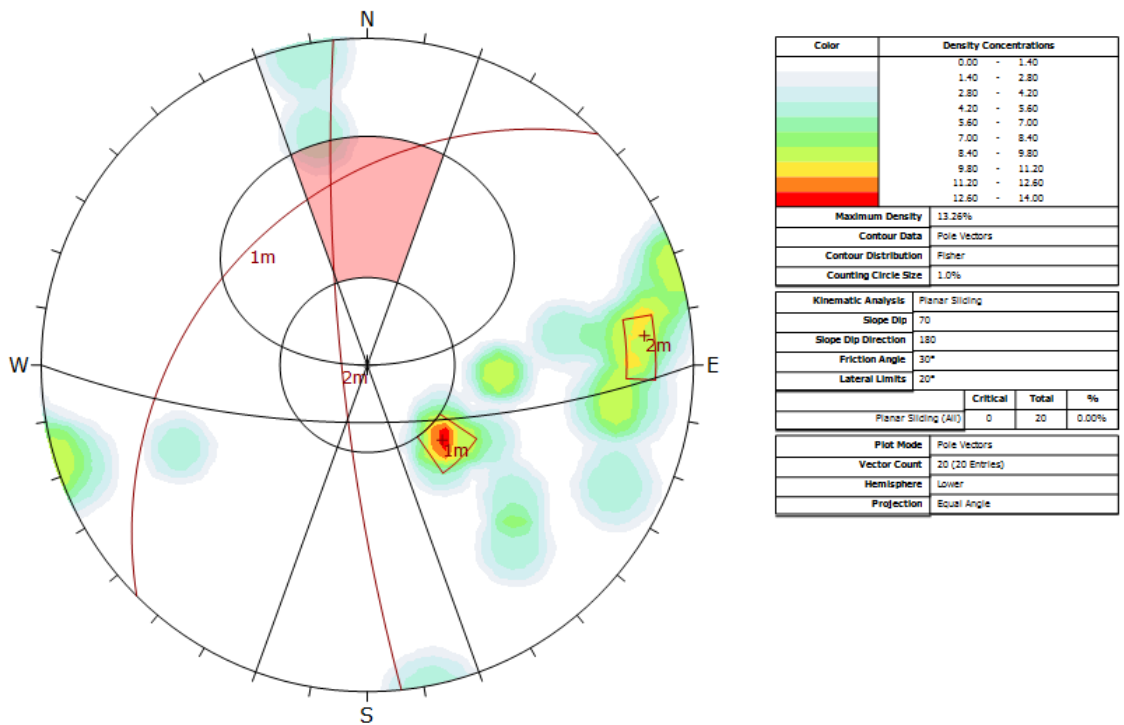
Zona 2



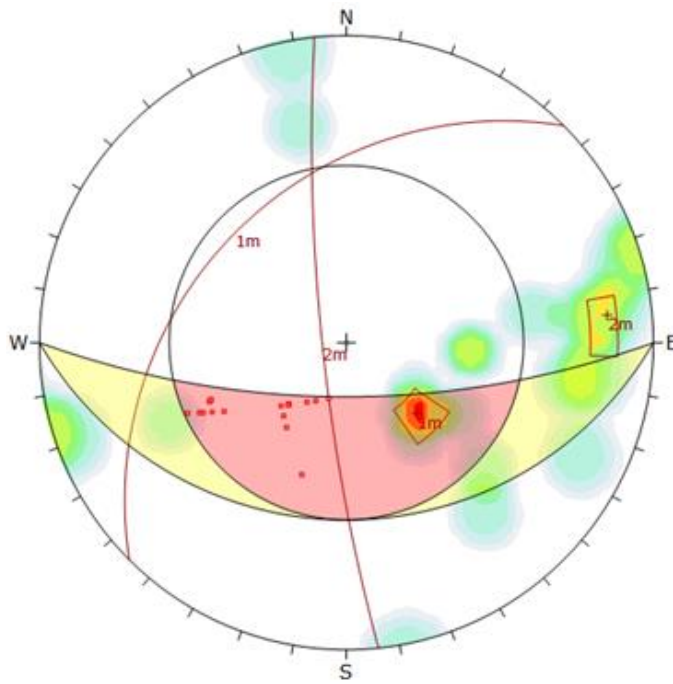
Distribución de polos mediante la estereografía.



Densidad de polos simbolizado por familias de discontinuidad.

