

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Caracterización geomecánica del macizo rocoso
para la viabilidad de construcción de un inclinado,
empresa Minera los Diamantes de Aguada S. A. C.**

Charly Kevin Cueva Ricse
Marcos Yordan Mendoza Mogollon

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería

DE : Julio Fredy Porras Mayta
Asesor de trabajo de investigación

ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación

FECHA : 13 de Agosto de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

"CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO, PARA LA VIABILIDAD DE CONSTRUCCIÓN DE UN INCLINADO, EMPRESA MINERA LOS DIAMANTES DE AGUADA S.A.C."

Autores:

1. Marcos Yordan Mendoza Mogollon – EAP. Ingeniería de Minas
2. Charly Kevin Cueva Ricse – EAP. Ingeniería de Minas

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas: 20 SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

Julio Fredy Porras Mayta

ASESOR

Ing. Julio Fredy Porras Mayta

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mi padre por su apoyo incondicional en todo momento.

Marcos

El presente trabajo lo dedico a mi abuela, por su amor incondicional, sabiduría y fortaleza que fueron el motor para seguir adelante siempre con perseverancia para cumplir mi sueño. Este trabajo refleja todo lo que he aprendido de ella y un homenaje a su legado. Además, a toda mi familia, que me acompañaron en todo este proceso.

Charly

AGRADECIMIENTO

Queremos empezar expresando nuestro más sincero agradecimiento a las personas que participaron en el desarrollo y finalización de esta tesis.

En primer lugar, a nuestro asesor Julio Fredy Porras Mayta, por su guía, paciencia y constante apoyo a lo largo de este proceso. Sus valiosos consejos nos ayudaron a la finalización de nuestra investigación.

A nuestros profesores y mentores de la Universidad Continental, quienes con su enseñanza y orientación nos han proporcionado las herramientas necesarias para alcanzar este logro académico.

Finalmente, agradecemos a las personas que nos ayudaron a culminar nuestra tesis. Su ayuda y colaboración han sido invaluable.

A todos ustedes, nuestro más profundo agradecimiento.

Los investigadores

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	16
1.1Planteamiento y formulación del problema.....	16
1.1.1 Problema general	17
1.1.2 Problemas específicos.....	17
1.2Objetivos.....	17
1.2.1 Objetivo general.....	17
1.2.2 Objetivos específicos	17
1.3Justificación de la investigación.....	17
1.4Delimitación del proyecto.....	18
1.4.1 Delimitación espacial.....	18
1.4.2 Delimitación temporal	18
1.4.3 Delimitación económica	18
1.5Hipótesis y variables	18
1.5.1 Hipótesis general	18
1.5.2 Hipótesis específicas.....	18
1.5.3 Variables.....	18
1.5.4 Operacionalización de variables	19
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	20
2.1Antecedentes del problema	20
2.2Bases teóricas.....	25
2.2.1 Evaluación geomecánica.....	25
2.2.2 Criterios geomecánicos.....	25
2.2.3 Clasificaciones geomecánicas.....	26
2.2.4 Estructura del macizo rocoso	31
2.2.5 Propiedades físico mecánicas del macizo rocoso	33
2.2.6 Características de las discontinuidades	34

2.3Definición de términos básicos	42
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	44
3.1Métodos y alcances de la investigación	44
3.1.1 Método general	44
3.1.2 Tipo de investigación.....	44
3.1.3 Nivel de investigación	44
3.2Diseño de investigación	44
3.3Población y muestra.....	45
3.3.1 Población.....	45
3.3.2 Muestra	45
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1Descripción litológica roca tipo granodiorita	46
4.2Evaluación de las propiedades físicas	48
4.2.1 Evaluación propiedades físicas muestra N°1.....	48
4.3Cálculo de la resistencia a carga puntual.....	51
4.4Evaluación geomecánica.....	53
4.4.1 Mapeo geomecánico	53
4.4.2 Modelamiento en el software Dips	55
4.4.3 Modelamiento en el Geotable	64
4.4.4 Evaluación de tensiones.....	66
4.4.6 Modelamiento software RocData 3.....	68
4.5Discusión de resultados.....	73
CONCLUSIONES	76
RECOMENDACIONES.....	77
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	78
ANEXOS	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables	19
Tabla 2. Calidad del macizo rocoso según el índice RQD de Deere (1968). (6)	27
Tabla 3. Clasificación geomecánica de Bieniawski RMR89 (5)	29
Tabla 4. Corrección por orientación de discontinuidades (5)	29
Tabla 5. Características geotécnicas del macizo rocoso (5).....	30
Tabla 6. Orientación de las discontinuidades. (5).....	30
Tabla 7. Calidad del macizo rocoso en relación al Índice RMR89 (5)	30
Tabla 8. Terminología utilizada para medir la persistencia y sus respectivos valores (9)	37
Tabla 9. Representación de una descripción de la abertura de las discontinuidades (5)	40
Tabla 10. Volumen.....	48
Tabla 11. Propiedades físicas muestra N°1, 2 y 3	51
Tabla 12. Resistencia a carga puntual, compresión simple y resistencia a tracción.....	52
Tabla 13. Muestreo de discontinuidades método registro lineal	54
Tabla 14. Propiedades de las discontinuidades.....	55
Tabla 15. Rock Quality Designation (RQD)	63
Tabla 16. Resumen de datos de las propiedades de las discontinuidades	63
Tabla 17. Reporte de la evaluación geomecánica cartilla RMR- Geotable.....	64
Tabla 18. Espaciado de pernos.....	68
Tabla 19. Resultados de la evaluación del macizo rocoso mediante la clasificación de Hoek – Brown.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Concepto de macizo rocosos y estructura. (8).....	31
Figura 2. Factores geológicos del macizo rocoso.....	33
Figura 3. Principales características de las discontinuidades (9).....	35
Figura 4. Orientación de discontinuidades (9).....	35
Figura 5. Representación del espaciamiento de las discontinuidades (9)	36
Figura 6. Representación de una diaclasa con separación de 3 metros (9)	37
Figura 7. Ejemplo de diaclasas escalonada (9).....	38
Figura 8. Discontinuidad de 7 metros con ambos extremos fuera del afloramiento (9).....	38
Figura 9. Perfiles de rugosidades para discontinuidades. (5).....	39
Figura 10. Clasificaciones de la rugosidad de la pared del plano de discontinuidad mediante filometro (5).....	40
Figura 11. Abertura en diaclasas de 2 cm con relleno (5)	41
Figura 12. Discontinuidades con material de relleno de óxido de hierro (5)	41
Figura 13. Peso de la muestra N°1	48
Figura 14. De la evaluación se determina la formación de dos sistemas de discontinuidades.....	55
Figura 15. Moda del Dip (5 discontinuidades con un Dip de 55°)	56
Figura 16. Moda del Dip direction (3 discontinuidades con un Dip direction de 110°, familia 1, 3 discontinuidades con un Dip direction de 224° y 225°).....	56
Figura 17. Moda del set de familias de discontinuidades (familia 1 = 8 d iscontinuidades familia 2 = 7 discontinuidades).....	57
Figura 18. Moda de las discontinuidades está conformada por diaclasas	57
Figura 19. Moda del espaciamiento (14 diaclasas tipo 3; entre el intervalo de 0.2 – 0.6 m) ..	58
Figura 20. Moda de la persistencia (15 diaclasas tipo 2; entre el intervalo de 1 – 3 m).....	58
Figura 21. Moda de la alteración (15 diaclasas tipo 1; se encuentra en la categoría de sana)	59
Figura 22. Moda de la apertura (15 diaclasas tipo 2; se encuentra en la categoría 2. M. ang < 0.1).....	59
Figura 23. Moda de la apertura (15 diaclasas; se encuentra en la categoría 4, Lisa)	60
Figura 24. Moda del relleno (15 diaclasas; se encuentra en la categoría 1, Limpio)	60
Figura 25. Moda del agua (15 diaclasas; se encuentra en la categoría 2, Húmedo).....	61
Figura 26. Condición regular: cuando el buzamiento es de 45° - 90°.....	61
Figura 27. Resumen del procesamiento en el software Dips	62
Figura 28. Modelamiento en el Geotable	64

Figura 29. Ingreso de datos: cartilla geomecánica RMR – Geotable.....	64
Figura 30. Sugerencia de macizo rocoso evaluada geomecánica cartilla RMR- Geotable	65
Figura 31. Valor medio de la razón de esfuerzos $k = \sigma_h / \sigma_v$	66
Figura 32. Modelamiento software RocData 3.....	68
Figura 33. Configuración del proyecto.....	69
Figura 34. Configuración de la resistencia a compresión uniaxial	69
Figura 35. Ingreso del valor del GSI (grado de fracturamiento).....	70
Figura 36. Selección del tipo de roca del macizo rocoso (granodiorita) (mi)	70
Figura 37. Selección del tipo de disturbancia Factor D	71
Figura 38. Resultado del análisis esfuerzo principal mayor	71
Figura 39. Resultado del análisis esfuerzo principal mayor y grado de fracturamiento.....	72
Figura 40. Muestra la relación entre los esfuerzos principales σ_1 y σ_3	73

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo general establecer de qué manera la caracterización geomecánica del macizo rocoso influye en la viabilidad de la construcción de un inclinado, empresa minera Los Diamantes de Aguada S.A.C. 2023. La hipótesis general fue que la caracterización geomecánica del macizo rocoso influye en determinar la en la viabilidad de la construcción de un inclinado, empresa minera Los Diamantes de Aguada S. A. C. 2023. La investigación estuvo guiada por el método científico, de tipo aplicada, de nivel descriptivo correlacional, diseño no experimental; la población y muestra censal estuvo conformada por galería nivel 1 de la empresa minera Los Diamantes de Aguada S. A. C. Producto de la investigación, se concluyó que la caracterización geomecánica del macizo rocoso con un RMR de 71 puntos es de roca buena (IIa), el ángulo de fricción de masa rocosa entre 35° a 45° , la cohesión de la masa rocosa de 300 – 400 KPa. Estos resultados son fundamentales para asegurar la viabilidad técnica y económica de la construcción del inclinado en la empresa minera Los Diamantes de Aguada S. A. C. La información obtenida de este análisis permitió diseñar el sistema de sostenimiento conformado por pernos de 1.5 m para colocar en la corona espaciados a 1 m con alambre ocasional; de lo contrario se podrá colocar *shotcrete* con un espesor de 50 mm en la corona o donde sea requerido. Esto permite planificar y ejecutar el proyecto de manera segura, eficiente y sostenible, garantizando así el éxito de la operación minera y la protección del entorno y del personal involucrado.

Palabras claves: caracterización geomecánica, macizo rocoso, viabilidad, construcción, inclinado.

ABSTRACT

The research that had the general objective: Establish how the geomechanical characterization of the rock mass influences the viability of the construction of an inclined, mining company Los Diamantes de Aguada S.A.C. 2023, whose general hypothesis was: The geomechanical characterization of the rock mass influences determining the viability of the construction of an inclined mining company Los Diamantes de Aguada S.A.C. 2023. The research was guided by the scientific method, applied, descriptive correlational level, non-experimental design; The population and census sample were made up of gallery level 1 of the mining company Los Diamantes de Aguada S.A.C. As a result of the investigation, it was concluded that: It was proven that the geomechanical characterization of the rock mass with an RMR of 71 points, whose class of the rock mass is good rock (IIa), the rock mass friction angle between 35° to 45° , the cohesion of the rock mass of 300 – 400 KPa, these results are fundamental to ensure the technical and economic feasibility of the construction of the inclined one in the mining company Los Diamantes de Aguada S.A.C. The information obtained from this analysis allowed us to design the support system consisting of 1.5 m bolts to be placed in the crown spaced at 1 m with occasional wire; Otherwise, Shotcrete with a thickness of 50 mm can be placed in the crown or where required, this allows the project to be planned and executed in a safe, efficient and sustainable manner, thus guaranteeing the success of the mining operation and the protection of the environment and of the personnel involved.

Keywords: geomechanical characterization, rock mass, feasibility, construction, inclined

INTRODUCCIÓN

La presente investigación que lleva por título: «Caracterización geomecánica del macizo rocoso para la viabilidad de construcción de un inclinado, empresa minera Los Diamantes de Aguada S.A.C.» partió de la problemática de que la construcción de un inclinado presenta desafíos significativos relacionados con la estabilidad geotécnica del terreno. En el área seleccionada para el proyecto, se identifican factores que pueden influir en la seguridad y viabilidad de la infraestructura. Por lo tanto, es esencial realizar una caracterización geomecánica detallada para comprender a fondo el comportamiento del subsuelo y mitigar posibles riesgos geotécnicos. El problema se plantea en los siguientes términos:

- El proyecto de construcción de un inclinado se encuentra en una región con condiciones geotécnicas complejas y variadas.
- La falta de comprensión de las propiedades geomecánicas podría resultar en diseños inadecuados y costos adicionales durante la construcción.
- Los riesgos geotécnicos no evaluados podrían dar lugar a fallas en la infraestructura, afectando la seguridad y la durabilidad del inclinado.
- La solución de este problema mediante una caracterización geomecánica exhaustiva permitirá un diseño y construcción seguros y eficientes del inclinado, garantizando la integridad de la infraestructura y la mitigación de riesgos potenciales

Por lo expuesto, en la investigación se plantea efectuar la evaluación de las propiedades físicas, mecánicas y de la roca intacta y del macizo rocoso, con el propósito de reducir al mínimo los riesgos por desprendimiento de rocas y reducir los costos en la construcción del inclinado.

Para un mejor entendimiento esta investigación se desarrolló en cuatro capítulos cuyos contenidos están estructurados de la siguiente manera:

En el capítulo I se presenta el planteamiento del estudio, detallando la formulación del problema, incluyendo tanto el problema general como los específicos. También se describen los objetivos generales y específicos, y se justifica el estudio desde una perspectiva práctica y metodológica. Este capítulo concluye con la exposición de las hipótesis generales y específicas, así como las variables de la investigación.

El capítulo II, titulado Marco teórico, incluye los antecedentes nacionales e internacionales, junto con las bases teóricas. Este capítulo finaliza con la definición de los términos básicos utilizados en la investigación.

El capítulo III, denominado Metodología, aborda la metodología de la investigación, destacando el método general, el tipo y nivel de investigación, el diseño, la población y la muestra, así como las técnicas e instrumentos de recolección de datos.

El capítulo IV, correspondiente a los Resultados y discusión, presenta los datos obtenidos de la investigación y su análisis.

Finalmente, la parte final del documento incluye las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

La construcción de un inclinado presenta desafíos significativos relacionados con la estabilidad geotécnica del terreno. En el área seleccionada para el proyecto, se identifican factores que pueden influir en la seguridad y viabilidad de la infraestructura. Por lo tanto, es esencial realizar una caracterización geomecánica detallada para comprender a fondo el comportamiento del subsuelo y mitigar posibles riesgos geotécnicos. El problema se plantea en los siguientes términos:

- El proyecto de construcción de un inclinado se encuentra en una región con condiciones geotécnicas complejas y variadas.
- La falta de comprensión de las propiedades geomecánicas podría resultar en diseños inadecuados y costos adicionales durante la construcción.
- Los riesgos geotécnicos no evaluados podrían dar lugar a fallas en la infraestructura, afectando la seguridad y la durabilidad del inclinado.
- La solución de este problema mediante una caracterización geomecánica exhaustiva permitirá un diseño y construcción seguros y eficientes del inclinado, garantizando la integridad de la infraestructura y la mitigación de riesgos potenciales

Por lo expuesto, en la investigación se plantea efectuar la evaluación de las propiedades físicas, mecánicas y del a roca intacta y del macizo rocoso, con el propósito de reducir al mínimo los riesgos por desprendimiento de rocas y reducir los costos en la construcción del inclinado.

1.1.1 Problema general

¿De qué manera la caracterización geomecánica del macizo rocoso influye en la viabilidad de la construcción de un inclinado, empresa minera Los Diamantes de Aguada S. A. C. 2023?

1.1.2 Problemas específicos

- a) ¿Qué relación existe entre los ensayos de campo y laboratorio de las propiedades geomecánicas de la roca intacta en la viabilidad de la construcción de un inclinado?

- b) ¿De qué manera se relaciona la evaluación de las condiciones geomecánicas con la viabilidad de la construcción de un inclinado?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Establecer de qué manera la caracterización geomecánica del macizo rocoso influye en la viabilidad de la construcción de un inclinado, empresa minera Los Diamantes de Aguada S. A. C. 2023

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Establecer la relación que existe entre los ensayos de campo y laboratorio de las propiedades geomecánicas de la roca intacta en la viabilidad de la construcción de un inclinado.

- b) Determinar de qué manera se relaciona la evaluación de las condiciones geomecánicas con la viabilidad de la construcción de un inclinado.

1.3 Justificación de la investigación

La caracterización geomecánica proporcionará datos esenciales para el diseño estructural, la selección de materiales y la implementación de medidas de mitigación de riesgos. Además, contribuirá a la toma de decisiones fundamentadas, asegurando la seguridad y el rendimiento a largo plazo del inclinado. Por otro lado, la falta de comprensión de las propiedades geomecánicas podría resultar en diseños inadecuados y costos adicionales durante la construcción. Finalmente, los riesgos geotécnicos no evaluados podrían dar lugar a fallas en la infraestructura, afectando la seguridad y la durabilidad del inclinado.

1.4 Delimitación del proyecto

1.4.1 Delimitación espacial

La investigación se desarrolló en:

- Empresa minera Los Diamantes de Aguada S.A.C.
- Galería nivel I

1.4.2 Delimitación temporal

El trabajo de investigación se efectuó a partir del mes de enero hasta el mes de abril del presente año

1.4.3 Delimitación económica

En la parte económica los gastos en su totalidad fueron cubiertas por los bachilleres autores de la presente tesis

1.5 Hipótesis y variables

1.5.1 Hipótesis general

La caracterización geomecánica del macizo rocoso influye en determinar la en la viabilidad de la construcción de un inclinado, empresa minera Los Diamantes de Aguada S. A. C. 2023

1.5.2 Hipótesis específicas

- a) La relación que existe entre los ensayos de campo y laboratorio de las propiedades geomecánicas de la roca intacta influyen directamente en la viabilidad de la construcción de un inclinado.
- b) La evaluación de las condiciones geomecánicas influyen directamente en la viabilidad de la construcción de un inclinado.

1.5.3 Variables

A) Variable independiente

X1: Caracterización geomecánica del macizo rocoso

- **Dimensiones:**
 - ✓ Ensayos de campo y laboratorio
 - ✓ Condiciones geomecánicas

B) Variable dependiente

Y1: Viabilidad

- **Dimensiones:**

- ✓ Viabilidad técnica
- ✓ Viabilidad económica

1.5.4 Operacionalización de variables

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables

Variable	Concepto	Dimensión	Unidad
Independiente	La caracterización geomecánica de un macizo rocoso, permite estimar su comportamiento ante los esfuerzos generados por diversas obras de ingeniería, como presas, excavaciones superficiales o subterráneas	➤ Ensayos de campo y laboratorio ➤ Condiciones geomecánicas	RCU, densidad, porosidad clase de macizo rocoso
Dependiente	Un estudio de viabilidad, también conocido estudio de factibilidad, perfil o preinversión, se desarrolla para determinar el éxito que puede alcanzar un proyecto a partir de la evaluación de sus aspectos técnicos y económicos.	➤ Viabilidad técnica ➤ Viabilidad económica	S/U \$

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

- a) Tesis titulada: «*Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de un sostenimiento adecuado en mina Chaparra, Caravelí, Arequipa – 2021*». El objetivo general de la investigación fue determinar mediante el enfoque de Q Barton cuál sería el plan de soporte más idóneo, considerando las características geomecánicas en la mina Chaparra, ubicada en Caravelí, Arequipa, durante el año 2021 (1).

Los objetivos específicos fueron:

- ✓ Establecer la condición del macizo rocoso en la mina Chaparra, situada en Caravelí, Arequipa, durante el año 2021.
- ✓ Analizar el nivel de riesgo geotécnico y geomecánico que afecta la seguridad del personal en la mina Chaparra, ubicada en Caravelí, Arequipa, en el año 2021.
- ✓ Identificar el diseño de soporte más adecuado en base a las condiciones presentes en la mina Chaparra, localizada en Caravelí, Arequipa, durante el año 2021.
- ✓ Evaluar la viabilidad técnica y económica de la propuesta destinada a mejorar la seguridad del personal en la mina Chaparra, ubicada en Caravelí, Arequipa, durante el año 2021.

