

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



Tesis

Comportamiento geomecánico del macizo rocoso analizados mediante clasificaciones
geomecánicas galería nivel 4040, mina Victoria, Andahuaylas, 2024

Presentado por:

David Francisco Catalan Mendoza

Para optar el título de Ingeniero de Minas

Abancay, Perú

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



Tesis

Comportamiento geomecánico del macizo rocoso analizados mediante clasificaciones geomecánicas galería nivel 4040, mina Victoria, Andahuaylas, 2024.

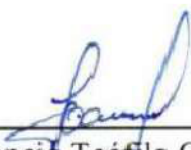
Presentado por **David Francisco Catalan Mendoza**, para optar el título de:
Ingeniero de minas

Sustentado y aprobado el 03 de septiembre de 2024, ante el jurado evaluador:

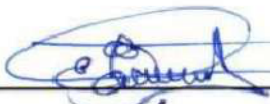
Presidente:


Mag. Dario Dante Sánchez Castillo

Primer Miembro:


Dr. Leoncio Teófilo Carnero

Segundo Miembro:


Ing. Hilario Carrasco Kolque

Asesor:


Mtro. José Adolfo Cárdenas Catalán

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 153-2024

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la Tesis intitulada **“Comportamiento geomecánico del macizo rocoso analizados mediante clasificaciones geomecánicas galería nivel 4040, mina Victoria, Andahuaylas, 2024**, presentado por el Bach. **David Francisco CATALAN MENDOZA**, Para optar el Título de **Ingeniero de Minas**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud ACEPTABLE de **(13%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 26 de agosto del 2024



Dr. Lintol Contreras Salas
DIRECTOR(E) DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

C. c.
Archivo
REG. N° 598

Agradecimiento

Tengo un agradecimiento a la Universidad Nacional Micaela bastidas de Apurímac alma mater donde tuve la oportunidad de formarme profesionalmente a si mismo agradecimiento a mis docentes de la escuela académico profesional de Ingeniería de Minas.

Tengo el honor y agradecimiento a mis padres por su apoyo incondicional durante el tiempo que cursaba la Universidad. Asimismo, quiero expresar mi sincero agradecimiento a la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, mi alma máter, por brindarme la oportunidad de desarrollar este trabajo de investigación. También agradezco el apoyo financiero otorgado por el Vicerrectorado de Investigación a través del IV Concurso de Proyectos de Investigación Científica y Tecnológica de Tesis de Pregrado y Posgrado, financiado con fondos del canon, sobre canon y regalías mineras 2021-2022.



Dedicatoria

Esta investigación la dedico como cariño a mis padres Juan y Eulalia de igual modo hago mis hermanos por su apoyo moral que tanto me sumaba para lograr esta investigación.



Comportamiento geomecánico del macizo rocoso analizados mediante clasificaciones
geomecánicas galería nivel 4040, mina Victoria, Andahuaylas, 2024

Línea de Investigación: Geología, geotecnia y medio ambiente

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
ABSTRACT	3
CAPÍTULO I	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 Descripción del problema	4
1.2 Enunciado del Problema	4
1.2.1 Problema general.....	4
1.2.2 Problemas específicos	4
1.2.3 Justificación de la investigación.....	5
CAPÍTULO II	6
OBJETIVOS E HIPOTESIS	6
2.1 Objetivos de la investigación	6
2.2.1 Objetivo general	6
2.2.2 Objetivos específicos.....	6
2.2 Hipótesis de la investigación.	6
2.2.3 Hipótesis general	6
2.2.4 Hipótesis específicas	6
2.3 Operacionalización de variables	7
CAPÍTULO III	9
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	9
3.1 Antecedentes	9
3.1.1 A nivel internacional.....	9
3.1.2 A nivel nacional	12
3.2 Marco teórico	16
3.2.1 Clasificaciones geomecánicas	16
3.2.1.1 Propiedades geomecánicas	16
3.2.1.2 Clasificación geomecánica RMR de Bieniawski (1989).....	16
3.2.2 Clasificación geomecánica de Barton	19
3.2.3 Clasificación según el Índice de GSI	20
3.2.4 Comportamiento geomecánico de las rocas	22
3.2.5 Sostenimiento	26
3.2.6 Criterio de Rotura de Hoek & Brown (1980 y modificatorias).....	30



3.2.7	Resistencia del Macizo Rocosó	36
3.2.8	Aplicación del Programa Rocdata	41
3.2.9	Generalidades de la mina	42
3.3	Marco conceptual	48
CAPÍTULO IV		49
METODOLOGÍA		49
4.1	Tipo y nivel de investigación	49
4.2	Diseño de la investigación	49
4.3	Descripción ética de la investigación	49
4.4	Población y muestra	50
4.5	Procedimiento	50
4.6	Técnica e instrumentos	50
4.7	Análisis estadístico	50
CAPÍTULO V		51
RESULTADOS Y DISCUSIONES		51
5.1	Análisis de resultados	51
5.2	Discusiones	105
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		107
6.1	Conclusiones	107
6.2	Recomendaciones	108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		109
ANEXOS		111

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág
Tabla 1— Operación de variables	7
Tabla 2 — Parámetro de resistencia de la roca sana en (MPa)	17
Tabla 3 — Resistencia a la compresión simple de los diferentes tipos de roca	18
Tabla 4 — Valores de clasificación geomecánica de Barton	20
Tabla 5 — Valores de la constante de la roca intacta para distintos tipos de roca.....	40
Tabla 6 — Coordenadas geográficas de la mina Victoria	42
Tabla 7— Coordenadas UTM de la mina Victoria.....	42
Tabla 8 — Accesibilidad hacia la mina Victoria.....	43
Tabla 9— Accesibilidad tramo 2 hacia la mina Victoria	43
Tabla 10 — Datos y resultados del ensayo a la carga puntual	51
Tabla 11 — Parámetros para el cálculo resistencia de la muestra andesita	52
Tabla 12 — Parámetros para el cálculo resistencia de la muestra caliza	52
Tabla 13— Parámetros para el cálculo resistencia de la muestra arenisca	52
Tabla 14 — Datos geomecánicos para determinar el tipo de sostenimiento.....	54
Tabla 15 — Índice de calidad de la roca para poder estimar el tipo de sostenimiento	56
Tabla 16 — Valores de las discontinuidades de las rocas	56
Tabla 17 — Datos para poder determinar el sostenimiento adecuado para la galería nivel 4040, mina Victoria.	62
Tabla 18 — Parámetros de la muestra andesita para insertar al rocdato para calcular el comportamiento geomecánico del macizo rocoso.....	66
Tabla 19 — Datos específicos para estimar el comportamiento geomecánico en el software Rocdata.....	66
Tabla 20 — Datos para determinar el tipo de sostenimiento de la galería nivel 4040	81
Tabla 21 — Datos para poder el diseño del tipo de sostenimiento de la galería nivel 4040....	93
Tabla 22 — Datos de resistencia para hallar el comportamiento de la muestra (Andesita)....	96
Tabla 23 — Datos de resistencia para determinar el comportamiento de la muestra caliza	96
Tabla 24 — Datos de resistencia para determinar el comportamiento de la muestra arenisca	96
Tabla 25 — Mi (Parámetro material, depende del tipo de roca)	97
Tabla 26 — Calidad del macizo rocoso.....	97
Tabla 27 — Matriz de consistencia	112



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág
Figura 1 — Grafico para determinar el parámetro de la resistencia a la carga puntual	18
Figura 2 — Grafico del comportamiento geomecánico según GSI-1985.	21
Figura 3 — Guía para determinar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso.	25
Figura 4 — Tipos de sostenimiento activo.....	27
Figura 5 — Tipos de sostenimiento pasivo	28
Figura 6 — Relaciones entre esfuerzos principales mayores y menores, criterio de Hoek Brown y el equivalente de Morhr-Coulomb-2002.	35
Figura 7 — Relación para el cálculo de en los parámetros de Hoek Brown y Mohr- Coulomb, para el caso de túneles	37
Figura 8 — Guía para determinar el valor de alteración D (Hoek et al,2002)	39
Figura 9 — Accesibilidad hacia la mina Victoria (2024).....	43
Figura 10 — Geología local de la mina Victoria.....	45
Figura 11 — Geología regional de la mina Victoria	46
Figura 12 — Geología Estructural.....	47
Figura 13 — Clasificación geomecánica del macizo rocoso según Bieniawski (1963).....	55
Figura 14 — Resultado de RMR para determinar el tipo de sostenimiento (1963)	55
Figura 15 — Sistema de clasificación geomecánicas de Q, para determinar el sostenimiento adecuado-1973.....	57
Figura 16 — Grafico para determinar el tipo de sostenimiento según GSI	58
Figura 17 — Configuración general del software para la determinación del sostenimiento de la galería nivel 4040.	59
Figura 18 — Parámetros del macizo rocoso para el diseño de sostenimiento de la galería.....	59
Figura 19 — Diseño geotécnico de sostenimiento del interior de la galería.....	60
Figura 20 — Diseño del tipo de sostenimiento con pernos de anclaje de la galería nivel 4040	60
Figura 21 — Grafica de la galería con comportamiento plástica, con un interacción de tensión del terreno.....	61
Figura 22 — Configuración general del software para el diseño del sostenimiento de la galería nivel 4040.	62
Figura 23 — Diseño geotécnico del sostenimiento en el interior de la galería nivel 4040	63
Figura 24 — Parámetros del macizo rocoso para el diseño del sostenimiento de la galería....	64
Figura 25 — Diseño del tipo de sostenimiento (con pernos de anclaje) obtenido en por el software	65
Figura 26 — Configuración general del software para analizar el comportamiento del macizo rocoso.....	67
Figura 27 — Ingreso de datos de resistencia del macizo rocoso	67
Figura 28 — Ingreso de parámetros de la roca en MPa, según criterio de Hoek- Brown y Mohr Coulomb.	68
Figura 29 — Evaluación de los parámetros para el cálculo de comportamiento de las rocas..	69

Figura 30 — Valores de la roca (textura y tipo) para cálculo del comportamiento de las rocas.	69
Figura 31 — Ingreso de datos del factor disturbancia de las rocas al software para el diseño del comportamiento.	70
Figura 32 — Resultados del comportamiento geomecánico elasto frágil de la muestra andesita obtenido en el software rocdato.	71
Figura 33 — Configuración del software para el diseño del comportamiento geomecánico del macizo rocoso.	73
Figura 34 — Ingreso de datos al software (resistencia del macizo rocoso) obtenidos en laboratorio.	73
Figura 35 — Evaluación de los parámetros para el cálculo de comportamiento del macizo rocoso.	74
Figura 36 — Parámetros del macizo rocoso (textura y tipo) para el diseño del comportamiento geomecánico.	75
Figura 37 — Ingreso del valor factor de disturbancia de la roca para el cálculo del comportamiento del macizo rocoso.	76
Figura 38 — Resultado del software Rocdata del comportamiento geomecánico elasto frágil de la muestra caliza.	77
Figura 39 — Resultado del software de Rocdata del comportamiento geomecánico Elasto frágil de la muestra arenisca.	79
Figura 40 — Parámetros geomecánicos para el diseño del tipo de sostenimiento.	82
Figura 41 — Parámetros de la roca para el cálculo del tipo de sostenimiento.	82
Figura 42 — Resultado del tipo de sostenimiento de la galería nivel 4040.	83
Figura 43 — Configuración del software para el cálculo de comportamiento geomecánico del macizo rocoso de la galería nivel 4040.	84
Figura 44 — Ingreso de los datos del laboratorio al software para el comportamiento del macizo rocoso.	84
Figura 45 — Datos de resistencia del macizo obtenidos en laboratorio para el cálculo del comportamiento del macizo rocoso.	85
Figura 46 — Evaluación de GSI para el comportamiento de las rocas.	85
Figura 47 — Parámetros de la clasificación geomecánica de la muestra andesita.	86
Figura 48 — Valores del factor de disturbancia de la muestra de andesita.	86
Figura 49 — Resultado de rocdato del comportamiento geomecánico elasto plástico con reblandecimiento de la muestra andesita.	87
Figura 50 — Resultado de rocdato del comportamiento geomecánico elasto plástico con restablandecimiento de la muestra caliza.	89
Figura 51 — Resultado de Rocdata del comportamiento geomecánico Elasto plástico con reblandecimiento de la muestra arenisca.	91
Figura 52 — Configuración general del software para diseñar el tipo de sostenimiento para la galería.	94
Figura 53 — Diseño de sostenimiento del interior de la galería nivel 4040.	94
Figura 54 — Parámetros de las rocas para diseñar el tipo de sostenimiento de la galería.	95
Figura 55 — Resultado de tipo de sostenimiento de la galería nivel 4040 mina la Victoria.	95
Figura 56 — Configuración del software para el cálculo de comportamiento geomecánico del macizo rocoso de la galería nivel 4040.	97

Figura 57 — Datos de laboratorio para el cálculo del comportamiento de las rocas de la galería nivel 4040	98
Figura 58 — Valores del factor de disturbancia del macizo rocoso para el cálculo del comportamiento geomecánico del macizo rocoso.	98
Figura 59 — Resultado de Rocdata del comportamiento elasto plástico perfecto de la muestra andesita	99
Figura 60 — Resultado de rocdata del comportamiento geomecánico elástico plástico perfecto de la muestra caliza.....	101
Figura 61 — Resultado de rocdata del comportamiento geomecánico elasto plástico perfecto de la muestra arenisca.....	103
Figura 62 — Medición de la geometría de la sección para la caracterización geomecánica de la galería nivel 4040	113
Figura 63 — Medición de dirección y buzamiento y ángulo de buzamiento de los estratos en la parte superficial de la mina.....	113
Figura 64 — Vista panorámica de la mina	114
Figura 65 — Bocamina ingreso principal de la galería nivel 4040 de la mina Victoria	114
Figura 66 — Mapeo geomecánico en interior mina de la galería nivel 4040	115
Figura 67 — Determinación de la dirección de las rocas.....	115
Figura 68 — Utilización de los equipos en el laboratorio para realizar ensayo de carga simple para estimar la resistencia del macizo rocoso.....	116
Figura 69 — Realización de ensayos con el uso de equipo de carga puntual	116
Figura 70 — Registro de resultados del equipo de carga puntual de haber sometido a ensayo la muestra.....	117
Figura 71 — Identificación de las rocas para el diagnóstico para someter al ensayo	117
Figura 72 — Cuantificación de los servicios auxiliares de la mina	118
Figura 73 — Ubicación de la mina la Victoria.....	122
Figura 74 — Mapeo geomecánico de las rocas de la mina la Victoria	123
Figura 75 — Croquis de la labor mina la Victoria galería nivel 4040	124
Figura 76 — Mapeo geomecánico de RMR, Q y GSI.....	125
Figura 77 — Mapeo geomecánico de RMR en la cartilla de Bieniawski	126
Figura 78 — Mapeo geomecánico de parámetros característicos del macizo rocos según el sistema Q de Barton.....	127
Figura 79 — Parámetros característicos del macizo rocos según el sistema Q de Barton	128
Figura 80 — Mapeo geomecánico según sistema Hoek-Brown (GSI)	129

INTRODUCCIÓN

La minería subterránea es una actividad fundamental para la extracción de los recursos minerales y su desarrollo seguro y eficiente depende en gran medida del conocimiento detallado del comportamiento geomecánico del macizo rocoso, La galería del nivel 4040 en la mina Victoria, ubicada en Andahuaylas, Perú, representa un caso de estudio crucial para la comprensión de estos aspectos. El análisis geomecánico de un macizo rocoso es esencial para diseñar y aplicar métodos de sostenimiento adecuados que aseguren la estabilidad de las excavaciones y protejan a los trabajadores y equipos. El estudio se enfoca en la evaluación del sostenimiento adecuado y el comportamiento geomecánico del macizo rocoso, utilizando clasificaciones geomecánicas como el (RMR), Q y el (GSI).

En el ámbito de la mecánica de rocas, las clasificaciones geomecánicas, como el Rock Mass Rating (RMR), el Q-system y el Geological Strength Index (GSI), son herramientas fundamentales para evaluar la calidad del macizo rocoso y diseñar sistemas de sostenimiento eficaz. Los softwares RocLab y Rocdata son para el estimar el comportamiento de las rocas y el software Phase2 para el diseño de sostenimiento adecuado de la galería, siendo herramientas que hoy en día, se está logrando usar para desarrollar el análisis del comportamiento geomecánico de los macizos rocosos, basados en los criterios de rotura de Hoek-Brown.

La presente investigación tiene como objetivo principal proporcionar una comprensión detallada del comportamiento geomecánico del macizo rocoso en la galería del nivel 4040, con el fin de optimizar el diseño y la implementación de sistemas de sostenimiento apropiado. Se espera que los resultados obtenidos contribuyan a mejorar la seguridad y eficiencia de las operaciones mineras en la mina Victoria y ofrezcan un marco de referencia para estudios similares en otras minas subterráneas.

El presente trabajo de investigación se encuentra estructurado de la siguiente manera.

En el presente trabajo de investigación de título comportamiento geomecánico del macizo rocoso analizados mediante clasificaciones geomecánicas galería nivel 4040, mina Victoria, Andahuaylas 2024. se encuentra estructurado de los siguientes capítulos; el Capítulo I, referidos al planteamiento del problema, el Capítulo II, a los objetivos e hipótesis; el capítulo III, que corresponde a los antecedentes, marco teórico y marco conceptual; el Capítulo IV, corresponde al diseño de la metodología; seguida el Capítulo V, muestran los resultados y discusiones y finalmente el capítulo VI, se culmina con las conclusiones y recomendaciones.



RESUMEN

En la investigación presentada, que titulada: “Comportamiento geomecánico del macizo rocoso analizados mediante clasificaciones geomecánicas galería nivel 4040, mina Victoria, Andahuaylas, 2024”, tuvo como objetivo: determinar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso para estimar el sostenimiento de la galería, mina Victoria, Andahuaylas, en este estudio siendo la metodología, es una investigación de enfoque cuantitativo se aplicó el método científico, de tipo aplicada, nivel; descriptivo – explicativo, siendo el diseño no experimental la población es la mina Victoria y muestra galería nivel 4040, cuyos **resultados** del comportamiento geomecánico analizados mediante las clasificaciones geomecánicas, se determinó la calidad de la roca es regular y su estado podría estar entre aceptable y algo deteriorado, con una resistencia al ensayo de carga puntual 130 MPa en promedio de las tres litologías. El software Rocdata demostró su comportamiento geomecánico del macizo rocoso es Elasto -frágil. El sostenimiento determinado mediante el software Phase2 corresponde a sostenimiento sistemáticos de 4m reforzados con mallas de 5 a 10cm. Esto se debe a que los parámetros indican una resistencia inicial alta seguida de una deformación plástica gradual y una posible disminución en la resistencia después de la ruptura. Conclusión de la investigación; de acuerdo a los resultados obtenidos el software Rocdata, permitió una simplificación de los métodos de caracterización, tipología estructural, clasificación y modelamiento de los macizos rocosos, siendo el programa con un interfaz muy limpia e intuitiva que permitió determinar, gran número de parámetros geomecánicos, según diversos modelos como Mohr-Coulomb, Hoek-Brown etc. el sostenimiento adecuado para la galería ayudará a mantener la seguridad y estabilidad de la excavación, incluso en áreas con zonas plásticas significativas.

Palabras clave: Clasificación geomecánica, fracturas, geomecánica, macizo rocoso, resistencia.



ABSTRACT

In the presented research, entitled: "Geomechanical behavior of the rock mass analyzed by geomechanical classifications gallery level 4040, Victoria mine, Andahuaylas, 2024", the objective was to determine the geomechanical behavior of the rock mass to estimate the support of the gallery, Victoria mine, Andahuaylas, in this study being the methodology, it is a quantitative approach research, the scientific method was applied, of the applied type, level; descriptive - explanatory, being the non-experimental design the population is the Victoria mine and sample gallery level 4040, whose results of the geomechanical behavior analyzed by means of geomechanical classifications, it was determined the quality of the rock is regular and its state could be between acceptable and somewhat deteriorated, with a resistance to the point load test 130 MPa on average of the three lithologies. The Rocdata software demonstrated its geomechanical behavior of the rock mass is Elasto -brittle. The support determined by the Phase2 software corresponds to systematic supports of 4m reinforced with 5 to 10cm meshes. This is because the parameters indicate a high initial resistance followed by a gradual plastic deformation and a possible decrease in resistance after rupture. Conclusion of the research; according to the results obtained, the Rocdata software allowed a simplification of the characterization methods, structural typology, classification and modeling of rock masses, being the program with a very clean and intuitive interface that allowed determining a large number of geomechanical parameters, according to various models such as Mohr-Coulomb, Hoek-Brown, etc. The adequate support for the gallery will help maintain the safety and stability of the excavation, even in areas with significant plastic zones.

Keywords: *Geomechanical classification, fractures, geomechanics, rock mass, strength.*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

La unidad minera Victoria en la actualidad es una mina con producción de 150 TM/día, siendo pequeño productor minero, la mina Victoria cuenta con residente encargado para el diseño de sus diferentes actividades tales como la perforación, voladura, sostenimiento y otras actividades unitarias típicos de la minería subterránea.

Durante la ejecución de la galería en el nivel 4040 de la mina Victoria, se han identificado fracturas y grietas en las distintas formaciones rocosas a medida que se avanza en profundidad. Estas condiciones generan incertidumbres que complican la explotación adecuada, lo que motiva la importancia de evaluar la situación geomecánica para tomar decisiones.

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es el comportamiento geomecánico del macizo rocoso analizados mediante clasificaciones geomecánicas para estimar el sostenimiento de la galería nivel 4040, mina Victoria, Andahuaylas, 2024?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles son las propiedades geomecánicas para estimar el sostenimiento de la galería del nivel 4040 de la mina Victoria, Andahuaylas, 2024?
- ¿Cuáles es el comportamiento geomecánico, para estimar el sostenimiento de la galería del nivel 4040 de la mina Victoria, Andahuaylas 2024?



1.2.3 Justificación de la investigación

Esta investigación se justifica porque contribuye tanto a la teoría y aplicación del método científico, específicamente en la unidad minera Victoria. Su finalidad es entender cómo se comportan las rocas desde un punto de vista geomecánico para proponer un sistema de sostenimiento adecuado, que sea técnicamente viable, sostenible y acorde a los costos de los materiales. Un sistema de sostenimiento bien diseñado es crucial para la seguridad en las labores subterráneas, ya que uno de los mayores riesgos es la caída de rocas fracturadas, que pueden poner en peligro la vida de los trabajadores y los equipos. Es fundamental realizar esta investigación, ya que en la región de Apurímac muchos mineros están iniciando actividades de manera empírica, basándose en la experiencia de trabajadores veteranos y subestimando la importancia del conocimiento técnico sobre las rocas y el diseño de un sostenimiento adecuado y óptimo.



CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPOTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.2.1 Objetivo general

Determinar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso analizados mediante clasificaciones geomecánicas para estimar el sostenimiento de la galería nivel 4040, mina Victoria, Andahuaylas, 2024.

2.2.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades geomecánicas para estimar el sostenimiento de la galería del nivel 4040 de la mina Victoria, Andahuaylas, 2024.
- Determinar el comportamiento geomecánico, para estimar el sostenimiento de la galería del nivel 4040 de la mina Victoria, Andahuaylas 2024.

2.2 Hipótesis de la investigación.

2.2.3 Hipótesis general

Es posible que con el comportamiento geomecánico del macizo rocoso analizados mediante clasificaciones geomecánicas se pueda estimar el sostenimiento de la galería nivel 4040, mina Victoria, Andahuaylas, 2024.

2.2.4 Hipótesis específicas

- Es adecuado las propiedades geomecánicas para la estimación del sostenimiento de la galería del nivel 4040 de la mina Victoria, Andahuaylas, 2024.
- Es favorable el comportamiento geomecánico, para poder determinar el sostenimiento de la galería del nivel 4040 de la mina Victoria, Andahuaylas 2024.