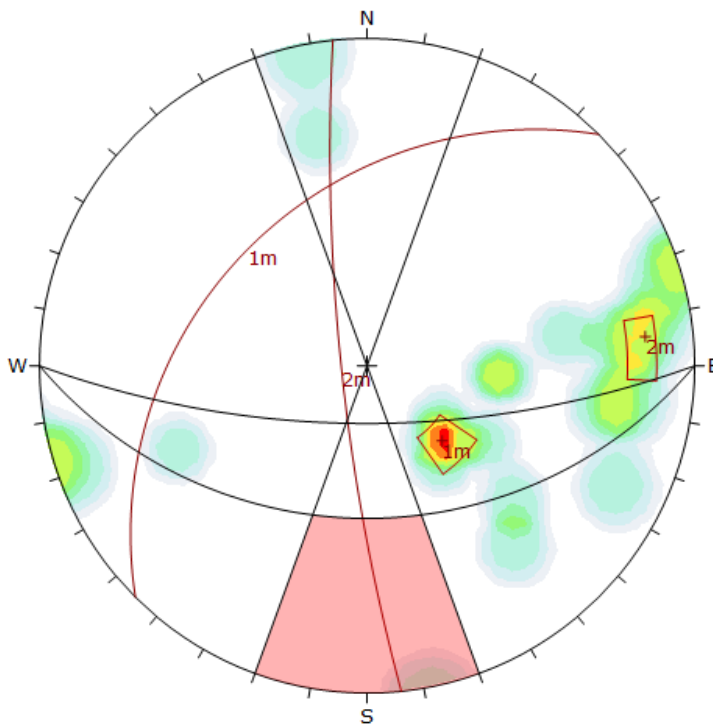


Falla planar.



Color	Density Concentrations		
	0.00 - 1.40		
	1.40 - 2.80		
	2.80 - 4.20		
	4.20 - 5.60		
	5.60 - 7.00		
	7.00 - 8.40		
	8.40 - 9.80		
	9.80 - 11.20		
	11.20 - 12.60		
	12.60 - 14.00		
Maximum Density	13.26%		
Contour Data	Pole Vectors		
Contour Distribution	Fisher		
Counting Circle Size	1.0%		
Kinematic Analysis	Wedge Sliding		
Slope Dip	70		
Slope Dip Direction	180		
Friction Angle	30°		
	Critical Total %		
Wedge Sliding	18	190	9.47%
Plot Mode	Pole Vectors		
Vector Count	20 (20 Entries)		
Intersection Mode	Grid Data Planes		
Intersections Count	190		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal Angle		

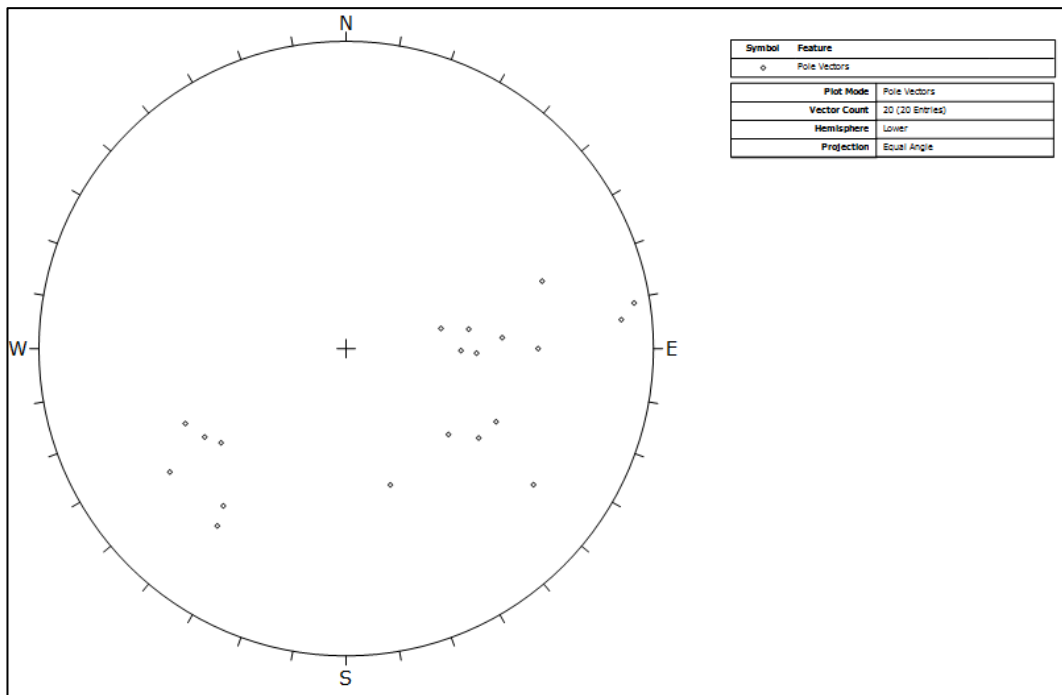
Falla por cuña.