Las conclusiones fueron:

- ✓ La evaluación de la calidad del macizo rocoso a lo largo de la extensión de la mina reveló una distribución donde el 50 % estaba compuesto por rocas de buena calidad ($10 < Q < 40$), el 20 % por rocas de calidad muy buena ($40 < Q < 100$) y muy mala ($0.1 < Q < 1$), mientras

que el 10 % mostró una calidad regular ($4 < Q < 10$). En consecuencia, se determinó que la calidad promedio en el dominio geomecánico fue buena, con un valor de Q Barton de 29.

- ✓ Se realizó una evaluación del riesgo geomecánico que afecta la seguridad del personal en la mina Chaparra de Caravelí. Esta evaluación reveló que el 29 % del riesgo se clasificó como muy alto o bajo, dependiendo del tipo de desate de roca, el método de explotación y la calidad del macizo rocoso. Además, un 14 % del riesgo se atribuyó al tipo de voladura de la excavación y a la profundidad de esta, mientras que otro 14 % se asoció al tipo de perforación y sostenimiento de la mina, con un riesgo medio.
 - ✓ Se estableció el diseño de sostenimiento más adecuado según las condiciones geomecánicas de la mina Chaparra, Caravelí. Para dominios con calidad muy mala, se recomendó un sostenimiento con empernado puntual; para calidad regular, se sugirió empernado sistemático con espaciado de 1.5 a 2 metros junto con *shotcrete* proyectado con un espesor de 5 a 6 centímetros con fibra; mientras que, para dominios con calidad buena, se propuso empernado sistemático con espaciado entre 2 y 3 metros junto con Shotcrete proyectado con un espesor de 5 a 6 centímetros con fibra. Por último, para dominios con calidad muy buena, se recomendó un sostenimiento puntual con espaciado de 3 a 3.8 metros.
 - ✓ Se llevó a cabo una evaluación técnica y económica de la propuesta para mejorar la seguridad del personal en la mina Chaparra de Caravelí. Se determinó que el sostenimiento activo más adecuado consistía en pernos de anclaje de adhesión tipo fierro helicoidal con cartuchos de resina-cemento, el cual es comúnmente empleado para sostener labores mineras permanentes. En términos económicos, se estimó un costo de S/ 3,125.97 por metro lineal para la implementación del sostenimiento con perno helicoidal junto con *shotcrete*.
- b) Tesis titulada: «*Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en el XC 876, NV 21 – zona vetas, Unidad Minera Americana*». El objetivo general fue evaluar cómo la evaluación geomecánica influye en la selección del tipo de sostenimiento en el XC 876, nivel 21, ubicado en la zona de vetas de la unidad minera Americana (2).

Los objetivos que se propuso fueron:

- ✓ Determinar la influencia de las características del macizo rocoso en la selección del tipo de sostenimiento en el XC 876, nivel 21, situado en la zona de vetas de la unidad minera Americana.

- ✓ Evaluar la viabilidad de calcular los costos unitarios de sostenimiento basados en la evaluación geomecánica en el XC 876, nivel 21, localizado en la zona de vetas de la unidad minera Americana.

Las conclusiones fueron:

- ✓ Tras llevar a cabo una evaluación geomecánica en el nivel 21 XC 876 se determinó que el tipo de soporte más adecuado para cada sección se basaría en la clasificación RMR y GSI. Se recomendó el uso de pernos helicoidales de 7' con un espaciamiento de 1 m x 1 m y aplicación de hormigón proyectado (shotcrete) en un promedio de 60 metros lineales para las estaciones 40-50. Por otro lado, para las progresivas 80 a 90, se sugirió la instalación de cimbras metálicas con un intervalo de 1,2 x 1,2 m a lo largo de unos 40 metros lineales.
- ✓ Se determinó que las características del macizo rocoso tuvieron un impacto significativo en la elección del tipo de soporte para el nivel 21 XC 876. Estas propiedades incluyeron aspectos como la resistencia a la compresión, el espaciamiento entre discontinuidades, la persistencia, las aperturas, la rugosidad, el relleno y la meteorización. Se concluyó que estas propiedades son esenciales para definir la calidad del macizo rocoso y, por ende, el tipo de soporte necesario.
- ✓ Al decidir el tipo de soporte para el XC 876, el costo por unidad de soporte se reveló como un factor crucial. Aunque se busca reducir los costos, se destacó la importancia de priorizar el tipo de sostenimiento recomendado por la geomecánica. Esto es crucial para prevenir riesgos como desprendimientos de rocas, que podrían afectar las operaciones mineras y poner en peligro la seguridad de las personas, los equipos y el medio ambiente.

- c) Tesis titulada: «*Evaluación geomecánica del macizo rocoso en la construcción y sostenimiento de la chimenea-2226, por el método Raise Climber mina Lourdes en la U.E.A Parcoy (Consortio Minero Horizonte S.A)*». El objetivo general de tesis fue evaluar la geomecánica del macizo rocoso para la construcción y el soporte de la chimenea-2226 utilizando el método Raise Climber en la mina Lourdes, dentro de la Unidad de Explotación Asociada Parcoy (Consortio Minero Horizonte S.A). (3)

Los s objetivos específicos fueron:

- ✓ Identificar la litología y las geoestructuras presentes en el depósito de minerales.
- ✓ Establecer los parámetros geomecánicos mediante la evaluación de las estructuras principales de la chimenea 2226.

- ✓ Identificar las áreas críticas utilizando el método Raise Climber durante la construcción de chimeneas para la chimenea 2226 en el yacimiento de minerales.

Las conclusiones fueron:

- ✓ La litología encontrada en el nivel CX – 2226 y la chimenea CH – 2226 consiste en granodiorita, caracterizada por estructuras fracturadas y muy fracturadas, con algunas áreas mostrando alta humedad y presencia de agua asociada a fallas brechadas, lo que tiene un impacto adverso en la estabilidad de las excavaciones rocosas.
- ✓ Para evaluar la geomecánica de la chimenea CH – 2226 se emplearon seis parámetros RMR89 de Bieniawski. Estos parámetros incluyen la resistencia del material rocoso, el índice RQD, el espaciado y orientación de las discontinuidades, las condiciones de las estructuras geológicas y las fallas, las filtraciones y la presencia de agua, así como el estado tensional. Los valores del RMR89 en cada estación clasificaron el macizo rocoso como tipo IV-mala A en las estaciones P-01 y P-02, ubicadas en el nivel CX – 2226, y como tipo IV – mala A en las estaciones P-03, P-04 y P-05 en la chimenea CH -2226, debido a la alta fracturación y presencia de agua que contribuye a la inestabilidad.
- ✓ El tipo de sostenimiento recomendado para las estaciones estudiadas, según la tabla de soporte práctico minero SPM, varía. En las estaciones P-01 y P-02 se recomienda el uso de pernos de anclaje de 2.40 m de longitud con resina, espaciados a intervalos de 1.0 m x 1.0 m, junto con malla electrosoldada y shotcreteada con un espesor de 5 cm. Por otro lado, para las estaciones P-03, P-04 y P-05, debido al tipo de roca y su ubicación en la chimenea, se sugiere el uso de cimbras metálicas galvanizadas espaciadas entre 0.8 y 1.0 m, con planchas metálicas acanaladas, para garantizar una mayor seguridad en la estructura de la chimenea.

- d) Tesis titulada: «Estimación geomecánica del macizo rocoso para el control de estabilidad zona profundización Unidad Minera Cobriza sector IV». El objetivo general fue determinar la evaluación geomecánica del macizo rocoso para supervisar la estabilidad en la zona de profundización del sector IV de la unidad minera Cobriza, durante el año 2021 (4).

Los objetivos específicos de tesis fueron:

- ✓ Determinar los resultados de la estimación de los parámetros de la roca matriz para supervisar la estabilidad en la zona de profundización.

- ✓ Establecer los resultados de la estimación de los parámetros del macizo rocoso para monitorear la estabilidad en la zona de profundización.
- ✓ Definir los resultados de la estimación de los parámetros geotécnicos constructivos para garantizar la estabilidad en la zona de profundización.

Las conclusiones fueron:

- ✓ Según la cartilla geomecánica de Bieniawski, la estimación del macizo rocoso alcanza los 78 puntos, lo que corresponde a la clase II, indicando una calidad rocosa buena con un tiempo de auto sostenimiento de 12 meses y una longitud de 10 metros. La cohesión de la masa rocosa oscila entre 300 y 400 KPa, con un ángulo de fricción de 35° a 45°. Para controlar la estabilidad en la zona de profundización de la unidad minera Cobriza, sector IV, se recomienda realizar excavaciones con frente completo de 1 a 1.5 metros de avance y realizar sostenimiento completo a los 20 metros del frente. Este sostenimiento se lleva a cabo utilizando pernos de 3 metros en la corona, espaciados a 2.4 metros, con malla de alambre ocasional, y aplicando shotcrete de 50 mm en la corona donde sea necesario.
- ✓ La estimación de los parámetros de la matriz rocosa describe un macizo rocoso compuesto principalmente por roca ígnea intrusiva, con una textura granular de tipo fanerítica. Sus componentes incluyen plagioclasas, feldespato alcalino, biotita y cuarzo de color gris intermedio, con una densidad promedio entre 2,63 y 2,75 g/cm³ y una resistencia a la compresión uniaxial de 244.9 MPa.
- ✓ Los parámetros del macizo rocoso revelan un RQD del 95.18 %, con un espaciamiento promedio de 0.2 a 0.6 metros y una persistencia que varía entre 1 y 3 metros. Las discontinuidades muestran una apertura menor a 0.1 mm y presentan una rugosidad moderadamente rugosa sin relleno. Además, el muestreo indica que estas discontinuidades muestran una ligera alteración y carecen de agua.
- ✓ Los parámetros geotécnicos constructivos establecen que la dirección de avance de la labor debe ser perpendicular, con un rumbo promedio de S50°W y con un buzamiento hacia el noreste.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Evaluación geomecánica

Los métodos utilizados para la extracción de mineral se basan en consideraciones geomecánicas. Este proceso implica un análisis de la situación actual en el lugar, que abarca los procedimientos de extracción, la revisión de indicadores y la identificación de las limitaciones que afectan la productividad y rentabilidad de los métodos aplicados en la actualidad. Luego, se lleva a cabo un estudio de las condiciones geológicas y geomecánicas presentes en las estructuras minerales, como galerías, chimeneas, piques y chutes en distintos niveles y subniveles, dentro del contexto físico de las vetas. A partir de este análisis, se realiza una selección conceptual de los métodos basada en criterios geomecánicos, con el objetivo de mejorar las operaciones mineras. (4)

2.2.2 Criterios geomecánicos

Los responsables, propietarios y la alta dirección de una mina subterránea esperan que el sistema de explotación que se utilice satisfaga las necesidades esenciales de estabilidad, recuperación de mineral, retorno de inversión, protección ambiental y compromiso social. Por lo tanto, es crucial que los criterios geomecánicos que guíen el desarrollo de la explotación subterránea se integren plenamente en la política corporativa. Esto implica que, antes de diseñar el plan de explotación, se deben alinear las necesidades específicas de diseño, operación y cierre del proyecto con los criterios geomecánicos y geotécnicos correspondientes. (4)

Los criterios geomecánicos que deben considerarse en el desarrollo de un plan minero o en la planificación minera son los siguientes.

- **Criterios geomecánicos para el diseño y utilización de la excavación minera:**

- Consideraciones sobre el uso previsto de la excavación.
- Evaluación del factor de seguridad y/o probabilidad de fallo.
- Determinación del área de influencia.
- Adherencia a las normas técnicas aplicables.

- **Criterios geomecánicos durante la construcción y operación:**

- Establecimiento de estándares constructivos.
- Definición de especificaciones técnicas.
- Implementación de técnicas de construcción y operación.
- Realización de mapeo, instrumentación y monitoreo.

- **Criterios geomecánicos para el cierre de minas:**

- Consideración de la durabilidad.
- Implementación de sistemas de monitoreo y mantenimiento adecuados.

2.2.3 Clasificaciones geomecánicas

Según González de Vallejo (2002), la clasificación de los macizos rocosos tiene como objetivo principal proporcionar parámetros geomecánicos que se utilicen en el diseño y planificación de obras de ingeniería, especialmente en el ámbito minero. Estas clasificaciones se basan en la observación directa de las características de los macizos rocosos y en la realización de ensayos que proporcionan índices de calidad relacionados con los parámetros geomecánicos del macizo rocoso, así como sus características frente a las estructuras de soporte como túneles, taludes y chimeneas (5).

Las características de los macizos rocosos que se consideran en las diferentes clasificaciones geomecánicas incluyen:

- Resistencia del material rocoso
- Índice de calidad RQD
- Espaciado de las discontinuidades
- Orientación de las discontinuidades
- Condiciones de las discontinuidades
- Estructura geológica y fallas
- Filtraciones y presencia de agua
- Estado tensional

Las clasificaciones geomecánicas más utilizadas en la actualidad son la RMR de Bieniawski y la Q de Barton. La primera se emplea tanto para caracterizar los macizos rocosos y sus propiedades como para su aplicación en túneles. Por otro lado, la clasificación Q se utiliza principalmente en túneles y chimeneas, al igual que la clasificación SRC. Estas clasificaciones geomecánicas permiten determinar el tipo de sostenimiento adecuado para las labores subterráneas (5).

- **Índice de calidad de roca (RQD, 1964)**

El índice RQD (Rock Quality Designation) es una medida geomecánica que evalúa el grado de fracturamiento de un macizo rocoso y lo clasifica en distintos niveles de calidad, reflejando la frecuencia lineal de las discontinuidades presentes. Este índice se emplea como un parámetro

importante en las clasificaciones geomecánicas, como la RMR de Bieniawski y la Q de Barton. El cálculo del RQD se realiza mediante la siguiente expresión:

$$RQD = 115 - 3.3 * j_v$$

$$\text{Para } j_v < 4,5 \quad RQD = 100$$

Donde:

- J_v está definido como cantidad de diaclasas por m^3 . O también se puede aplicar la siguiente expresión:

$$RQD = 100 * e^{-0.1\lambda} * (0.1\lambda + 1)$$

$$\lambda = \frac{\text{Número de discontinuidades}}{\text{longitud (metros)}}$$

Tabla 2. Calidad del macizo rocoso según el índice RQD de Deere (1968). (6)

RQD (%)	Calidad
<25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Media
75 – 90	Buena
90 – 100	Muy buena

En este estudio, se emplearán las clasificaciones geomecánicas RMR y GSI, que habitualmente se utilizan en túneles, pero en esta ocasión las aplicaremos en chimeneas. Estos dos sistemas de clasificación geomecánica nos ayudarán a determinar el tipo de sostenimiento que se debe utilizar en la excavación subterránea.

- **Calidad del macizo rocoso (RMR, 1989)**

Desarrollada por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989, esta clasificación permite establecer una relación entre los índices de calidad y los parámetros geotécnicos del macizo rocoso, así como el tipo de sostenimiento adecuado para túneles.

Este método se utiliza mediante la valoración correspondiente de cada uno de sus seis parámetros. El factor varía según la orientación de las discontinuidades y toma valores

diferentes según se aplique a túneles, chimeneas, cimentaciones o taludes. El resultado final del índice RMR, obtenido al sumar los seis parámetros, varía de 0 a 100 y se divide en cinco clases de roca. Un valor de 100 indica una roca de muy buena calidad, mientras que un valor de 0 indica una roca de muy baja calidad.

Los parámetros utilizados para el cálculo del RMR son:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa
- Grado de fracturación expresado mediante el RQD
- Espaciado entre discontinuidades
- Condiciones de las discontinuidades, que incluyen longitud, apertura, rugosidad, relleno y alteración
- Condiciones hidrogeológicas
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación

Según lo expuesto por González de Vallejo (2004), para realizar la clasificación RMR, el macizo rocoso se divide en tramos con características geológicas uniformes, basándose en observaciones de campo. Se recopilan datos de los seis parámetros mencionados anteriormente para cada tramo, lo que permite estimar el valor del RMR para cada uno de ellos. (5)

Tabla 3. Clasificación geomecánica de Bieniawski RMR89 (5)

1	Resistencia de la matriz	Ensayo de carga puntual	> 10	10 - 4	4 - 2	2 - 1	Compresión Simple (Mpa)		
	rocosa (Mpa)	compresión Simple	> 250 R6	250 - 100 R5	100 - 50 R4	50 - 25 R3	25 - 5 R2	5 - 1 R1	< 1 R0
		Puntuación		15	12	7	4	2	1
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		> 2 m.	0.6 - 2 m.	0.2 - 0.6 m.	0.06 - 0.2 m.	< 0.06 m.		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m.	1 - 3 m.	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m.		
		Puntuación	6	5	3	2	0		
		Abertura	Nada	< 0.1	0.1 - 1.0 mm.	1 - 5 mm.	> 5 mm.		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugoso	Rugoso	Ligeramente Rug.	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm.	Relleno duro > 5 mm.	Relleno blando < 5 mm.	Relleno blando > 5 mm.		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Alterada	Ligeramente alterada	Moderadamente Alterada	Muy Alterada	Descompuesta		
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Agua freática	Caudal por 100 m de túnel	Nula	< 10 litros/min.	10 - 25 litros/min.	25 - 125 litros/min.	> 125 litros/min.		
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		

Tabla 4. Corrección por orientación de discontinuidades (5)

Dirección y buzamiento		Muy favorable	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentación	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Tabla 5. Características geotécnicas del macizo rocoso (5)

Clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de mantenimiento y longitud	10 años con 15 m. de vano	6 meses con 8 m. de vano	1 semana con 5 m. de vano	10 horas con 2.5 de vano	30 minutos con 1 m. de vano
Cohesión	> 4Kp/cm ²	3-4Kp/cm ²	2-3Kp/cm ²	1-2Kp/cm ²	<1Kp/cm ²
Ángulo de rozamiento	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	< 15°

Tabla 6. Orientación de las discontinuidades. (5)

Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buz. 0° - 20° cualquier dirección
excavación con buz.		Excavación contra buz.		Buz. 45°-90°	Buz. 20°-45°	
Buz. 45°-90°	Buz. 20°-45°	Buz. 45°-90°	Buz. 20°-45°	Buz. 45°-90°	Buz. 20°-45°	
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorables	Media	Desfavorable

Finalmente, el índice RMR se calcula sumando los valores de los seis parámetros mencionados anteriormente (7).

En función del estado de las características evaluadas, este índice adquiere un valor específico que oscila entre 0 y 100 (7).

Tabla 7. Calidad del macizo rocoso en relación al Índice RMR89 (5)

Clases	Calidad	Valoración RMR89	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy buena	81 – 100	> 4 kg/ cm ²	> 45°
II	Buena	61 – 80	3 – 4 Kg/ cm ²	35° - 45°
III	Media	41 – 60	2 – 3 Kg/ cm ²	25° - 35°
IV	Mala	21 – 40	1 – 2 Kg/ cm ²	15° - 25°
V	Muy mala	< 20	< 1 kg/ cm ²	< 15°

2.2.4 Estructura del macizo rocoso

La composición del macizo rocoso se refiere al conjunto de fallas, diaclasas, pliegues y otras características geológicas propias de una determinada área.

En ingeniería de rocas, se considera que la composición del macizo rocoso incluye también los tipos de roca presentes en él.

La combinación de diferentes tipos de roca puede dar lugar a consecuencias difíciles de predecir desde una perspectiva geotécnica; por ejemplo, en una secuencia sedimentaria, ciertos tipos de roca pueden ser más susceptibles a la meteorización que otros, lo que podría aumentar la susceptibilidad a la meteorización de los demás tipos de roca presentes en el macizo.

Un dominio estructural se define como la porción del macizo rocoso, generalmente delimitada por discontinuidades geológicas, donde la composición es relativamente homogénea.

Por ejemplo, en las discordancias o en zonas de pliegues se pueden identificar diferentes dominios estructurales.

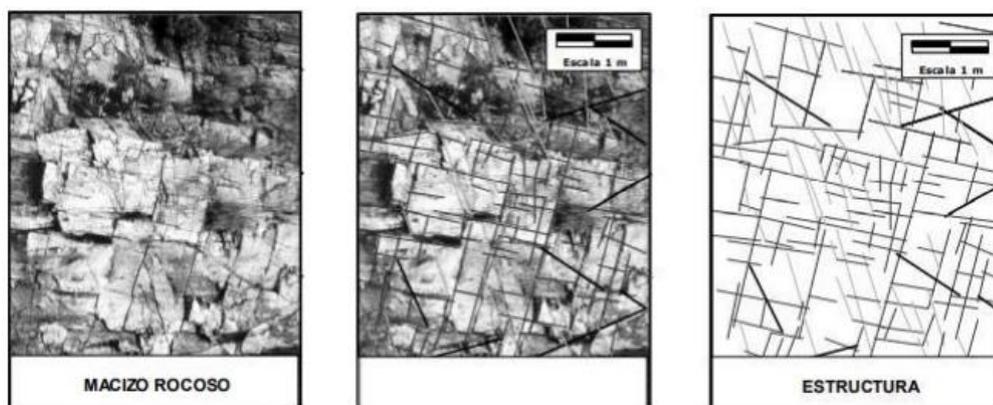


Figura 1. Concepto de macizo rocosos y estructura. (8)

A continuación, se describen los diferentes tipos de discontinuidades:

- **Estratificación**

Se refiere a la disposición de capas de roca con una litología uniforme o con gradaciones, depositadas de manera paralela a la inclinación de la formación. Por lo general, están separadas de las capas adyacentes por zonas de erosión. Cuando el macizo rocoso está compuesto por un solo tipo litológico, puede ser difícil distinguir las estratificaciones.