2.3 Operacionalización de variables

Variable independiente: Clasificaciones geomecánicas

Variable dependiente: Comportamiento del macizo rocoso

Tabla 1— Operación de variables

Operacionalización de ariables					
Variables		Definición	Dimensiones	Indicadores	Sub indicadores
Independiente	Clasificaciones geomecánicas	Son sistemas que se utilizan para describir y evaluar la calidad y estabilidad de las rocas y macizos rocosos en función de sus propiedades mecánicas y geológicas.	D1 Propiedades Geomecánicas	I1: Bieniaswki	- I1: Espaciamiento - I2: Presencia de agua subterránea - I3: Corrección por orientación
				I2: Barton	- I1: Resistencia a la compresión simple - I2: R.Q.D - I3: Espacio de las discontinuidades - I4: Condición de discontinuidades - I5.- Orientación de discontinuidades
Dependiente	Comportamiento geomecánico	Se refiere al análisis y comprensión de cómo se comporta un macizo rocoso después de que ha sufrido fracturas o fallas debido a cargas o tensiones describen cómo un macizo rocoso se comporta bajo diferentes condiciones de carga y deformación. Estos modelos son esenciales para predecir la respuesta de las rocas en aplicaciones como la minería	D2 Comportamiento Geomecánico	I3: GSI	- I1: Grado de fracturamiento - I2: Resistencia de la roca intacta - I3: Tipo de sostenimiento
				I1: Elastico-Fragil	- I1: Modulo de elasticidad - I2: Resistencia a la influencia - I3: Modulo de plastificación - I4: Curva Esfuerzo-Deformación - I4: Coeficiente de Reblandecimiento
Dependiente	Comportamiento geomecánico	Se refiere al análisis y comprensión de cómo se comporta un macizo rocoso después de que ha sufrido fracturas o fallas debido a cargas o tensiones describen cómo un macizo rocoso se comporta bajo diferentes condiciones de carga y deformación. Estos modelos son esenciales para predecir la respuesta de las rocas en aplicaciones como la minería	D2 Comportamiento Geomecánico	I2: Elasto -Plastico con reblandecimiento	- I1: Modulo de elasticidad - I2: Resistencia a la influencia - I3: Curva Esfuerzo-Deformación - I4: Capacidad de Deformación Plástica
				I3: Elasto -plastico perfecto	- I1: Modulo de elasticidad - I2: Resistencia a la influencia - I3: Curva Esfuerzo-Deformación - I4: Capacidad de Deformación Elasto plástico

Variable 1: Clasificaciones geomecánicas

Definición conceptual

Las clasificaciones geomecánicas determinan la sistemática del diseño empírico, siendo el propósito principal proporcionar un índice numérico que nos indica la calidad del macizo rocoso, para luego recomendar el sostenimiento más adecuado, siendo el objetivo de las clasificaciones geomecánicas es evaluar las propiedades de un macizo rocoso, establecer su calidad cuantitativamente y poder predecir el comportamiento del macizo rocoso frente a las excavaciones (Robles Espinoza, 1994).

Definición operacional

Los métodos de clasificaciones geomecánicas son herramientas para cuantificar los parámetros geomecánicas del macizo rocoso.

Variable 2: Comportamiento del macizo rocoso

Definición conceptual

La caracterización o descripción cuantitativa del macizo rocoso para el diseño y construcción de una excavación es probablemente el elemento más importante en la geomecánica. La necesidad de caracterizar la roca se percibe desde los puntos de vista de la economía, seguridad y obligaciones contractuales en la construcción de excavaciones subterráneas. Estimar el comportamiento mecánico del macizo rocoso puede ser una herramienta útil para administrar el riesgo durante el proceso de excavación de obras subterráneas. Esto debido a que previene al constructor de ciertas amenazas de inestabilidad; ayudan a redefinir las fases de excavación en ciertos sectores; y a definir el tipo, cantidad y oportuna instalación del soporte (Gomez, 2009).

Definición operacional

El macizo rocoso a estudiado es único no se puede cuantificar de manera referencial en necesario su atención insitu con las herramientas adecuadas como el mapeo geomecánica las rocas presentan diferentes características físicas y geomecánicas.



CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 A nivel internacional

- a) Según Ochoa Quesada (2018) en la tesis de posgrado titulado: “Propuesta de una clasificación geomecánica para la evaluación del comportamiento del macizo rocoso en el frente de arranque del Túnel Levisa-Mayarí Tramo IV”, fijo como objetivo: proponer una clasificación geomecánica que permita evaluar el comportamiento del macizo rocoso en el frente de arranque del túnel Levisa -Mayarí Tramo IV, Aplicando una metodología: siendo de método científico, La investigación es aplicada, obtuvo los resultados siguientes: Se obtuvo el macizo rocoso esta fracturado con tres familias de grietas predominantes y según las clasificaciones geomecánicas el mismo se clasifica de calidad muy mala a mala. A partir de ajustes de parámetros del índice de calidad Q con la resistencia a carga puntual se obtiene $Q = (RQD/J_n * J_r/J_a * J_w/SRF) K_R$, y la correlación de GSI con ambos se obtiene una ecuación de cálculo con resultados similares a los medidos, $Q = 2 * 10^{-07} GSI^{4.244}$ ecuación de ajuste de tipo exponencial $R^2 = 0.999$, lo que representa el comportamiento en tiempo real del macizo rocoso en el túnel según la clasificación de GSI ajustada finalmente, fija como conclusiones, a partir del análisis de las diferentes clasificaciones geomecánicas empleadas en túneles, de las características geomecánicas del macizo rocoso y del ajuste a sus parámetros fue posible definir la clasificación geomecánica que permita evaluar el comportamiento del macizo en el frente de arranque del túnel Levisa – Mayari Tramo IV y también hace la conclusión que la clasificación GSI de Hoek y Marinos con los ajustes pertinentes es la que más se adecuada a las particularidades de macizo rocoso estudiado, la clasificación Q de Barton ofrece mejores resultados para proyectar soluciones de sostenimiento.



- b) Según Valdivia Donayre (2020) en la tesis de grado titulado: “Estimación del comportamiento geomecánico, mediante método de Kriging para el macizo rocoso del cerro Callacpuma - sector Huayrapongo, 2020”, fijo como objetivo: Estimo el comportamiento geomecanico del macizo rocoso mediante método de Kriging para el macizo rocoso del cerro Callacpuma - sector Huayrapongo, 2020, Aplicando una metodología: siendo de método científico, La investigación es aplicada, con alcance descriptivo y diseño no experimental, obtuvo los resultados siguientes: fueron RCU (resistente a muy resistente), JRC (rugosa), RQD (media a buena), espaciado (medianamente junto). Finalmente, fija como conclusiones, la estimación representa una fuente confiable para identificar las zonas críticas del macizo; y así ser tomadas en cuenta por parte de las autoridades pertinentes para establecer las medidas preventivas necesarias.
- c) Churatas Mestas (2019) en su artículo de investigación titulada “Estudio del comportamiento geomecánico del macizo rocoso” su objetivo fue determinar la influencia del estudio del comportamiento geomecánico de taludes en el diseño de bancos, para de ello se debe determinar el RQD, RMR y GSI. Para que el estudio geomecánico de taludes influye en la elaboración del diseño de bancos de la cantera de arena fina “Cabra” y la cantera “Agocucho”. La comparación desarrollada es experimental con diseño correlacional, la variable dependiente es el estudio geomecánico y la independiente es el diseño de bancos ya que cuentan con diferentes formas de explotación, estos yacimientos pertenecen a la formación geológica Chimú. La presente comparación involucra trabajo de campo, de laboratorio y análisis en gabinete: se realizó la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, mediante la descripción a detalle de la matriz rocosa y las discontinuidades; de las investigaciones, el análisis de estas comparaciones nos da para optar el método más adecuado, completo y de bajo costo para así determinar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso en canteras. A partir de la información de campo recopilada y su posterior procesamiento se pudo obtener diversas formas de comportamiento geomecanico del macizo rocoso; también se determina la variación y diferencia de los yacimientos a pesar que son de la misma formación.

- d) Tante Renfigo (2022) en su tesis que lleva por título “evaluación geomecánica del macizo rocoso en un yacimiento de caliza: una revisión de la literatura científica” tiene la finalidad de prevenir accidentes de diferentes caídas de rocas en las minas, es determinar la inestabilidad del macizo rocoso y el grado de fracturación en la masa rocosa; asimismo planteando como objetivo el evaluar el comportamiento geomecánico en los macizos rocosos en las minas; utilizando consultas virtuales, teniendo como base bibliotecas virtuales nacionales e internacionales, Ascelibrary, Redalyc y academia.edu, llegando a obtener 53 artículos, de los cuales 20 fueron seleccionados de acuerdo al tema de investigación. Llegando a concluir que evaluación geomecánica tiene como finalidad el de brindar y dar a conocer las propiedades y características geotécnicas del macizo rocoso, como los planos de estratificación, fallas, pliegues y caracteres estructurales, y permita estimar la magnitud y dirección de los esfuerzos principales, asimismo evaluar los métodos de explotación aplicables, y las condiciones naturales, y una optimización utilización de elementos de sostenimiento; con el fin de reducir accidentes de trabajo, mejorar los tiempos productivos, maximizar la recuperación mineral, mejorar las condiciones operacionales seguras.
- e) Cuervas Mon (2028) En su trabajo de investigación titulada “Evaluación de la estabilidad de excavaciones mineras de pequeño diámetro mediante clasificaciones geomecánicas y análisis empíricos: el caso de la mina de San Juan”. Tiene como objetivo preliminar la estabilidad de huecos subterráneos basada en el uso de las clasificaciones geomecánicas, siendo las más empleadas el RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton. Esta última es la que se empleará en este estudio. Se trata de una aproximación empírica que permite estimar, mediante la asignación de una puntuación, la calidad del macizo rocoso, con el objetivo de conocer su grado de estabilidad ante la ejecución de una excavación subterránea. En la presente investigación se aplica el índice Q al estudio de la estabilidad de galerías y filones de una pequeña mina de oro en el Cantón de Ponce Enríquez, Ecuador. En este trabajo se propone un nuevo gráfico empírico tomando para ello otros anteriores y los resultados de la evaluación de tal manera que pueda determinarse el factor de seguridad y el máximo vano estable que pueda



abrirse en minas de este tipo. Una de las principales aportaciones del trabajo es la de validar el índice de Barton a huecos pequeños.

3.1.2 A nivel nacional

- a) Cotrado Laura (2021) en su tesis titulada “Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de un sostenimiento adecuado en mina Chaparra, Caravelí, Arequipa - 2021” tuvo como objetivo general definir por el método de Q Barton, cuál será el diseño de sostenimiento más adecuado, de acuerdo al dominio geomecánico en mina Chaparra - Caravelí, Arequipa – 2021. La metodología fue de nivel explicativa, diseño no experimental transeccional y bajo enfoque cuantitativo, se aplicó a muestras no probabilísticas representadas por once tramos o progresivas a lo largo de la profundidad o excavación de la mina en sondeos de afloraciones rocosas. Se aplicaron como técnicas y métodos para la recolección de información, la observación directa, utilización de la picota y el método Q de Barton. Con ello, se determinó la calidad del macizo rocoso, se evaluó el nivel de riesgo geomecánico que incide en la seguridad del personal, se definió el diseño de sostenimiento más adecuado y, por último, se realizó una evaluación técnica y económica de la propuesta determinada. Los resultados mostraron a lo largo del dominio de la mina, un 50% de roca con calidad buena, un 20% con calidad muy buena, un 20% con calidad muy baja y un 10% con calidad regular, resultando en promedio una calidad buena para un Q de 29. Se encontró un 29% de riesgo muy alto (por el tipo de desate de roca y método de explotación), 29% de riesgo bajo, 14% de riesgo alto (tipo de voladura de la excavación), 14% riesgo muy bajo y un 14% de representación de riesgo medio atribuido (tipo de perforación y sostenimiento de mina). Por otro lado, se determinó un sistema de sostenimiento de empernado puntual para dominios con calidad muy mala, para v calidad regular sistema de empernado sistemático con espaciado 1.5 - 2 m más shotcrete proyectado con espesor de 5 - 6 cm con fibra, B + Sfr.; en tanto para dominio con calidad buena, en su mayoría, corresponde empernado sistemático con espaciado entre 2 - 3 m más shotcrete proyectado con espesor de 5 - 6 cm con fibra, B + Sfr. Por último, para dominio con calidad muy buena, resultó sostenimiento puntual con espaciado entre 3 – 3.8 m, SB. Finalmente, se presenta un diseño de sostenimiento activo, constituido por pernos de anclaje por adhesión del tipo



helicoidal, cuyo costo de implementación corresponde S/ 3,125.97 por metro lineal.

- b) Gamboa (2017) en su investigación titulada “Sistema geomecánico Macizo rocoso Sostenimiento Proyección estereográfica Mina Hércules” tiene por objetivo la evaluación geomecánica del macizo rocoso donde se emplaza la mina Hércules, determinándose sus características geomecánicas reales en el nivel 4300. El primer paso consistió en el mapeo geomecánico por el método de línea de detalle que en un tramo determinado se toma datos de las discontinuidades existentes tales como: rumbo, buzamiento, separación, persistencia, estado de las fracturas y presencia de agua. Además, se ha tomado muestras de rocas para su análisis en laboratorio de mecánica de rocas. Los diferentes datos han sido procesados aplicando Software como el Dips para ver en proyección estereográfica la orientación de las fracturas y su efecto sobre la labor y el Phase para saber los esfuerzos existentes. En base a los resultados y aplicando los diferentes sistemas geomecánicos se evaluó el macizo existente a este nivel determinándose cuatro tipos de roca: II-A, II-B, III-A, III-B, IV-A, IV-B y con esto a su vez seleccionar el sistema de sostenimiento más conveniente, que proporcione la estabilidad a la labor y seguridad al personal que trabaja y también las características geomecánicas determinan el tamaño de la abertura subterránea.
- c) Apomaita (2020) en su trabajo de investigación titulada “Caracterización de Clasificación geomecánica, Comportamiento geomecánico Macizo rocoso” El objetivo general es evaluar las características geomecánicas del macizo rocoso para determinar el diseño de sostenimiento a utilizar en el Proyecto Chimenea Alimak. El tipo de la investigación es aplicada, el nivel es descriptivo con un enfoque cuantitativo y se trabajó con un diseño descriptivo comparativo de corte transversal, el mismo que, permitió definir las características geomecánicas del macizo rocoso por donde atravesará la Chimenea Alimak, mediante el logueo geomecánico, mapeo geomecánico y ensayos de laboratorio, además de emplear la clasificación geomecánica RMR de Bieniawski, GSI de Hoek y el enfoque del gráfico-múltiple. Los resultados de la caracterización geomecánica del macizo rocoso permitió determinar el RMR para cada unidad geotécnica y se determinó: 35% tipo de



roca II-B, 39% tipo de roca III-A, 14% tipo de roca III-B, 6% tipo de roca IV-A y 4% tipo de roca IV-B, para el tramo de excavación del Proyecto Chimenea Alimak mediante el logueo geomecánico del sondaje diamantino. Llegando a la conclusión, que para el comportamiento geomecánico de la excavación de la Chimenea Alimak, se estimaron los siguientes riesgos principales: 45% generación de cuñas inestables, 30% menor desprendimiento y/o estallido de rocas, 17% hundimiento moderado asociado a roca tipo IV y 8% squeezing moderado/severo asociado a macizos rocosos tipo IV. Finalmente, para el diseño de sostenimiento se determinó cinco tipos de sostenimiento a emplear, sostenimiento tipo C1: malla electrosoldada y empernado sistemático. Sostenimiento tipo C2: hormigón proyectado con fibra, con espesor entre 5-6 cm, y empernado sistemático. Sostenimiento tipo D: hormigón proyectado con fibra, con espesor entre 6-9 cm, y empernado sistemático. Y, para sostenimiento tipo E: hormigón proyectado con fibra, con espesor entre 9-12 cm, empernado sistemático y cuadro metálico.

- d) Goichochea (2022) en su tesis que lleva por título “Comportamiento geomecánico Sostenimiento Sismicidad precipitación Infiltración Macizo rocoso” La investigación se desarrolla en la galería Juana de la Mina Cajamarca de Paccha, ubicada en el distrito de Bambamarca, perteneciente a la empresa Calera Bendición de Dios EIRL. El fracturamiento y las infiltraciones de agua genera zonas de inestabilidad geomecánica en el techo y hastiales de la labor, por ello tiene como objetivo analizar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso circundante a las excavaciones y determinar los sostenimientos. Se definió siete estaciones de control geomecánico, evaluadas según el RMR89 de Bieniawski; así, las estaciones E1, E2 y E3, se clasificaron como clase IV mala y las estaciones E4, E5, E6 y E7, como III media. Se analizó la precipitación – infiltración, variable que no es constante en el tiempo; puesto que, entre los meses de octubre – abril la precipitación tiene valores más altos; lo que genera mayor infiltración, disminuyendo la resistencia en las discontinuidades y provocando caída de bloques de roca. La sismicidad con los coeficientes sísmicos calculados para la zona, $K_v = 0.125$ y $K_h = 0.063$; provocan variaciones de los desplazamientos totales en la excavación. Finalmente, el sostenimiento según la Tabla de Soporte Práctico Minero indica que se debe



usar pernos sistemáticos, espaciados 1.0 m x 1.0 m más malla electrosoldada para las estaciones E1, E2 y E3; pernos sistemáticos, espaciados 1.2 m x 1.2 m para las estaciones E4, E5 y E6; y ocasionales para la estación E7. Asimismo, según los cálculos numéricos se debe utilizar cuadros de madera con diámetros mínimos para el poste y sombrero entre 5” – 8”, cónico en las estaciones E1, E2 y E7; y recto en las estaciones E3, E4, E5 y E6.

- e) Chuyes (2019) en su investigación titulada “Índice Q de Barton excavaciones Geomecánica” tiene por objetivo evaluar las deficiencias en el sistema de sostenimiento en la excavación, El presente trabajo de investigación se elaboró en la unidad minera Santa Clotilde 7 durante el periodo de mayo a diciembre del año 2017, entre las ciencias y teorías abordadas encontramos; la mecánica de rocas, la geología y la geotecnia las cuales permitieron desarrollar: una descripción detallada de toda la zona de estudio que incluyo la ubicación precisa de la unidad minera, el clima, la geología tanto regional como local y detalles del nivel de explotación 370 en cuanto a sus dimensiones y estructuras en el macizo rocoso; luego se evaluaron las deficiencias en el sistema de sostenimiento en la excavación, siendo este en su totalidad mediante puntales, se describieron todos los problemas que se evidenciaron en la composición (madera) de dichos elementos. Se empleó el criterio de rotura de Hoek – Brown para describir los esfuerzos del macizo rocoso en la excavación. Para determinar la calidad del macizo rocoso y el sostenimiento requerido primero se dividió la excavación en diversos tramos luego se aplicó la clasificación geomecánica del índice Q de Barton para establecer la calidad, hecho esto se procedió a determinar el diámetro equivalente y mediante el ábaco de Barton se estableció si la zona requería de sostenimiento. Se determinó que a lo largo de la excavación solo dos zonas necesitan de fortificación; el portal que se encontraba intensamente alterado y la zona número tres donde se ubica la chimenea, para ambos casos siendo el sostenimiento sugerido por Barton de hormigo proyectado y bulonado.

3.2 Marco teórico

3.2.1 Clasificaciones geomecánicas

Las clasificaciones geomecánicas utilizadas para esta investigación se detallan de siguiente forma:

3.2.1.1 Propiedades geomecánicas

Las clasificaciones geomecánicas de las rocas son sistemas que se utilizan para evaluar y categorizar las propiedades mecánicas y el comportamiento de las rocas en función de su resistencia, deformabilidad y estabilidad. Estas clasificaciones son esenciales en la ingeniería geotécnica, la minería, ya que ayudan a determinar cómo se comportarán las rocas bajo diferentes condiciones de carga y a planificar adecuadamente el diseño y la ejecución de diseño de sostenimiento.

3.2.1.2 Clasificación geomecánica RMR de Bieniawski, 1989.

Esta clasificación geomecánica RMR o Rock Mass Rating fue desarrollado por Bieniawski durante los años 1972-73, y modificado posteriormente en 1976 y 1979, en base a más de 300 casos reales de túneles, cavernas, taludes y cimentaciones. Actualmente se usa la edición 1989, que coincide sustancialmente con la de 1979. (Tacumi, 1989).

La teoría de Bieniawski constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros de diseño y de sostenimiento de túneles. El RMR se obtiene estimando seis parámetros y el valor que define la clasificación es el denominado índice RMR (Rock Mass Rating), que indica la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de los siguientes parámetros:

Resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa.

- R.Q.D. Grado de fracturamiento del macizo rocoso
- Espaciado de las discontinuidades
- Condiciones de las discontinuidades
- Presencia del agua



a) **Índice de calidad de la Roca (RQD)**

Fue desarrollado por Deere, el RQD:

$$RQD = \frac{\sum \text{ripios} > 10 \text{ cm}}{\text{Total de la perforacion}}$$

En el segundo caso, utilice la siguiente formula:

$$RDQ = 115 - 3,3 (J_v)$$

En el tercer caso, utilice la siguiente formula.

$$RQD = 100 e^{(0,1\lambda)} (0,1\lambda + 1)$$

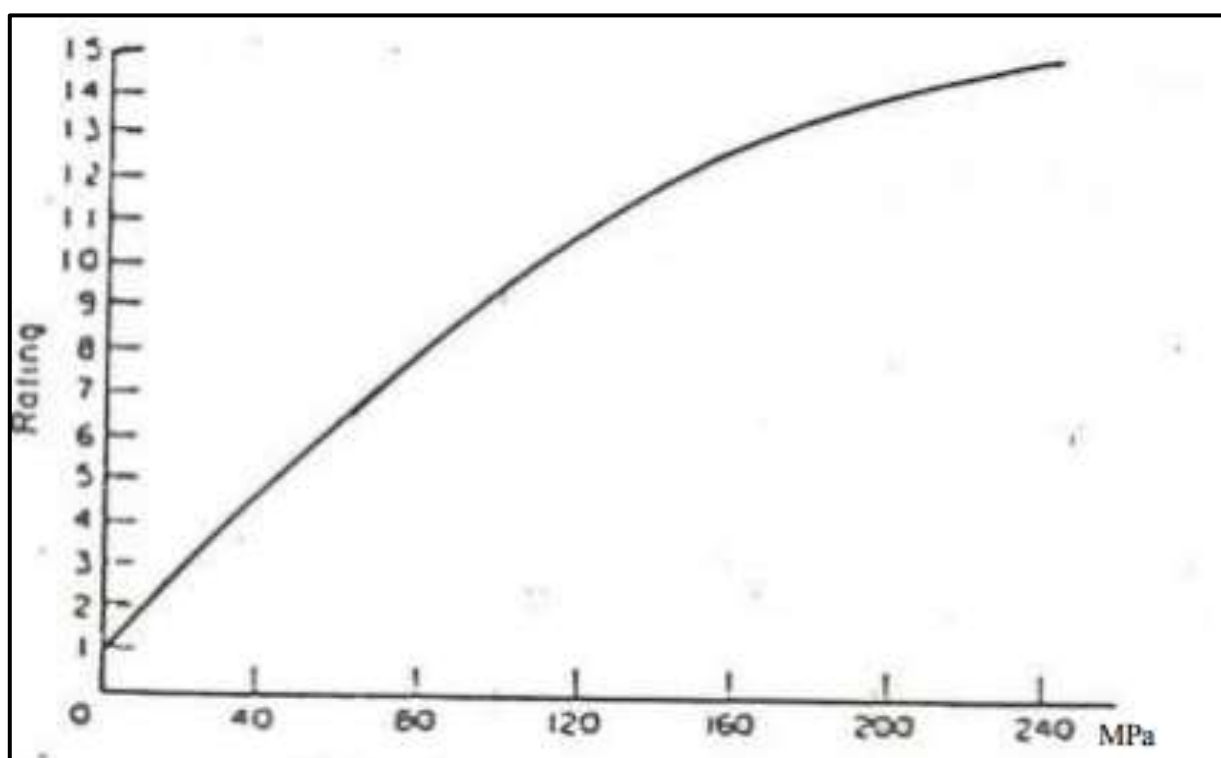
Tabla 2 — Parámetro de resistencia de la roca sana en (MPa)

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE	ENSAYO DE CARGA PUNTUAL(MPa)	VALORACIÓN
Extremadamente dura	>250	> 10	15
Muy dura	100 - 250	4 - 10	12
Dura	50 - 100	2 - 4	7
Moderadamente dura	25 - 50	1 - 2	4
Blanda Muy blanda	5 - 25 1 - 5 < 1	<1	2 1 0
FUENTE: Bieniawski, 1989. Clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos según.			