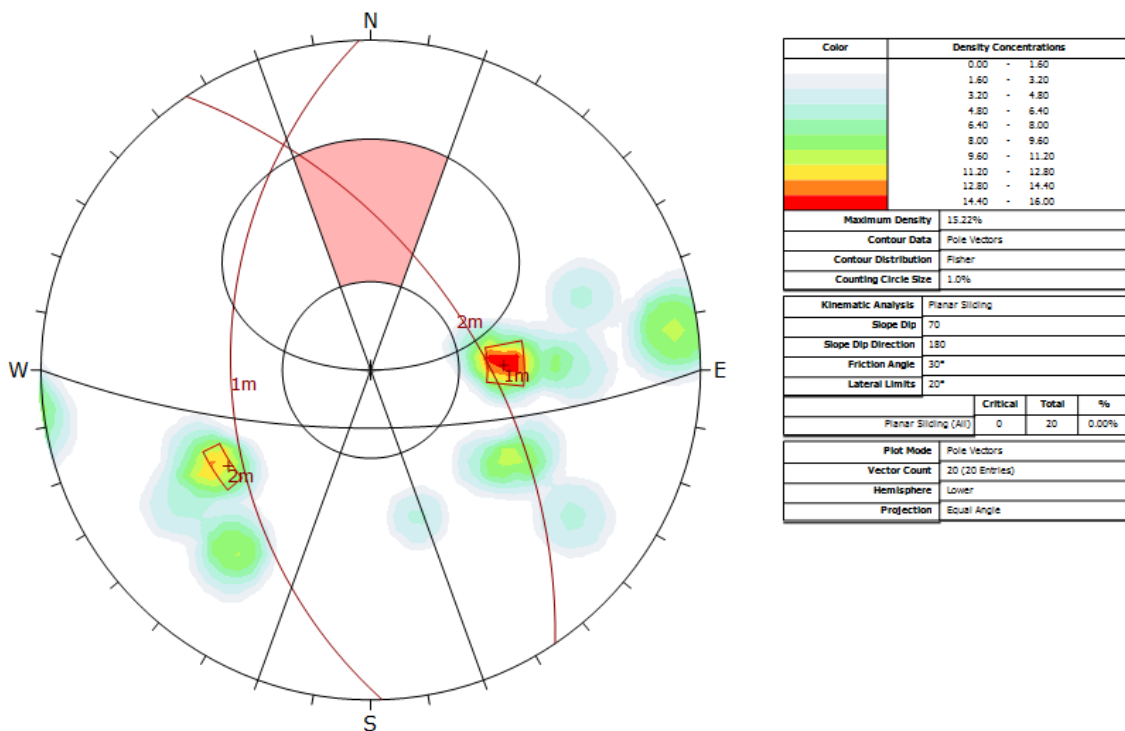
Color	Density Concentrations		
	0.00 - 1.40		
	1.40 - 2.80		
	2.80 - 4.20		
	4.20 - 5.60		
	5.60 - 7.00		
	7.00 - 8.40		
	8.40 - 9.80		
	9.80 - 11.20		
	11.20 - 12.60		
	12.60 - 14.00		
Maximum Density	13.26%		
Contour Data	Pole Vectors		
Contour Distribution	Fisher		
Counting Circle Size	1.0%		
Kinematic Analysis	Flexural Toppling		
Slope Dip	70		
Slope Dip Direction	180		
Friction Angle	30°		
Lateral Limits	20°		
	Critical Total %		
Flexural Toppling (All)	0	20	0.00%
Plot Mode	Pole Vectors		
Vector Count	20 (20 Entries)		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal Angle		

Método estereográfico para falla por vuelco.

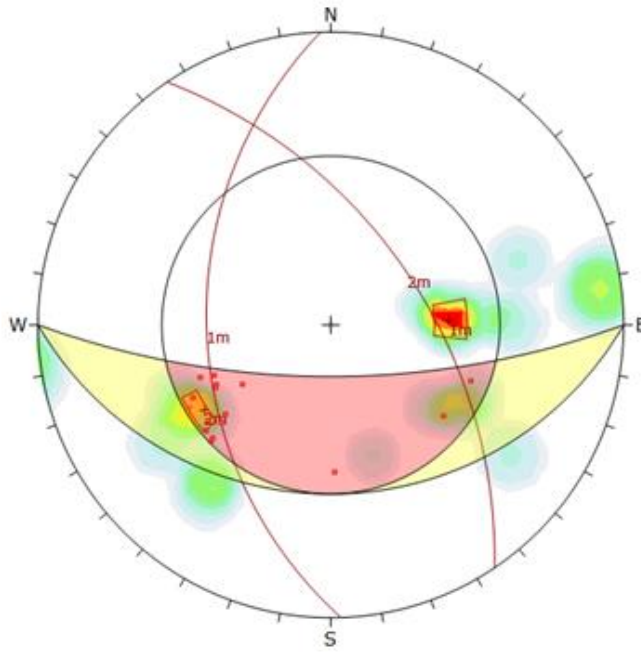
Zona 3



Numero de polos en la orientación dada.