- **Laminación**

Se refiere a una zona de discontinuidad que confiere a las rocas un aspecto laminar con capas bastante delgadas. Esta laminación puede ser el resultado de presiones orogénicas o de procesos sedimentarios.

- **Esquistosidad**

Se manifiesta en un macizo rocoso cuando presenta una composición, ya sea de origen tectónico o metamórfico, con láminas u hojas paralelas.

- **Esquistosidad de fractura.**

Esta se produce debido a una gran cantidad de micro fallas o micropliegues-falla muy cercanos, con espaciados del orden de unos pocos milímetros, que se superponen a una deformación continua apreciable y separan láminas sin generar orientación de los minerales.

- **Esquistosidad de flujo.**

Este fenómeno ocurre debido a un aplastamiento que resulta en un reajuste de la textura de la roca, lo que provoca una orientación paralela de todos los minerales, recristalizaciones y disoluciones orientadas.

Como resultado, se produce una anisotropía general sin que haya discontinuidades. Este proceso de cristalización no elimina todas las trazas de la estratificación.

- **Foliación**

La foliación representa una etapa avanzada de la esquistosidad de flujo, que surge cuando las condiciones de presión y temperatura aumentan, lo que lleva a la aparición de minerales metamórficos orientados de mayor tamaño. Esto transforma la roca en una secuencia de hojas con diferentes minerales entre cada dos planos de anisotropía.

- **Pizarrosidad**

Se refiere a la propiedad de las rocas de aspecto laminar de poder separarse en hojas delgadas. Este fenómeno implica cierto grado de metamorfismo.

- **Fallas y juntas**

Estos son planos de discontinuidad que se forman cuando el macizo rocoso ha sido sometido a esfuerzos tectónicos que superan su límite de rotura.

Cuando las secciones separadas por la fractura han experimentado desplazamientos relativos debido a tensiones cortantes, se denomina falla.

Por otro lado, si no hay movimiento relativo entre las secciones separadas, se llama junta. Estas discontinuidades también pueden formarse como resultado de la reducción de la compresión vertical debido a la erosión o a los cambios de volumen diferenciales en ciertos macizos rocosos.

2.2.5 Propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso

El comportamiento del macizo rocoso, que consiste en los bloques de roca matriz junto con las discontinuidades, está determinado por las propiedades de la matriz rocosa que lo conforma.

Estas propiedades incluyen su resistencia y características como la alteración o la meteorización, las cuales pueden afectar a las rocas menos resistentes, especialmente con el paso del tiempo y la exposición a factores ambientales.

Además de esto, la frecuencia y el tipo de discontinuidades presentes en el macizo rocoso son factores determinantes en su comportamiento general. Sin embargo, otros factores como las estructuras tectónicas (pliegues, tensiones naturales), condiciones hidrogeológicas y factores geo ambientales también influyen de manera conjunta en el comportamiento mecánico del macizo rocoso.

Estos factores geológicos afectan tanto el comportamiento como las propiedades mecánicas del macizo rocoso.

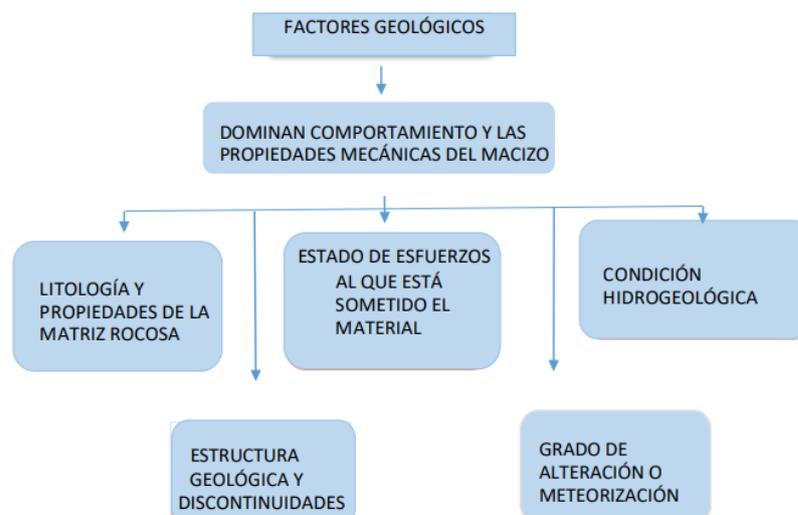


Figura 2. Factores geológicos del macizo rocoso

Los esfuerzos aplicados sobre la roca determinan los patrones de deformación y el comportamiento mecánico del conjunto del macizo rocoso (5).

Las clasificaciones geotécnicas o geomecánicas generales para los diferentes tipos de macizo rocoso han sido difíciles de establecer debido a la variabilidad de los factores mencionados anteriormente, así como el carácter discontinuo e isotrópico de los macizos (5).

En el campo de la mecánica de rocas, las clasificaciones más útiles son conocidas como clasificaciones geomecánicas, entre las cuales destacan el RMR de Bieniawski y la Q de Barton como las más utilizadas (Gonzales de Vallejo, 2002) (5).

Estas clasificaciones categorizan el macizo rocoso en diferentes niveles de calidad en función de las propiedades de la matriz rocosa y de las discontinuidades, lo que proporciona estimaciones de sus propiedades resistentes globales.

Además, existen otras clasificaciones basadas en diversos parámetros de las propiedades del macizo rocoso, como Therzagui 1946, Romana 1985 y el índice de resistencia geológica (GSI), entre otras. (9)

Estas clasificaciones establecen distintos niveles de calidad del macizo rocoso según los parámetros evaluativos de las propiedades de la matriz rocosa y las discontinuidades, lo que permite estimar la resistencia global del macizo rocoso (9).

En este documento se presenta una revisión de las clasificaciones geomecánicas de las rocas basada en la documentación bibliográfica proporcionada. Sin embargo, se ha optado por una descripción más detallada de las clasificaciones mencionadas (9).

2.2.6 Características de las discontinuidades

A continuación, se detallan algunas características de las discontinuidades que influyen en el comportamiento del macizo rocoso.

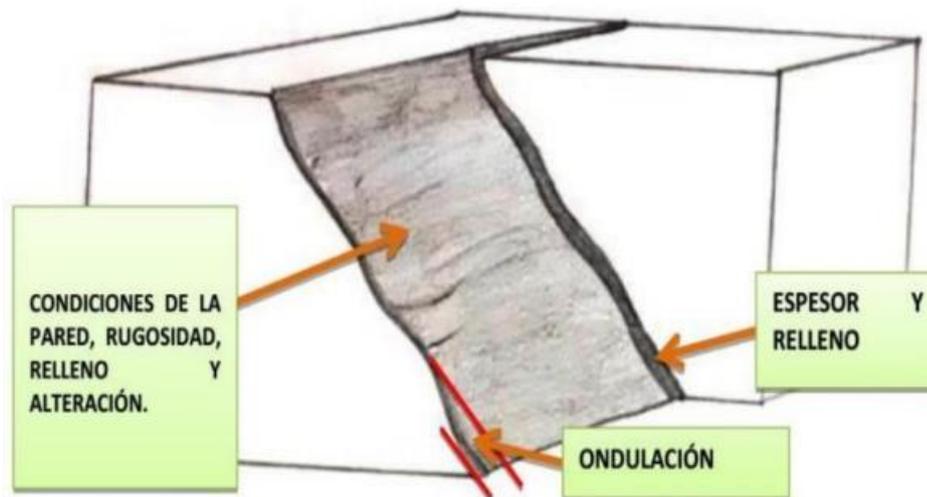


Figura 3. Principales características de las discontinuidades (9)

- **Orientación**

La orientación de una discontinuidad puede ser determinada utilizando una brújula con clinómetro, que proporciona valores para el rumbo y el buzamiento.

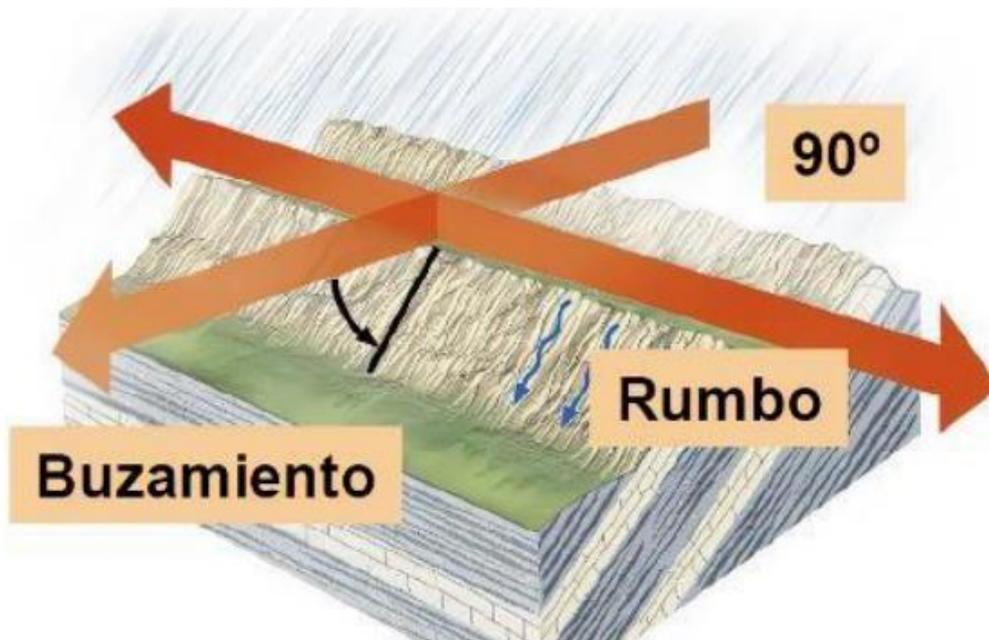


Figura 4. Orientación de discontinuidades (9)

El buzamiento se determina midiendo el ángulo formado por la intersección del plano de la discontinuidad con un plano horizontal, con la medición realizada desde el norte en sentido de las agujas del reloj.

También se emplea el término "rumbo", que se define como el ángulo formado por la línea de mayor pendiente del plano de la discontinuidad con una línea horizontal perpendicular al rumbo.

- **Espaciamiento**

La medida del tamaño de los bloques de roca y la frecuencia de fracturas en el macizo rocoso está relacionada inversamente con su cohesión global.

Una roca altamente fracturada puede exhibir diversos tipos de fallas y variaciones entre ellas, lo que influye significativamente en la permeabilidad del macizo rocoso.



Figura 5. Representación del espaciamento de las discontinuidades (9)

En el estudio de macizos rocosos para fines de ingeniería es esencial medir el espaciamento de las discontinuidades.

Esta medición se realiza con una cinta métrica, en dirección perpendicular al sistema de discontinuidades y se registran todas las discontinuidades a lo largo de una longitud mínima de tres metros.

En casos donde el espesor de la masa rocosa sea menor, se puede ajustar la longitud de muestreo, aunque para obtener resultados óptimos, se sugiere que la longitud de muestreo sea al menos diez veces mayor que el espaciamento medido.



Figura 6. Representación de una diaclasa con separación de 3 metros (9)

El espaciamiento de discontinuidades determina la frecuencia, que indica la cantidad de discontinuidades por metro de afloramiento. Por ejemplo, si el espaciamiento de las diaclasas es de 3 metros, la frecuencia sería de 0.5;1, como se ilustra en la figura adjunta. (9)

- **Persistencia**

La extensión real o tamaño de la discontinuidad puede ser estimada de manera aproximada observando las longitudes de las trazas expuestas en la superficie, siendo considerado uno de los parámetros más importantes, pero también uno de los más difíciles de cuantificar.

Tabla 8. Terminología utilizada para medir la persistencia y sus respectivos valores (9)

Persistencia	
Muy baja persistencia	<1m
Baja persistencia	1-3m
Persistencia media	3-10m
Alta persistencia	10-20m
Muy alta persistencia	>20m

La persistencia desempeña un papel crucial en el mecanismo de falla de los macizos rocosos, donde la superficie de la falla puede ser tanto plana como escalonada, tal como se ilustra en la siguiente figura.



Figura 7. Ejemplo de diaclasas escalonada (9)

Durante la caracterización de las masas rocosas, es fundamental obtener información de campo sobre los extremos de las discontinuidades, según los siguientes parámetros:

- Fuerza de afloramiento (X)
- Dentro de afloramiento (r)
- Contra la discontinuidad (d)



Figura 8. Discontinuidad de 7 metros con ambos extremos fuera del afloramiento (9)

- **Ondulación**

La textura irregular de la superficie de una discontinuidad influye en sus propiedades de movimiento y resistencia al corte.

Las ondulaciones de mayor tamaño, también conocidas como ondulaciones de primer orden, se consideran como aquellas que tienen una dimensión que dificulta su cizallamiento y se

manifiestan en un plano. Se cree que estas ondulaciones pueden influir en la dirección del desplazamiento de corte.

En términos generales, la textura de la superficie de una discontinuidad puede ser caracterizada por las ondulaciones, las cuales pueden provocar dilatación durante el movimiento.

- **Rugosidad**

Las irregularidades más pequeñas en la superficie de una discontinuidad, también conocidas como rugosidades de segundo orden o asperezas, son lo suficientemente diminutas como para ser cizalladas durante el movimiento a lo largo de la discontinuidad.

A medida que aumenta la rugosidad, también lo hace la resistencia al corte, ya que esta propiedad determina la capacidad de resistencia al deslizamiento.

La rugosidad puede ser evaluada utilizando diversos métodos, incluyendo perfiles de rugosidad, discos con brújula, ensayos in situ o métodos sencillos como el uso de alfileres.

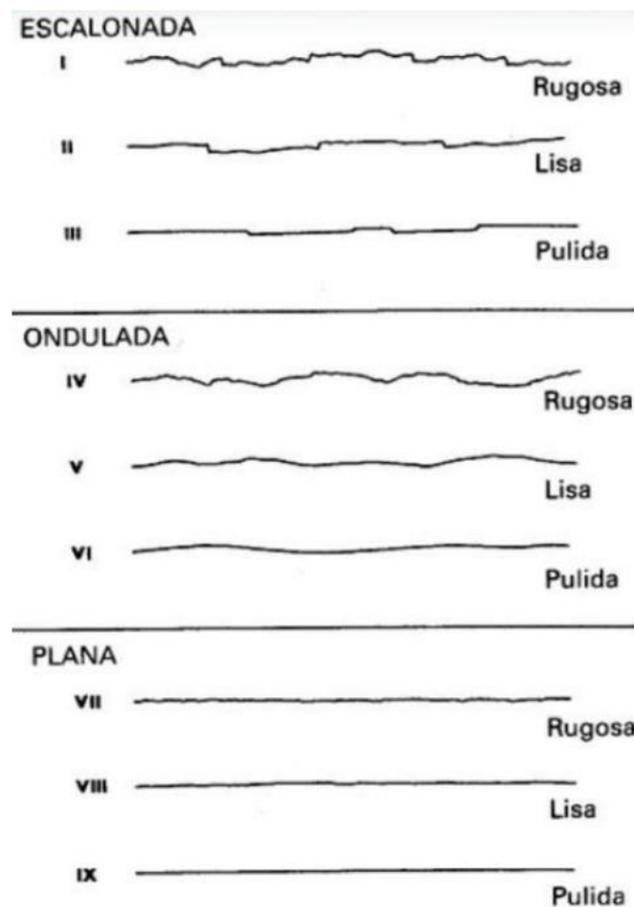


Figura 9. Perfiles de rugosidades para discontinuidades. (5)



Figura 10. Clasificaciones de la rugosidad de la pared del plano de discontinuidad mediante filometro (5)

- **Abertura**

Se refiere a la distancia perpendicular entre las paredes de una discontinuidad que está abierta. La sociedad internacional de mecánica de rocas utiliza el término "abertura" para describir discontinuidades que tienen un espacio vacío de aire o agua entre sus paredes, mientras que para aquellas llenas de material se utiliza el término "ancho".

Tabla 9. Representación de una descripción de la abertura de las discontinuidades (5)

Abertura	Descripción
Menor de 0.1 mm	Muy cerrada
0.1-0.25mm	Cerrada
0.25-0.5mm	Parcialmente cerrada
0.5-2.5mm	Abierta
2.5-10mm	Moderadamente ancha
10mm	Ancha
1-10cm	Muy ancha
1-100 cm	Extremadamente ancha
Mayor de 1m	Cavernosa



Figura 11 Abertura en diaclasas de 2 cm con relleno (5)

- **Relleno:**

Este término hace referencia al material que se encuentra entre las paredes adyacentes de una discontinuidad, el cual puede ser calcita, cuarzo, florita, u otros minerales. La distancia perpendicular entre las paredes se conoce como ancho. Al recopilar datos en el campo, es importante tener en cuenta el tipo de material de relleno, así como el tamaño de las partículas y el grado de meteorización.



Figura 12. Discontinuidades con material de relleno de óxido de hierro (5)

2.3 Definición de términos básicos

- **Evaluación geomecánica**

El análisis y medición de las características y propiedades de la matriz rocosa y de las discontinuidades, junto con los parámetros del macizo rocoso, proporcionan la información necesaria para llevar a cabo una evaluación geomecánica del macizo. A partir de estos datos, la aplicación de clasificaciones geomecánicas permite estimar la calidad del macizo rocoso. (5)

- **Discontinuidades**

Estas son superficies de debilidad que generan una condición de anisotropía de resistencia en la roca, lo que significa que interrumpen la integridad mecánica de la misma (9).

Para propósitos descriptivos, se utiliza el término genérico "discontinuidad" para referirse de manera general a diaclasas, fallas, foliaciones y estratificaciones, considerando que la resistencia al cizallamiento de estas superficies siempre es inferior a la resistencia de la roca intacta que compone el macizo (9).

- **Macizo rocoso**

Consiste en bloques de roca intacta separados por discontinuidades como diaclasas, planos de estratificación, pliegues, zonas de cizalla y fallas. Estos bloques pueden presentar diversos grados de alteración, desde inalterados hasta completamente disgregados (6).

- **Sostenimiento**

Se refiere a los elementos de apoyo y refuerzo que tienen como objetivo asegurar, controlar y mantener la estabilidad de las excavaciones subterráneas. Pueden ser utilizados de manera individual o en combinación con otros elementos (10).

- **Concreto lanzado (shotcrete)**

Es un término amplio que se refiere al hormigón en el cual los componentes principales son cemento, áridos, agua, aditivos y refuerzos, y que se aplica neumáticamente y se compacta dinámicamente a alta velocidad sobre la superficie. La tecnología del hormigón proyectado abarca tanto procesos de mezcla seca como de mezcla húmeda (11).

- **Geomecánica**

Se fundamenta en los principios y conceptos de la mecánica de rocas y la mecánica de suelos, y se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los materiales geológicos que componen las formaciones rocosas (11).

- **Índice de resistencia geológica (GSI)**

Se refiere al índice de resistencia geológica, el cual, como un complemento a su criterio general de falla en la roca, también estima la reducción de la resistencia del macizo rocoso para diversas condiciones geológicas (12).

- **Índice de designación de la calidad de la roca (RQD)**

Desarrollado por Deere, proporciona una estimación cuantitativa de la calidad de la masa rocosa a partir de los testigos obtenidos en la perforación diamantina (13).

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Métodos y alcances de la investigación

3.1.1 Método general

La presente investigación hará uso del método científico, esto, porque se seguirán pasos en forma ordenada iniciándose con la identificación del problema, planteamiento del problema seguida de la formulación de las hipótesis para continuar con la experimentación y finalmente se formulan las conclusiones producto de la investigación.

3.1.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada, debido que se emplearán conocimientos obtenidos de las investigaciones básicas, estos conocimientos servirán para dar solución al problema planteado.