Tabla 3 — Resistencia a la compresión simple de los diferentes tipos de roca

TIPO DE ROCA	Resistencia a la compresión simple (MPa)		
	Mínimo	Máximo	Medio
Esquisto	31	70	43
Pizarra	33	150	70
Arcillita	36	172	95
Arenisca	40	179	95
Mármol	60	140	112
Caliza	69	180	121
Andesita	127	138	128
Granito	153	233	188
Gneis	159	256	195
Basalto	168	359	252
Cuarcita	200	304	252
Dolerita	227	319	280
Sílice	587	683	635

FUENTE: Bieniawski, 1989. Clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos



FUENTE: Suarez, Jayme Clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos 2007

Figura 1 — Grafico para determinar el parámetro de la resistencia a la carga puntual-2007

3.2.2 Clasificación geomecánica de Barton

Basándose en una gran cantidad de casos tipo de estabilidad en excavaciones subterráneas, el Norgerian Geotechnical Institute (N.G.I.), propuso un índice para determinar la calidad del macizo rocoso en túneles y taludes.

Esta clasificación utiliza seis parámetros para definir la clase de macizo

- R.Q.D
- Índice de fracturamiento (J_n)
- Índice de la rugosidad, relleno y continuidad de las discontinuidades (J_r)
- Índice de la alteración de las discontinuidades (J_a)
- Coeficiente reductor por la presencia de agua (J_w)
- El coeficiente que tiene en cuenta la influencia del estado tensional sobre el macizo rocoso (SRF)
- SRF: índice del estado de tensión del macizo

SRF toma el valor de: (1) la carga que se disipa en el caso de una excavación dentro de una zona de fallas y de roca empacada en arcillas; (2) los esfuerzos en una roca competente; (3) las cargas compresivas en rocas plásticas incompetentes

El valor numérico de este índice Q se define por:

El primer cociente (RQD / J_n), representa la estructura del macizo, es una medida rudimentaria del tamaño de los bloques o de las partículas con dos valores extremos (100/0.5 y 10/20) con un factor de diferencia de 400.

El segundo cociente (J_r / J_a), representa la rugosidad y las características de la fricción de las paredes de las fisuras o de los materiales de relleno

El tercer cociente (J_w / SRF), representa la influencia del estado tensorial

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} + \frac{J_w}{SRF}$$

Donde:

QD (Rock Quality Designation)

J_n , parámetro para describir el número de familias de discontinuidad

J_r , parámetro para describir la rugosidad de las juntas

J_a , parámetro para describir la alteración de las juntas

J_w factor asociado al agua en juntas

SRF, factor asociado al estado tensional.



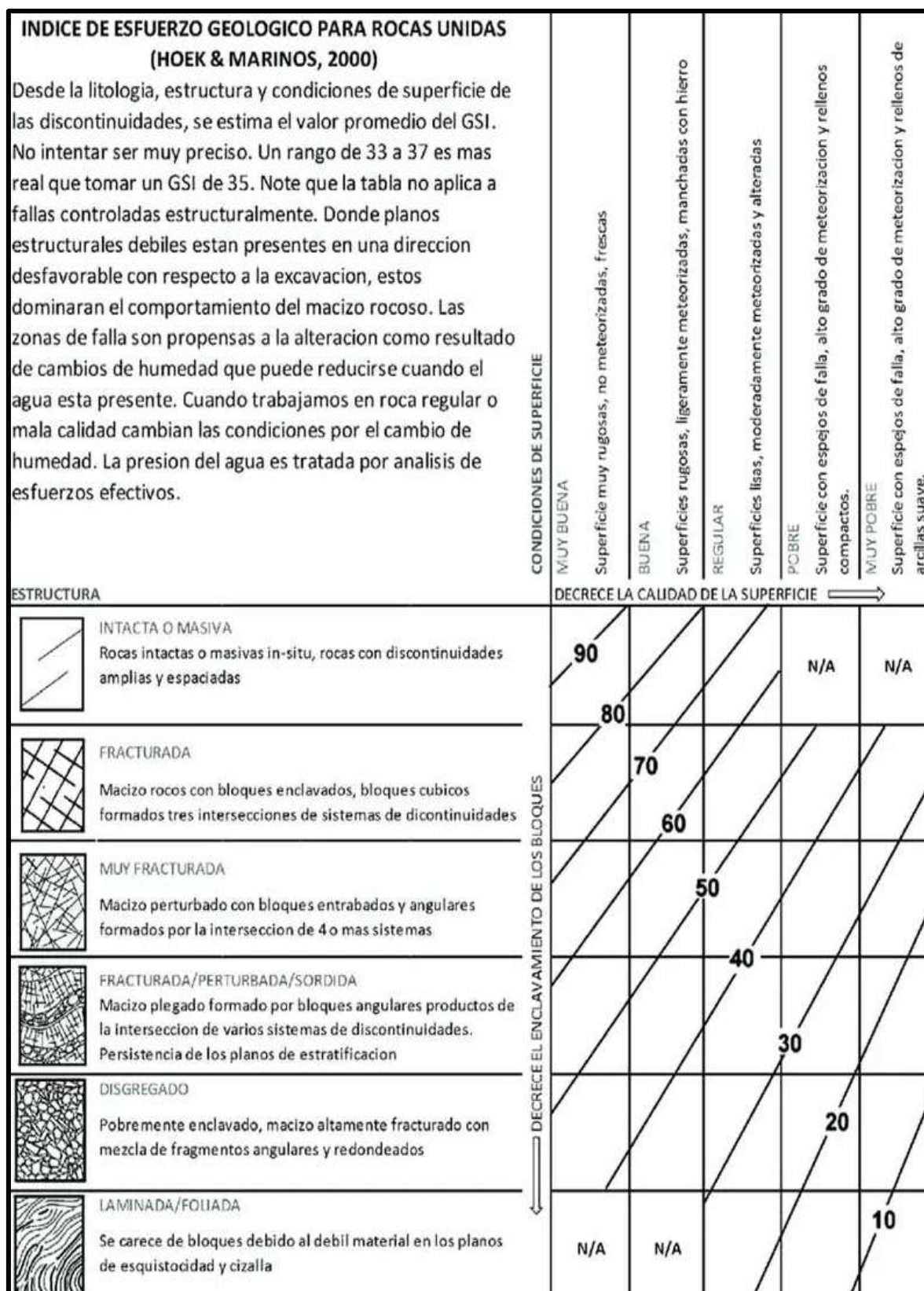
Tabla 4 — Valores de clasificación geomecánica de Barton

Tipo de roca	Valor de Q
elast	0.001 - 0.01
Extremadamente mala	0.01 - 0.1
Muy mala	0.1 - 1
Mala	01 - 03
Regular	04 - 10
Buena	10 - 40
Muy buena	40 - 100
Extremadamente buena	100 - 400
Excepcionalmente buena	400 - 1000
FUENTE: Barton, 2007. Clasificaciones geomecánicas de macizos rocosos	

3.2.3 Clasificación según el Índice de GSI

Es un sistema de caracterización de macizos rocosos que ha sido desarrollado en la ingeniería de mecánica de rocas para satisfacer la necesidad de datos de entrada confiables relacionados con las propiedades del macizo rocoso requeridos para el análisis numérico o soluciones de diseño para el diseño de túneles, taludes o cimentaciones en rocas.

El carácter geológico del material rocoso, junto con la valoración visual del mismo, son usados directamente como datos de entrada para la selección de los parámetros para predecir la resistencia y deformabilidad del macizo rocoso. Esto también provee un método en campo para caracterizar macizos rocosos difíciles de describir (Marinos, 2000).



FUENTE: Hooke Brown, 2007. Clasificación geomecánicas según el índice de GSI

Figura 2 — Grafico del comportamiento geomecánico según GSI-1985.

3.2.4 Comportamiento geomecánico de las rocas

El comportamiento post - rotura de una roca incluye la transición de la resistencia de pico a la residual, que consiste en un proceso de reblandecimiento, el comportamiento Elasto -plástico con reblandecimiento se caracteriza porque la transición desde el régimen de pico hasta el residual es una pérdida de resistencia gradual, lo cual implica que el paso del criterio de rotura de pico al residual es también gradual. Los comportamientos extremos del reblandecimiento son el Elasto - plástico perfecto y el Elasto -frágil. Si el criterio de rotura de pico y el residual son iguales el material tendrá un comportamiento Elasto -plástico perfecto el comportamiento Elasto -frágil está caracterizado por un criterio de rotura residual muy inferior al de pico y una transición brusca (no acompañada de deformaciones) El comportamiento con endurecimiento no se suele dar en las rocas para los niveles de tensiones propios de las obras de ingeniería. La fragilidad de una roca viene definida por la pendiente de la curva tensión-deformación a partir del punto de resistencia máxima.

para describir adecuadamente el comportamiento post rotura será necesario conocer:

- El criterio de rotura de pico y el residual (que marca la resistencia última post-rotura) y en su caso el de transición entre la resistencia de pico y la residual. El criterio de rotura residual permite calcular las tensiones que es capaz de soportar el material una vez roto, por lo que tendrá típicamente la misma forma (Hoek-Brown, Mohr-Coulomb.) que el criterio de rotura de pico, pero distintos parámetros.
- La relación entre las tensiones y las deformaciones a medida que se va produciendo la bajada desde el criterio de rotura de pico hasta el residual y que en función del modelo que se seleccione, puede venir definida por el módulo de reblandecimiento y por el parámetro de reblandecimiento crítico η^* o por una función específicamente diseñada para ello. La relación tenso - deformacional de la bajada resulta difícil de conocer ya que se ha observado que depende de la tensión de confinamiento, como se expondrá más adelante. regla de flujo, que gobierna como se producen las deformaciones (especialmente las deformaciones principales plásticas) una vez que se ha alcanzado el criterio de rotura de pico y las define una vez alcanzado el residual. Presenta la forma de un criterio de rotura (Hoek-Brown o Mohr-Coulomb) en el que las tensiones principales se sustituyen por deformaciones principales. Cuando la regla de flujo es igual al criterio de rotura en cada momento, sustituyendo lógicamente en la formulación tensiones por deformaciones (Rodrigues, 2011).



3.2.4.1 Elasto frágil

El comportamiento elasto -frágil describe cómo las rocas pueden comportarse de manera elástica bajo ciertas condiciones de esfuerzo, pero pueden fracturarse de forma frágil cuando se superan ciertos límites de resistencia. La deformación de las rocas puede clasificarse en dos tipos:

- Deformación elástica: Ocurre cuando las rocas se deforman bajo esfuerzo, pero recuperan su forma original al eliminar el esfuerzo
- Deformación frágil: Se presenta cuando las rocas alcanzan su límite de resistencia y se fracturan sin deformarse plásticamente, es decir, con poca deformación previa.

Factores que Afectan el Comportamiento:

- Temperatura: A medida que la temperatura aumenta, la ductilidad de las rocas también aumenta, lo que puede llevar a un comportamiento más elástico. En contraste, temperaturas más bajas pueden incrementar la fragilidad.
- Presión Confinante: La resistencia de las rocas tiende a aumentar con la presión confinante, lo que afecta su comportamiento al fracturarse. En general, las rocas son más propensas a fracturarse cerca de la superficie donde la presión es menor.
- Tiempo de Aplicación de Fuerzas: La velocidad de deformación influye en la respuesta del material. Deformaciones rápidas tienden a resultar en un comportamiento más rígido, mientras que deformaciones lentas pueden llevar a una respuesta más dúctil (Rodrigues Dono, 2011).

3.2.4.2 Elasto Plástico con reblandecimiento

Se refiere al comportamiento mecánico de materiales, especialmente en el contexto de la mecánica de rocas y su deformación bajo cargas. Este comportamiento se caracteriza por una combinación de propiedades elásticas y plásticas, donde la resistencia del material disminuye a medida que se deforma plásticamente.

A medida que el material se deforma plásticamente, su resistencia a la deformación disminuye, Este fenómeno se conoce como reblandecimiento, donde la capacidad del material para soportar cargas



adicionales se reduce, lo que puede llevar a un fallo estructural. (Ramirez Oyangure, 2004).

3.2.4.3 Elasto Plástico perfecto

El comportamiento elasto -plástico perfecto es un modelo constitutivo que describe cómo se deforman ciertos materiales, incluyendo algunos metales y rocas, bajo la acción de esfuerzos, se caracterizan en:

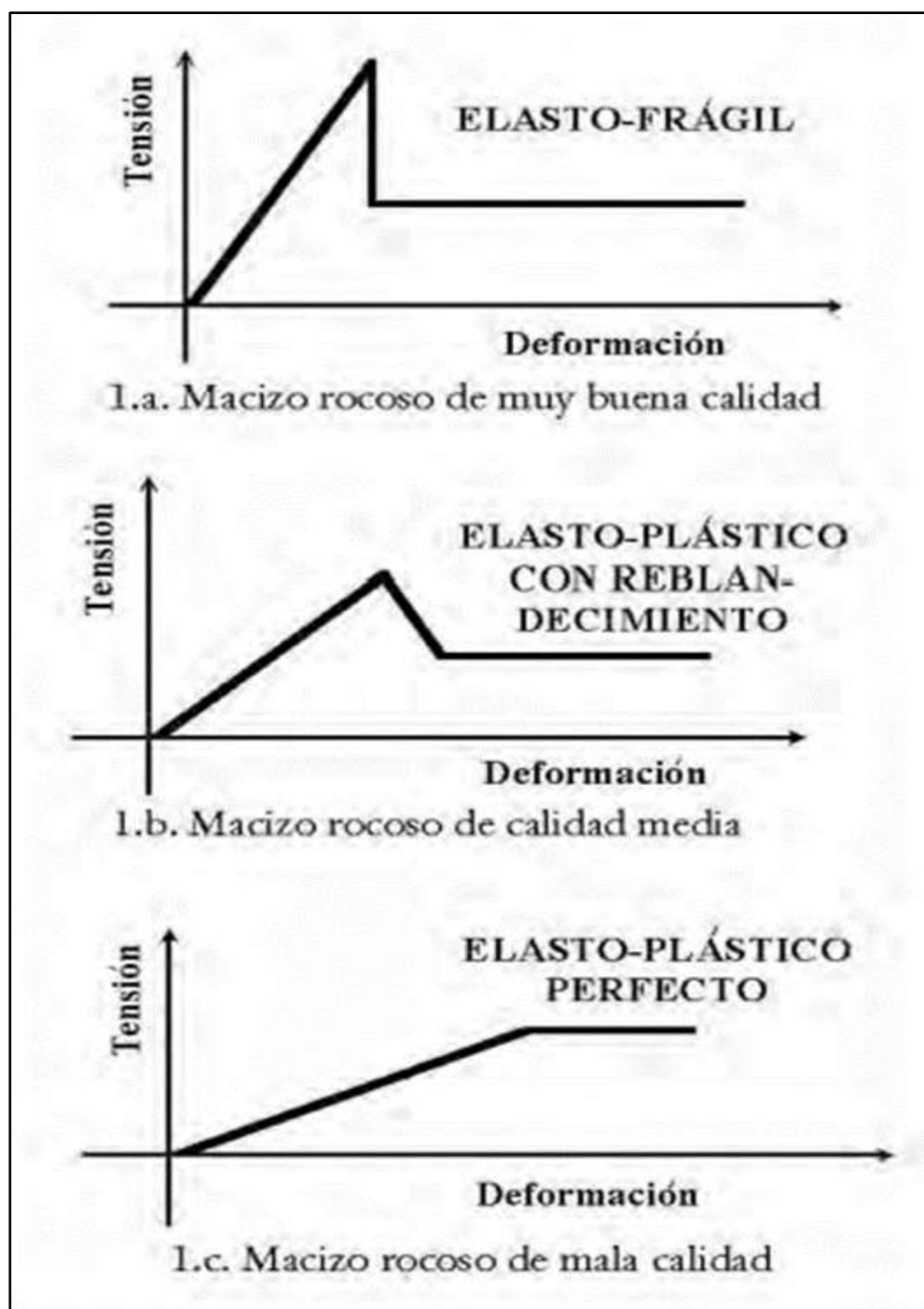
Deformación elástica inicial inicialmente, el material se deforma de manera elástica, es decir, recupera su forma original al eliminar el esfuerzo, hasta alcanzar un límite específico llamado límite elástico o de fluencia (σ_y).

- Deformación Plástica a Tensión Constante

Una vez superado el límite elástico, el material comienza a deformarse plásticamente de forma irreversible.

A diferencia del modelo elasto -plástico con reblandecimiento, en el modelo elasto -plástico perfecto la resistencia del material permanece constante después del límite elástico, independientemente de la deformación plástica adicional (Oyangure, 2004).





FUENTE: Barreda, 2018. Caracterización geomecánica del macizo rocoso.

Figura 3 — Guía para determinar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso post-rotura.

3.2.5 Sostenimiento

Usualmente se denomina soporte de rocas a los procedimientos y materiales utilizados para mejorar la estabilidad y mantener la capacidad de resistir las cargas que producen las rocas cerca al perímetro de la excavación subterránea. es muy importante el sostenimiento, ya que por la naturaleza del trabajo toda labor que se hace en el interior de la mina se realiza en espacios vacíos, inestabilizados producto de la rotura de la roca o mineral extraído; para lograr que se mantenga nuevamente estable la zona y en condiciones de trabajarla, la zona debe de redistribuir sus fuerzas, para ello es necesario apoyar inmediatamente con el refuerzo o el sostenimiento adecuado, considerando el tipo de rocas, fallas con relleno, fallas abiertas, etc.

Se puede clasificar a los diversos sistemas en dos grandes grupos:

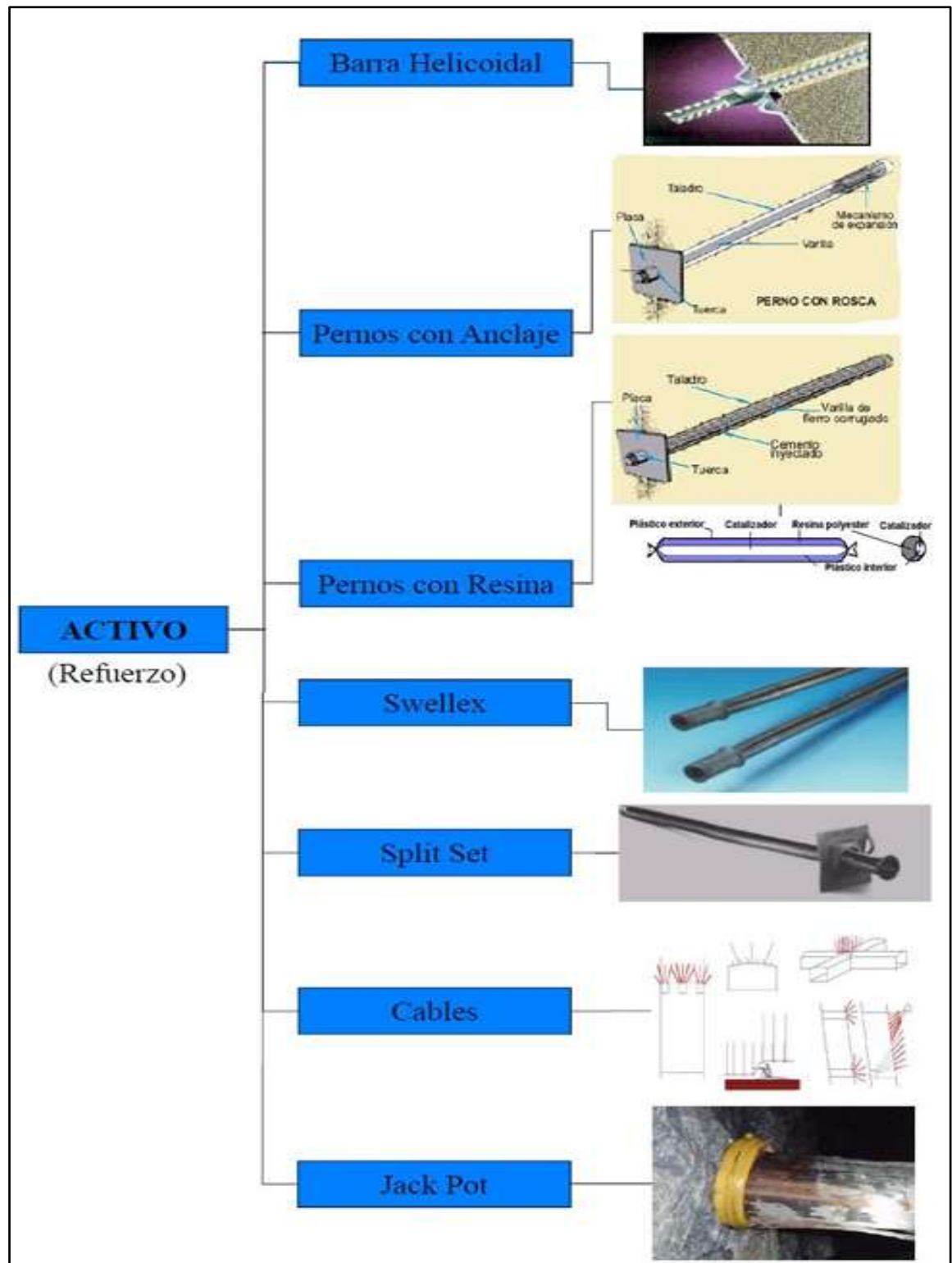
Los de apoyo pasivo: que viene a ser el refuerzo de la roca donde los elementos de sostenimiento son una parte integral de la masa rocosa.

- Cuadros de madera: Utilizados tradicionalmente para proporcionar soporte en áreas donde la roca es relativamente estable.
- Pilares de mineral: Se dejan en su lugar como soporte natural, aprovechando la resistencia del mineral no extraído.
- Puntales de madera: Proporcionan soporte temporal en excavaciones.

Los de apoyo activo: donde los elementos de sostenimiento son externos a la roca y dependen del movimiento interno de la roca que está en contacto con el perímetro excavado.