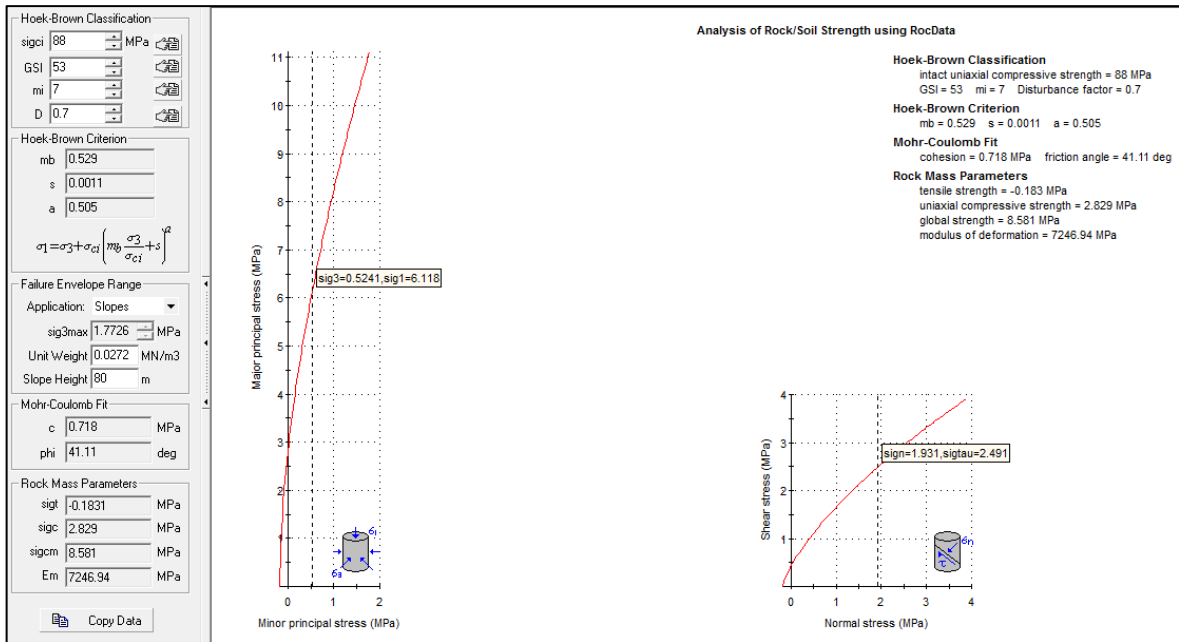
Estudio de estabilidad para falla planar.



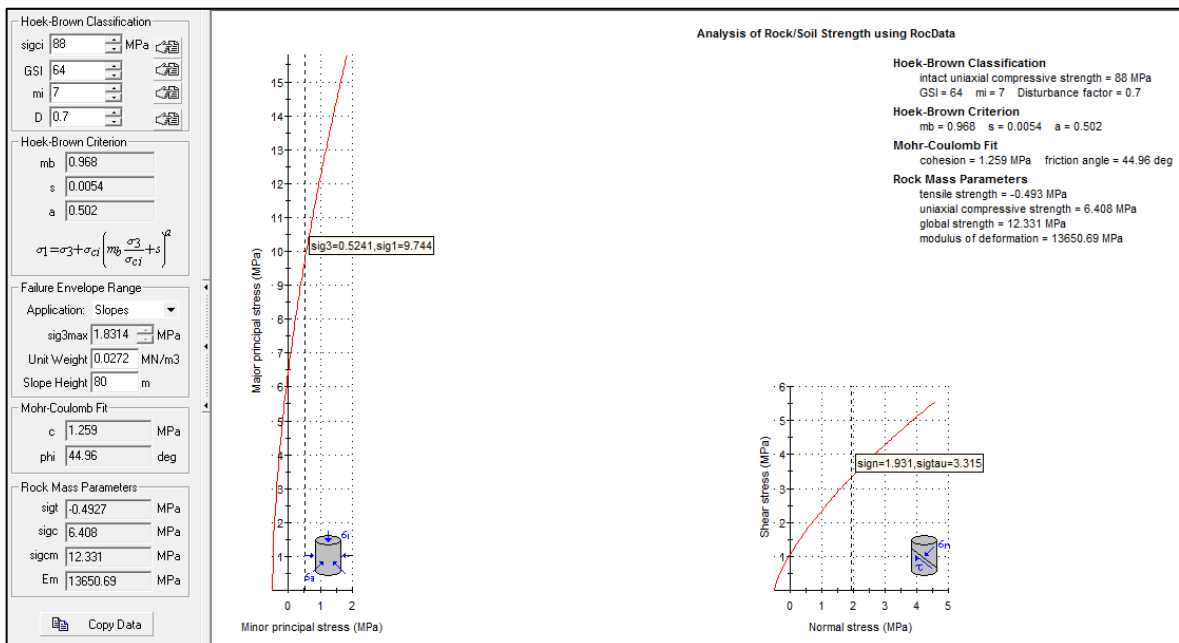
Color	Density Concentrations		
	0.00	- 1.60	
	1.60	- 3.20	
	3.20	- 4.80	
	4.80	- 6.40	
	6.40	- 8.00	
	8.00	- 9.60	
	9.60	- 11.20	
	11.20	- 12.80	
	12.80	- 14.40	
	14.40	- 16.00	
Maximum Density	15.22%		
Contour Data	Pole Vectors		
Contour Distribution	Fisher		
Counting Circle Size	1.0%		
Kinematic Analysis	Wedge Sliding		
Slope Dip	70		
Slope Dip Direction	180		
Friction Angle	30°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	15	190	7.89%
Plot Mode	Pole Vectors		
Vector Count	20 (20 Entries)		
Intersection Mode	Grid Data Planes		
Intersections Count	190		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal Angle		