3.1.3 Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo - correlacional, cuyo propósito se fundamenta en buscar establecer la relación de los resultados de la caracterización geomecánica del macizo rocoso con la viabilidad de la construcción de un inclinado, empresa minera Los Diamantes de Aguada.

3.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental y de corte transversal, sustentado por el hecho de que la variable independiente no sufrirá una manipulación para relacionar con la variable dependiente

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

La población está conformada por:

- ✓ Galería nivel 1
- ✓ Empresa minera Los Diamantes de Aguada S.A.C.

3.3.2 Muestra

La muestra censal está conformada por:

- ✓ La población está conformada por:
- ✓ Galería nivel 1
- ✓ Empresa minera Los Diamantes de Aguada S.A.C.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción litológica roca tipo granodiorita

- Textura fanerítica: la granodiorita tiene una textura fanerítica, lo que indica que todos sus cristales son visibles a simple vista debido al lento enfriamiento del magma.
- ✓ Holocristalina: compuesta completamente de cristales.
- ✓ Granular: los granos minerales tienen tamaños relativamente similares, lo que le da una apariencia homogénea.

- **Composición mineralógica**
- ✓ Cuarzo: entre el 20 % y el 30 % del volumen total de la roca. El cuarzo es incoloro a gris y tiene fractura concoidea.
- ✓ Feldespato potásico (ortoclasa y microclina): alrededor del 20 % al 35 %. Estos minerales presentan una coloración rosada a blanca.
- ✓ Plagioclasa (oligoclasa-andesina): constituye del 35 % al 50 % del volumen. La plagioclasa puede mostrar zonación y tiene coloración blanca a gris.
- ✓ Minerales ferromagnesianos: entre el 10 % y el 20 %, predominando la biotita y hornblenda. la biotita es marrón oscuro a negra y la hornblenda es verde oscuro a negra.
- ✓ Accesorios: pequeñas cantidades de minerales como apatita, circón, esfena y magnetita.

- **Color**
- Generalmente, la granodiorita tiene un color gris claro a gris oscuro debido a la presencia de cuarzo, feldespatos y minerales ferromagnesianos.

- **Estructura:**
- ✓ Masiva: no muestra una estructura interna notable, como foliación o laminación.
- ✓ Equigranular: los cristales presentes muestran un tamaño homogéneo.

- **Durabilidad y dureza**

- ✓ Es una roca dura y resistente debido a su composición mineralógica.
- ✓ Tiene una dureza en la escala de Mohs de aproximadamente 6 a 7.

- **Usos**

La granodiorita se utiliza comúnmente en la construcción como material de agregado y en la industria de la piedra ornamental. También se emplea para hacer adoquines, monumentos y revestimientos.

- **Densidad**

La densidad de la granodiorita oscila entre 2.6 y 2.8 g/cm³. Esta densidad es ligeramente mayor que la de las rocas graníticas debido a la mayor proporción de minerales máficos.

- **Resistencia a la compresión**

La granodiorita tiene una alta resistencia a la compresión, típicamente entre 100 y 200 MPa (mega pascales), dependiendo de su composición y estructura interna.

- **Porosidad**

Es una roca de baja porosidad, generalmente menos del 1 %. Esto significa que tiene una capacidad limitada para absorber agua.

- **Permeabilidad**

Dada su baja porosidad, la permeabilidad de la granodiorita es muy baja. Es prácticamente impermeable a los fluidos.

- **Fracturación y diaclasado**

Las fracturas y diaclasas que presentan se ubican especialmente en zonas sometidas a esfuerzos tectónicos. Estas fracturas discontinuidades pueden afectar parcialmente la resistencia mecánica local.

- **Tenacidad**

La granodiorita es una roca tenaz, lo que significa que resiste bien los impactos y es difícil de romper.

- **Coefficiente de expansión térmica**

La granodiorita tiene un coeficiente de expansión térmica bajo a moderado. Esto implica que no se expande ni contrae significativamente con los cambios de temperatura.

- **Resistencia a la intemperie**

Es una roca bastante resistente a la intemperie química y física. La granodiorita puede resistir la erosión y la descomposición durante largos periodos de tiempo.

4.2 Evaluación de las propiedades físicas

4.2.1 Evaluación propiedades físicas muestra N°1

a) Peso de la muestra N°1

	Muestra 1	
	kg	g
M saturado	0.228	228
M roca	0.2277	227.7
M seco	0.2274	227.4
M sumergida	0.1416	141.6

Figura 13. Peso de la muestra N°1

✓ Volumen

Tabla 10. Volumen

	Volumen	
	m ³	ml
volumen (V)	0.000087	700

b) Densidad del agua

$$V = \frac{M_{sat} - M_{sumer}}{\rho_w}$$

$$\rho_w = \frac{M_{sat} - M_{sumer}}{V}$$

$$\rho_w = \frac{0.228 - 0.1416}{0.000087}$$

$$\rho_w = 1000 \frac{Kg}{m^3}$$

c) Volumen de vacíos

$$Vv = \frac{Msat - Msec}{\rho_w}$$

$$Vv = \frac{0.228 - 0.2274}{1000}$$

$$Vv = 6 \times 10^{-7} m^3$$

d) Contenido de agua o humedad

$$\omega = \frac{Msatu - Mroca}{Mroca} \times 100\%$$

$$\omega = 0.13$$

e) Porosidad

$$n = \frac{(6 \times 10^{-7})}{0.000087}$$

$$n = 0.68 \%$$

f) Absorción

$$\text{Absorción} = \frac{(Msat - Mseco)}{Mseco} \times 100$$

$$\text{Absorción} = \frac{(0.228 - 0.2274)}{0.2279} \times 100$$

$$\text{Absorción} = 0.26\%$$

g) Volumen de la roca

$$Vroca = V - Vv$$

$$Vroca = 0,000087 - 6 \times 10^{-7}$$

$$Vroca = 8.64 \times 10^{-5} m^3$$

h) Relación de vacíos

$$e = \frac{6 \times 10^{-7}}{0.000087}$$

$$e = 0.069$$

i) Densidad másica "Bulk"

$$\rho = \frac{M_{roca}}{V}$$

$$\rho = \frac{0,2277}{0,000087}$$

$$\rho = 2617.24 \frac{kg}{m^3}$$

j) Densidad seca

$$\rho_d = \frac{M_{seca}}{V_{roca}}$$

$$\rho_d = \frac{0,2274}{8.64 \times 10^{-5}}$$

$$\rho_d = 2613.79 \frac{kg}{m^3}$$

k) Densidad solidos

$$\rho_s = \frac{M_{roca}}{V_{roca}}$$

$$\rho_s = \frac{0.2277}{18.64 \times 10^{-5}}$$

$$\rho_s = 2635.4 \frac{kg}{m^3}$$

l) Gravedad específica

$$G_s = \frac{2617.24}{1000}$$

$$G_s = 2.6174$$

Con el mismo procedimiento se determinó los resultados de la muestra 2 y 3 y con ello se elaboró el siguiente cuadro:

Tabla 11. Propiedades físicas muestra N°1, 2 y 3

Propiedades físicas	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
M saturado	0.228kg	0.1719 kg	0.1599 kg
M roca	0.227 kg	0.1718 kg	0.1598 kg
M seco	0.2274 kg	0.1716 kg	0.1595 kg
M Sumergida	0.1416 kg	0.000064 kg	0.00006 kg
Volumen (v)	0.000084 m ³	0.00020001 m ³	0.0002005 m ³
Densidad del agua	1000kg/m ³	1012.5 kg/m ³	1000 kg/m ³
Volumen del vacío	6 x 10 ⁻⁷ m ³	2.96 x 10 ⁻⁷ m ³	4x 10 ⁻⁷ m ³
Contenido de agua o humedad	0.13%	0.058 %	0.06%
Porosidad	0.68%	0.46 %	0.67 %
Absorción	0.26 %	0.17 %	0.25 %
Volumen de la roca	8.64x 10 ⁻⁵ m ³	6.37 x 10 ⁻⁵ m ³	5.95x 10 ⁻⁵ m ³
Relación de vacíos	0.0069	0.46	0.067
Densidad másica	2617.24 kg/m ³	2684.37 kg/m ³	266333 kg/m ³
Densidad seca	2613.79 kg/m ³	2681.25 kg/m ³	2653.53 kg/m ³
Densidad de sólidos	2635.4 kg/m ³	269.702 kg/m ³	2685.71 kg/m ³
Gravedad específica	2.6174	26512	2.663

4.3 Cálculo de la resistencia a carga puntual

- **Dimensiones del testigo N°1**

- ✓ Diámetro = 51.4 mm
- ✓ Longitud = 87.3 mm
- ✓ Resistencia = 18.67 KN

- **Ensayo diametral:** las muestras de forma cilíndrica apropiadas para este ensayo son los que tienen relación longitud/diámetro mayor que 1 (W/D>1).

(87.3/51.4 > 1) de donde: 1.7 > 1 (corresponde un ensayo diametral)

$$I_{S(50)} = \left(\frac{De}{50}\right)^{0.45} \times \left(\frac{P}{De^2}\right)$$

$$I_{S(50)} = \left(\frac{51.4}{50}\right)^{0.45} \times \left(\frac{18.67}{51.4^2}\right)$$

$$I_{S(50)} = 7.16 \text{ MPa}$$

- **Equivalencia para la resistencia a compresión simple**

$$K = 24$$

$$\sigma_c = kI_{S(50)}$$

$$\sigma_c = 24 * 7.16$$

$$\sigma_c = 171.84 \text{ MPa}$$

- **Resistencia a tracción**

$$K = 1.5$$

$$\sigma_c = kI_{S(50)}$$

$$\sigma_c = 1.5 * 7.16$$

$$\sigma_c = 10.74 \text{ MPa}$$

Con el mismo procedimiento se determinó la resistencia de los testigos N°2 y 3.

Tabla 12. Resistencia a carga puntual, compresión simple y resistencia a tracción

Testigo	Resistencia a la carga puntual	Resistencia a compresión simple	Resistencia a tracción
Testigo N° 1	7.16 MPa	171.84 MPa	10.74 MPa
Testigo N° 2	6.74 MPa	161.76 MPa	10.11 MPa
Testigo N° 3	6.94 MPa	166.56 MPa	10.41 MPa
Promedio	6.95 MPa	166.72 MPa	10.42 MPa

4.4 Evaluación geomecánica

4.4.1 Mapeo geomecánico

La evaluación se llevó a cabo mediante estaciones geomecánicas, también conocidas como mapeo por celdas, a lo largo de los niveles y subniveles de explotación.

En cada estación, se identificaron y cuantificaron las características de las principales familias de discontinuidades.

Se realizó la evaluación para cada familia, determinándose la orientación (buzamiento "Bz" y dirección de buzamiento "DBz"), el espaciamiento, la persistencia, la rugosidad, la resistencia de la pared de la discontinuidad, la abertura, el relleno, el grado de meteorización, la resistencia del relleno y la presencia de agua. Además, se evaluó la forma del bloque, el rango de tamaños y el volumen de los bloques; por otro lado, los índices RQD se estimaron mediante la frecuencia de discontinuidades (Hudson y Priest, 1976) y el número total de discontinuidades por metro cúbico J_v (Palmstrom, 1982).

Tabla 13. Muestreo de discontinuidades método registro lineal

Registro lineal												
Empresa minera Los Diamantes de Aguada S.A.C.						Departamento de geomecánica						
Zona de muestreo: Galería principal Nv. 0						Fecha: mayo de 2024						
Longitud de muestreo: 8.15 m						RQD:						
Litología: Macizo rocoso conformado por granodiorita												
Nº Discont.	F: Falla D: Diaclasas PE: P. estrat. V: Venillas P: Pliegues CL: Cont. litol.	Dip direction	Dip		Espaciado (m)		Persistencia (m)	Alteración	Apertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Agua
					1. > 2.0	2. < 1						
					2. 0.6 - 2.0	2. 1 - 3		2. Lig. Alterada	2. M. ang < 0.1	2. Rugosa	2. Duro < 5 mm	2. Húmedo
					3. 0.2 - 0.6	3. 3 - 10		3. Mod. Alterada	3. Ang. 0.1-10	3. Lig. rug.	3. Duro > 5 mm	3. Mojado
					4. 0.06 - 0.2	4. 10 - 20		4. Muy Alterada	4. Ab. 1-5	4. Lisa	4. Suave < 5 mm	4. Goteo
					5. < 0.06	5. > 20		5. Descompuesta	5. M. ab. > 5	5. Esp. Falla	5. Suave > 5 mm	5. Flujo
1	D	110°	45°	E	-	2	1	2	4	1	2	
2	D	109°	50°	E	3	2	1	2	4	1	2	
3	D	111°	52°	E	3	2	1	2	4	1	2	
4	D	110°	49°	E	3	2	1	2	4	1	2	
5	D	112°	50°	E	3	2	1	2	4	1	2	
6	D	108°	52°	E	3	2	1	2	4	1	2	
7	D	110°	50°	E	3	2	1	2	4	1	2	
8	D	225°	48°	W	3	2	1	2	4	1	2	
9	D	224°	50°	W	3	2	1	2	4	1	2	
10	D	220°	55°	W	3	2	1	2	4	1	2	
11	D	225°	52°	W	3	2	1	2	4	1	2	
12	D	224°	50°	W	3	2	1	2	4	1	2	
13	D	221°	55°	W	3	2	1	2	4	1	2	
14	D	225°	54°	W	3	2	1	2	4	1	2	
15	D	224°	52°	W	3	2	1	2	4	1	2	

4.4.2 Modelamiento en el software Dips

- **Propiedades de las discontinuidades**

Tabla 14. *Propiedades de las discontinuidades*

Dips - Dips1*

File Edit Setup View Select Sets Tools Window Help

ID	Dip	Dip Direction	DISCONTINUIDAD	ESPACIAMIENTO	PERSISTENCIA	ALTERACIÓN	APERTURA	RUGOSIDAD
1	45°	110°	D	2	1	2	4	4
2	50°	109°	D	3	2	1	2	4
3	52°	111°	D	3	2	1	2	4
4	49°	110°	D	3	2	1	2	4
5	50°	112°	D	3	2	1	2	4
6	52°	108°	D	3	2	1	2	4
7	50°	110°	D	3	2	1	2	4
8	48°	225°	D	3	2	1	2	4
9	50°	224°	D	3	2	1	2	4
10	55°	220°	D	3	2	1	2	4
11	52°	225°	D	3	2	1	2	4
12	50°	224°	D	3	2	1	2	4
13	55°	221°	D	3	2	1	2	4
14	54°	225°	D	3	2	1	2	4
15 *	52°	224°	D	3	2	1	2	4
16								

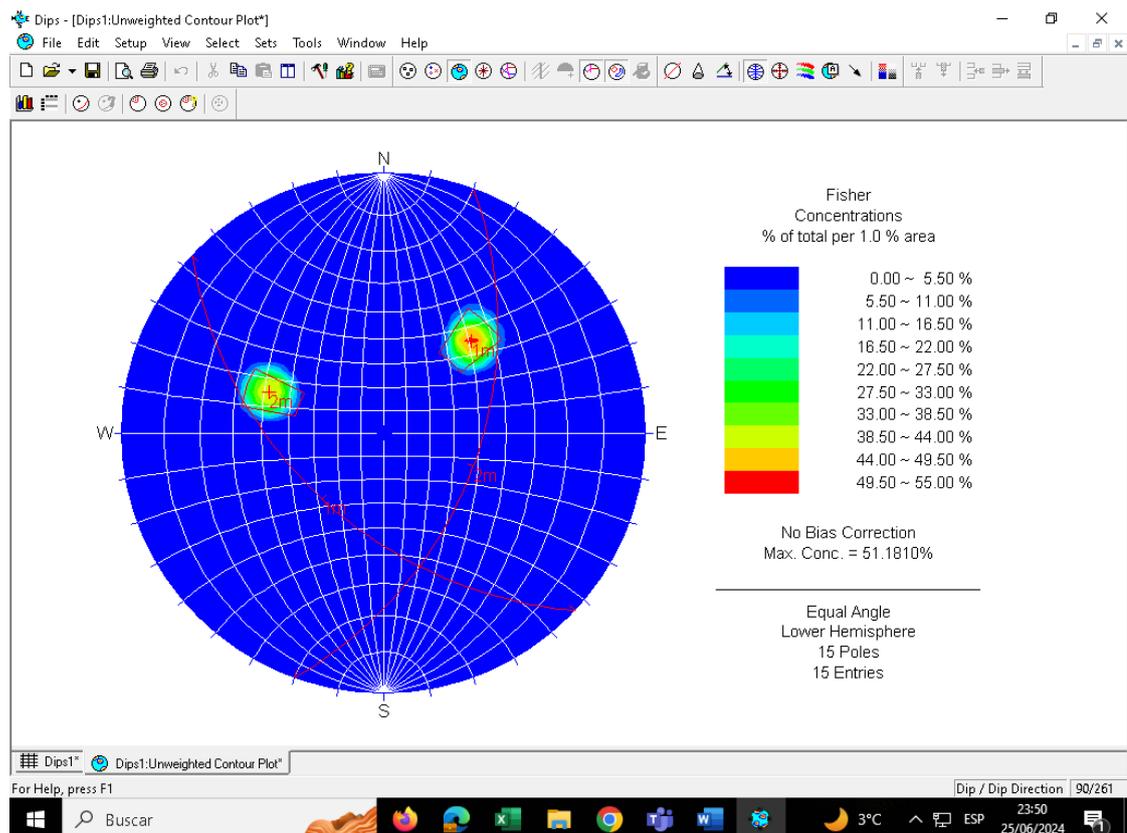


Figura 14. De la evaluación se determina la formación de dos sistemas de discontinuidades

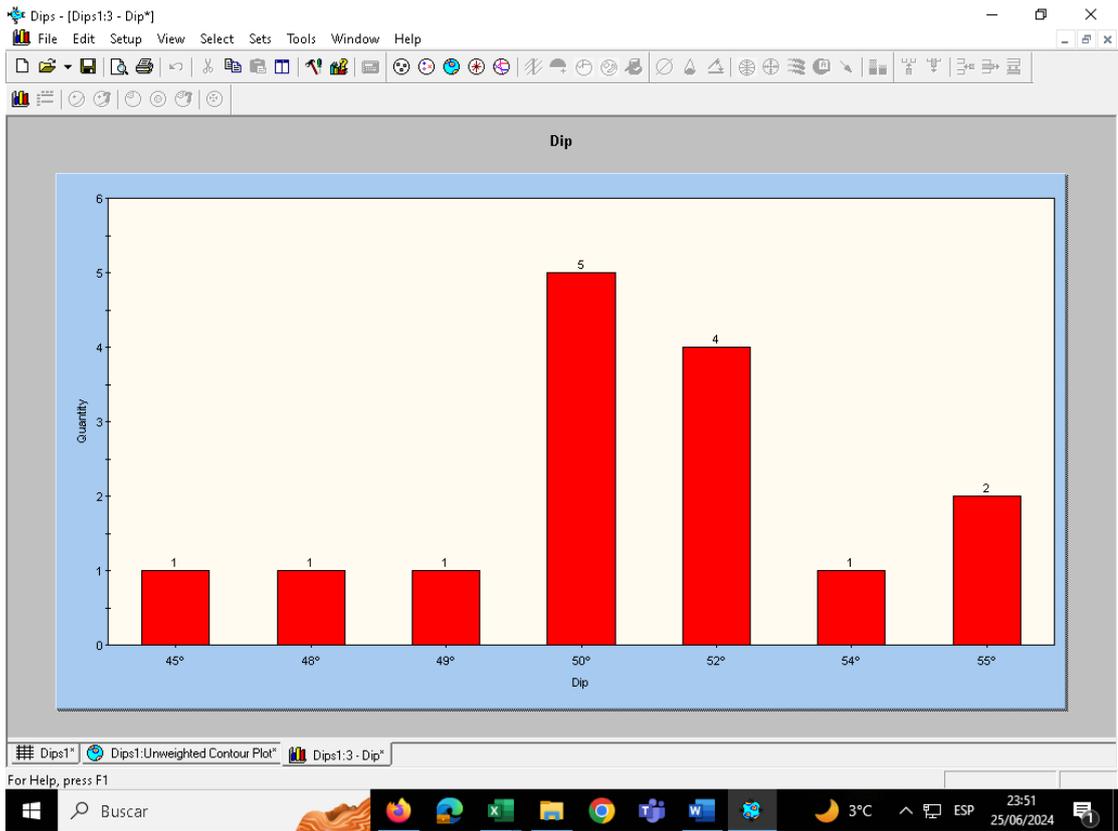


Figura 15. Moda del Dip (5 discontinuidades con un Dip de 55°)