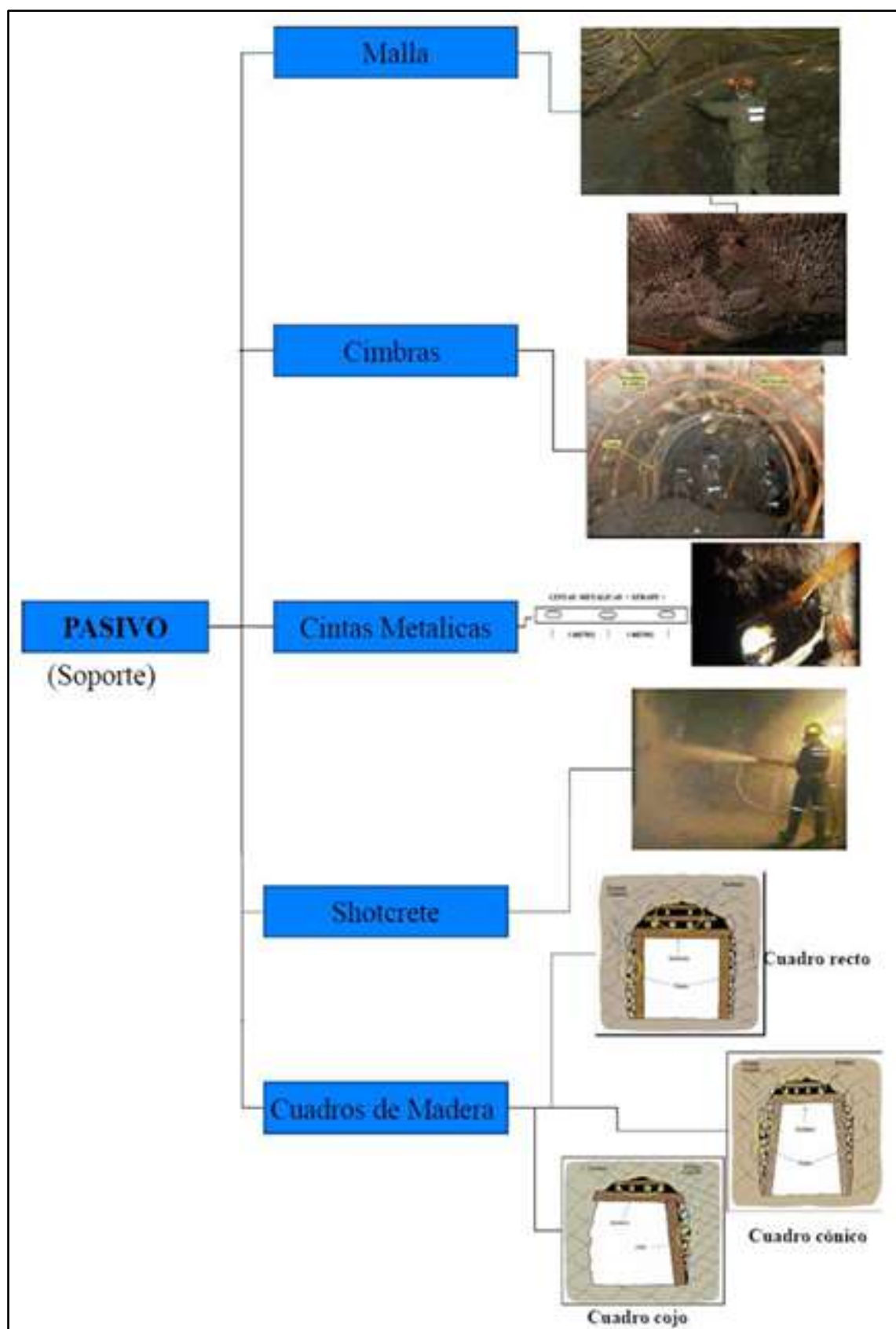
- Pernos de anclaje: Estos se instalan en la roca para proporcionar soporte adicional y estabilizar las paredes de la excavación.
- Shotcrete (hormigón proyectado): Se aplica sobre la superficie de la roca para crear una capa de soporte que ayuda a contener el material.
- Malla de acero: Utilizada junto con pernos para reforzar la roca y prevenir la caída de fragmentos. (Aquino, 2016).





FUENTE: Herbes, 2016. Sostenimiento en labores subterráneas MTC .

Figura 4 — Tipos de sostenimiento activo



FUENTE: Sancco, 2016. Sostenimiento en labores subterráneas-Puno.

Figura 5 — Tipos de sostenimiento pasivo

Objetivos del sostenimiento:

- Seguridad: Prevenir derrumbes y caídas de roca para proteger a los trabajadores y equipos.
- Estabilidad: Mantener la estabilidad de las excavaciones y asegurar la continuidad de las operaciones mineras.
- Control de Deformaciones: Limitar las deformaciones en las excavaciones para evitar el deterioro de las estructuras subterráneas.

Métodos de sostenimiento

- Barrenado y Pernos de Roca: Instalación de barras de acero en agujeros perforados en el macizo rocoso para proporcionar soporte y estabilidad.
- Shotcrete (Concreto Proyectado): Aplicación de una capa de concreto mediante proyección neumática para cubrir y estabilizar las superficies rocosas.
- Mallas Metálicas: Colocación de mallas de acero sobre las superficies rocosas para contener pequeños fragmentos de roca sueltos.
- Marcos de Acero o Madera: Instalación de estructuras en forma de marcos para soportar túneles y galerías.
- Revestimiento de Concreto: Construcción de una capa de concreto permanente para estabilizar las excavaciones.
- Bóvedas y Arcos: Uso de estructuras en forma de arco para distribuir las cargas y estabilizar grandes cavidades subterráneas. (Quispe, 2021).

Materiales Utilizados

Los materiales más comunes en el sostenimiento incluyen:

- Madera: Utilizada en sistemas tradicionales, como cuadros de madera y puntales, especialmente en rocas de alta resistencia.
- Malla de Alambre de Acero: Fundamental para mantener la integridad de la roca, se utiliza junto con bulones para mejorar la estabilidad.
- Arcos de Acero: Empleados en grandes secciones de vías, ofrecen un soporte robusto y son eficaces en condiciones de alta presión. (Basurco, 2021).



3.2.5.1 Interacción sostenimiento – roca.

La interacción entre la roca y el soporte se conoce también como "curvas de confinamiento-convergencia". Este modelo nos permite entender cómo se relacionan el soporte instalado y la masa rocosa. Aunque este modelo matemático no es definitivo para establecer el soporte adecuado en una excavación subterránea, se emplea en este tipo de trabajo, modelo matemático son los siguientes.

- Geometría del túnel: Asume que el túnel es de forma circular de radio r_i , el largo del túnel lo asume como bidimensional.
- Campo de esfuerzos in situ: tanto los esfuerzos horizontales como verticales los asume como si fuesen iguales, con una magnitud P_0 .
- Propiedades del macizo original: Asume que el macizo rocoso es lineal – elástico y se caracteriza por el módulo de Young y la relación de Poisson.
- Propiedades del material del macizo fracturado: Considera que el macizo fracturado que rodea el túnel es perfectamente plástico.
- Deformaciones volumétricas: Están determinada por la constante elástica E , se observa en la zona elástica.
- Comportamiento en relación al tiempo: Asume que el macizo original y el fracturado no están afectados por el tiempo.
- Alcance de la zona plástica: Considera que la zona plástica se extiende hasta un radio r_p que depende del esfuerzo in situ
- Simetría radial: Considera que sus detalles geométricos y parámetros físicos alrededor del túnel son simétricos. (Ramirez Blanco, 2018)

3.2.6 Criterio de Rotura de Hoek & Brown (1980 y modificatorias)

Hoek & Brown (1980), introdujeron su criterio de rotura en un intento de providenciar datos de partida para el análisis en el diseño de excavaciones subterráneas en rocas competentes. El criterio se dedujo a partir de los resultados de las investigaciones de Hoek, sobre roturas frágiles en rocas intactas y estudio del comportamiento de macizos rocosos de Brown. El criterio parte de las propiedades de la roca intacta e introduce factores reductores de propiedades de las características de un macizo rocoso fracturado. Los autores relacionaron su criterio empírico con las observaciones geológicas, haciendo uso del sistema de clasificación de los macizos rocosos, RMR de Bieniawski, 1973.



El criterio fue adoptado por profesionales que utilizan la mecánica de rocas y su uso rápidamente fue extendido más allá de los límites originales, y sirvió para establecer relaciones de resistencia de macizos rocosos. En los sucesivos años, fue necesario reexaminar estas relaciones lo que permitió introducir nuevos elementos, toda vez que, fue aplicado a un amplio rango de problemas prácticos. Fruto de estos avances fue la introducción de la idea de macizos rocosos “inalterados” y “alterados” y la introducción de un criterio modificado para determinar la resistencia a la tracción de macizos rocosos de calidad muy mala.

Formula:

La ecuación original de Hoek & Brown, está dada por:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^{0.5}$$

Donde:

σ'_1 y σ'_3 = Son los esfuerzos principales efectivos mayor y menor en el momento de la rotura.

σ_{ci} = Es la Resistencia a compresión uniaxial del material intacto.

m y s = Son las constantes del material, donde:

s = 1 para roca intacta

Los esfuerzos normales y el corte fueron deducida por J. W. Bray, en Hoek (1983) y últimamente por Ucar (1986) y Londe (1988). Hoek (1990), sugirió que la resistencia cohesiva determinada, al ajustar una tangente a la envolvente curvilínea de Mohr, es un valor sobredimensionado y puede dar resultados optimistas en los cálculos de estabilidad. Consecuentemente, puede ser más apropiado un valor medio determinado al ajustar una relación lineal de Mohr-Coulomb por métodos de mínimos cuadrados. En ese artículo Hoek, también introdujo el concepto del criterio de Hoek- Brown, generalizado en el que la forma de la curva de la tensión principal o la envolvente de Mohr, podría ajustarse por medio de un coeficiente variable “a”, en lugar del término de la raíz cuadrada de la ecuación.

Hoek y Brown (1997), intentaron consolidar todos los avances anteriores en una presentación comprensiva del criterio de rotura y dieron numerosos ejemplos, para ilustrar su aplicación práctica. Además de los cambios en las ecuaciones, también se reconoció que el RMR de Bieniawski, no era adecuado para relacionar el criterio de rotura con las observaciones geológicas en campo, particularmente para macizos rocosos muy débiles. Esto condujo a la introducción del Índice de Resistencia



Geológica GSI (Hoek; Wood; Shah (1992), y otros. Este índice fue posteriormente extendido a macizos rocosos débiles a través de una serie de artículos de Hoek, Marinos y Benisi (1998, 2001).

El Criterio de HOEK & BROWN generalizado, ahora, se expresa como:

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

Donde m_b = es un valor reducido de la constante del material m_i y este dado por:

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

s y a, son constantes del macizo rocoso dadas por las siguientes relaciones:

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

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

D es un factor que depende sobre todo del grado de alteración al que ha sido sometido el macizo rocoso por los efectos de las voladuras o por la relajación de esfuerzos. Varía desde 0, para macizos rocosos “in situ” inalterados hasta 1, para macizos rocosos muy alterados.

$$\sigma_c = \sigma_{ci} s^a$$

Siendo la resistencia a la tracción:

$$\sigma_t = - \frac{s \sigma_{ci}}{m_b}$$

La ecuación se obtiene haciendo $\sigma_1 = \sigma_3 = \sigma_t$ esto representa una condición de tensión biaxial. Hoek (1983), mostró que, para materiales frágiles, la resistencia a la tracción uniaxial es igual a la resistencia a tracción biaxial.

Los esfuerzos normales y al corte están relacionados con los esfuerzos principales por las ecuaciones publicadas por Balmer (1952).

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



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

Siendo:

$$d\sigma'_1/d\sigma'_2 = 1 + am_b(m_b\sigma'_3/\sigma_{ci} + s)^{a-1}$$

3.2.6.1 Módulo de deformación

Los módulos de deformación de macizos rocosos están dados por:

$$E_m [GPa] = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} 10^{\frac{GSI-10}{40}}$$

La ecuación utiliza cuando $\sigma_{ci} \leq 100$ MPa.

Cuando $\sigma_{ci} > 100$ MPa, se utiliza la siguiente expresión

$$E_m [GPa] = \left(1 - \frac{D}{2}\right) 10^{\frac{GSI-10}{40}}$$

Obsérvese que la ecuación original propuesta por Hoek & Brown (1997), ha sido modificada por la inclusión del factor D, para tener en cuenta los efectos de los daños de las voladuras y la relajación de esfuerzos.

3.2.6.2 Criterio de MOHR-COULOMB

Muchos softwares geotécnicos, aún están hechos en términos del criterio de rotura de Mohr-coulomb, es necesario determinar los ángulos de fricción y las resistencias cohesivas para cada macizo de Hoek & Brown, para un intervalo de esfuerzo principal menor definido por $\sigma_t < \sigma_3 < \sigma_{3\max}$, El proceso de ajuste supone equilibrar las áreas por encima y por debajo de la curva de Mohr-Coulomb.

Esto da lugar a las siguientes ecuaciones para el ángulo de fricción ϕ y la resistencia cohesiva C:

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



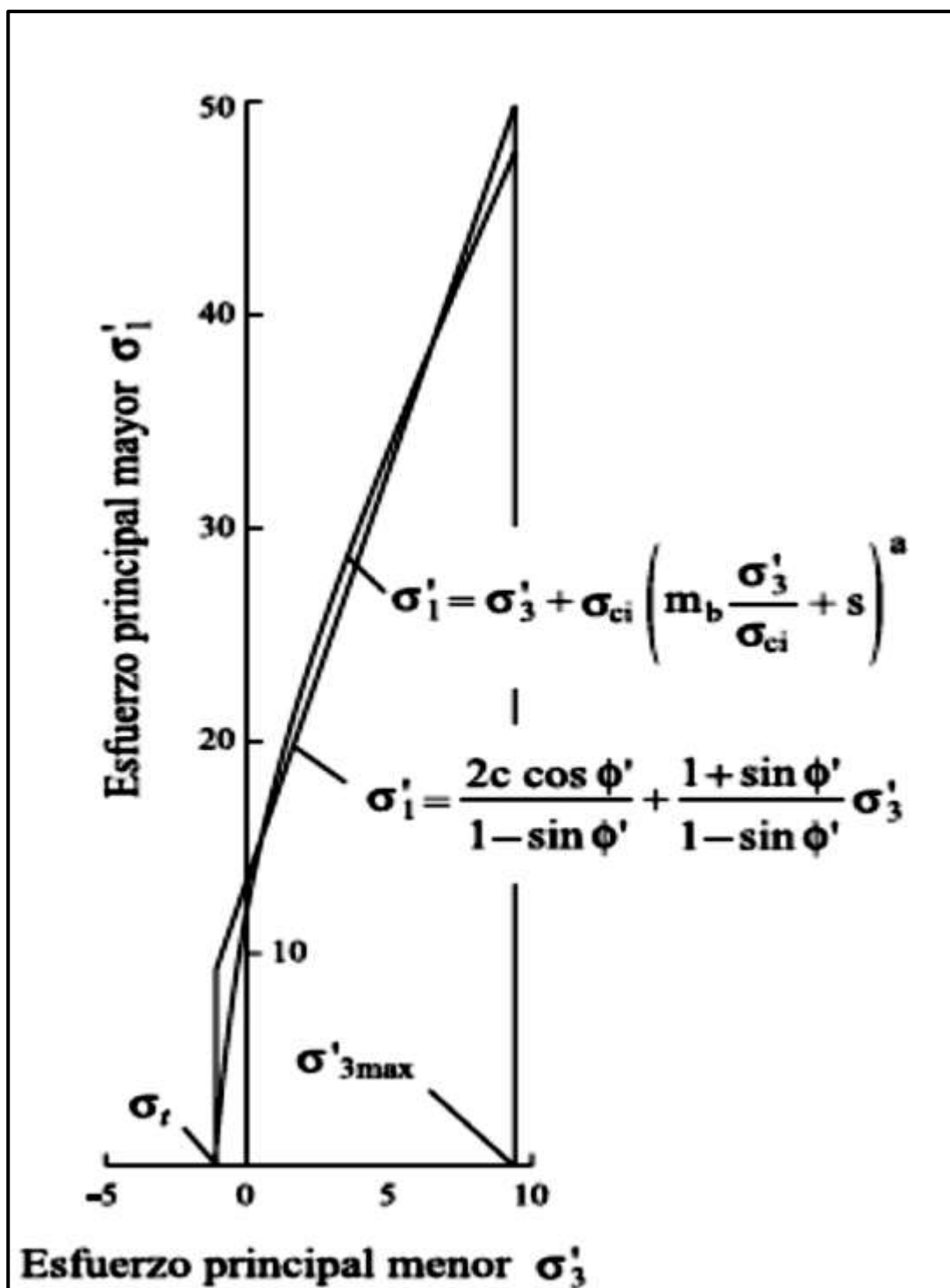
$$c' = \frac{\sigma_{ci} [(1+2a)s + (1-a)m_b \sigma'_{3n}] (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + \frac{6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)}}}$$

La resistencia al corte de Mohr-Coulomb (τ), para un esfuerzo normal de σ'_n , se encuentra sustituyendo estos valores de c' y ϕ' en la ecuación:

$$\tau = c' + \sigma'_n \tan \phi'$$

en términos de esfuerzos principales, menor y mayor, está definido por:

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



FUENTE: González, 2022. Caracterización geomecánica de suelos y rocas.

Figura 6 — Relaciones entre esfuerzos principales mayores y menores, criterio de Hoek & Brown y el equivalente de Mohr-Coulomb.

3.2.7 Resistencia del Macizo Rocoso

La resistencia a la compresión del macizo rocoso σ_c , se inicia en el contorno de la excavación cuando los esfuerzos introducidos en dichos contornos exceden el valor

σ_c . La rotura se propaga desde este punto inicial formando un campo de esfuerzos biaxiales en rotura y eventualmente se estabiliza cuando la relación de esfuerzos de resistencia local, definida por la resultante mayor la combinación de esfuerzos inducidos σ'_1 y σ'_3 , siendo muy importante este nivel de análisis detallado cuando se trata de determinar la estabilidad de excavaciones en roca y cuando se diseñan sistema de sostenimiento para esta excavación (Carranza Torres, 2002).

Esto conduce al concepto de “resistencia del macizo rocoso” global que Hoek Brown (1997), propusieron y que podría estimarse a partir de la relación de Mohr-Coulomb:

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

Con c' y ϕ' , determinado para el intervalo de esfuerzos $\sigma_t < \sigma'_3 < \frac{\sigma_{ci}}{4}$, resultando en:

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

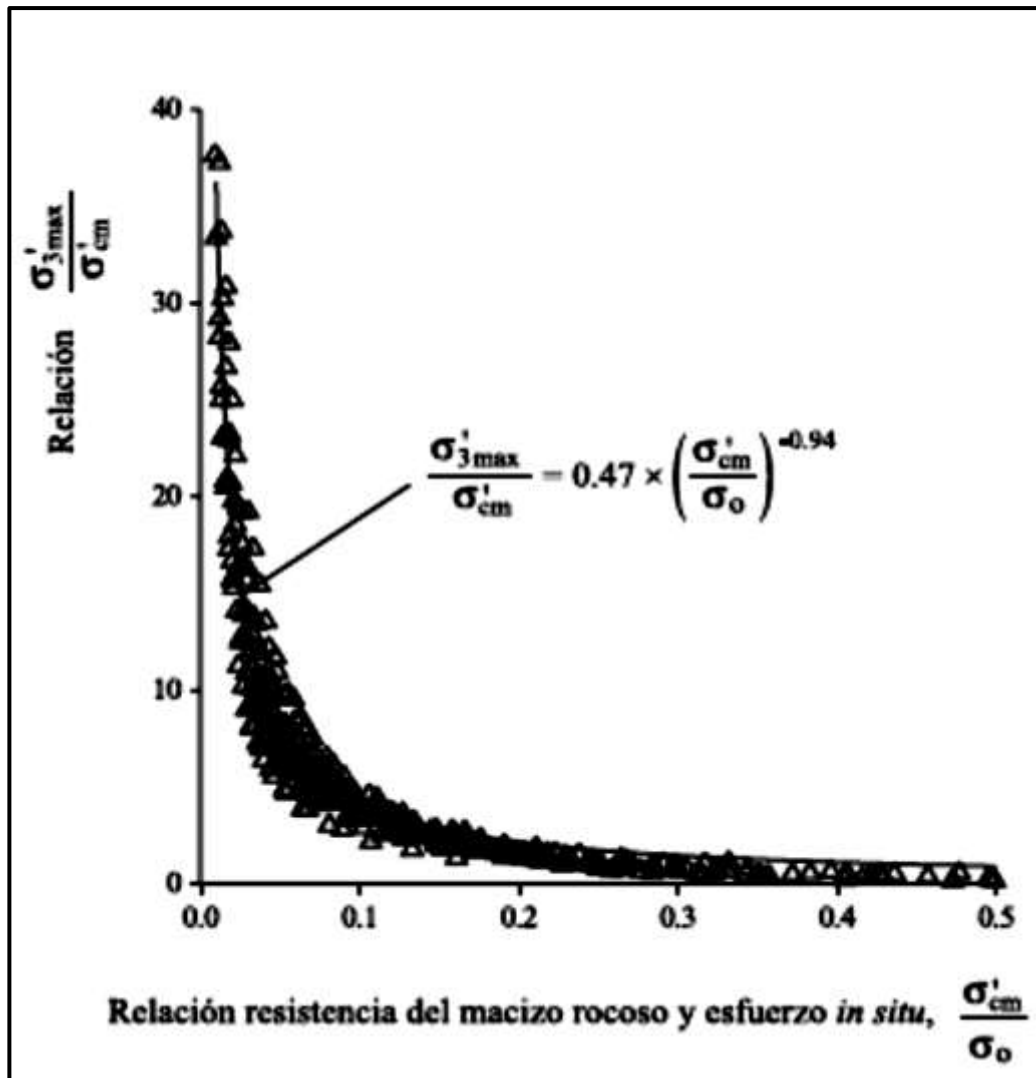
Donde:

σ'_{cm} Resistencia del macizo rocoso el valor apropiado de $\sigma'_{3 \max}$, a ser utilizado depende de cada situación específica de los casos que fueron investigados por Hoek; Carranza-Torres; Corkum, (2002)

Para túneles profundos se han utilizado soluciones elásto-plástico que incorporan los criterios de Hoek Brown y Morhr-Coulomb encontrar el valor de $\sigma'_{3 \max}$ que da las curvas características equivalentes, por debajo de la superficie es menor a tres veces el diámetro del túnel, estudios numéricos comparativos de la excavación, de la extensión de rotura y la magnitud de la superficie de subsidencia, dan una relación parecida a la obtenida para túneles profundos, esto es cuando el hundimiento sobre el túnel poco profundo, no alcanza la superficie (Carranza Torres, 2002).

$$\frac{\sigma'_{3 \max}}{\sigma'_{cm}} = 0.47 \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.94}$$





FUENTE: Carranza, 2018. Evaluación de la estabilidad de excavaciones mineras mediante análisis empíricos en la mina de San Juan, Ecuador.

Figura 7 — Relación para el cálculo de en los parámetros de Hoek Brown y Mohr- Coulomb, para túneles.

Donde la σ'_{cm} , es el peso unitario del macizo rocoso y H, es la profundidad del túnel desde la superficie. En casos donde la tensión horizontal es mayor que la tensión vertical se usara el valor de la tensión horizontal en lugar de H se aplica a todas las excavaciones subterráneas, que son circundadas por una zona de rotura que no se extiende hasta la superficie. Para estudios de problemas tales como el hundimiento de bloques en mina.

$$\frac{\sigma'_{3max}}{\sigma'_{cm}} = 0.72 \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.91} \quad \text{Siendo H, la altura del talud}$$

3.2.7.1 Estimación del factor de alteración D

La experiencia en el diseño de taludes en grandes tajos a cielo abierto ha mostrado que el criterio de Hoek & Brown, para macizos rocosos “in situ” no alterados ($D = 0$) da lugar a parámetros de resistencia del macizo rocoso consideradas optimistas. Los efectos de los intensos daños de las voladuras, así como de la relación de esfuerzos debido a la retirada del estéril de recubrimiento, provocan una alteración del macizo rocoso. Para estos macizos rocosos es más apropiado considerar propiedades “alteradas” del macizo es decir $D = 1$. A partir de estas referencias, el grado de alteración en el macizo rocoso circundante a una excavación, puede influir en un gran número de factores y que nunca es posible cuantificar estos factores de manera precisa. Sin embargo, a partir de la experiencia y del análisis de todos los detalles recogidos. Hoek; Carranza-Torres; Corkum, (2002), han intentado establecer unas guías para estimar el factor D. Para un macizo rocoso inalterado circundante a un túnel a una profundidad de 100 m, con un factor de alteración $D = 0$ el ángulo de fricción equivalente es $\phi = 47.16^\circ$, mientras que la resistencia cohesiva es $c = 0.58$ MPa (Carranza Torres; 2002).