Resultados por el método estereográfico en falla por cuña.

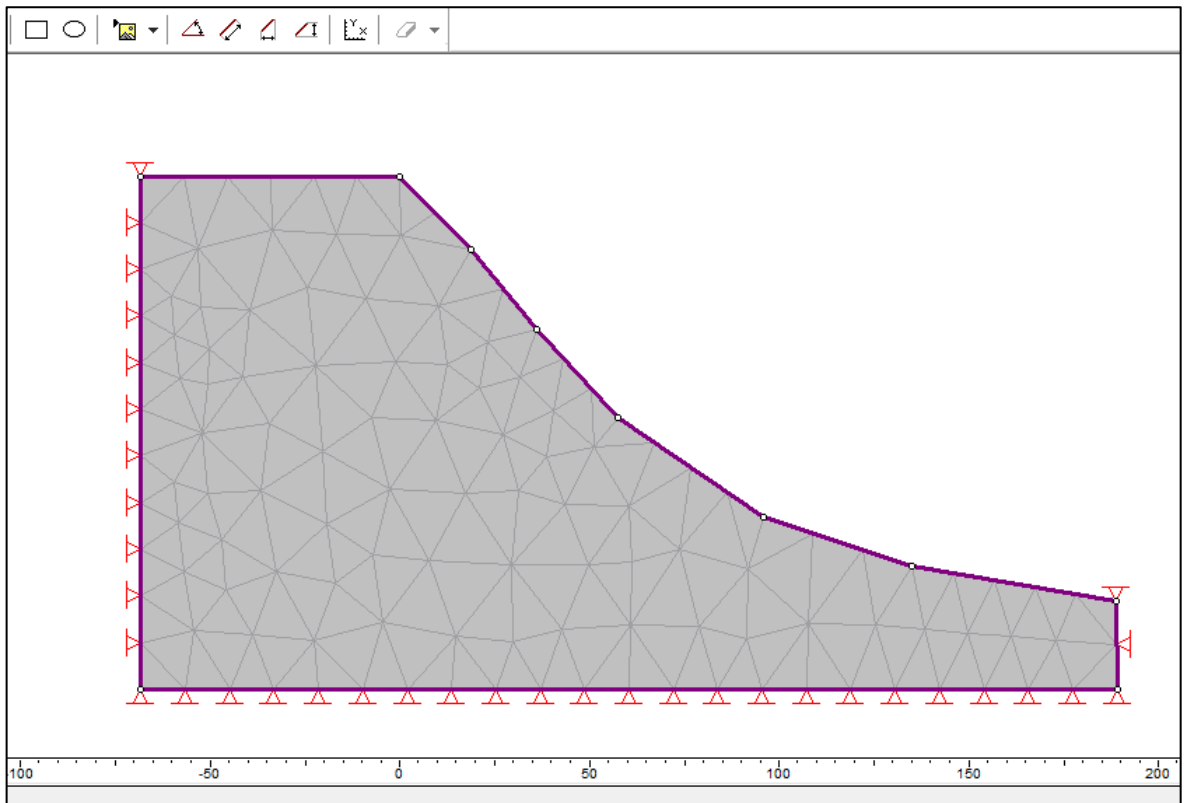
Anexo 5 Firmeza del Sólido Rocoso



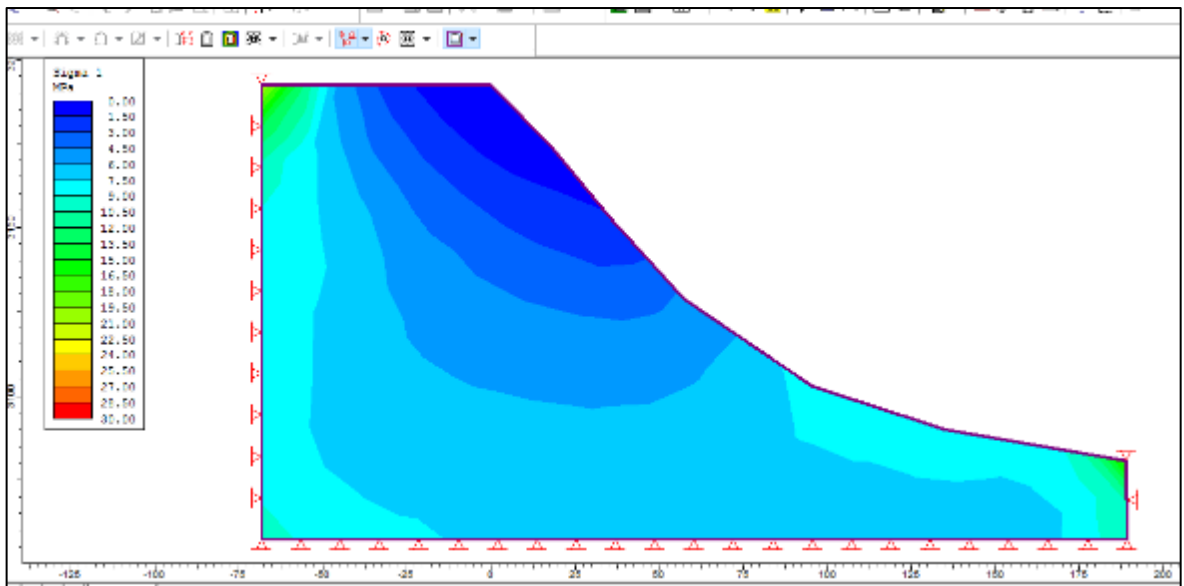