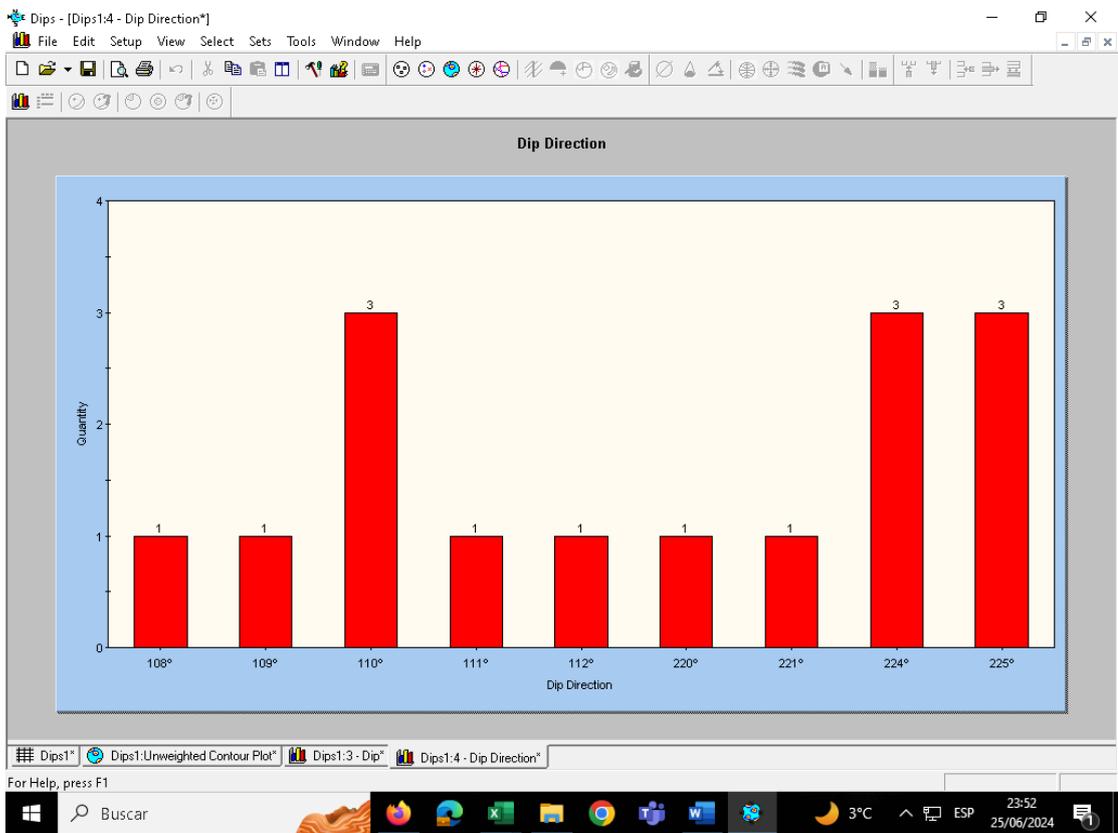


Figura 16. Moda del Dip direction (3 discontinuidades con un Dip direction de 110°, familia 1, 3 discontinuidades con un Dip direction de 224° y 225°)

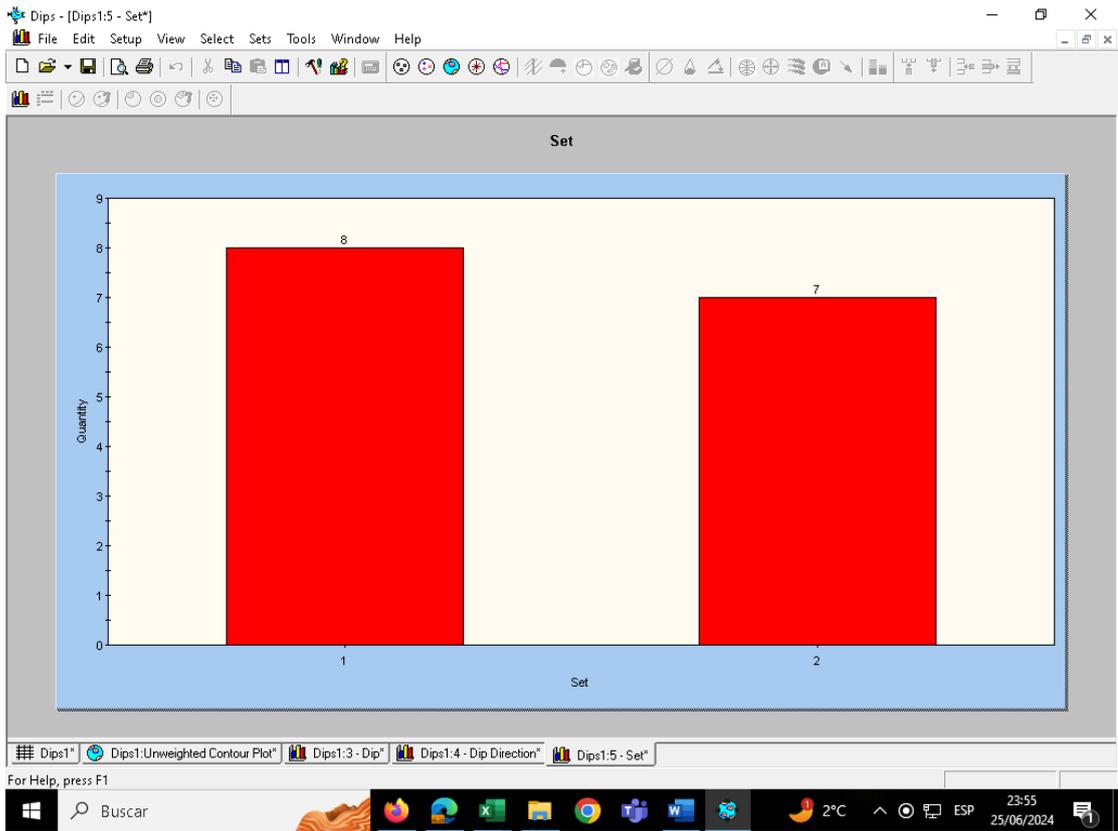


Figura 17. Moda del set de familias de discontinuidades (familia 1 = 8 discontinuidades familia 2 = 7 discontinuidades)

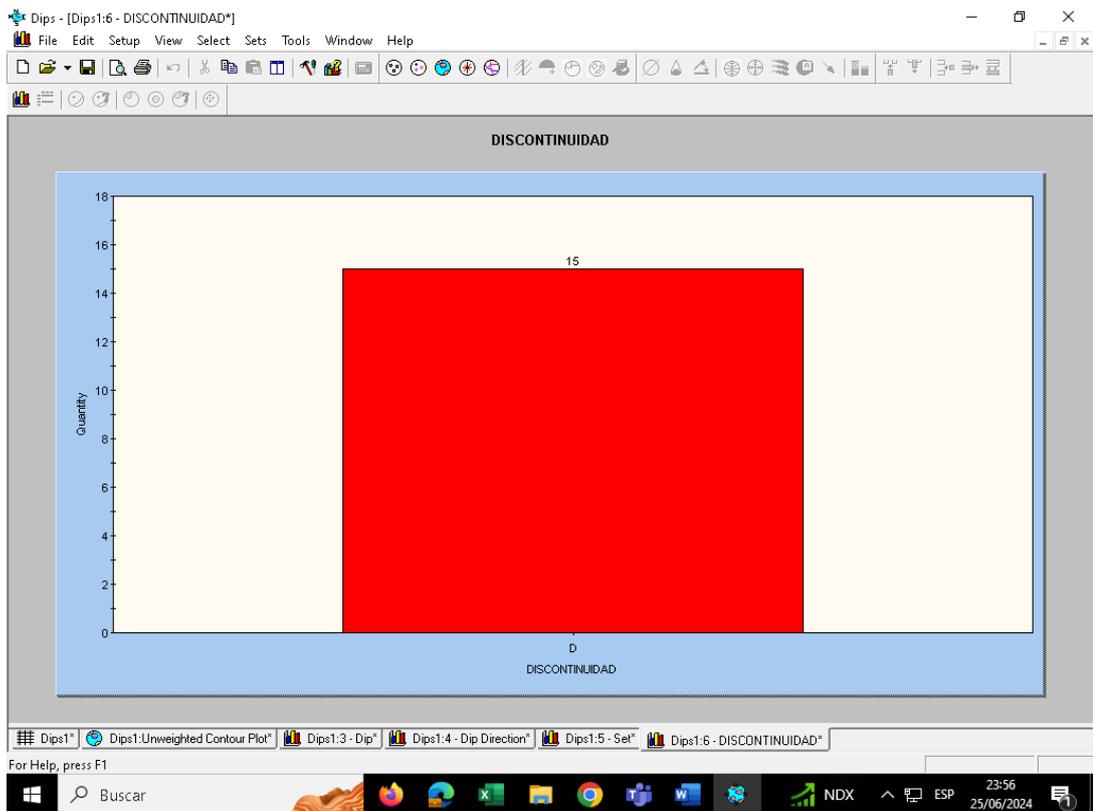


Figura 18. Moda de las discontinuidades está conformada por diaclasas

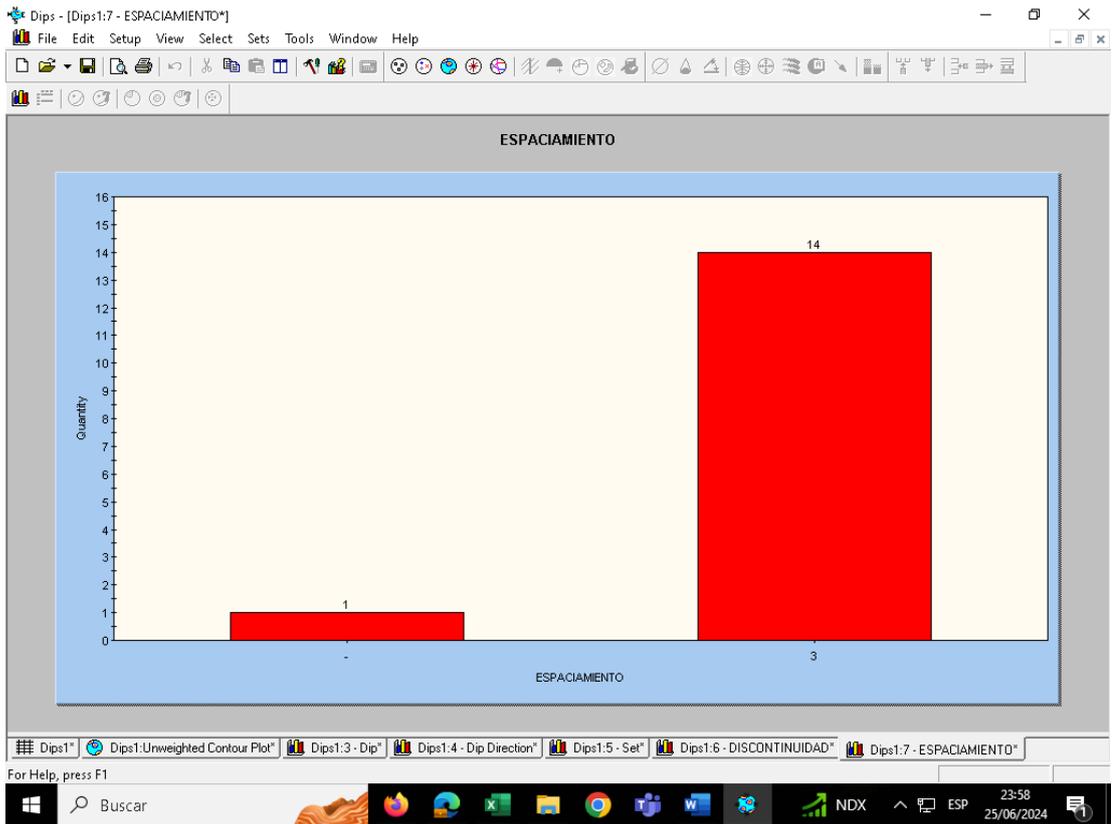


Figura 19. Moda del espaciamiento (14 diaclasas tipo 3; entre el intervalo de 0.2 – 0.6 m)

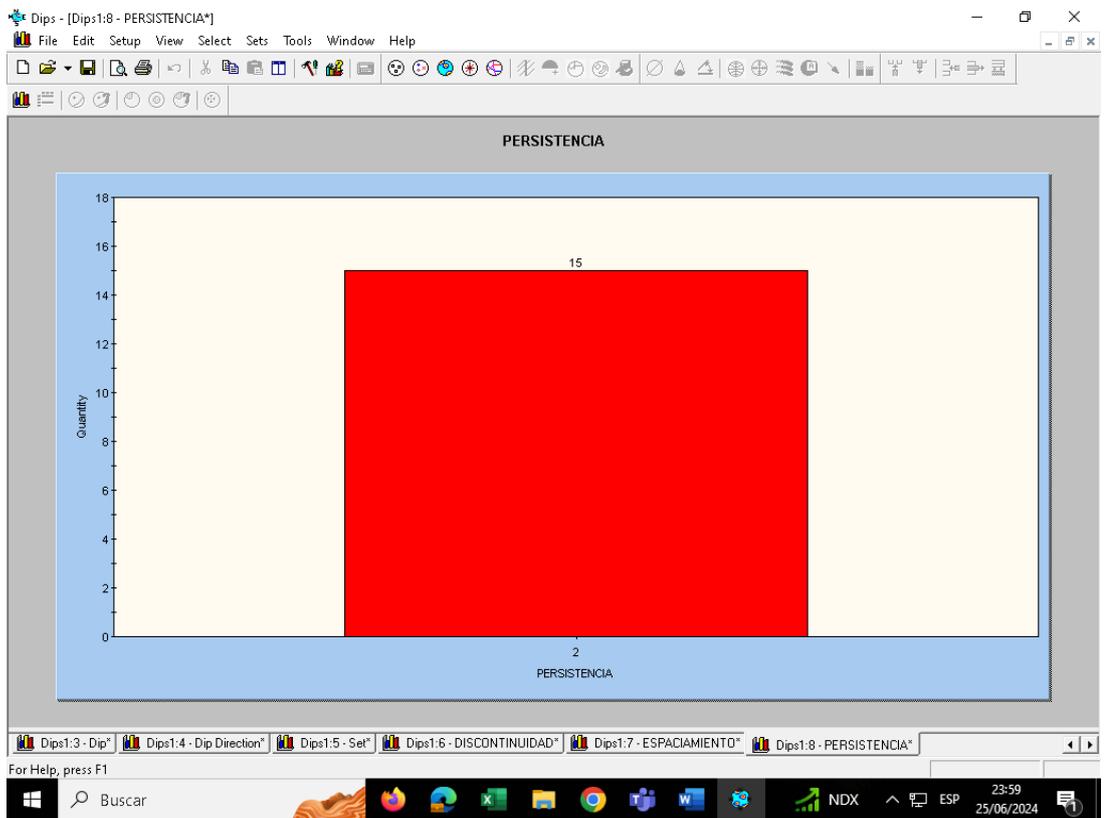


Figura 20. Moda de la persistencia (15 diaclasas tipo 2; entre el intervalo de 1 – 3 m)

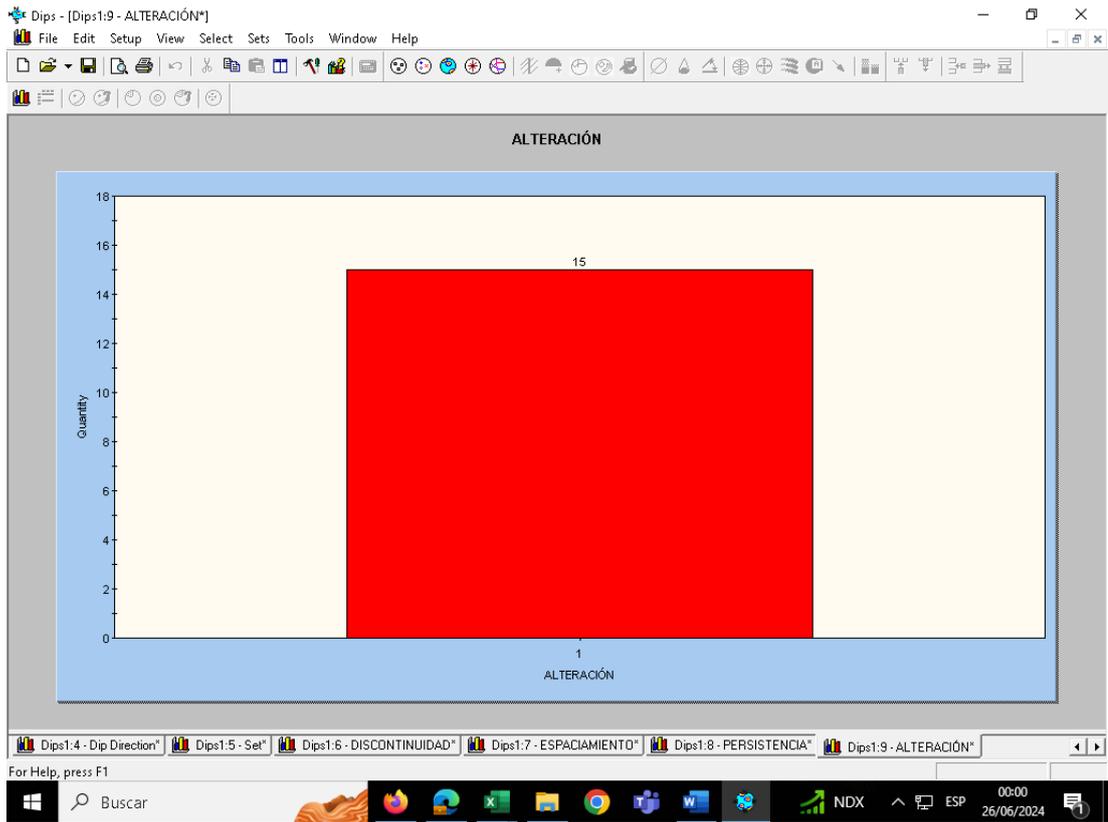


Figura 21. Moda de la alteración (15 diaclasas tipo 1; se encuentra en la categoría de sana)

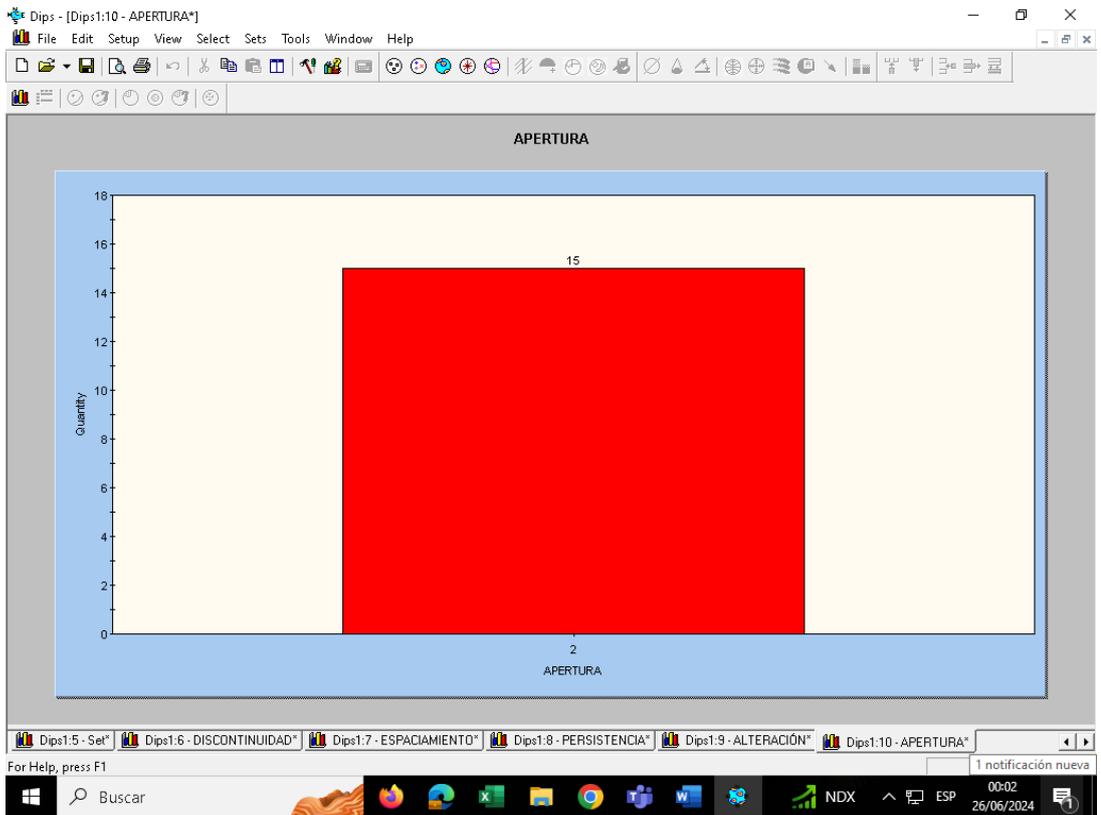


Figura 22. Moda de la apertura (15 diaclasas tipo 2; se encuentra en la categoría 2. $M. ang < 0.1$)