En conclusión, Hoek; Carranza-Torres; Corkum, (2002), han tratado diversos problemas prácticos y aspectos de incertidumbre en el uso del criterio de rotura de Hoek & Brown. Hicieron lo posible por aportar un método riguroso y sin ambigüedades para calcular o estimar los parámetros requeridos en el análisis. Estos métodos han sido implementados en un programa llamado “Rocdata”. Este programa incluye tablas y gráficos para estimar la resistencia a la compresión de los elementos de roca intacta (σ_{ci}), la constante del material m_i y el índice de resistencia geológica, GSI, el factor de alteración D y para estimar los valores de m_i en diferentes tipos de roca.



Apariencia del macizo rocoso	Descripción del macizo rocoso	Valor D sugerido
	Excelente calidad de voladura controlada o excavación con tuneladora, TBM, con resultados de alteración mínima del macizo rocoso confinado circundante al túnel	$D = 0$
	Excavación mecánica o manual en macizos rocosos de mala calidad (sin voladuras) con una alteración mínima en el macizo rocoso circundante. Cuando aparezcan problemas de deformación en el piso durante el avance, la alteración puede ser severa a menos que se coloque una contrabóveda temporal, tal como se muestra en la fotografía.	$D = 0$ $D = 0.5$ No invert
	Voladura de muy mala calidad en un túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2 o 3 m en el macizo rocoso circundante.	$D = 0.8$
	Pequeñas voladuras en taludes de ingeniería civil dan lugar a pequeños daños al macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía. Sin embargo la liberación de tensiones resulta en alguna alteración.	$D = 0.7$ Good blasting $D = 1.0$ Poor blasting
	Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al retirar el estéril de recubrimiento. En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor.	$D = 1.0$ Production blasting $D = 0.7$ Mechanical excavation

FUENTE: Canales, 2019. Mecánica de rocas, Fundamentos e Ingeniería de Taludes

Figura 8 — Guía para determinar el valor de alteración (Hoek, 2002)

Tabla 5 — Valores de la constante de la roca intacta para distintos tipos de roca

Tipo de roca	Clase1	Grupo	Textura			
			Gruesa	Media	Fina	Muy Fina
SEDIMENTARIAS			Conglomerado	Arenisca	Fina	Arcillolita
			-22	19	9	4
	Clásticas		<-----Grauwaca-----à			
			-18			
	No Clásticas	Orgánica				
			(8-21)			
		Carbonatatos	Brechas	Caliza	Caliza	
			-20	Esparítica	Micrítica	
				-10	8	
		Químicas		Yeso	Anhidrita	
				16	13	
		METAMORFIC.	No Foliadas		Mármol	Rocas Corneas
9	-19				24	
Levemente Foliadas			Migmatita	Anfibolita	Milonitas	
			-30	25-31	-6	
Foliadas			Gneiss	Esquistos	Filitas	Pizarras
			-30	04-Ago	-10	9
IGNEAS	Intrusivas	Claras	Granito		Riolita	Obsidiana
			33		-16	-19
			Granodiorita		Dacita	
			-30		(179	
			Diorita		Andesita	
			28		19	
		Oscuras	Gabro		Basalto	
			27	Dolorita	-17	
			Norita	-19		
			22			
	Extrusivas Piroclásticas		Aglomerados	Brechas	Tobas	
			820)	-18	-15	
FUENTE: Oyanguren, 2022. Mecánica de rocas fundamentos e ingeniería de taludes						

FUENTE: Oyanguren, 2022. Mecánica de rocas fundamentos e ingeniería de taludes

3.2.8 Aplicación del Programa Rocdata

La utilidad de los modelos desarrollados y de los potentes programas de análisis numérico es bastante limitada. Sin embargo, la última versión del criterio de ruptura de Hoek-Brown (1999) para macizos rocosos, implementada en el programa Rocdata, ofrece una solución satisfactoria, incluyendo:

- La aplicabilidad del criterio para macizos rocosos muy débiles.
- Comportamiento de las rocas.

El programa Rocdata, proporciona una implementación sencilla e intuitiva del criterio de ruptura Hoek-Brown, permitiendo obtener fácilmente estimaciones de las propiedades del macizo rocoso y visualizar cómo los cambios en los parámetros del macizo afectan su ruptura, pueden ser utilizadas como entrada para programas como Phase2, para análisis de tensiones y elementos de soporte, además de servir en el diseño de excavaciones y de equilibrio. (Cuevas CondorI, 2021)

Determinación de Parámetros con el RocLab

- Determina los parámetros de resistencia.
- Determina los parámetros Hoek-Brown generalizados, de resistencia del macizo rocoso (m_b , s y a), en base a datos de entrada, obtenidos en el laboratorio:
- Los Esfuerzos principales de una roca intacta
- La resistencia a la compresión de la roca intacta.
- El parámetro m_i de la roca intacta
- El índice de resistencia geológica GSI
- Factor de alteración D

Parámetros de Resistencia para cada Dominio Estructural.

Introduciendo al programa RocLab, los resultados de campo y laboratorio, determinamos los parámetros Hoek & Brown generalizados del macizo rocoso (m_b , s y a). A partir de los siguientes datos de entrada:

- Los Esfuerzos principales de la roca intacta σ_1 , σ_3
- La resistencia a la compresión de la roca intacta σ_{ci}
- El parámetro m_i de la roca intacta
- El índice de resistencia geológico GSI
- El factor de alteración D



3.2.9 Generalidades de la mina

Es una mina subterránea de minerales donde se extrae cobre, la forma de su mineralización es a través de filones, que son como venas o franjas de mineral que recorren las rocas. Estos filones están rodeados por ramificaciones rectas, aproximadamente de medidas entre 100 a 1800m y el grosor de los filones varían mucho entre 30 cm un poco más de un pie hasta 4 metros.

3.2.9.1 Ubicación de la mina

La mina Victoria se encuentra situada en la región Apurímac provincia de Andahuaylas, distrito Tumay huaraca, comunidad Ischu Orcco, paraje puka puka. El área de levantamiento corresponde al área catastral 18-S, zona L de la tabla 24-p, con aproximadamente las siguientes coordenadas geográficas y UTM:

Tabla 6 — Coordenadas geográficas de la mina Victoria

Sur	13° 62' 50"
Longitud Oeste	73° 38' 19"
Altitud	4597 m.s.n.m.

Tabla 7— Coordenadas UTM de la mina Victoria

Norte	8452874.32
Este	71997.97

a) Accesibilidad

De la siguiente manera se puede acceder al área de operaciones:

Vía Terrestre:

Tramo1: Abancay - Andahuaylas-Huancabamba-mina Victoria

Tramo 2: Abancay - Sañayca-Pampachiri-mina Victoria

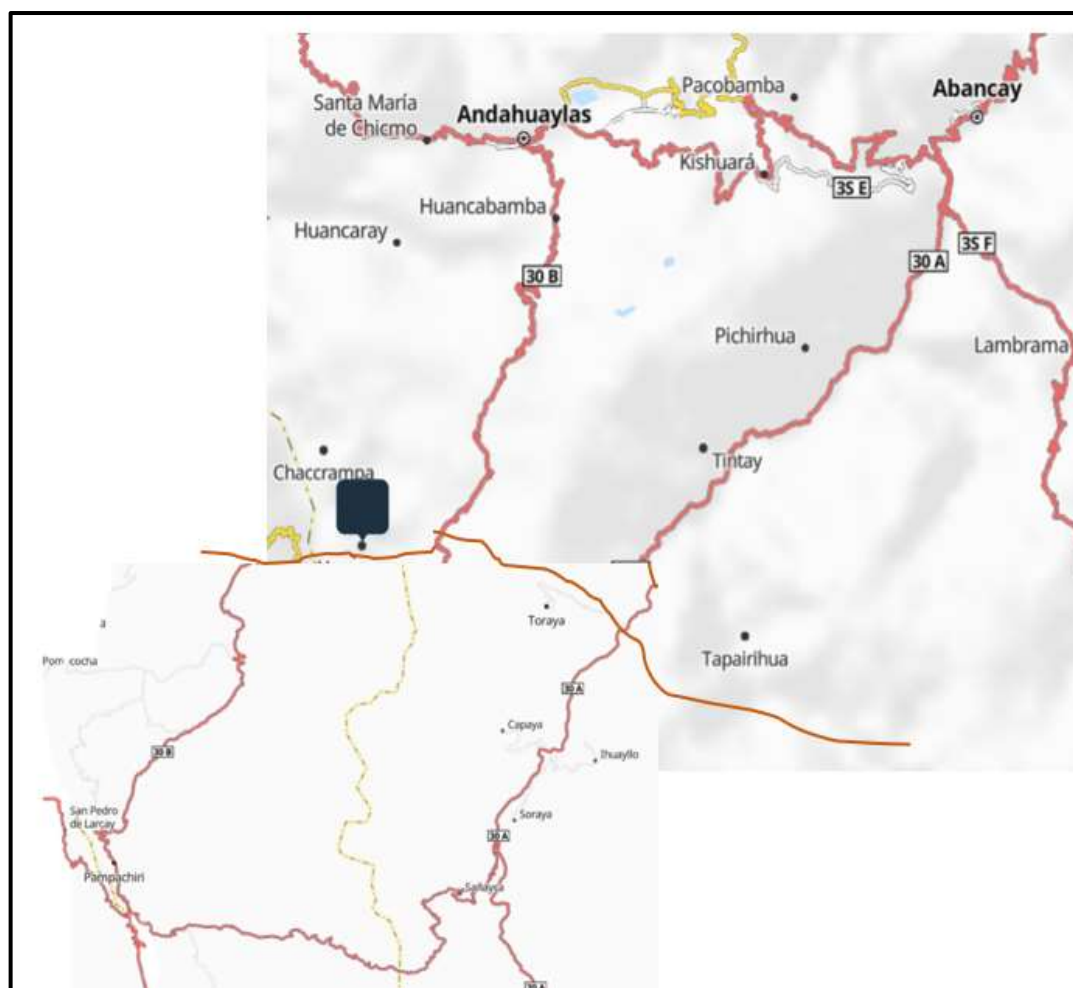


Tabla 8 — Accesibilidad hacia la mina Victoria

Tramo 1	Distancia (km)	Tiempo (Horas)	Descripción
Abancay-Andahuaylas	140 km	4h 00 min	Carretera asfaltada
Andahuaylas - Huancabamba	20 km	2 h 30 min	Carretera asfaltada
Huancabamba – Mina Victoria	1 km	1h 15 minutos	trocha

Tabla 9— Accesibilidad tramo 2 hacia la mina Victoria

Tramo 2	Distancia (km)	Tiempo (Horas)	Descripción
Abancay-Sañayca	105 km	2h 00 min	Carretera asfaltada
Sañayca - Pampachiri	220 km	4h 30 min	Carretera asfaltada
Pampachiri -Mina Victoria	2 km	1h 30minutos	trocha



FUENTE: Google Maps, 2024

Figura 9 — Accesibilidad hacia la mina Victoria (2024)

b) Geografía

Geográficamente se observan rocas intrusivas que afloran las cuales forman bosques de piedras, que representativo en el paraje de puka presenta unidades litoestratigráficas, en particular depósitos glaciares y fluvioglaciares (Q-glfl), lavas andesíticas (Qp-y), tobas ignimbritas, dacíticas y areniscas tobáceas (Np-an), calizas grises oscuras y calizas arcillosas (Kis-a/i), calizas de color gris en estratos delgados (Kis-a/m) y gruesos (Kis-a/s); y morfoestructural volcánicas del Grupo Barroso andesitas (N-b-and), tobas-andesitas (Np-b-tband), y lavas andesíticas (NQ-y/c-tcri). La región tiene un clima frío y seco conocido como “puna”, dos marcadas estaciones, el verano e invierno, siendo el verano en los meses de marzo, abril y mayo y el invierno en los meses de junio, Julio, agosto y Setiembre; la intensidad de las lluvias El clima es frío y Templado frío con una temperatura entre a 15°C durante el día, fenómenos que se representan con mayor frecuencia durante los meses de abril, mayo, junio y parte de Julio

durante el año presenciamos los periodos lluviosos de diciembre a marzo y secos de abril a noviembre.

Las principales actividades económicas del distrito, al igual que en toda la provincia, son la agricultura y la ganadería. La mayoría de las familias disponen de un pequeño hato ganadero (ovino, vacuno o caprino), que, de acuerdo a las características geográficas y las condiciones de tenencia, aumentan o disminuyen.

3.2.9.1 Geología local

La geología local de la de la mina la mina la Victoria Andahuaylas, está ubicada en los Andes Centrales del Perú, caracterizada por una compleja geología que incluye diversas formaciones y estructuras tectónicas. Aquí se encuentran formaciones de rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas que han sido influenciadas por la tectónica andina. En cuanto a su zona de mineralización depósitos de cobre (Cu), la presencia de mineralización de cobre está asociada con intrusiones ígneas del Batolito de Andahuaylas-Yauri, el cobre puede encontrarse en forma de vetas y diseminaciones en las rocas intrusivas y sedimentarias. El oro (Au) y plata (Ag) a menudo está asociada con sistemas de vetas hidrotermales y brechas en las rocas volcánicas y sedimentarias y otros



metales que pueden encontrar otros metales como plomo y zinc, especialmente en asociación con las vetas de cobre y oro (Supa Quille, 2021).

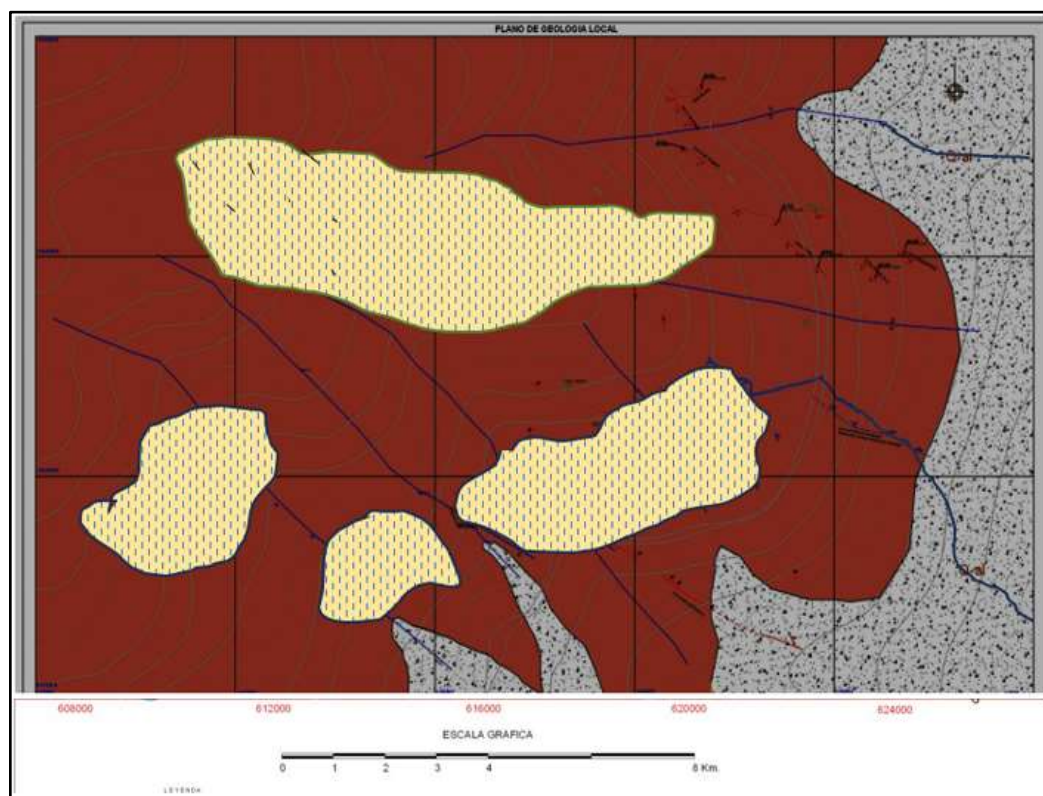


Figura 10 — Geología local de la mina Victoria

3.2.9.2 Geología regional

La mina Victoria se ubica en la comunidad de Ishu Orcco geológicamente en provincia de Andahuaylas, en el departamento de Apurímac. se ubican en la franja de yacimientos de skarn de Cu (Mo-Au) asociados a sistemas tipo pórfido ubicado en la parte sureste del Perú. Esta área es parte de una franja metalogenética importante controlada por el Batolito de Andahuaylas-Yauri y diversas formaciones geológicas que han influenciado la mineralización de la región.

Este batolito formado durante el Eoceno-Oligoceno, consiste en intrusiones granodioríticas y dioríticas que han invadido las unidades sedimentarias del Mesozoico. Se extiende a través de varias provincias, incluyendo Andahuaylas, y es un controlador principal de la mineralización en la región, Las intrusiones del batolito han generado metamorfismo de contacto, formando cuerpos de skarn con mineralización de cobre (Cu), molibdeno (Mo) y oro (Au). está caracterizada por una serie de fallas y pliegues con orientaciones NO-SE, NE-SO y otras,

generadas principalmente por la compresión tectónica de la Orogenia Andina. Estas estructuras han facilitado la circulación de fluidos hidrotermales y la concentración de minerales. (Supa Quille, 2021).

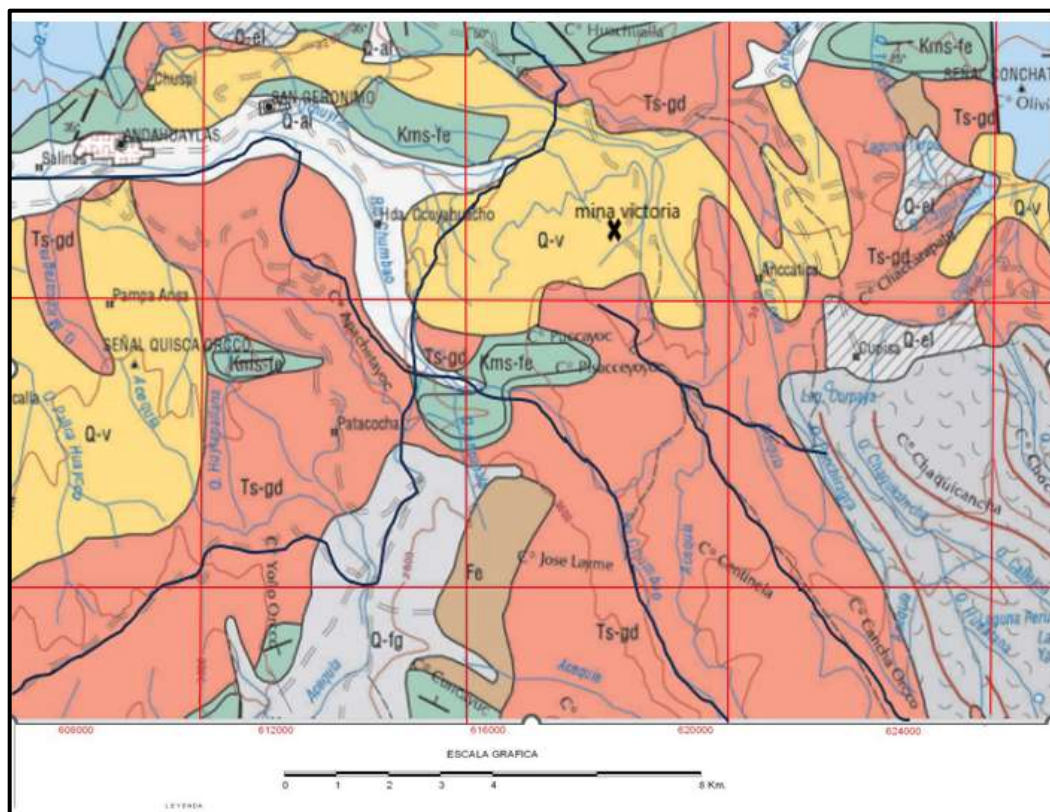


Figura 11 — Geología regional de la mina Victoria

3.2.9.3 Geología estructural

La geología estructural de la comunidad de Huarocopata y la mina Victoria está marcada por una serie de características tectónicas y estructurales influidas por la Orogenia Andina. Esta actividad tectónica ha generado una variedad de estructuras geológicas, incluyendo fallas, pliegues y lineamientos, que han facilitado la mineralización en la región. (Quille, 2021).

Fallas y pliegues

NO-SE estas fallas son las más predominantes en la región y están asociadas con la compresión tectónica de la Orogenia Andina. Actúan como principales conductos para la circulación de fluidos hidrotermales, NE-SO, También presentes, aunque menos comunes, estas fallas intersectan con las fallas NO-SE del batolito de Andahuaylas, creando zonas de alta fracturación y favoreciendo la formación de vetas y cuerpos mineralizados. Sus intrusiones han generado metamorfismo de contacto y han influido en la formación de cuerpos de skarn y pórfidos mineralizados las intrusiones ígneas han sido canalizadas a lo largo de

fallas y pliegues, interactuando con las calizas de la Formación Ferrobamba para formar cuerpos mineralizados, además de los esfuerzos distintivos en la región como consecuencia de una deformación regional.

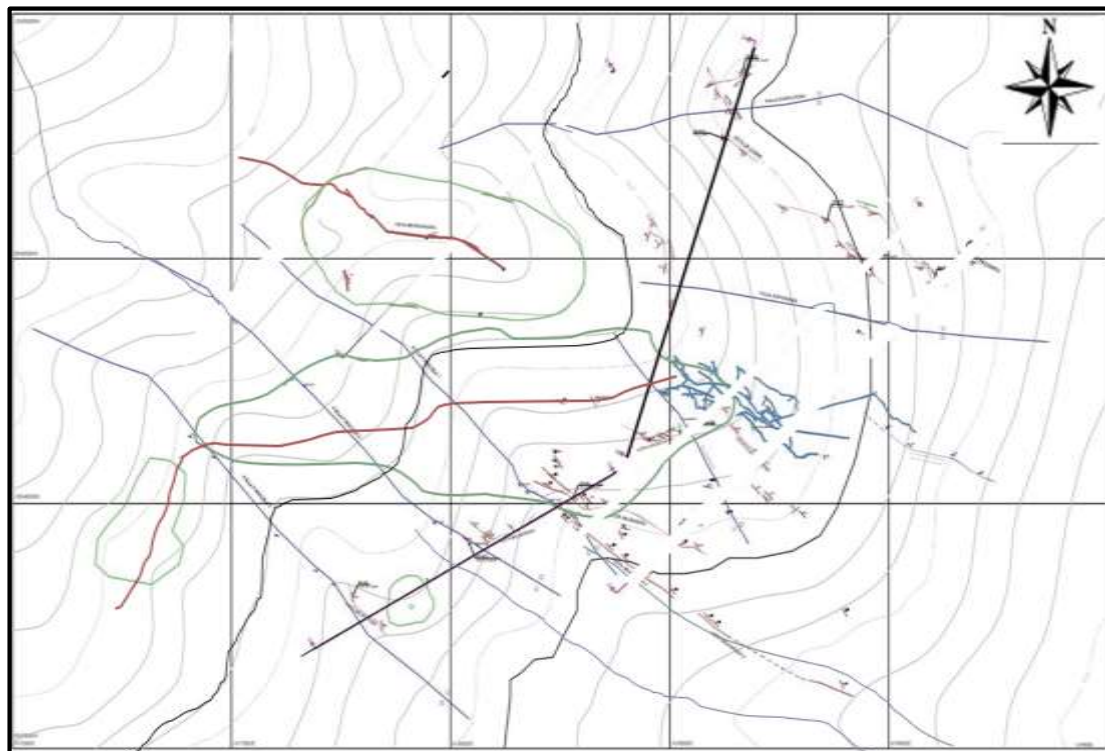


Figura 12 — Geología Estructural

3.2.9.4 Geología económica

El yacimiento de la Mina Victoria se encuentra en una franja metalogenética controlada por el Batolito de Andahuaylas-Yauri, que data del Eoceno-Oligoceno. Este batolito se ha emplazado en unidades sedimentarias del Mesozoico, con la Formación Ferrobamba (Cretáceo)

En el área del proyecto existen varias zonas con mineralización:

- Skarn de Cobre (Cu) con Molibdeno (Mo) y Oro (Au) estos cuerpos de skarn se forman por el metamorfismo de contacto entre las intrusiones del batolito y las calizas de la Formación Ferrobamba, sus Minerales Principales el Cobre (Cu), con importantes cantidades de molibdeno (Mo) y oro (Au).
- Depósitos Tipo Pórfido de Cobre-Molibdeno (Cu-Mo), están Asociados con grandes intrusiones ígneas, estos depósitos presentan una diseminación de minerales en una matriz de rocas alteradas. Los Minerales Principales, Cobre (Cu) y molibdeno (Mo), con ocurrencias menores de oro (Au) y plata (Ag).
- Vetas Hidrotermales, Formadas por fluidos hidrotermales que circulan a través de fracturas y fallas. Sus minerales principales son el Cobre (Cu), oro (Au), plata (Ag), plomo (Pb) y zinc (Zn). (INGEMET, 2019).