Resultados de deformación para tipo de roca III.



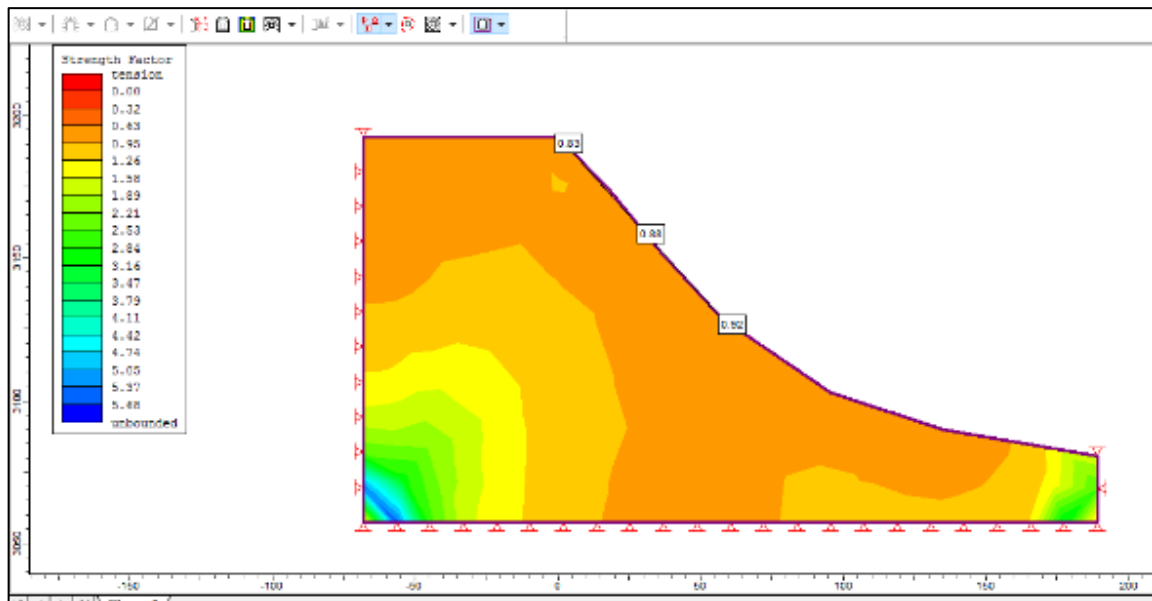
Resultados de deformación para tipo de roca II.