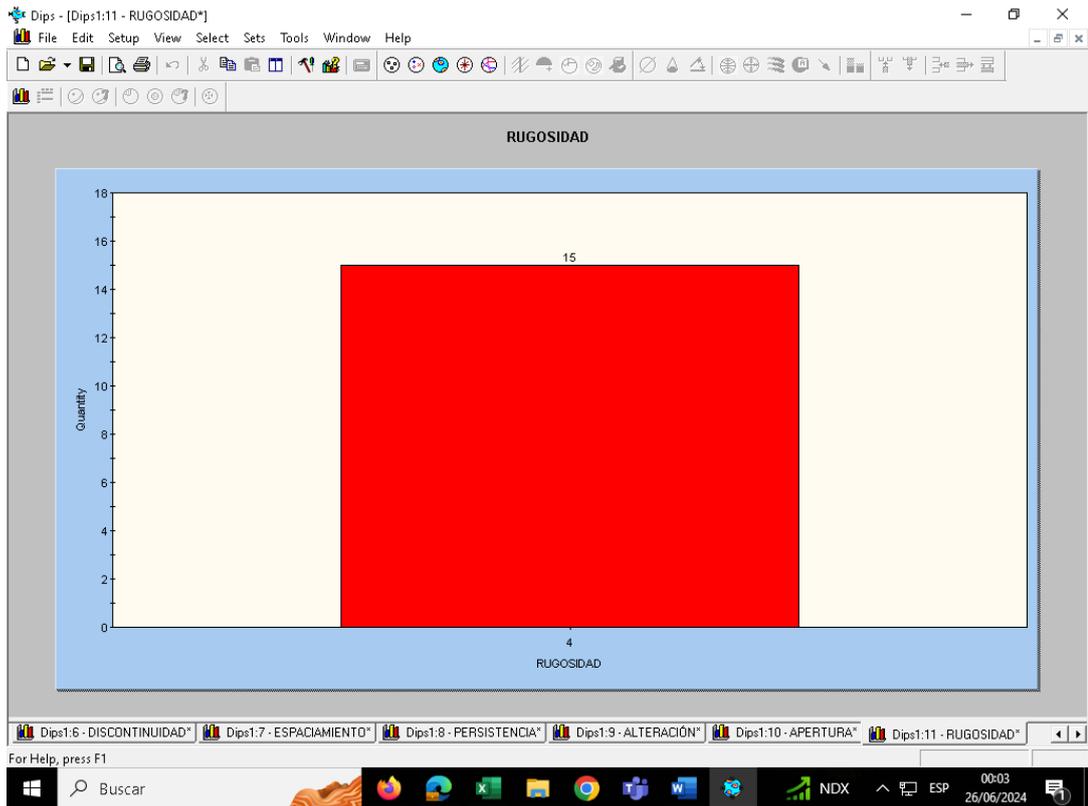


Figura 23. Moda de la apertura (15 diaclasas; se encuentra en la categoría 4, Lisa)

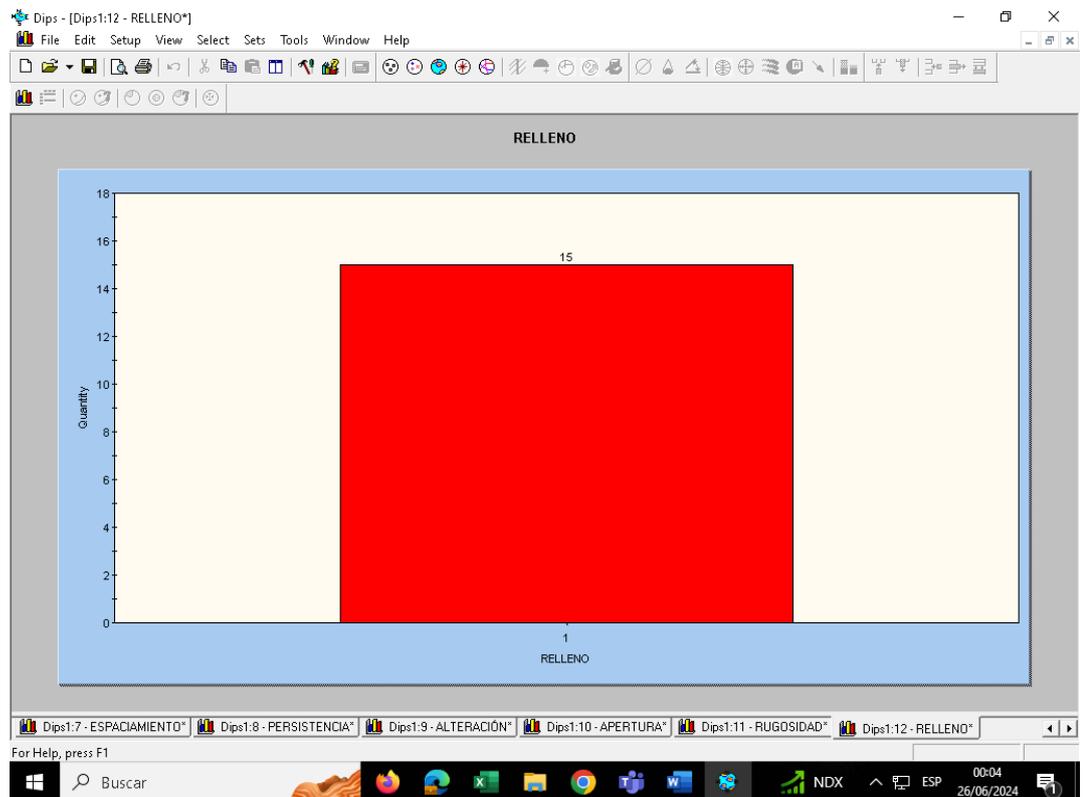


Figura 24. Moda del relleno (15 diaclasas; se encuentra en la categoría 1, Limpio)

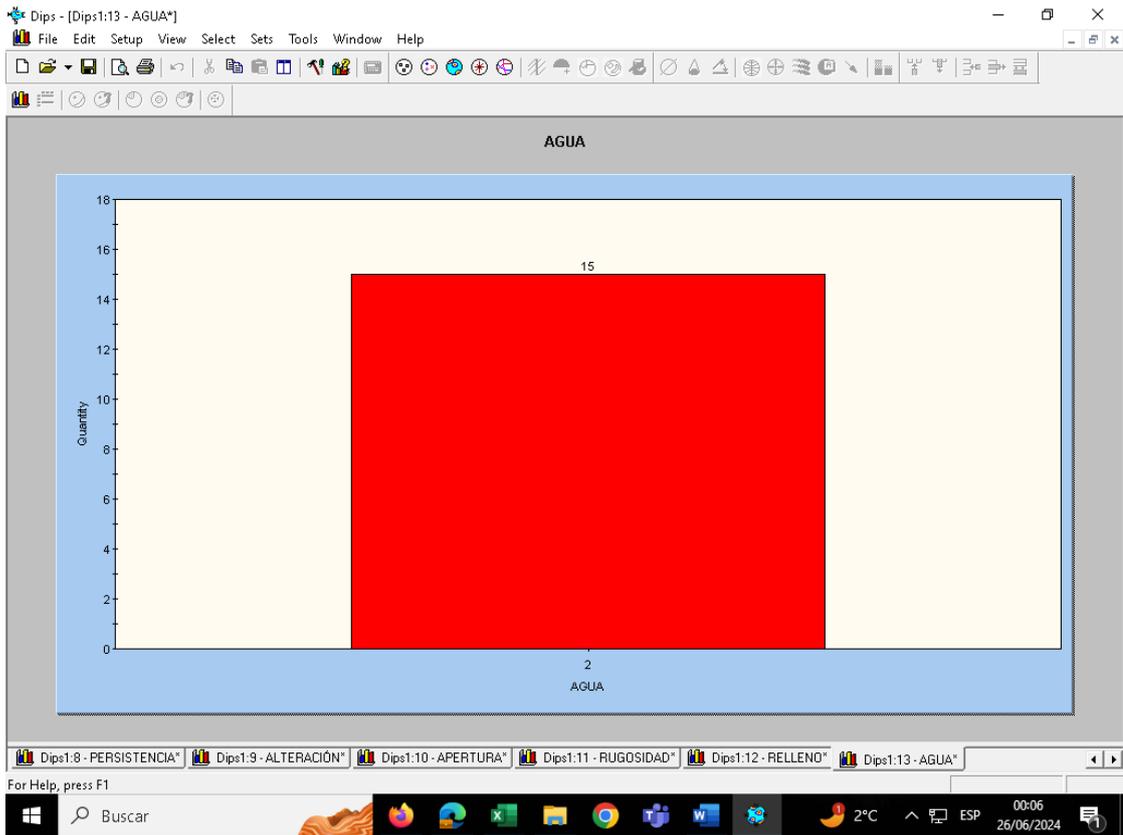


Figura 25. Moda del agua (15 diaclasas; se encuentra en la categoría 2, Húmedo)

- Rumbo perpendicular el eje de la excavación

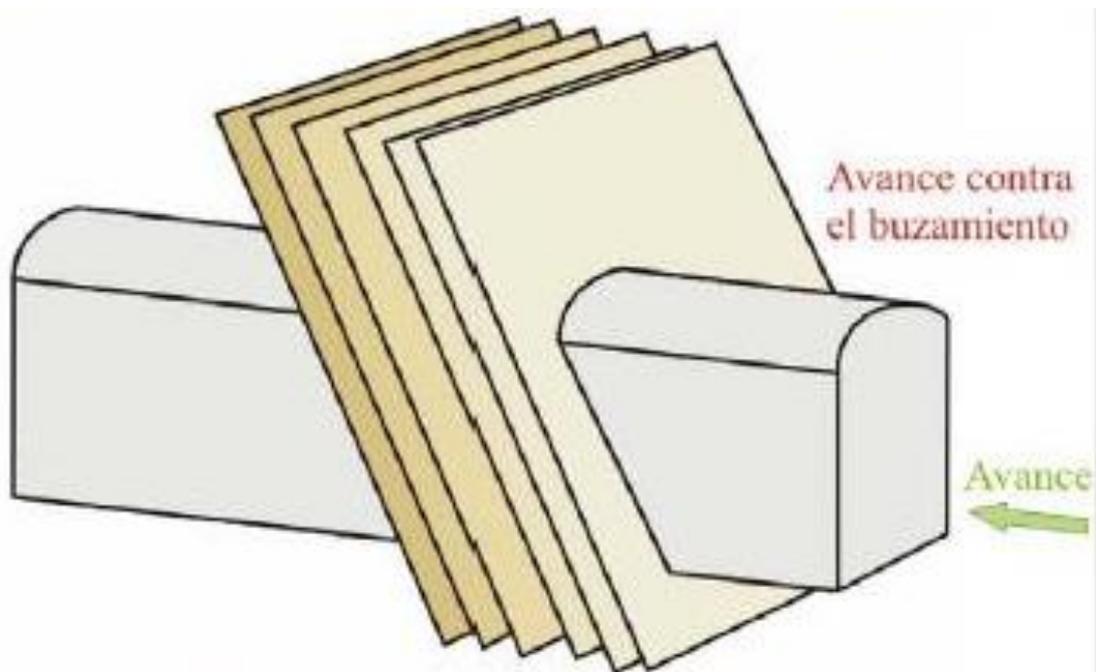


Figura 26. Condición regular: cuando el buzamiento es de $45^\circ - 90^\circ$

➤ Resumen del procesamiento en el Software Dips

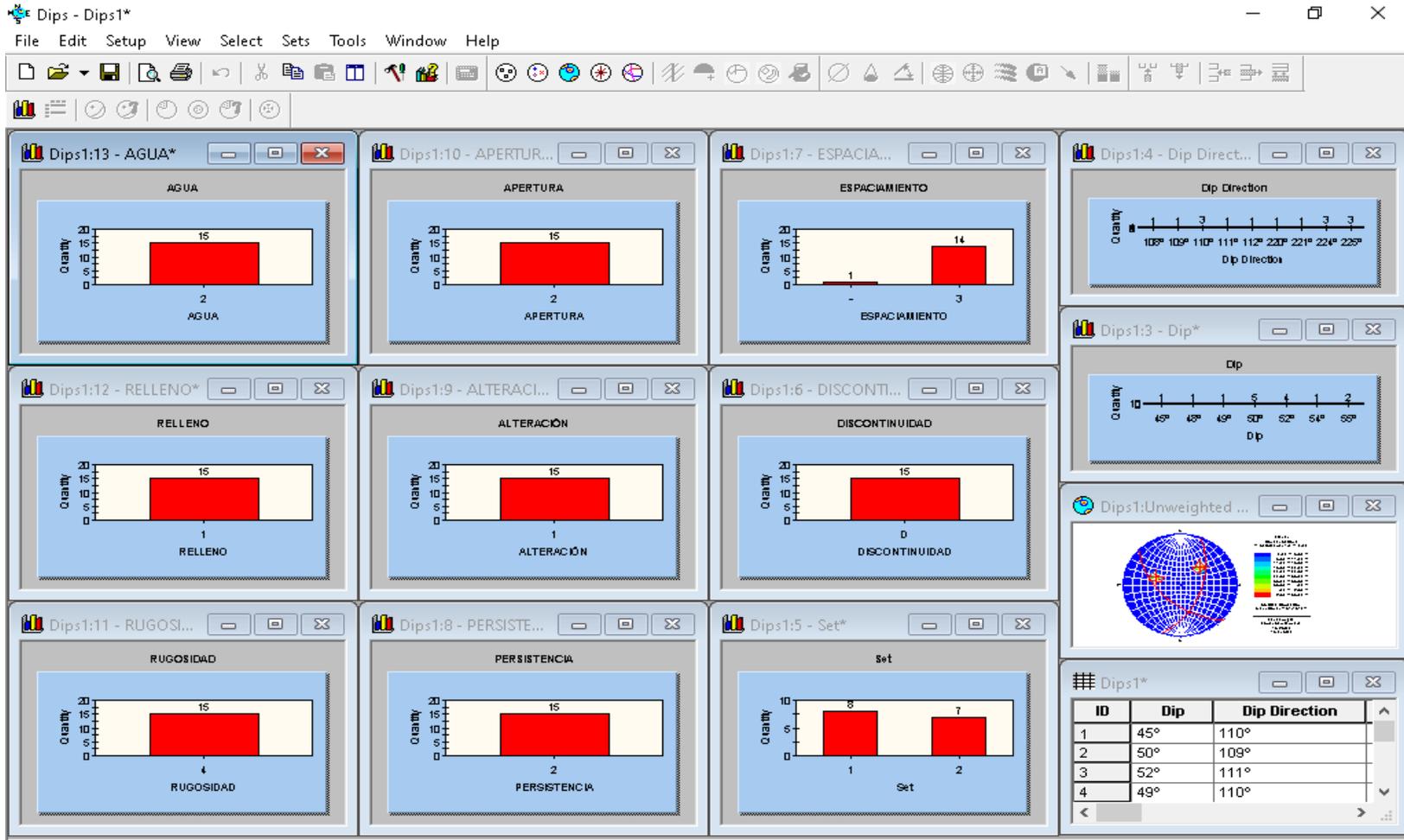


Figura 27. Resumen del procesamiento en el software Dips

- **Cálculo del Rock Quality Designation RQD**

Tabla 15. Rock Quality Designation (RQD)

# Fractura/ml	RQD
1	99.5
2	98.3
3	96.3
4	93.9
5	91.0
6	87.8
7	84.4
8	80.9
9	77.3
10	73.6
11	69.9
12	66.3
13	62.7
14	59.2
15	55.8
16	52.5
17	49.4
18	46.3
19	43.4
20	40.6

RQD = 55.8%

- **Resumen de datos de las propiedades de las discontinuidades**

Tabla 16. Resumen de datos de las propiedades de las discontinuidades

Dirección para la construcción del inclinado	Perpendicular contra el buzamiento
Dips direction	110°
Dip	50 – 52°
Resistencia a compresión uniaxial	166.72 MPa
Rock Quality Designation (RQD)	55.8%
Espaciamiento	0.2 – 0.6
Persistencia	1 - 3
Apertura	M. ang < 0.1
Rugosidad	Lisa
Relleno	Limpio
Alteración	Sana
Presencia de agua	Húmedo

4.4.3 Modelamiento en el Geotable

- Cartilla geomecánica de Bieniawski (RMR)



Figura 28. Modelamiento en el Geotable

Clasificaciones Geomecánicas

Regresar Convertidor Salir

Correlaciones y Conceptos Generales **MRMR** GSI SMR

RMR **Q de Barton**

Rock Mass Rating (Calidad del Macizo Rocoso)

Resistencia de la Roca Inalterada

Indice de Carga Puntual (MPa) > 10MPa 4-10MPa 2-4MPa 1-2MPa

Resistencia a la compresión uniaxial (MPa) > 250MPa 100-250MPa 50-100MPa 25-50MPa 5-25MPa 1-5MPa < 1MPa

Rating 12

Corrección por orientación de las discontinuidades

RQD (Indice de calidad de la roca)

50-75 %

Rating 13

Espaciamiento de discontinuidades

200-600mm

Rating 10

Condición de discontinuidades

Persistencia 1-3m Apertura <0.1mm Rugosidad Pulido

Relleno Ninguno Meteorización Inalterado

Rating 21

Presencia de agua

Caudal en 10m túnel (l/min) Ninguno Gw/G3 (Presión del agua/esfuerzo principal) 0

Estado Seco

Rating 15

Rating 71

Calcular Ver reporte

1 notificación nueva

12:52 26/06/2024

Figura 29. Ingreso de datos: cartilla geomecánica RMR – Geotable
 Tabla 17. Reporte de la evaluación geomecánica cartilla RMR- Geotable

Reporte RMR

RMR

71

Ver ejemplo

Clase de masa rocosa determinadas por las valoraciones totales

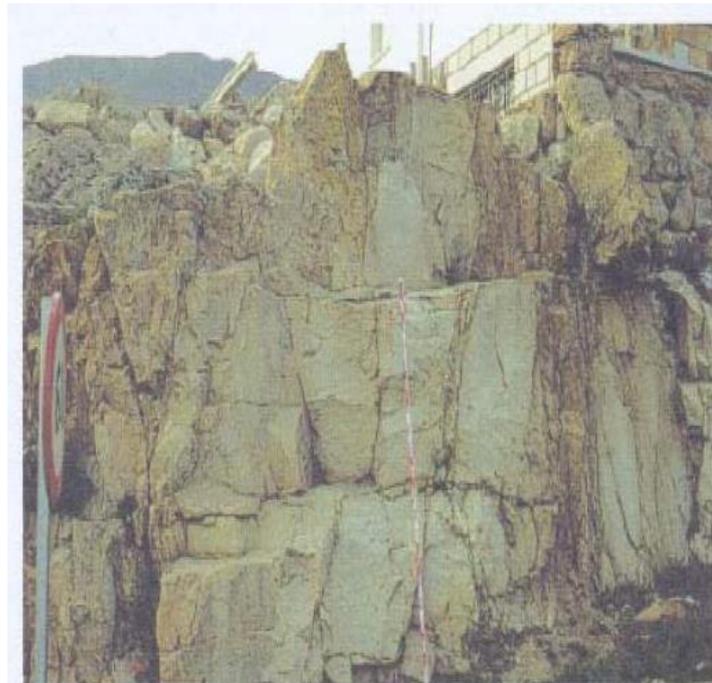
Valoración	80 - 61
Número de clase	II
Descripción	Roca buena

Significado de las clases de rocas

Número de clase	II
Tiempo de auto sostenimiento	1 año span 10 m
Cohesión de la masa rocosa KPa	300 - 400
Ángulo de fricción de masa rocosa	35° - 45°

Pautas para la excavación y sostenimiento de un túnel rocoso de 10 m de ancho de acuerdo con el sistema RMR

CLASE DE MASA ROCOSA	EXCAVACION	PERNOS DE ROCA (20 MM DE DIAMETRO, COMPLETAMENTE INYECTADOS)	SHOTCRETE	CIMBRAS
II - Roca buena RMR: 61 - 80	Frente completo 1 - 1.5 m de avance. Sostenimiento completo a 20 m del frente	Localmente, pernos de 3 m en la corona, espaciados a 2.5 m con malla de alambre ocasionalmente	50 mm en la corona donde sea requerido	Ninguno



Granito. Calidad buena. Varias familias de discontinuidades alteradas.