3.3 Marco conceptual

- a) **Macizo rocoso.** Es el conjunto de matriz rocosa más discontinuidades, se define como un material heterogéneo surge como consecuencia de la orientación y frecuencia de los planos de discontinuidad. (Vallejo, 2007)
- b) **Clasificaciones geomecánicas.** Conjunto de procedimientos que permiten determinar de una manera sencilla y mediante un índice numérico la calidad del macizo rocoso considerando determinadas condiciones in-situ según sea el tipo de clasificación. Las clasificaciones geomecánicas representan una manera de diferenciar a los macizos rocosos según sus características geológicas, hidrológicas y mecánicas para de esta forma establecer su competitividad ante la realización de alguna determinada obra de ingeniería, a lo largo del tiempo han surgido diversas clasificaciones geomecánicas. (Dias, 2012)
- c) **Rocdata.** Es un software desarrollado por Rocscience está diseñado para realizar análisis y cálculos en el campo de la mecánica de rocas, especialmente en lo que respecta a la clasificación y caracterización de materiales rocosos (Cuevas Condori, 2021)
- d) **Estructura geológica.** Se refiere a la disposición y organización de las rocas y los sedimentos en la corteza terrestre, incluyendo la forma y la orientación de las diversas unidades rocosas y los elementos tectónicos que las afectan. Estas estructuras resultan de procesos geológicos como la sedimentación, la deformación tectónica, la erosión y otros procesos geodinámicos. Las estructuras geológicas son cruciales para comprender la historia geológica de una región y para diversas aplicaciones en ingeniería geotécnica, exploración de recursos naturales y estudios ambientales. (Gonzales Dias, 2012)
- e) **Comportamiento geomecánico.** Se refiere a la respuesta de los materiales geológicos, como suelos y rocas, bajo diferentes condiciones de carga y ambientales. Este comportamiento incluye cómo estos materiales se deforman, resisten fuerzas, fallan o cambian de volumen cuando están sujetos a esfuerzos externos. (Guevara Bustamante, 2019).



CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

Según, EGG (2011) el tipo de investigación aplicada consiste en utilizar los conocimientos y aplicarlos para resolver problemas. Se aplicará conocimientos teóricos a situaciones específicas teniendo en cuenta que aportará significativamente estrategias de soluciones a problemas reales e identificables. De acuerdo con la teoría revisada la investigación será de tipo aplicada.

Según, Hernández (2014) considera que el nivel descriptivo es definir las cualidades del objeto de investigación como se manifiestan y los sucesos más importantes, también se refiere al nivel explicativo como el análisis de dos o más variables como se relacionan y explicar cómo y por qué ocurre un fenómeno. La presente investigación se recogerá información de los fenómenos las características y como se manifiestan, se analizará la relación que existe entre las variables según el valor que se les dé en un contexto particular y se explicará las causas de los eventos, como ocurre un fenómeno y porque se relacionan las variables, la información revisada la presente tesis se clasifica del nivel descriptivo - explicativo.

4.2 Diseño de la investigación

Según, Behar (2008) considera que el diseño no experimental es observar los sucesos sin participar y dejar que ocurran naturalmente. En la presente investigación se describirá los fenómenos las características y como se manifiestan se recogerán datos de la galería nivel 4040. La investigación se clasifica del diseño no experimental.

4.3 Descripción ética de la investigación

En la presente investigación se respetará los resultados de validez, la propiedad intelectual, la información conseguida, con los criterios éticos de confiabilidad, objetividad, originalidad.



4.4 Población y muestra

Según, Lerma (2009) considera la población como un conjunto de elementos del mismo tipo con cualidades fijas y que se estudia sus rasgos y relaciones

La presente investigación la población está compuesta por galería principal nivel 4040, labores de exploración, chimenea y un tajeo en preparación de la mina Victoria. Según Ñaupas (2018) considera que la muestra es la selección de un subconjunto de una población por medio de diferentes métodos. La muestra para esta investigación se toma de la Galería del Nivel 4040 de la Unidad Mina Victoria.

4.5 Procedimiento

En esta indagación el procedimiento usado es la recolección, procesamiento, análisis de datos e interpretación de resultados.

Recolección

- Recolección de información mediante una prospección y mapeo en campo.
- Las técnicas de recolección de datos in situ, utilizando instrumentos y formatos específicos para la clasificación geomecánica, se procesarán para generar bases de datos en hojas de Excel y planos de secciones y perfiles en CAD.
- Determinación de resultados mediante la utilización de Laboratorio.

Procesamiento y análisis de datos. De haber obtenida información se organizará según las variables y dimensiones de la investigación, y se desarrollará de manera esquemática utilizando herramientas informáticas como hojas de cálculo, fichas de interpretación, entre otros.

Interpretación de resultados. Los resultados se interpretarán según las dimensiones de la investigación, basándose en la información teórica y realizando correlaciones y discusiones en relación con los antecedentes del proyecto.

4.6 Técnica e instrumentos

La técnica. Según Arias (2012), la técnica de observación directa implica observar y registrar cualquier fenómeno natural o social conforme a los criterios y objetivos de la investigación.

Instrumentos. Cabezas (2018) definen la recolección de datos como el proceso de obtener información que el investigador luego transcribe a una ficha. En esta investigación, se utilizarán fichas de recopilación de datos como instrumento.

4.7 Análisis estadístico

Para procesamiento de datos se utilizará el Excel.



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Análisis de resultados

5.1.1 Determinación del comportamiento geomecánico del macizo rocoso analizados mediante clasificaciones geomecánicas para estimar el sostenimiento de la galería nivel 4040, mina Victoria, Andahuaylas, 2024

Tabla 10 — Datos y resultados del ensayo a la carga puntual

ENSAYOS DE LA RESISTENCIA A LA CARGA PUNTUAL								
DOMINIO EXTRACTURAL 01								
MUESTRA	LITOLOGIA	SECCION DE LA MUESTRA				CARGA (P) (KN)	Is	C (MPa)
		W1	W2	ANCHO	LARGO			
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)			
M -1	ANDESITA (and)	45	51	48	104	28.00	4.41	142.20
M-2	ANDESITA (and)	52	48	50	115	25.00	3.41	115.84
M-3	ANDESITA (and)	53	50	51	98	26.00	4.05	131.11
M-4	ANDESITA (and)	45	45	45	100	27.00	4.71	146.63
PROMEDIO								133.95
DOMINIO EXTRACTURAL 02								
MUESTRA	LITOLOGIA	SECCION DE LA MUESTRA				CARGA (P) (KN)	Is	C (Mpa)
		W1	W2	ANCHO	LARGO			
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)			
M-1	CALIZA (clz)	62	58	60	118	28.00	3.11	113.30
M-2	CALIZA (clz)	49	48	48.5	108	28.00	4.20	120.84
M-3	CALIZA (clz)	53	50	51.5	130	27.00	3.17	113.31
M-4	CALIZA (clz)	45	45	45	100	26.00	4.54	131.20
PROMEDIO								127.41
DOMINIO EXTRACTURAL 03								
MUESTRA	LITOLOGIA	SECCION DE LA MUESTRA				CARGA (P) (KN)	Is	C (Mpa)
		W1	W2	ANCHO	LARGO			
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)			
M-1	ARENISCA (arn)	58	53	55.5	110	27.00	3.47	122.85
M-2	ARENISCA (arn)	55	49	52	111	25.00	3.40	125.55
M-3	ARENISCA (arn)	53	50	51.5	106	27.00	3.88	125.48
M-4	ARENISCA (arn)	45	36	40.5	89	25.00	5.45	122.89
PROMEDIO								125.89
PROMEDIO TOTAL DE LAS 3 MUESTRAS								130.02



Tabla 11 — Parámetros para el cálculo resistencia de la muestra andesita

W2 (mm)	Área Transversal (mm ²)	Carga (kN)
dimensión		
51	2295	24
48	2496	23
50	2650	26
45	2025	27

Tabla 12 — Parámetros para el cálculo resistencia de la muestra caliza

W2 (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)
dimensión		
58	3596	28
48	2352	25
50	2650	27
45	2025	26

Tabla 13— Parámetros para el cálculo resistencia de la muestra arenisca

W2 (mm)	Área (mm ²)	Carga (kN)
dimensión		
53	3074	27
49	2695	25
50	2650	27
36	1620	24

En el mapeo geomecánico de campo se evaluaron las fracturas para cada tipo de litología (andesita, Caliza y arenisca).

Cálculo de RQD en el laboratorio se usa la siguiente formula.

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

Estimación de RQD para la litología de andesita

λ es el número de fracturas es 9.8

e es la base del logaritmo natural

reemplazamos en la formula

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

$$RQD=100 \times e^{-0.1 \times 9.8 \times (0.1 \times 9.8 + 1)}$$

$$e^{-0.1 \times 9.8} = e^{-1.5} \approx 0.3747$$

$$(0.1 \times 9.8 + 1) = 1.5 + 1 = 1.98$$

$$RQD = 100 \times 0.3747 \times 1.98 = 100 \times 0.74241 = 74.24\%$$

Estimación de RQD de la litología arenisca

λ es el número de fracturas es 10

e es la base del logaritmo natural

reemplazamos en la formula

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

$$RQD = 100 \times e^{-0.1 \times 10 \times (0.1 \times 10 + 1)}$$

$$e^{-0.1 \times 10} = e^{-1} \approx 0.3679$$

$$(0.1 \times 10 + 1) = 1 + 1 = 2$$

$$RQD = 100 \times 0.3679 \times 2 = 100 \times 0.7358 = 73.58\%$$

Estimación de RQD de la litología caliza

λ es el número de fracturas es 9.5

e es la base del logaritmo natural

reemplazamos en la formula

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

$$RQD = 100 \times e^{-0.1 \times 9.5 \times (0.1 \times 9.5 + 1)}$$

$$e^{-0.1 \times 9.5} = e^{-1} \approx 0.3867$$

$$(0.1 \times 9.5 + 1) = 1 + 1 = 1.95$$

$$RQD = 100 \times 0.3867 \times 1.95 = 100 \times 0.754 = 75.4\%$$

Cálculo del promedio del RQD de las tres litologías

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

$$RQD \text{ Andesita} = 74.24\%$$

$$RQD \text{ Arenisca} = 73.58\%$$

$$RQD \text{ Caliza} = 75.4\%$$

$$\text{Promedio} = 74.58 \approx 75\%$$

Comprobación

e es la base del logaritmo natural

λ lambda es la frecuencia de discontinuidades

Frecuencia de discontinuidades (λ) 9 discontinuidades

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

$$RQD = 100 \times e^{-0.1(9) \times (0.1 \times 9 + 1)} = 75\%$$



Clasificaciones geomecánicas para estimar sostenimiento según Barton (Q)

Parámetros requeridos por la ecuación de Barton para determinar el valor de Q referente a la calidad del macizo, se determinaron en base al mapeo realizado al macizo rocoso posee un RQD de 75%.

Tabla 14 — Datos geomecánicos para determinar el tipo de sostenimiento

Datos geomecánicas	
Resistencia a la compresión uniaxial	130 MPa
RQD	75%
Número de discontinuidades	3 familias
mi	20
D (Factor de disturbancia)	0.3
GSI	51
Ángulo de fricción interna de las discontinuidades	35°
Condición de las discontinuidades	
Apertura	0.1-1.0 mm
Rugosidad	Rugosa
Relleno	Duro
Relleno	<5 mm
Meteorización	Moderadamente intemperizadas
Persistencia	3-10 m
Espaciamiento	0.6-0.8 m
Condiciones de agua	Húmedo
Orientación de la labor	Paralela a las discontinuidades
Buzamiento del sistema principal	75°

Nombre del Proyecto:		Comportamiento geomecánico del macizo rocoso analizados mediante clasificaciones geomecánicas mina Victoria, Andahuaylas, 2024																																											
Nivel:		4040																																											
Labor:		GALERÍA																																											
Ejecutado por:		DAVID FRANCISCO CATALAN MENDOZA																																											
Fecha:		marzo DEL 2024																																											
SISTEMA RMR																																													
PARÁMETROS				VALOR						VALOR																																			
Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)				130	>250 (15)	X	100-250 (12)	50-100 (7)		25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	12																																	
RQD (%)				75%	90-100 (20)		75-90	X	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	13																																	
Espaciamiento de discontinuidades (cm)					>2m (20)		0.5-2 m (15)	0.2-0.5m (10)	X	0.05-0.2m (8)	< 0.05m (5)	8																																	
CONDICION DE DISCONTINUIDADES																																													
Familia	Buz.	/D. Buz	f/m	Persistencia	<1m long. (5)		1-3 m Long.	X	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	2																																	
D1	45	230	3	Abertura	Cerrada (5)		<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm	X	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4																																	
D2	28	145	4	Rugosidad	Muy rugosa (5)		Rugosa	X	Lig rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4																																	
D3	78	110	5	Relleno	Limpio (5)		Duro < 5mm	X	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5mm (0)	4																																	
				Alteración	Sana (5)		Lig. Intempe. (5)	Mod Intempe.	X	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)	5																																	
Agua subterránea:					Seco (15)	X	Humedo. (10)	Mojado (7)		Gotoso (4)	Flujo (0)	4																																	
Orientación				<table><tr><td colspan="2">Número perpendicular al eje de la discontinuidad</td><td colspan="2">Dirección con el buzamiento</td><td colspan="2">Dirección contra el buzamiento</td><td colspan="2">Número paralelo al eje de la discontinuidad</td><td rowspan="4">Evaluación de RMR independiente al del número</td></tr><tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr><tr><td>0°-30° Muy a favorables</td><td>31°-45° Favorables</td><td>46°-60° Regulares</td><td>61°-75° Desfavorables</td><td>76°-90° Muy Desfavorables</td><td>91°-100° Muy Desfavorables</td><td>101°-120° Muy Desfavorables</td><td>121°-150° Muy Desfavorables</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr></table>								Número perpendicular al eje de la discontinuidad		Dirección con el buzamiento		Dirección contra el buzamiento		Número paralelo al eje de la discontinuidad		Evaluación de RMR independiente al del número									0°-30° Muy a favorables	31°-45° Favorables	46°-60° Regulares	61°-75° Desfavorables	76°-90° Muy Desfavorables	91°-100° Muy Desfavorables	101°-120° Muy Desfavorables	121°-150° Muy Desfavorables	1	2	3	4	5	6	7	8	-5
Número perpendicular al eje de la discontinuidad		Dirección con el buzamiento		Dirección contra el buzamiento		Número paralelo al eje de la discontinuidad		Evaluación de RMR independiente al del número																																					
0°-30° Muy a favorables	31°-45° Favorables	46°-60° Regulares	61°-75° Desfavorables	76°-90° Muy Desfavorables	91°-100° Muy Desfavorables	101°-120° Muy Desfavorables	121°-150° Muy Desfavorables																																						
1	2	3	4	5	6	7	8																																						
				RMR ₉₃ (Basico) =								56																																	
				RMR ₉₃ (Corregido) =								51																																	
Condiciones secas				RMR' ₉₃ (Condiciones Secas)=								52																																	
JRC		RMR		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	III B																																				
(BARTON BANDIS)		DESCRIPCION		I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA																																					

FUENTE: Diaz, Jaime. Clasificaciones geomecánicas del macizo rocoso 2016.

Figura 13 — Clasificación geomecánica del macizo rocoso según Bieniawski

CLASE	RMR	EXCAVACIÓN (PASE)	SOSTENIMIENTO		
			BULONES (Longitud en m)	HORMIGÓN PROYECTADO	CERCHAS METÁLICAS
I Muy buena	81-100	Sección completa (3 m)	Ocasionalmente	No necesario	No necesarias
II Buena	61-80	Sección completa (1-1.5 m). Sostenimiento terminado a 20 m del avance	Localmente en clave. L = 3 m. Espaciados a 2.5 m con mallazo ocasional	50 mm en clave donde sea necesario	No necesarias
III Media	41-60	Avance y destroza (1.5-3 m en avance) Sostenimiento empezado en el frente y terminado a 10 m del frente	Sistemáticamente en clave y hastial. L = 4 m. Espaciados 1.5 a 2.0 m. Mallazo en clave.	50-100 mm en clave. 30 mm en hastiales.	No necesarias
IV Mala	21-40	Avance y destroza (1.0-1.5 m en avance) Sostenimiento empezado simultáneamente con la excavación y hasta 10 m del frente	Sistemáticamente en clave y hastiales. L = 4 a 5 m. Espaciados a 1.0-1.5 m. Con mallazo.	100-150 mm en clave. 100 mm en hastiales.	Ligeras a medias, espaciadas a 1.5 m donde sea necesario
V Muy mala	1-20	Galerías múltiples. (0.5-1.5 m en avance) Sostenimiento simultáneo con la excavación. Hormigón proyectado inmediatamente después de la voladura.	Sistemáticamente en clave y hastiales. L = 5-6 m. Espaciados a 1.0-1.5 m. Con mallazo. Bulonar la contrabóveda.	150-200 mm en clave. 150 mm en hastiales. 50 mm en el frente.	Medias a pesadas, espaciadas a 0.75 m, con forro y longarinas donde sea necesario. Contrabóveda

FUENTE: Diaz, Jaime. Clasificaciones geomecánicas del macizo rocoso 2016.

Figura 14 — Resultado de RMR para determinar el tipo de sostenimiento

Según las clasificaciones geomecánicas de Bieniawski el tipo de sostenimientos corresponde a pernos sistemáticos de 4m de longitud, con espaciamiento de 1.5 a 2.0m, malla en clave de 3 cm en los hastiales, además de que la galería puede presentar avances entre los 1.5 a 3m, con fortificación a la frente que no supere los 10m de claro activo.

Clasificaciones geomecánicas para estimar sostenimiento según Barton (Q)

parámetros requeridos por la ecuación de Barton para determinar el valor de Q referente a la calidad del macizo, se determinaron en base al mapeo realizado al macizo rocoso posee un RQD de 75%.

Tabla 15 — Índice de calidad de la roca para poder estimar el tipo de sostenimiento

Índice de calidad de roca	
Descripción	RQD%
Muy pobre	0-25
Pobre	25-50
Regular	50-75
Buena	75-90
Excelente	90-100
FUENTE: Gonzales, 2021. Ingeniería geológica de taludes	

Tabla 16 — Valores de las discontinuidades de las rocas

Datos	Valores	Descripción
Numero de discontinuidades (Jn)	9	Tres discontinuidades
Numero de rugosidad (Jr.)	3	Rugosidad o irregularidad
Numero de alteraciones (Ja)	2	Superficies ligeras
Numero de agua subterránea (Jw)	1	Secas flujos

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Remplazando en la formula

$$Q = \frac{75}{9} \times \frac{3}{2} \times \frac{1}{2} = 6.25$$



SISTEMA DE CLASIFICACION Q										
PARAMEROS						RANGO				VALOR
RQD %						RQD	75 %			75
Número de discontinuidades						Jn	4 D			9
Número de rugosidad						Jr	Lisa			3
Número de alteración						Ja	ligero			2
Número de agua subterránea						Jw	seco			1
Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)						SRF	tension elevada			2
Q = (RQD/J _n) x (J _r / J _a) x (J _w / SRF)										Q = 6.25
Q' = (RQD/J _n) x (J _r / J _a)										Q' = 12.50
RMR = 9 Ln Q + 44						60				
RMR' = 9 Ln Q' + 44						67				
Q	1000-400	400-100	100-40	40-10	10-4,0	4-1,0	1-0,1	0,1-0,01	0,01-0,001	Regular
DESCRIPCION	EXCEPCION ALMENTE	EXTREMENADAMENTE	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE	EXTREMENADAMENTE POBRE	EXCEPCION ALMENTE	

FUENTE: Catuma, 2021. Clasificaciones geomecánicas según Barton

Figura 15 — Sistema de clasificación geomecánicas de Q, para determinar el sostenimiento adecuado

De acuerdo a los resultados de clasificaciones geomecánicas del macizo rocoso según Barton, es de tipo de roca regular por lo cual se estima que el sostenimiento adecuado es con pernos sistemáticos reforzado con fibra de 5-6 cm. en este caso, se requeriría de pernos con longitud de 3.10 m.

SOSTENIMIENTO SEGUN G.S.I (Modificado)		CONDICIONES SUPERFICIALES			
		BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA)	REGULAR (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA)	MALA (MODER. RESIST. LEVE A MODER. ALTERADA)	MUY MALA (BLANDA, MUY ALTERADA)
ESTRUCTURA		SUPERFICIES DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS. (Rc 100 A 250 MPa) (SE ROMPE CON VARIOS GOLPES DE PICOTA)			
		DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LEVEMENTE ALTERADAS, MANCHAS DE OXIDACIÓN, LIGERAMENTE ABIERTAS. (Rc 50 a 100 MPa) (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE PICOTA)			
		DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERADAS, LIGERAMENTE ABIERTAS. (Rc 25 A 50 MPa) (SE INDENTA SUPERFICIALMENTE CON GOLPES DE PICOTA)			
		MUY MALA (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA O CON ESTRIACIONES, MUY ALTERADA RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA (Rc 5 A 25 MPa) - (SE INDENTA MAS DE 5 mm).			
	LEVEMENTE FRACTURADA TRES O MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI (RQD 75-90%). (2 A 6 FRACTURAS POR METRO)	(A)	(A)	(A)	—
	MODERADAMENTE FRACTURADA MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CÚBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES (RQD 50 - 75%). (6 A 12 FRACTURAS POR METRO).	(A)	(A)	(C)	(D)
	MUY FRACTURADA MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MÁS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES (RQD 25-50%). (12 A 20 FRACTURAS POR METRO).	(A)	(C)	(D)	(E)
	INTENSAMENTE FRACTURADA PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES (RQD 0 - 25%). (MÁS DE 20 FRACTURAS POR METRO).	(C)	(D)	(E)	(F)

FUENTE: Catuma, 2021. Clasificaciones geomecánicas según Barton Ingeniería Geológica
Figura 16 — Grafico para determinar el tipo de sostenimiento según GSI

De acuerdo a las clasificaciones geomecánicas el tipo de sostenimiento adecuado según GSI nos resulta que se requeriría de pernos sistemáticos con longitud de 1.50 x 1.50 m.

General

Analysis Type: Plane Strain

Solver Type: Gaussian Elimination

Units: Metric, stress as MPa

m, MN, MN/m, MPa, MN/m³

FUENTE: Software Phase2, 2023

Figura 17 — Configuración general del software para la determinación del sostenimiento de la galería nivel 4040.