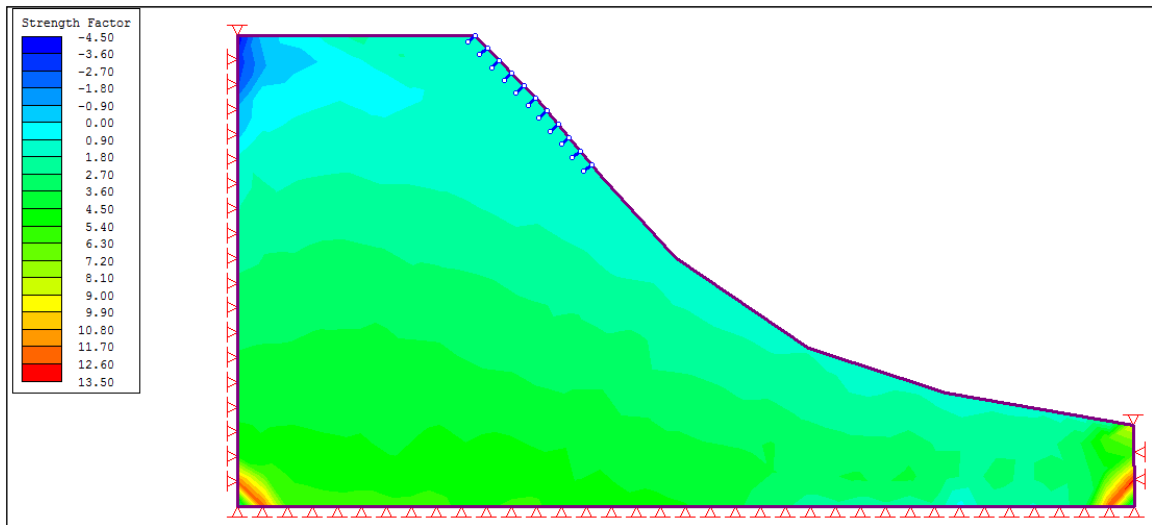
Interpretación de medidas en estudio preliminar de geometría, Perfil del talud Cerro Tambillo.



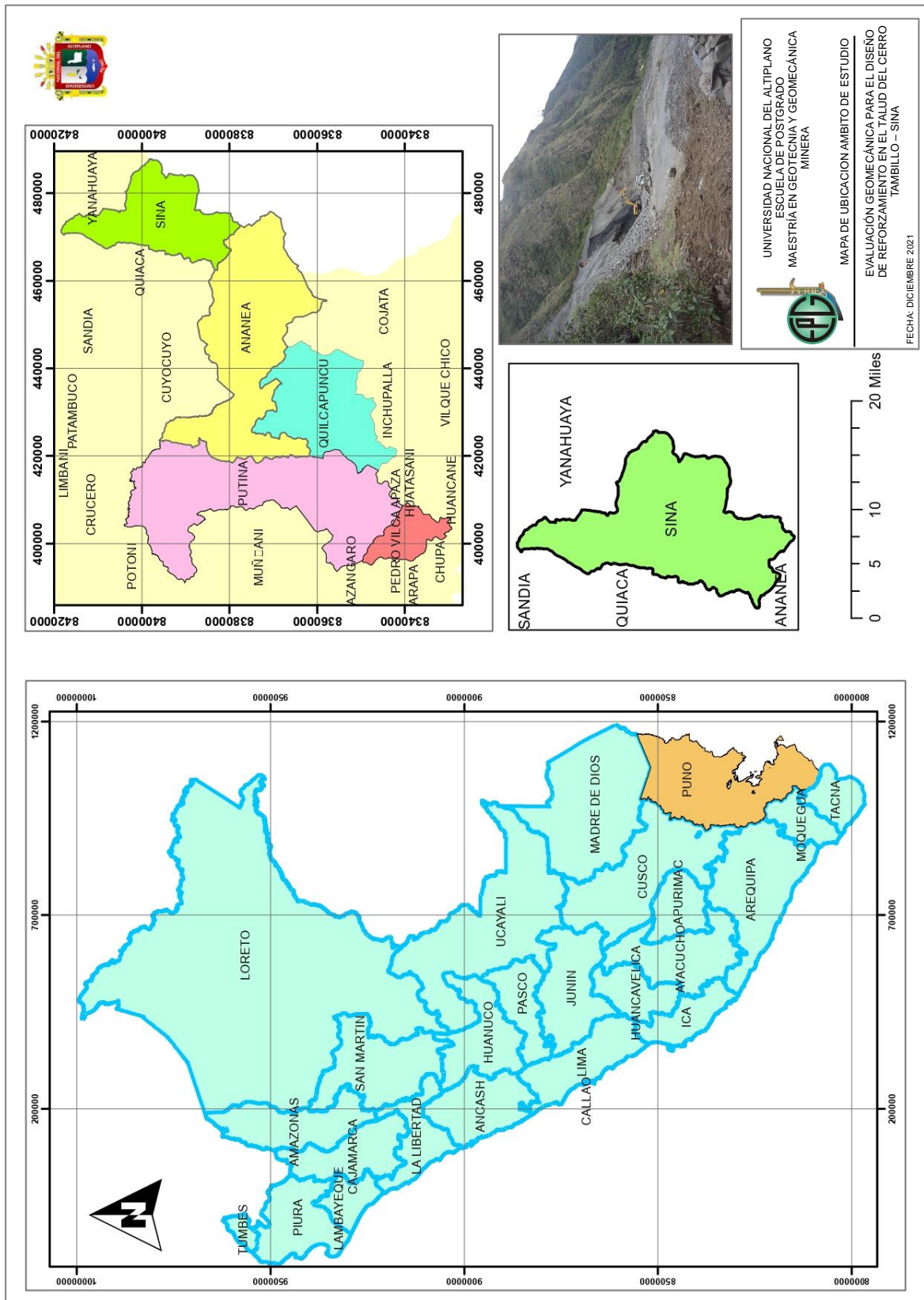
Perfil del talud del Cerro Tambillo.