Figura 30. Sugerencia de macizo rocoso evaluada geomecánica cartilla RMR- Geotable

4.4.4 Evaluación de tensiones

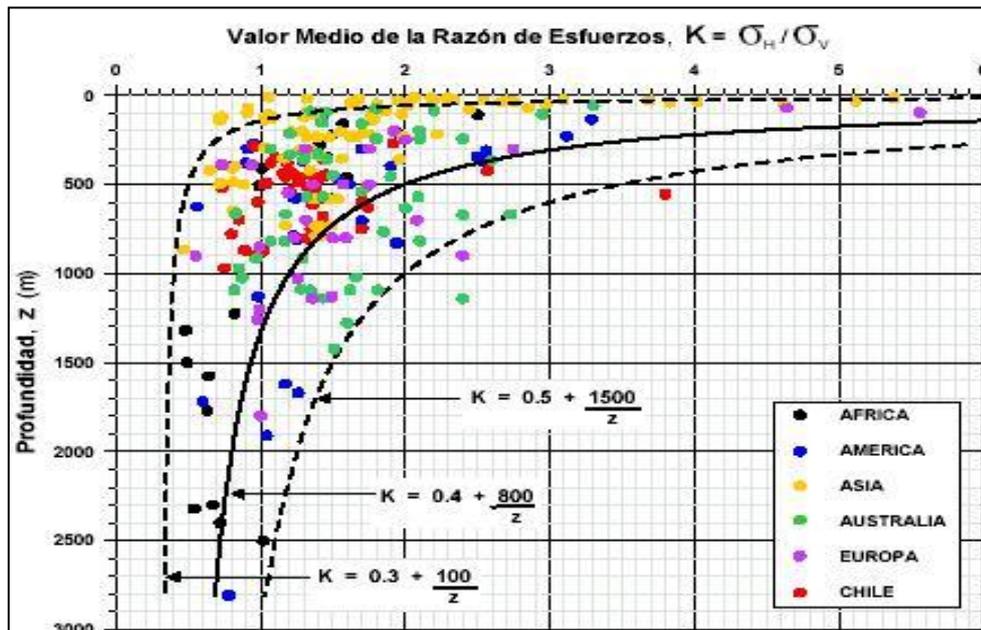


Figura 31. Valor medio de la razón de esfuerzos $k = \sigma_h / \sigma_v$

- **Fórmulas**

- ✓ $\sigma_v = 0.027 \cdot H$ (esfuerzo vertical)
- ✓ $\sigma_h = k \cdot 0.027 \cdot H$ (esfuerzo horizontal)

- **Datos**

- ✓ Densidad = 2.61 t/m³
- ✓ Profundidad = 50 m

- **Cálculo del esfuerzo vertical**

- ✓ $\sigma_v = 0.027 \text{ t/m}^3 \cdot 50 \text{ m}$
- ✓ $\sigma_v = 135 \text{ t/m}^2$
- ✓ $\sigma_v = 1.324 \text{ MPa}$

- **Cálculo del esfuerzo horizontal**

- **Cálculo del factor k**

$$K = 0.3 + \frac{100}{Z}$$

- ✓ Fórmula considerada del ábaco de esfuerzos

$$K = 0.3 + \frac{100}{50}$$

$$K = 2.3$$

- **Cálculo del esfuerzo horizontal**

- ✓ $sh = 2.3 * 0.027 \text{ t/m}^3 * 50 \text{ m}$

- ✓ $sv = 310.5 \text{ t/m}^2$

- ✓ $sv = 3.04 \text{ MPa}$

4.4.5 Evaluación del sistema de sostenimiento

- **Longitud del perno**

- **Fórmula**

- ✓ $L = 1.4 + (0.18*B)$

- ✓ Donde

- ✓ $L = \text{Longitud del perno}$

- ✓ $B = \text{ancho de minado}$

- **Datos**

$$B = 2.0 \text{ m}$$

$$L = 1.4 + (0.18*2.0)$$

$$L = 1.76 \text{ m}$$

$$L = 5 \text{ pies}$$

- **Espaciado de pernos**

- **Parámetros**

- ✓ $L = \text{Longitud del perno}$

- ✓ $E = \text{Espaciamiento entre pernos}$

- ✓ $L/E = 1.5 \text{ Calidad de roca regular}$

- ✓ $L/E = 2.0 \text{ Calidad de roca mala}$

Tabla 18. Espaciado de pernos
Calidad de roca regular

L	E
1.5	1
2.1	1.4

4.4.6 Modelamiento software RocData 3

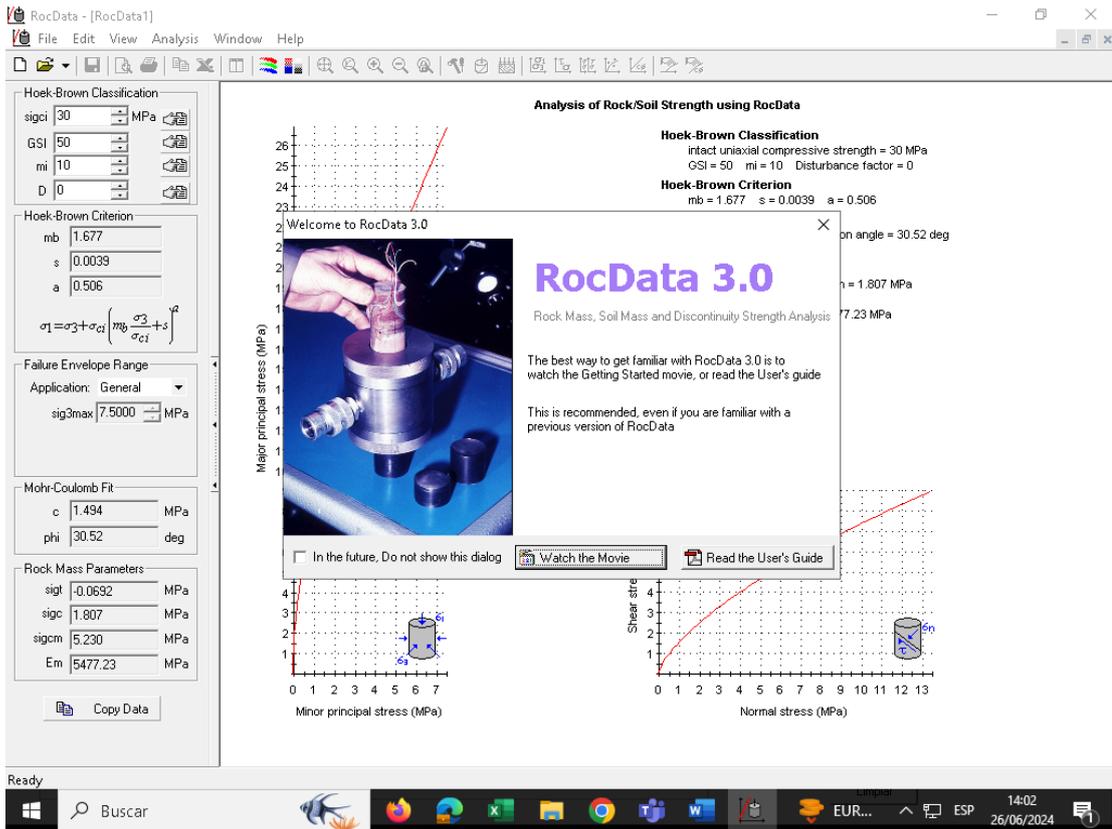


Figura 32. Modelamiento software RocData 3

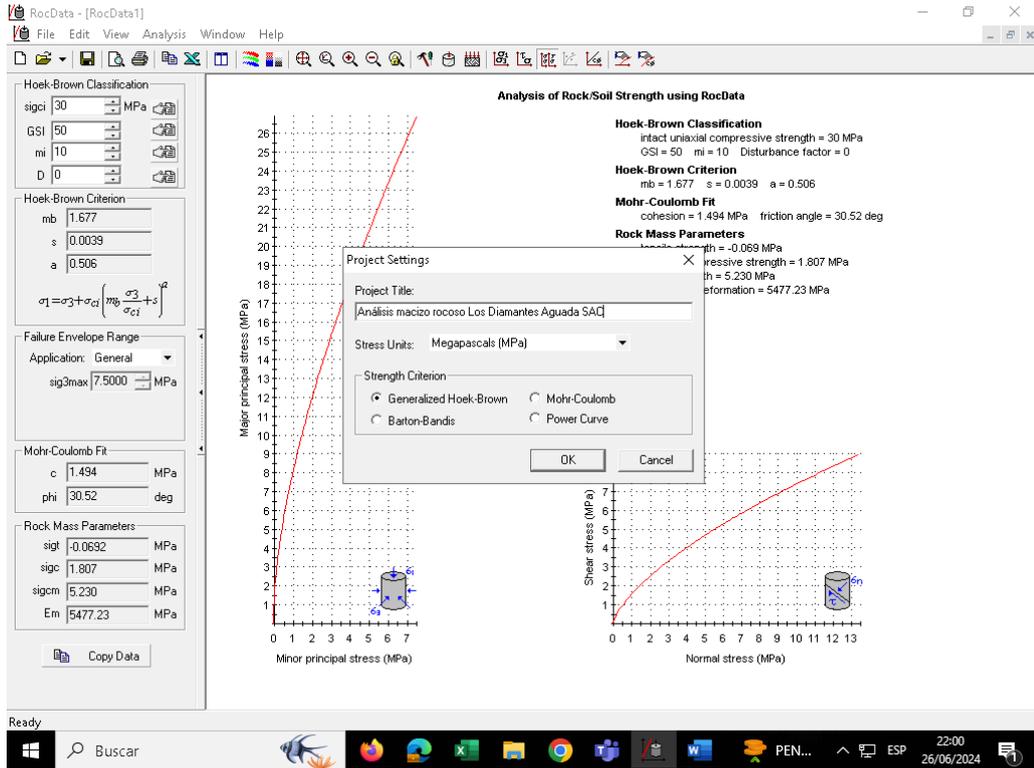


Figura 33. Configuración del proyecto

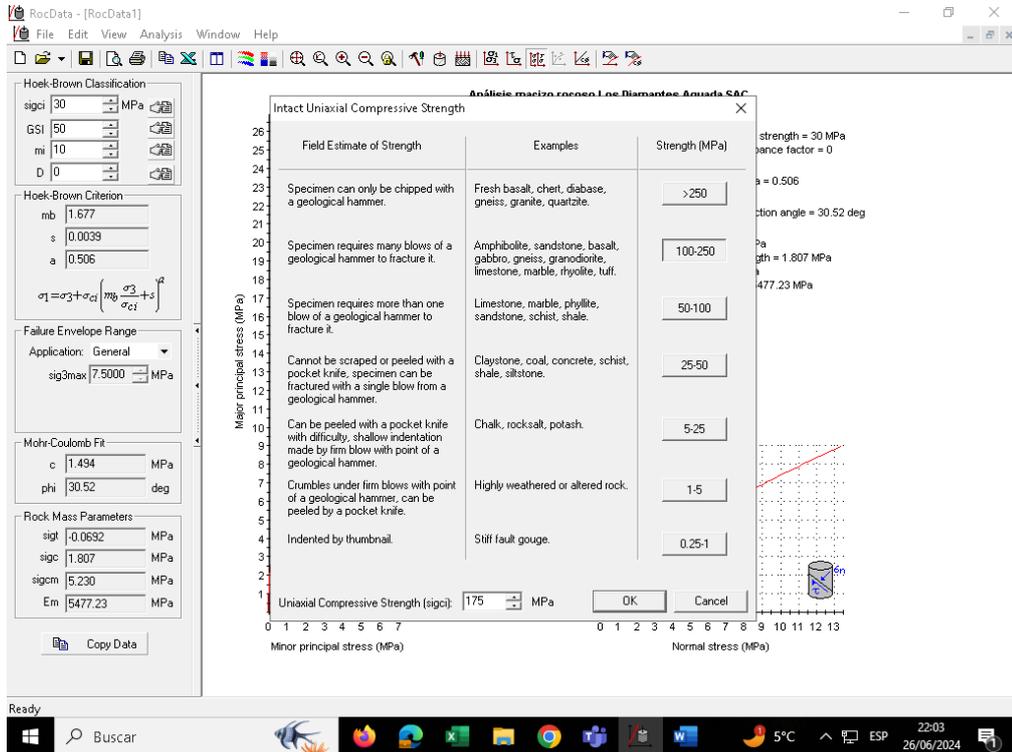


Figura 34. Configuración de la resistencia a compresión uniaxial

- ✓ GSI=RMR₈₉-5
- ✓ GSI = 71 - 5 = 66

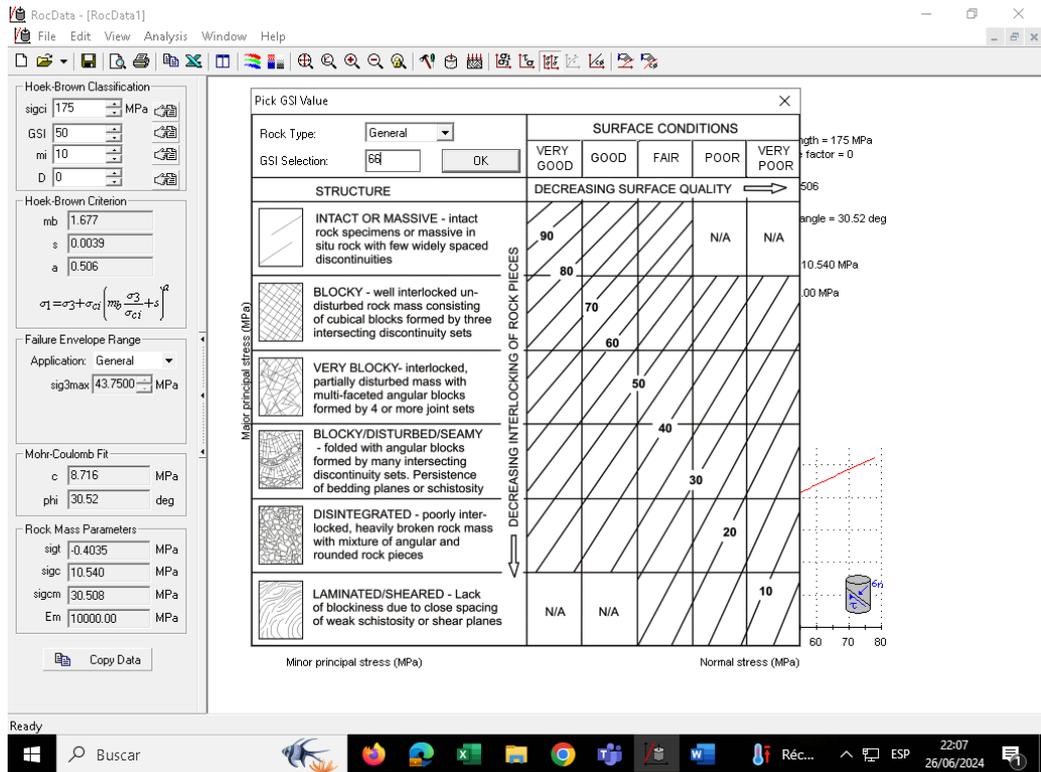


Figura 35. Ingreso del valor del GSI (grado de fracturamiento)

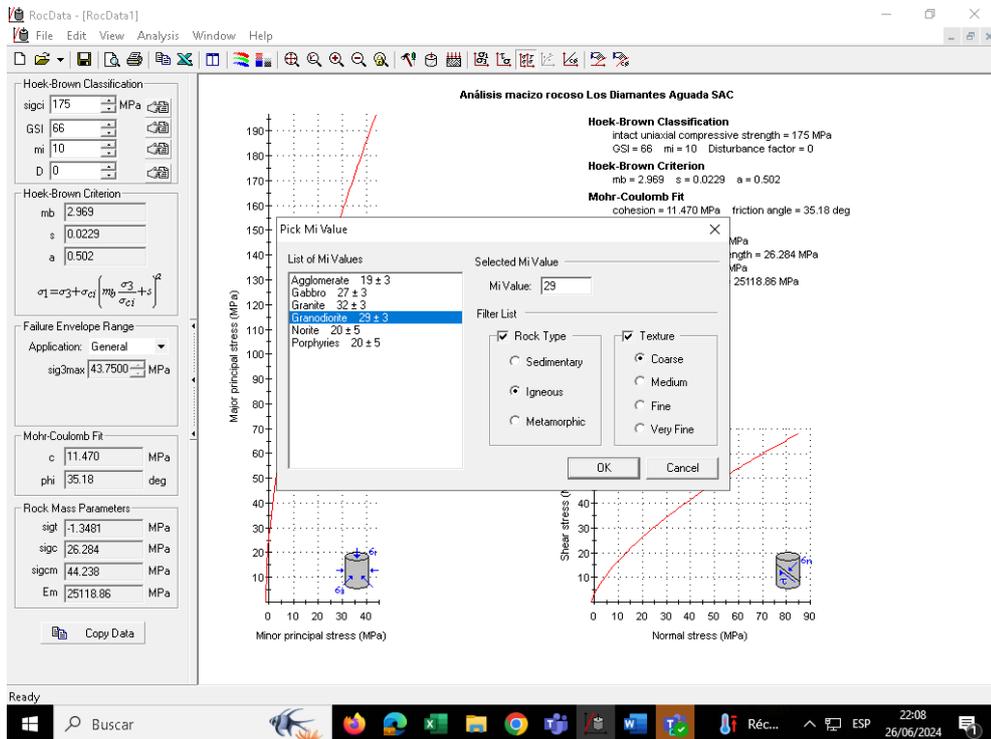


Figura 36. Selección del tipo de roca del macizo rocoso (granodiorita) (mi)