Define Material Properties

☒ CALIZA ☐ Material 2 ☐ Material 3 ☐ Material 4 ☐ Material 5

Name: CALIZA Initial Element Loading: Field Stress Only

Material Colour: Unit Weight (MN/m³): 0.027

Elastic Properties

Material Type: Isotropic

Young's Modulus (MPa): 23000 Poisson's Ratio: 0.32

E1 (MPa): 2000 E2 (MPa): 2000 Ez (MPa): 2000

v12: 0.2 v1z: 0.2 v2z: 0.2

Strength Parameters

Failure Criterion: Hoek-Brown Material Type: Elastic

Intact UCS (MPa): 130 Dilation Parameter: 0

m Parameter (peak): 2.552 m Parameter (resid): 1

s Parameter (peak): 0.002359 s Parameter (resid): 0.001

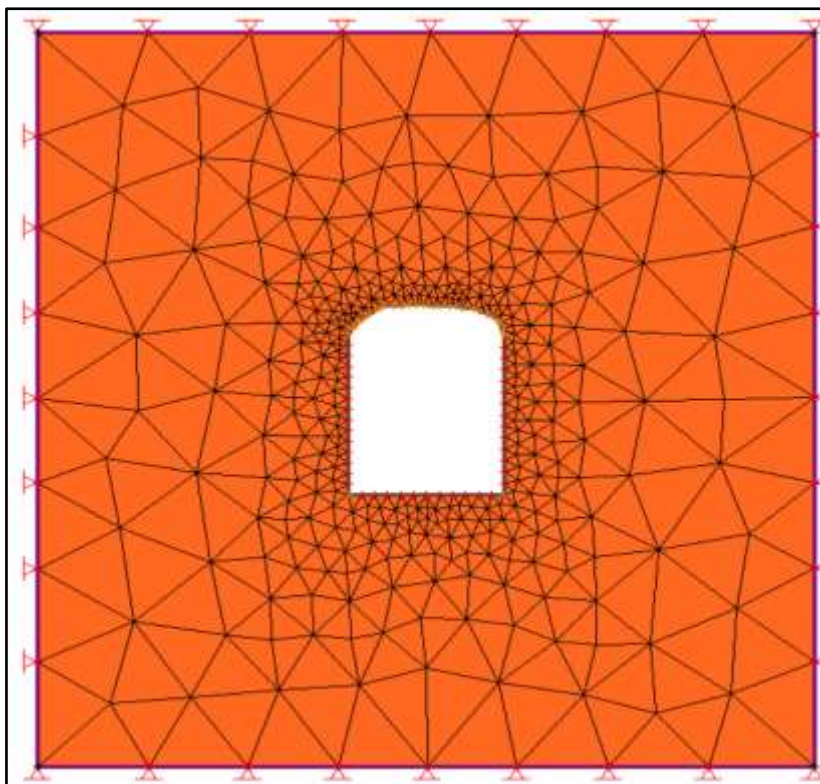
Stage Material Properties

☐ Apply Factors Define Factors...

Copy To... OK Cancel

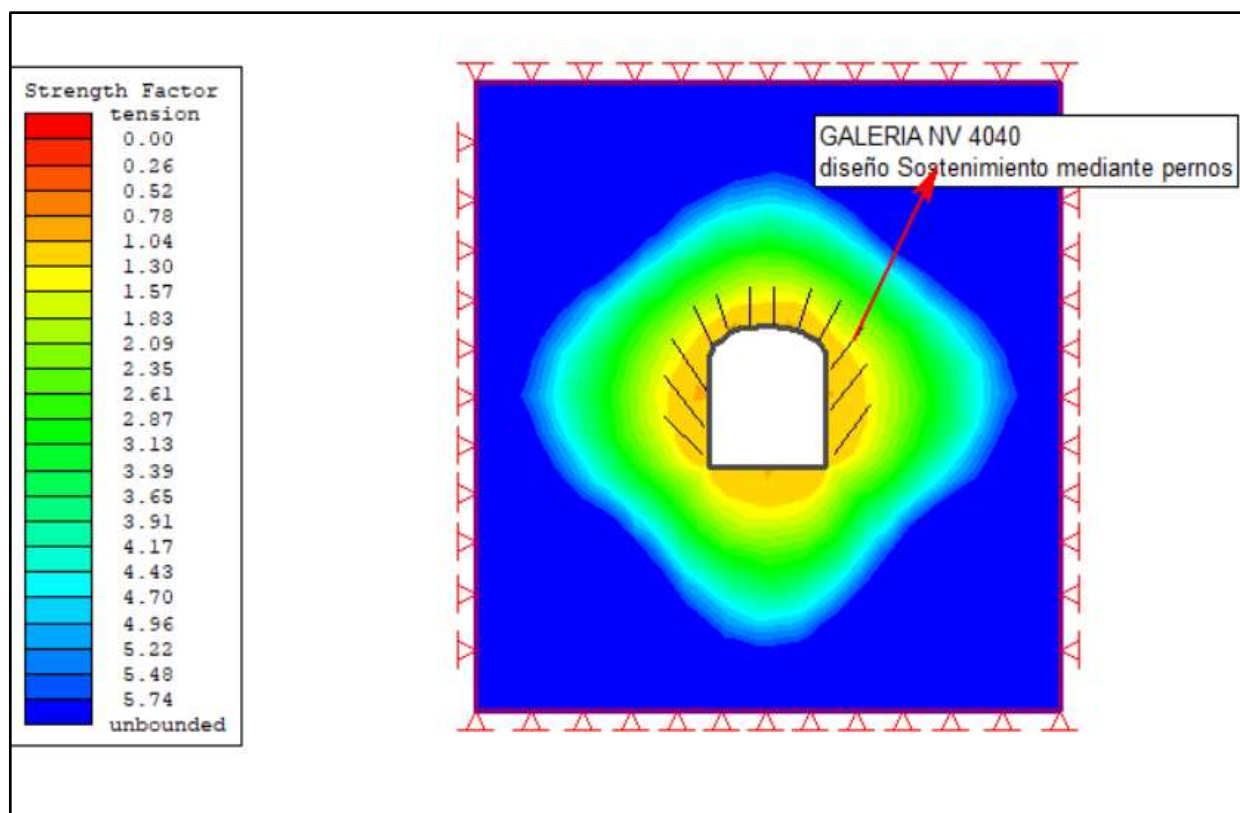
FUENTE: Software Phase2, 2023

Figura 18 — Parámetros del macizo rocoso para el diseño de sostenimiento de la galería



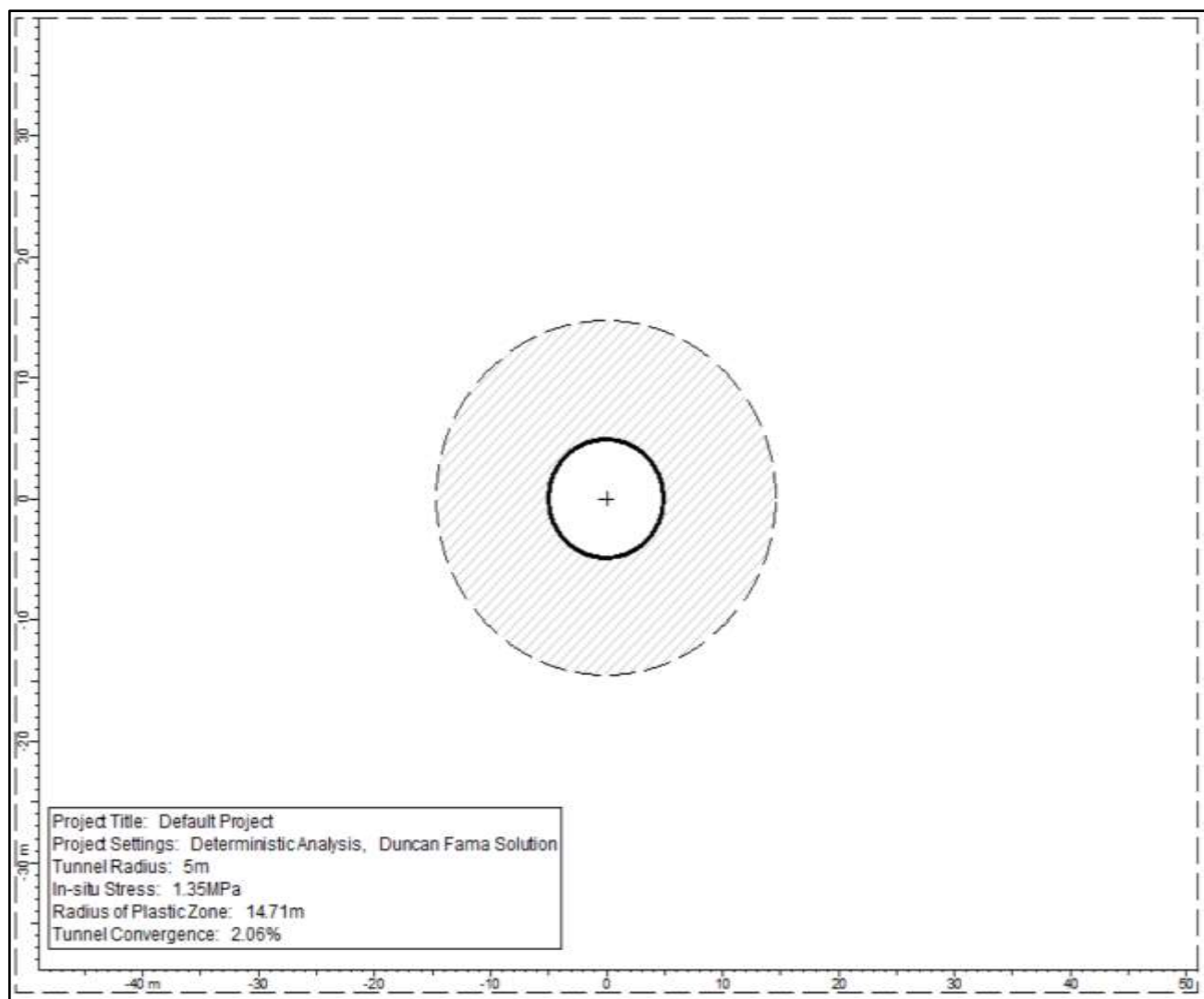
FUENTE: Software Phase2, 2023

Figura 19 — Diseño geotécnico de sostenimiento del interior de la galería



FUENTE: Software Phase2, 2023

Figura 20 — Diseño del tipo de sostenimiento con pernos de anclaje de la galería nivel 4040



FUENTE: Software Phase2, 2023

Figura 21 — Grafica de la galería con comportamiento plástica, con un Interacción de tensión del terreno.

Utilizando ahora la herramienta Análisis/Tunnel Section y los softwares Phase2 se observa en la que se obtiene una zona plástica de 1.35 MP, por lo que el soporte deberá sobrepasar esta zona para obtener una excavación más segura.

5.1.2 Determinación de las propiedades geomecánicas para el sostenimiento de la galería del nivel 4040 de la mina Victoria, Andahuaylas, 2024.

Para poder calcular el comportamiento geomecánico del macizo rocoso primero se debe tener en cuenta los siguientes datos.

Tabla 17 — Datos para poder determinar el sostenimiento adecuado para la galería nivel 4040, mina Victoria.

Datos Geomecánicos	
Resistencia a la compresión uniaxial	130 MPa
RQD	75%
Número de discontinuidades	3 familias
mi	20
D (Factor de disturbancia)	0.3
GSI	51
Condición de las discontinuidades	
Apertura	0.1-1.0 mm
Rugosidad	Rugosa
Relleno	Duro
Relleno	<5 mm
Meteorización	Moderadamente intemperizadas
Persistencia	3-10 m
Espaciamiento	0.6-0.8 m
Condiciones de agua	Húmedo
Orientación de la labor	Paralela a las discontinuidades
Buzamiento del sistema principal	75°

Son los datos característicos geomecánicos utilizados para evaluar la estabilidad y comportamiento de un macizo rocoso estos datos se ingresan al software Phase2 para ver el sostenimiento adecuado.

General

Analysis Type: Plane Strain

Solver Type: Gaussian Elimination

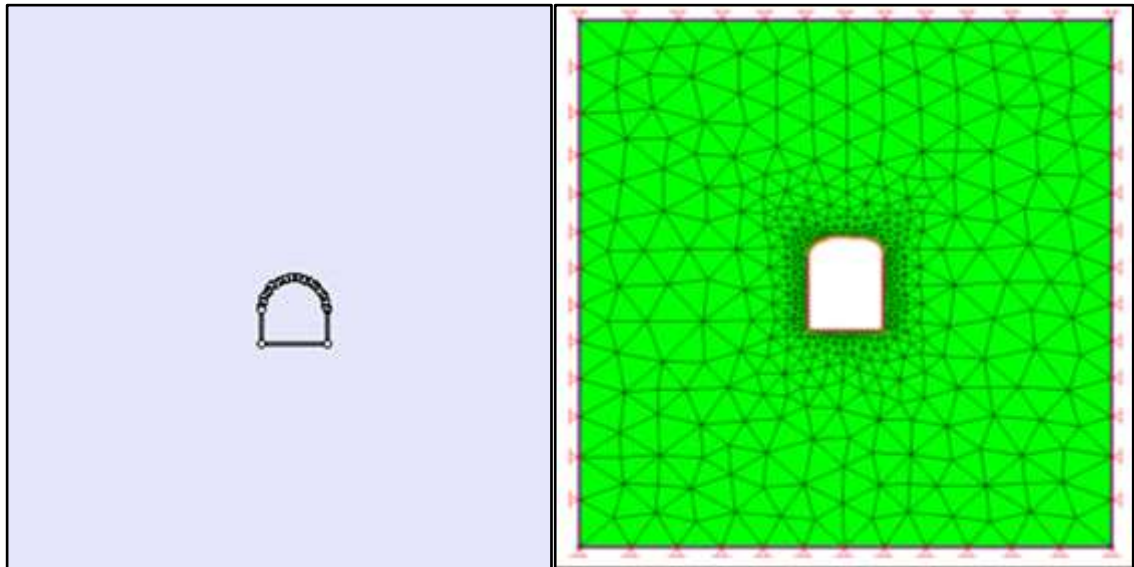
Units: Metric, stress as MPa

m, MN, MN/m, MPa, MN/m3

FUENTE: Software Phase2, 2023

Figura 22 — Configuración general del software para el diseño del sostenimiento de la galería nivel 4040.

Una vez ingresados los datos generales se establece la malla con la que se analizará el proyecto, es una malla gradada, con un factor de gradación de 0.1, compuesta por 3 nodos y elementos triangulares, detallada en la imagen.



FUENTE: Software Phase2, 2023

Figura 23 — Diseño geotécnico del sostenimiento en el interior de la galería nivel 4040

Define Material Properties

ARENISCA Material 2 Material 3 Material 4 Ma

Name: ARENISCA Initial Element Loading: Field Stress Only

Material Colour: Unit Weight: (MN/m³): 0.027

Elastic Properties

Material Type: Isotropic

Young's Modulus (MPa): 23000 Poisson's Ratio: 0.2

E1 (MPa): 2000 E2 (MPa): 2000 Ez (MPa): 2000

v12: 0.2 v1z: 0.2 v2z: 0.2

Strength Parameters

Failure Criterion: Hoek-Brown Material Type: Plastic

Intact UCS (MPa): 130 Dilation Parameter: 0

m Parameter (peak): 2.55239 m Parameter (resid): 1

s Parameter (peak): 0.02359 s Parameter (resid): 0.001

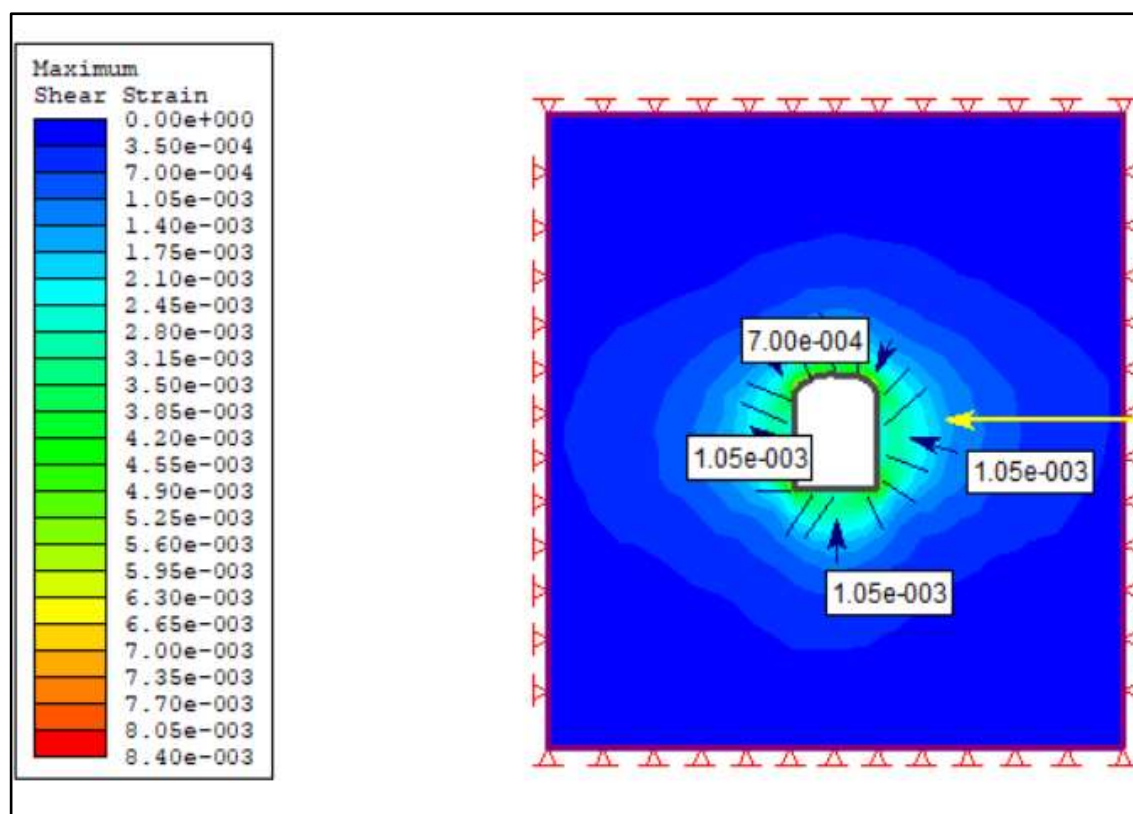
Stage Material Properties

☐ Apply Factors Define Factors...

Copy To... OK Cancel

FUENTE: Software Phase2, 2023

Figura 24 — Parámetros del macizo rocoso para el diseño del sostenimiento de la galería.



FUENTE: Software Phase2, 2023

Figura 25 — Diseño del tipo de sostenimiento (con pernos de anclaje) obtenido en por el software

El Resultados de Phase2 de las 3 muestras (andesita, arenisca y caliza). El sostenimiento adecuado para la galería nivel 4040 son los pernos sistemáticos de 14 pies (4.27 m) longitud, espaciados a 1.9 metros. Y el comportamiento de post rotura es Elasto frágil, es fundamentalmente atribuible al uso de un estado tensional gravitacional. Por lo cual el sostenimiento con pernos de anclaje, es un tipo de sostenimiento activo esto, implica que el esfuerzo principal mayor presenta una orientación vertical, lo que resulta en una concentración de esfuerzos en los hastiales, dado el flujo tensional producido en torno a la excavación. La combinación de pernos de anclaje y sistemas de drenaje proporciona una solución integral para el sostenimiento del macizo rocoso en la galería del nivel 4040 de la mina Victoria en Andahuaylas. Esta estrategia garantizará la estabilidad y seguridad de la excavación, mitigando el riesgo de fallas y mejorando las condiciones operativas.

Tabla 18 — Parámetros de la muestra andesita para insertar al Rocdata para calcular el comportamiento geomecánico del macizo rocoso.

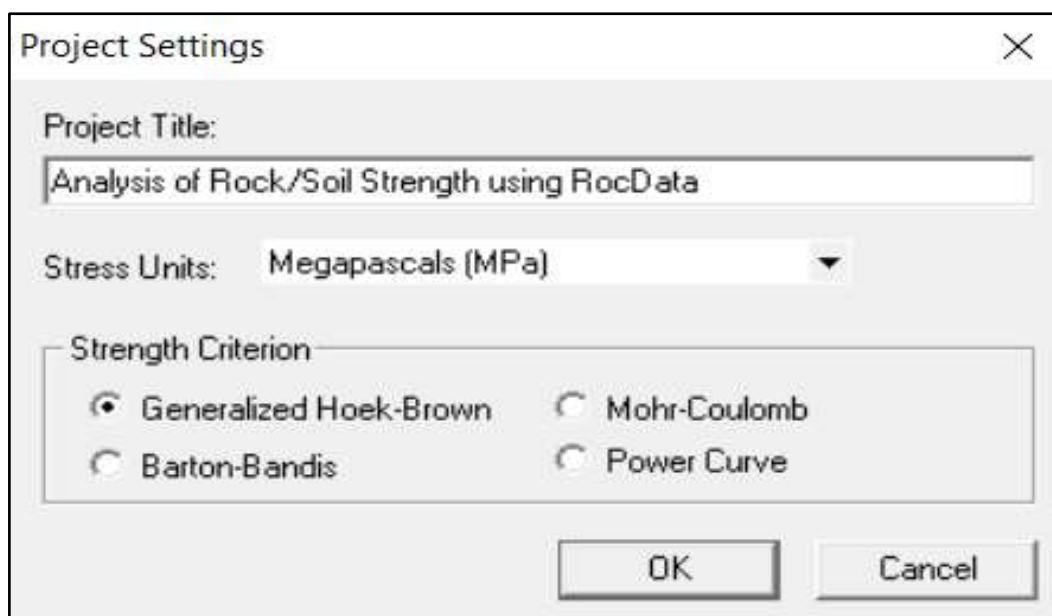
W2 Ancho de la m de la roca (mm)	Área Transversal (mm ²)	Carga (kN)	Resistencia (σ \sigma) (MPa)	Is Índice de la resistencia (MPa)
51	2295	24	142.20	4.41
48	2496	23	115.84	3.41
50	2650	26	131.11	4.05
45	2025	27	146.63	4.71
			133.95	4.15

Para cada muestra se le calcula el comportamiento geomecánico, se ingresa los datos al Rocdata

Tabla 19 — Datos específicos para estimar el comportamiento geomecánico en el software Rocdata.

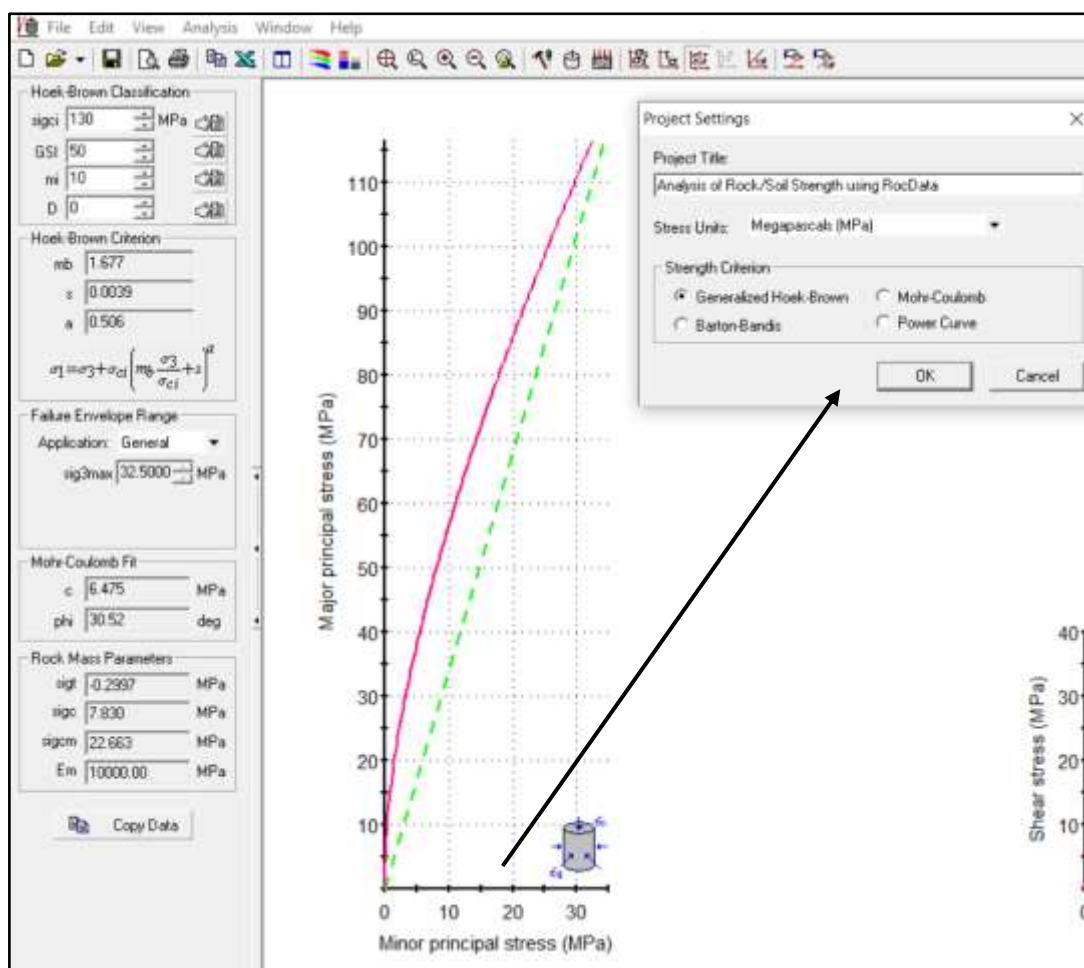
Parámetro	Valor
UCS	130 MPa
mi (andesita)	25
GSI	50
Disturbance Factor (D)	0

Son datos de las muestras para insertar al Rocdata, Estos parámetros son esenciales para modelar el comportamiento mecánico de los macizos rocosos.