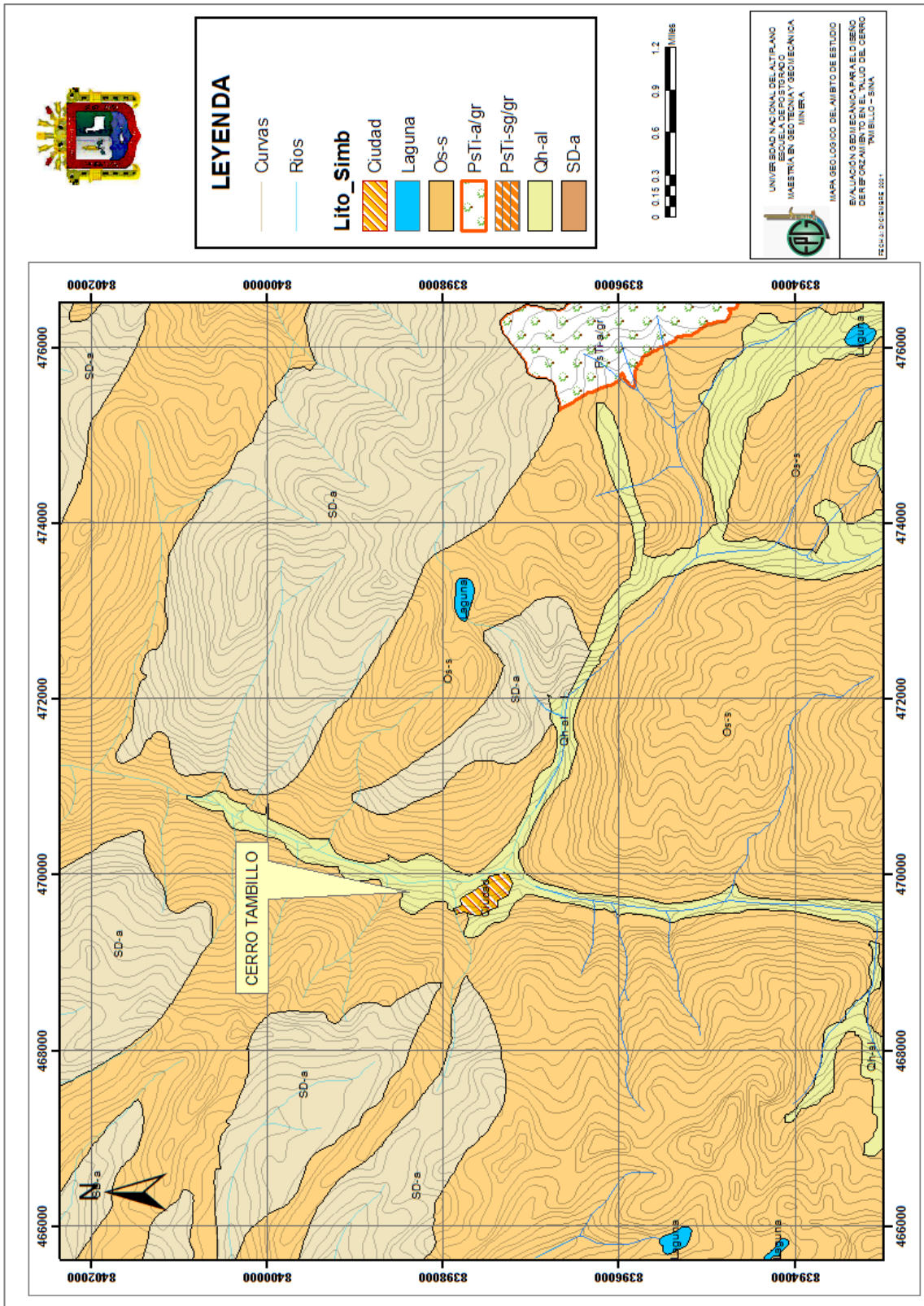
Factor de seguridad y las tensiones de esfuerzo producido por el tipo de material.



Factor de seguridad posterior al diseño de soporte del talud del Cerro Tambillo para los tipos de roca III y II



Ubicación del ámbito de investigación.



Geología del lugar de investigación.