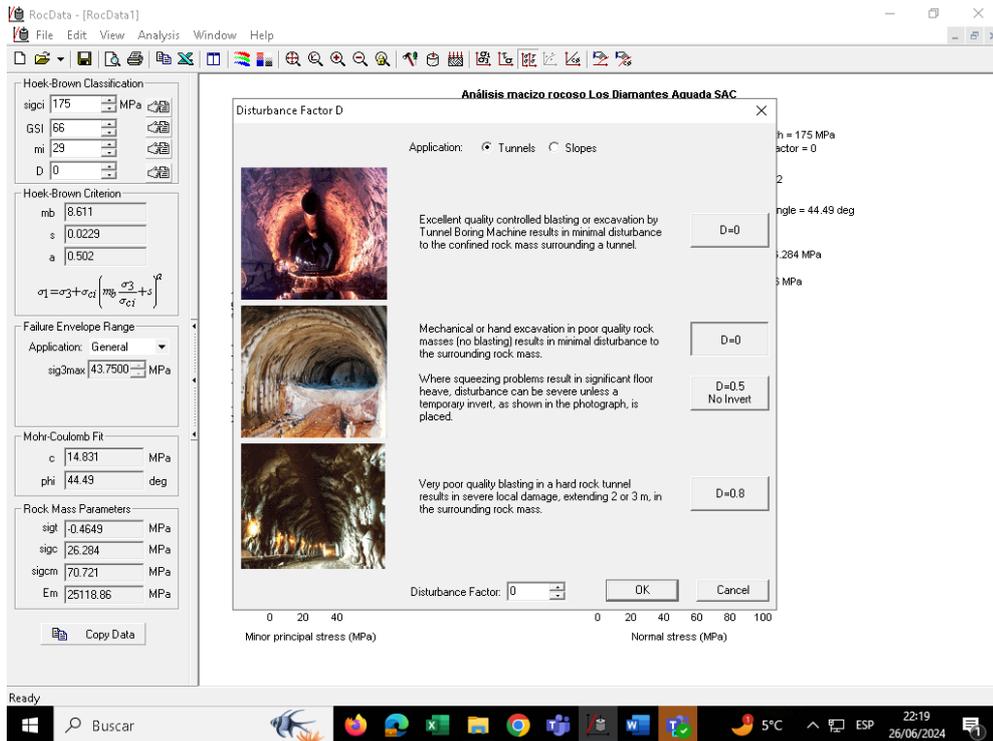


Figura 37. Selección del tipo de disturbancia Factor D

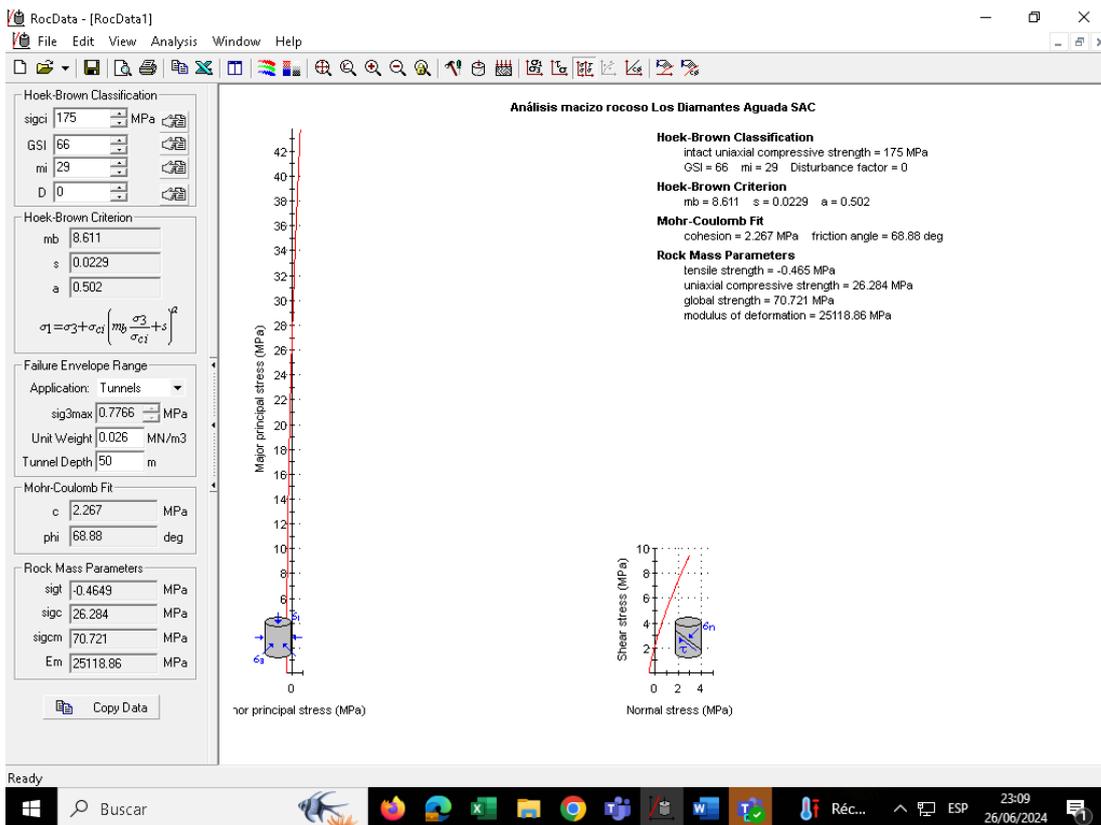


Figura 38. Resultado del análisis esfuerzo principal mayor

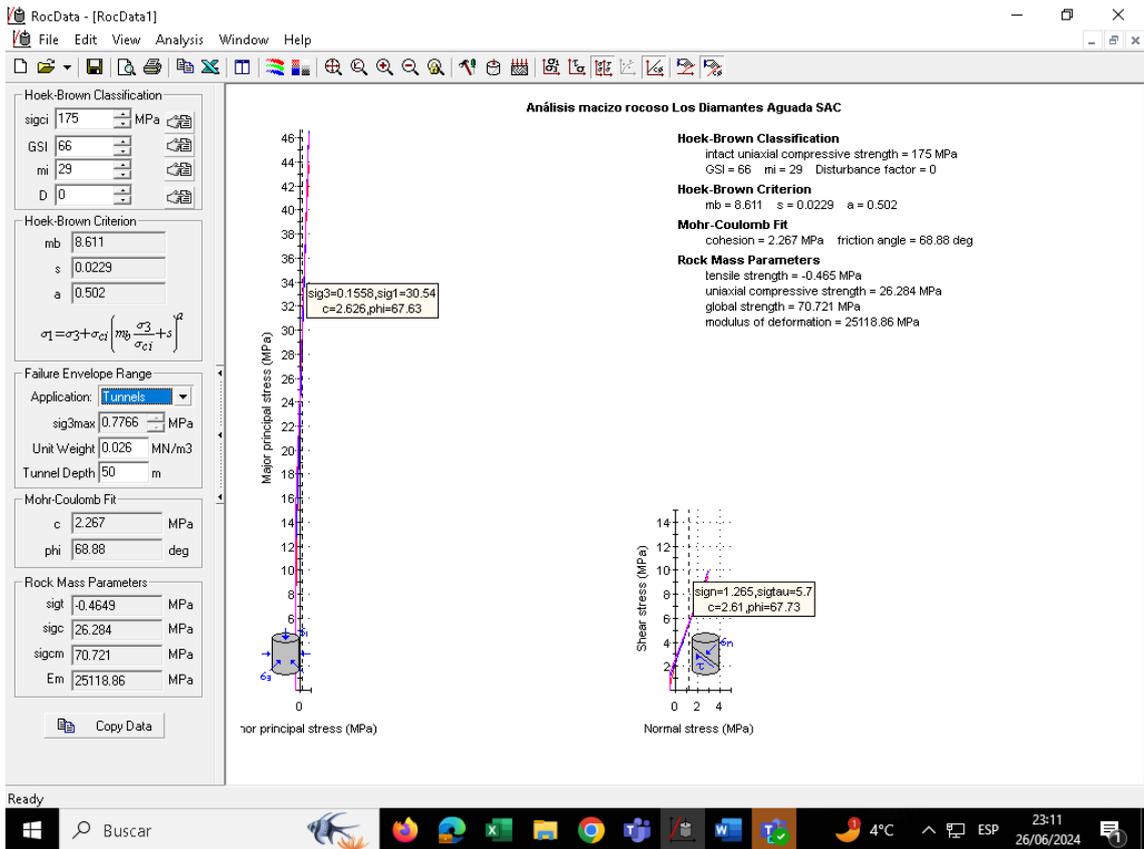


Figura 39. Resultado del análisis esfuerzo principal mayor y grado de fracturamiento

Tabla 19. Resultados de la evaluación del macizo rocoso mediante la clasificación de Hoek – Brown

Hoek-Brown Classification	
sigci	175 MPa
GSI	66
mi	29
D	0
Hoek-Brown Criterion	
mb	8.61074
s	0.0228735
a	0.501834
Failure Envelope Range	
Application	Tunnels
sig3max	0.776565 MPa
Unit Weight	0.026 MN/m3
Tunnel Depth	50 m
Mohr-Coulomb Fit	
c	2.26706 MPa

phi	68.8809 degrees
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.464868 MPa
sigc	26.2842 MPa
sigcm	70.7213 MPa
Em	25118.9 MPa

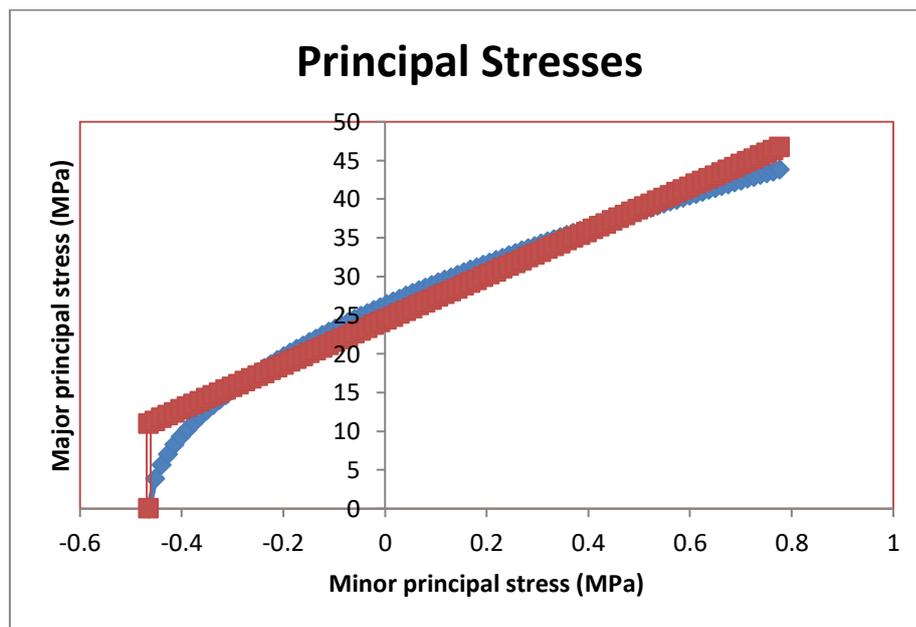


Figura 40. Muestra la relación entre los esfuerzos principales σ_1 y σ_3

Los resultados obtenidos de RocData deben ser interpretados en el contexto de las condiciones geológicas y geotécnicas del sitio. La calidad del macizo rocoso, representada por el GSI = 66 y la resistencia del material intacto ($\sigma_{ci} = 26.284$ MPa), junto con los parámetros de deformación, proporcionan una imagen completa del comportamiento del macizo bajo diferentes condiciones de carga.

4.5 Discusión de resultados

HE N°1. La relación que existe entre los ensayos de campo y laboratorio de las propiedades geomecánicas de la roca intacta influyen directamente en la viabilidad de la construcción de un inclinado.

Respecto a esta hipótesis, la investigación concluyó que se comprobó que la información integrada de los ensayos de campo y laboratorio permitió optimizar el diseño del inclinado, seleccionando métodos de excavación y sistemas de soporte más adecuados, lo que mejora la

eficiencia y reduce los costos del proyecto. También permite prever y gestionar mejor los riesgos asociados con las condiciones geotécnicas del sitio. De igual manera, la caracterización precisa y completa del macizo rocoso mediante ensayos de campo y laboratorio contribuye a garantizar la seguridad de la construcción y operación del inclinado. Además, facilita la implementación de prácticas sostenibles al minimizar la necesidad de intervenciones correctivas y reducir el impacto ambiental del proyecto.

Según Cunyas (2) en la tesis titulada: «Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en el XC 876, NV 21 – zona vetas, Unidad Minera Americana» en una de sus conclusiones establece que se determinó que las características del macizo rocoso tuvieron un impacto significativo en la elección del tipo de soporte para el nivel 21 XC 876. Estas propiedades incluyeron aspectos como la resistencia a la compresión, el espaciamiento entre discontinuidades, la persistencia, las aperturas, la rugosidad, el relleno y la meteorización. Se concluyó que estas propiedades son esenciales para definir la calidad del macizo rocoso y, por ende, el tipo de soporte necesario.

Comparando ambas investigaciones se puede afirmar que se comparte opinión respecto a sus conclusiones respecto que para la puesta en un proyecto se deberá realizar las evaluaciones mecánicas de la roca intacta y del macizo rocoso con la finalidad de determinar el sostenimiento que se deberá colocar en la labor minera; este soporte deberá ser el óptimo tanto para el personal como los equipos.

HE N°2. La evaluación de las condiciones geomecánicas influyen directamente en la viabilidad de la construcción de un inclinado.

Respecto a esta hipótesis, la investigación concluyó que se verificó mediante la evaluación de las condiciones geomecánicas que éstas están intrínsecamente relacionada con la viabilidad de la construcción de un inclinado. Proporcionando los datos necesarios para diseñar y ejecutar el proyecto de manera segura, eficiente y sostenible, minimizando riesgos y optimizando recursos. Sin una evaluación geomecánica detallada, la construcción de un inclinado estaría sujeta a incertidumbres significativas, comprometiendo la seguridad, el presupuesto y el cronograma del proyecto.

Según Mendoza (3) en la tesis titulada: «Evaluación geomecánica del macizo rocoso en la construcción y sostenimiento De La Chimenea-2226, por el método Raise Climber Mina Lourdes En La U.E.A Parcoy (Consorcio Minero Horizonte S.A)» en una de sus conclusiones establece que para evaluar la geomecánica de la chimenea CH – 2226, se emplearon seis

parámetros RMR89 de Bieniawski. Estos parámetros incluyen la resistencia del material rocoso, el índice RQD, el espaciado y orientación de las discontinuidades, las condiciones de las estructuras geológicas y las fallas, las filtraciones y la presencia de agua, así como el estado tensional. Los valores del RMR89 en cada estación clasificaron el macizo rocoso como tipo IV-mala A en las estaciones P-01 y P-02, ubicadas en el nivel CX – 2226, y como tipo IV – mala A en las estaciones P-03, P-04 y P-05 en la chimenea CH -2226, debido a la alta fracturación y presencia de agua que contribuye a la inestabilidad.

Comparando ambas investigaciones se puede afirmar que se comparte opinión respecto a sus conclusiones respecto que para la puesta en un proyecto se deberá realizar las evaluaciones mecánicas de la roca intacta y del macizo rocoso con la finalidad de determinar el sostenimiento que se deberá colocar en la labor minera; este soporte deberá ser el óptimo tanto para el personal como los equipos.

CONCLUSIONES

1. Se comprobó que la caracterización geomecánica del macizo rocoso alcanzó un RMR de 71 puntos, lo que corresponde a roca buena (IIa), el ángulo de fricción de masa rocosa entre 35° a 45° , la cohesión de la masa rocosa de 300 – 400 KPa. Estos resultados son fundamentales para asegurar la viabilidad técnica y económica de la construcción del inclinado en la empresa minera Los Diamantes de Aguada S.A.C. La información obtenida de este análisis permitió diseñar el sistema de sostenimiento conformado por pernos de 1.5 m para colocar en la corona espaciados a 1 m con alambre ocasional; de lo contrario se podrá colocar *shotcrete* con un espesor de 50 mm en la corona o donde sea requerido, esto permite planificar y ejecutar el proyecto de manera segura, eficiente y sostenible, garantizando así el éxito de la operación minera y la protección del entorno y del personal involucrado.
2. Se comprobó que la información integrada de los ensayos de campo y laboratorio permitió optimizar el diseño del inclinado, seleccionando métodos de excavación y sistemas de soporte más adecuados, lo cual mejora la eficiencia y reduce los costos del proyecto. También permite prever y gestionar mejor los riesgos asociados con las condiciones geotécnicas del sitio. De igual manera, la caracterización precisa y completa del macizo rocoso mediante ensayos de campo y laboratorio contribuye a garantizar la seguridad de la construcción y operación del inclinado. Además, facilita la implementación de prácticas sostenibles al minimizar la necesidad de intervenciones correctivas y reducir el impacto ambiental del proyecto.
3. Se verificó mediante la evaluación de las condiciones geomecánicas que éstas están intrínsecamente relacionada con la viabilidad de la construcción de un inclinado. Proporcionando los datos necesarios para diseñar y ejecutar el proyecto de manera segura, eficiente y sostenible, minimizando riesgos y optimizando recursos. Sin una evaluación geomecánica detallada, la construcción de un inclinado estaría sujeta a incertidumbres significativas, comprometiendo la seguridad, el presupuesto y el cronograma del proyecto.

RECOMENDACIONES

1. Luego de haber comprobado que las propiedades del macizo rocoso permiten diseñar el inclinado de manera más eficiente optimizando el uso de materiales y recursos, se recomienda realizar un diseño basado en datos precisos minimiza el riesgo de colapsos y reduce los costos de mantenimiento y reparación.
2. Luego de haber comprobado que la información integrada de los ensayos de campo y laboratorio permitió optimizar el diseño del inclinado para la empresa minera Los Diamantes de Aguada S. A. C., es imperativo realizar una caracterización geomecánica detallada del macizo rocoso antes de proceder con la construcción del inclinado de la labor minera, considerando los siguientes criterios: estudios geológicos y geotécnicos, modelado geomecánico, efectuar la evaluación de riesgos, del mismo modo implementar un sistemas de soporte, monitoreo continuo y una permanente capacitación del personal inmerso en el proyecto.
3. Se verifico mediante la evaluación de las condiciones geomecánicas que éstas están intrínsecamente relacionada con la viabilidad de la construcción de un inclinado, se recomienda conocer las características del macizo rocoso lo que permite planificar mejor las operaciones mineras, incluyendo la ubicación de instalaciones, vías de acceso y sistemas de drenaje. Esto contribuye a una operación más fluida y segura

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. AMADO, DIEGO. Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de un sostenimiento adecuado en mina Chaparra, Caravelí, Arequipa - 2021. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Arequipa - Perú : Universidad Tecnológica del Perú, 2022, 90 pp.
2. CUNYAS, Kevin y MANRIQUE, Berkely. Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en el XC 876, NV 21 – zona vetas, Unidad Minera Americana. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo - Perú : Universidad Continental, 2022, 82 pp.
3. MENDOZA, Juan. Evaluación Geomecánica del macizo rocoso en la construcción y sostenimiento de La Chimenea-2226, Por el método raise Climber mina Lourdes En La U.E.A Parcoy (Consorcio Minero Horizonte S.A). Tesis (Título de Ingeniero de Minas).Cajamarca, Perú : Universidad Nacional de Cajamarca, 2022, 130 pp.
4. ALIAGA, Jose. Estimación geomecánica del macizo rocoso para el control de estabilidad zona profundización Unidad Minera Cobriza sector IV. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo, Peru : Universidad Continental, 2022.
5. GONZÁLES de Vallejo, LI. *Ingeniería Geologica*. Madrid : Person Educación S.A., 2004.
6. HERNÁN, J. y ANDRADE Byron. *Introducción a la Ingeniería de túneles*. Quito (Ecuador) : Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador, 2004.
7. MARTÍN, D. *El sostenimiento de túneles basado en las clasificaciones geomecánicas*. . 2003.
8. RAMÍREZ, Pedro. *Mecánica de rocas : fundamentos e ingeniería de taludes*. Madrid : Red DESIR, 2004.
9. SALCEDO, Javier. *El rol funcional de la vegetación de zonas áridas y su influencia en procesos eco-hidrológicos bajo un enfoque a diversas escalas*. 2019.
10. OSINERGMIN. *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre delabores subterráneas*. Lima : s.n., 2017.

11. MENDIETA, Luis. *Optimización de los costos operativos en la Unidad Cerro Chico*. Lima, Peru : Pontificia Universidad Católica del Perú, 2014.
12. HOEK, E. *Rock engineering course notes: tinnels in weak rock*. Canadá : North Vancouver B. C., 2002.
13. DEERE. *Indice de designación de la calidad de la roca (RQD) Rock Quality Design*. . 1984.

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia

	Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable
General	¿De qué manera la caracterización geomecánica del macizo rocoso, influye en la viabilidad de la construcción de un inclinado, empresa minera Los Diamantes de Aguada S.A.C. 2023?	Establecer de qué manera del caracterización geomecánica del macizo rocoso, influye en la viabilidad de la construcción de un inclinado, empresa minera Los Diamantes de Aguada S.A.C. 2023	La caracterización del macizo rocoso, influye en la viabilidad de la construcción de un inclinado, empresa minera Los Diamantes de Aguada S.A.C. 2023	Independiente Caracterización geomecánica del macizo rocoso
				Dependiente Viabilidad
Específicos	a) ¿Qué relación existe entre los ensayos de campo y laboratorio de las propiedades geomecánicas de la roca intacta en la viabilidad de la construcción de un inclinado?	a) Establecer la relación que existe entre los ensayos de campo y laboratorio de las propiedades geomecánicas de la roca intacta en la viabilidad de la construcción de un inclinado.	a) La relación que existe entre los ensayos de campo y laboratorio de las propiedades geomecánicas de la roca intacta influyen directamente en la viabilidad de la construcción de un inclinado.	
	b) ¿De qué manera se relaciona la evaluación de las condiciones geomecánicas con la viabilidad de la construcción de un inclinado?	b) Determinar de qué manera se relaciona la evaluación de las condiciones geomecánicas con la viabilidad de la construcción de un inclinado.	b) La evaluación de las condiciones geomecánicas influyen directamente en la viabilidad de la construcción de un inclinado.	

Anexo 2

Matriz de operacionalización de variables

Variable	Concepto	Dimensión	Unidad
Independiente	La caracterización geomecánica de un macizo rocoso, permite	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ensayos de campo y laboratorio ➤ Condiciones geomecánicas 	RCU, Densidad, Porosidad
Caracterización geomecánica	estimar su comportamiento ante los esfuerzos generados por diversas obras de ingeniería, como presas, excavaciones superficiales o subterráneas		Clase de macizo rocoso
Dependiente	Un estudio de viabilidad, también conocido estudio de factibilidad, perfil o preinversión, se desarrolla para determinar el éxito que puede alcanzar un proyecto a partir de la evaluación de sus aspectos técnicos y económicos.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Viabilidad técnica ➤ Viabilidad económica 	S/U
Viabilidad			\$

Anexo 3

Fotografías



Preparación de la masa de roca para realizar la extracción de testigos



Extracción de testigos