FUENTE: Software Phase2, 2023

Figura 26 — Configuración general del software para analizar el comportamiento del macizo rocoso.



FUENTE: Software Phase2, 2023

Figura 27 — Ingreso de datos de resistencia del macizo rocoso

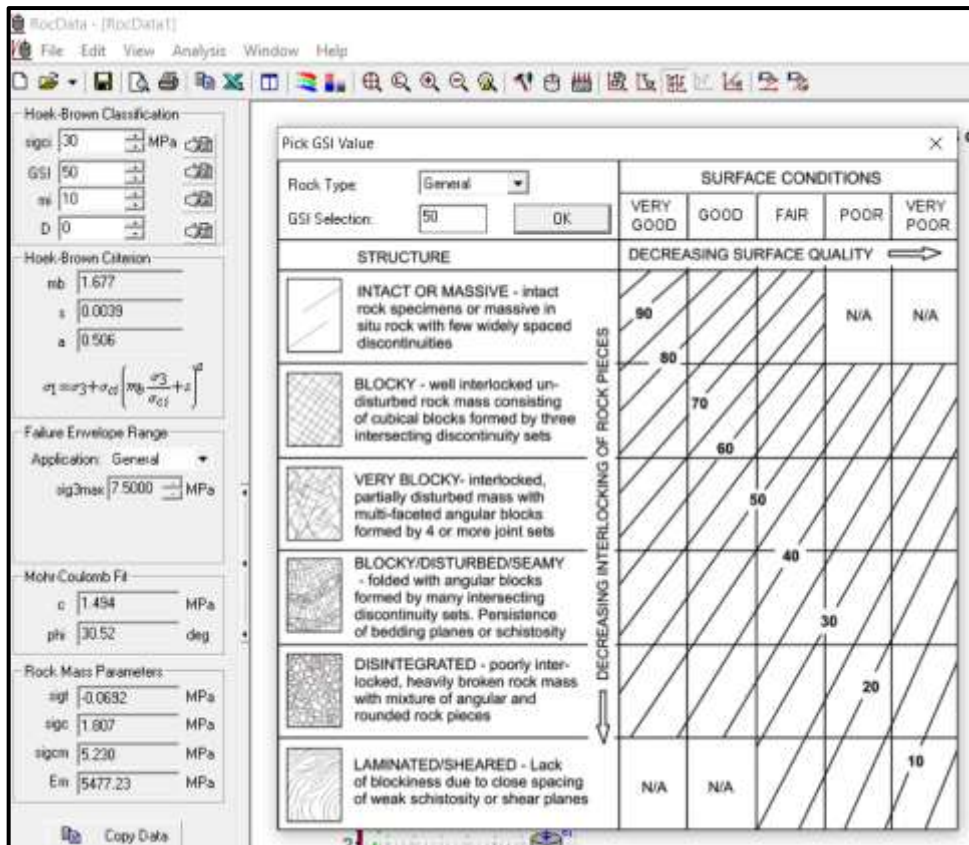
Intact Uniaxial Compressive Strength

Field Estimate of Strength	Examples	Strength (MPa)
Specimen can only be chipped with a geological hammer.	Fresh basalt, chert, diabase, gneiss, granite, quartzite.	>250
Specimen requires many blows of a geological hammer to fracture it.	Amphibolite, sandstone, basalt, gabbro, gneiss, granodiorite, limestone, marble, rhyolite, tuff.	100-250
Specimen requires more than one blow of a geological hammer to fracture it.	Limestone, marble, phyllite, sandstone, schist, shale.	50-100
Cannot be scraped or peeled with a pocket knife, specimen can be fractured with a single blow from a geological hammer.	Claystone, coal, concrete, schist, shale, siltstone.	25-50
Can be peeled with a pocket knife with difficulty, shallow indentation made by firm blow with point of a geological hammer.	Chalk, rocksalt, potash.	5-25
Crumbles under firm blows with point of a geological hammer, can be peeled by a pocket knife.	Highly weathered or altered rock.	1-5
Indented by thumbnail.	Stiff fault gouge.	0.25-1

Uniaxial Compressive Strength (sigci):
MPa

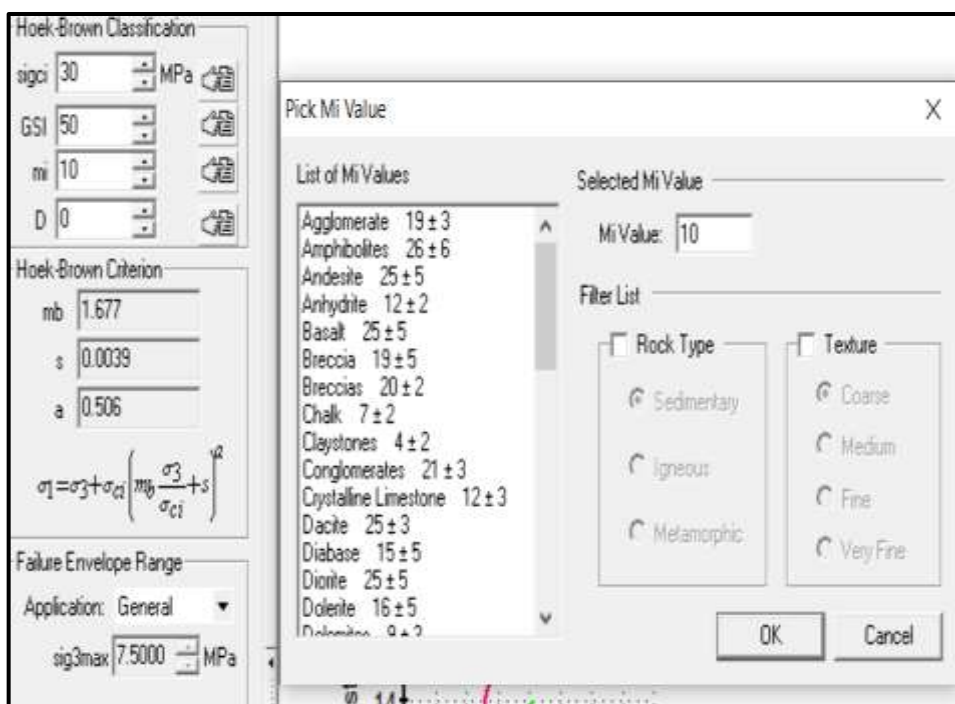
FUENTE: Software Phase2, 2023

Figura 28 — Ingreso de parámetros de la roca en MPa, según criterio de Hoek-Brown y Criterio de Mohr Coulomb.



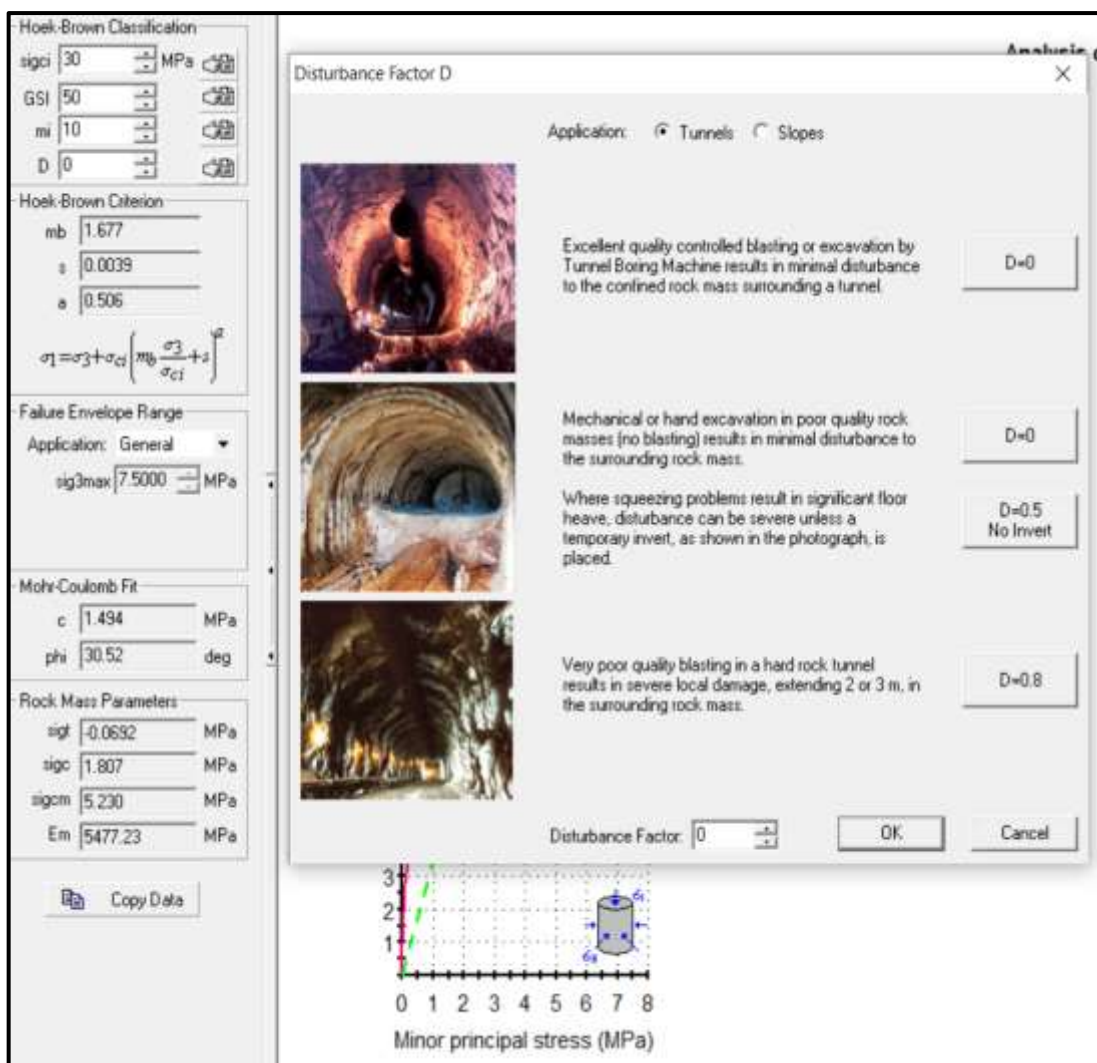
FUENTE: Software Phase2, 2023

Figura 29 — Evaluación de los parámetros para el cálculo de comportamiento de las rocas.



FUENTE: Software Phase2, 2023

Figura 30 — Valores de la roca (textura y tipo) para cálculo del comportamiento de las rocas.

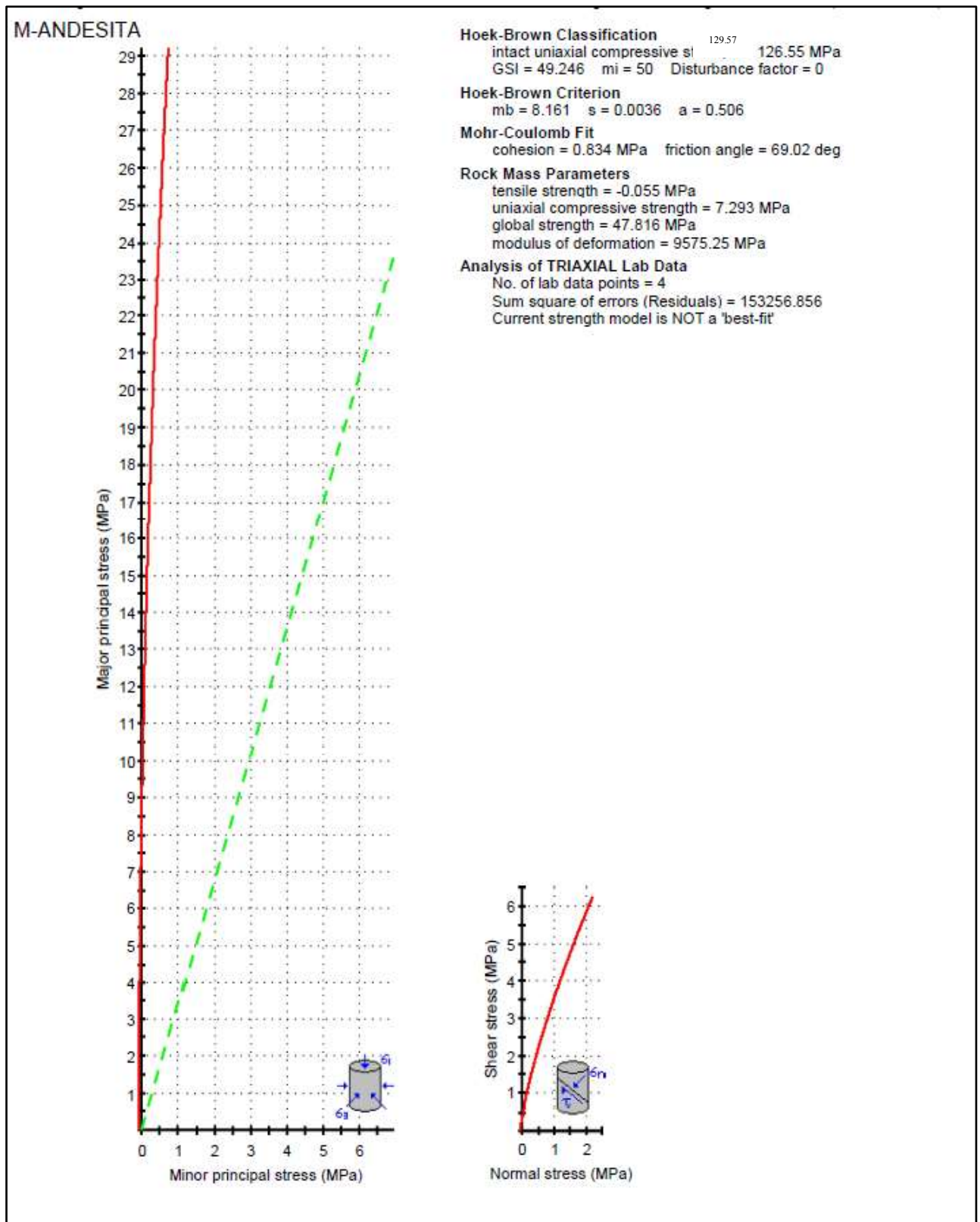


FUENTE: Software Phase2, 2023

Figura 31 — Ingreso de datos del factor disturbancia de las rocas al software para el diseño del comportamiento.

El factor de disturbancia (D) es un parámetro utilizado en el criterio de rotura de Hoek-Brown para ajustar las propiedades mecánicas de un macizo rocoso en función del grado de perturbación o daño que ha sufrido la roca, en el caso de factor de disturbancia (0) indica que el macizo rocoso está muy poco perturbado.

A continuación, procede el software Rocdata a calcular automáticamente el comportamiento de las rocas y lo vemos en las siguientes gráficas, para cada tipo de muestra se continua con el procedimiento.



FUENTE: Software Rocdata, 2024

Figura 32 — Resultados del comportamiento geomecánico elasto frágil de la muestra andesita obtenido en el software Rocdata.

Se muestra la envolvente curva de Hoek y Brown es empírico y se utiliza para describir el comportamiento de macizos rocosos, especialmente aquellos con discontinuidades. La línea roja indica la relación entre el esfuerzo principal menor (σ_3) y el esfuerzo principal mayor (σ_1), Es una curva que describe cómo la roca fallará bajo diferentes combinaciones de esfuerzos principales. A medida que aumentan los esfuerzos, la roca alcanza su límite de resistencia, indicado por esta línea. La línea verde indica representación lineal que aproxima la envolvente de falla, basada en los parámetros de cohesión y fricción calculados.

obteniéndose los resultados:

- Resistencia de carga puntual de compresión de la roca intacta: 130 MPa.
- Índice de resistencia geológica (GSI): 49.2464
- Parámetros del criterio Hoek-Brown:
- $m_b=8.161m$
- $s=0.0036$
- $a=0.506$

Estos valores indican una roca con una resistencia considerable y una estructura relativamente bien definida, aunque con una cierta cantidad de fracturamiento que afecta la resistencia global del macizo rocoso, Mediante el ajuste de Mohr-Coulomb Y Cohesión: 0.834 MPa. El Angulo de fricción interna: 69.02 grados sugieren que la andesita tiene una buena capacidad de soporte, aunque estos valores deben considerarse con precaución debido a la simplificación del modelo. En los parámetros del macizo rocoso, estos resultados nos indica que la roca tiene una capacidad moderada para deformarse bajo cargas, lo que es favorable para absorber y distribuir las tensiones. Sin embargo, la baja resistencia a la tracción sugiere que se deben minimizar las tensiones de tracción en el diseño de soportes, el comportamiento geomecánico del macizo rocoso en la galería nivel 4040 muestra una roca con buena resistencia, pero con consideraciones importantes en cuanto al soporte debido a la influencia de discontinuidades y fracturamientos.

Project Settings

Project Title:
Analysis of Rock/Soil Strength using RocData

Stress Units: Megapascals (MPa)

Strength Criterion:

- ☒ Generalized Hoek-Brown
- ☐ Mohr-Coulomb
- ☐ Barton-Bandis
- ☐ Power Curve

OK Cancel

FUENTE: Software Rocdata, 2024

Figura 33 — Configuración del software para el diseño del comportamiento geomecánico del macizo rocoso.

RocData - [RocData1]

File Edit View Analysis View

Hook-Brown Classification

sigci 130 MPa

GSI 50

m 10

0 0

Hook-Brown Criterion

mb 1.677

s 0.0039

a 0.506

$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(\frac{m_b \sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^{\frac{1}{1-a}}$

Failure Envelope Range

Application: Tunnels

sig3max 0.7253 MPa

Unit Weight 0.025 MN/m3

Tunnel Depth 50 m

Mohr-Coulomb Fit

c 1.028 MPa

phi 58.34 deg

Rock Mass Parameters

sigt 0.2997 MPa

sigc 7.830 MPa

sigcm 22.663 MPa

Em 10000.00 MPa

Copy Data

Intact Uniaxial Compressive Strength

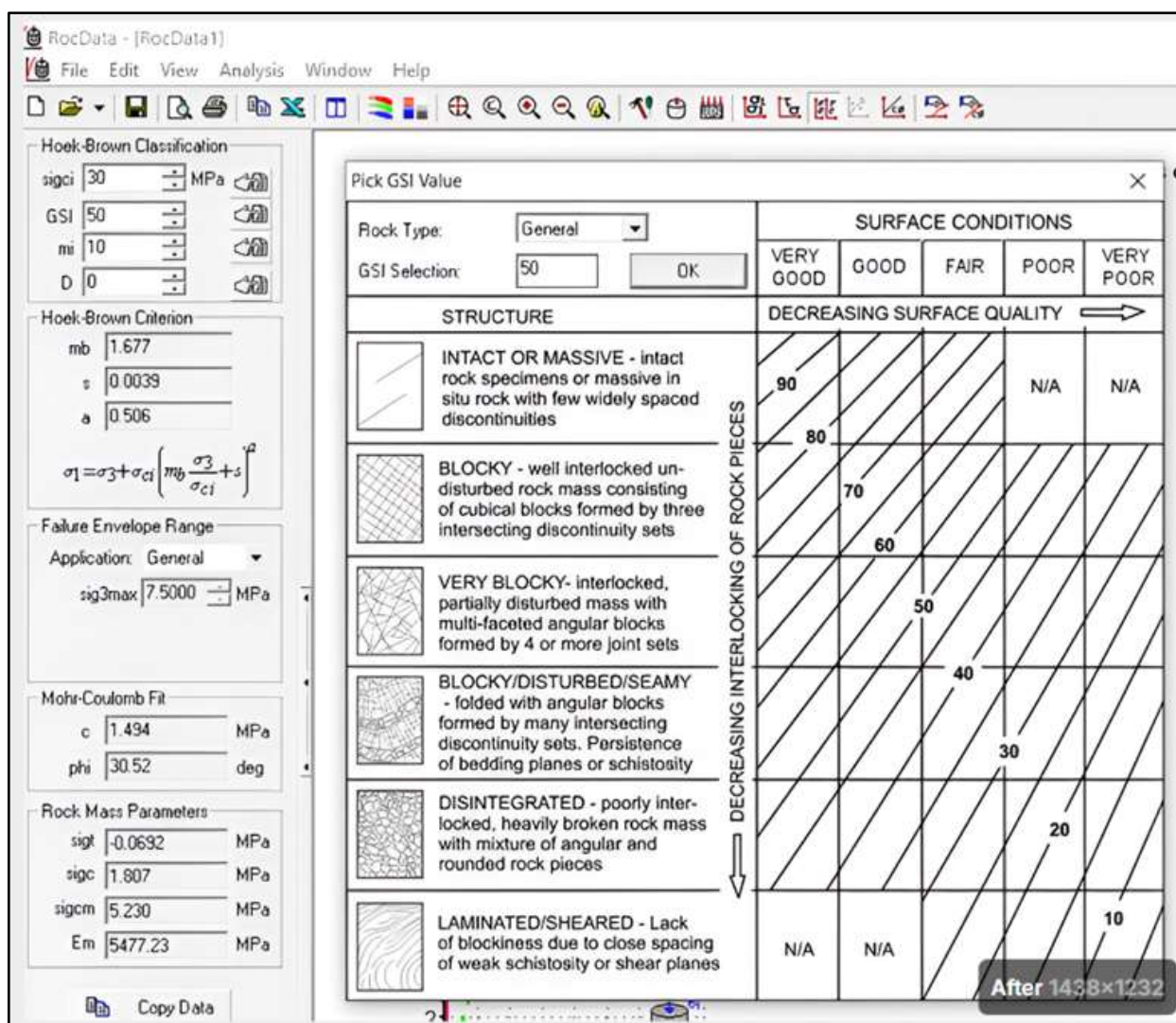
Field Estimate of Strength	Examples	Strength (MPa)
Specimen can only be chipped with a geological hammer.	Fresh basalt, chert, diabase, gabbro, gneiss, granite, quartzite.	>250
Specimen requires many blows of a geological hammer to fracture it.	Amphibolite, sandstone, basalt, gabbro, gneiss, granodiorite, limestone, marble, rhyolite, tuff.	100-250
Specimen requires more than one blow of a geological hammer to fracture it.	Limestone, marble, phyllite, sandstone, schist, shale.	50-100
Cannot be scraped or peeled with a pocket knife, specimen can be fractured with a single blow from a geological hammer.	Claystone, coal, concrete, schist, shale, siltstone.	25-50
Can be peeled with a pocket knife with difficulty, shallow indentation made by firm blow with point of a geological hammer.	Chalk, rock salt, potash.	5-25
Crumbles under firm blows with point of a geological hammer, can be peeled by a pocket knife.	Highly weathered or altered rock.	1-5
Indented by thumbnail.	Stiff fault gouge.	0.25-1

Uniaxial Compressive Strength (sigci): 130 MPa

OK Cancel

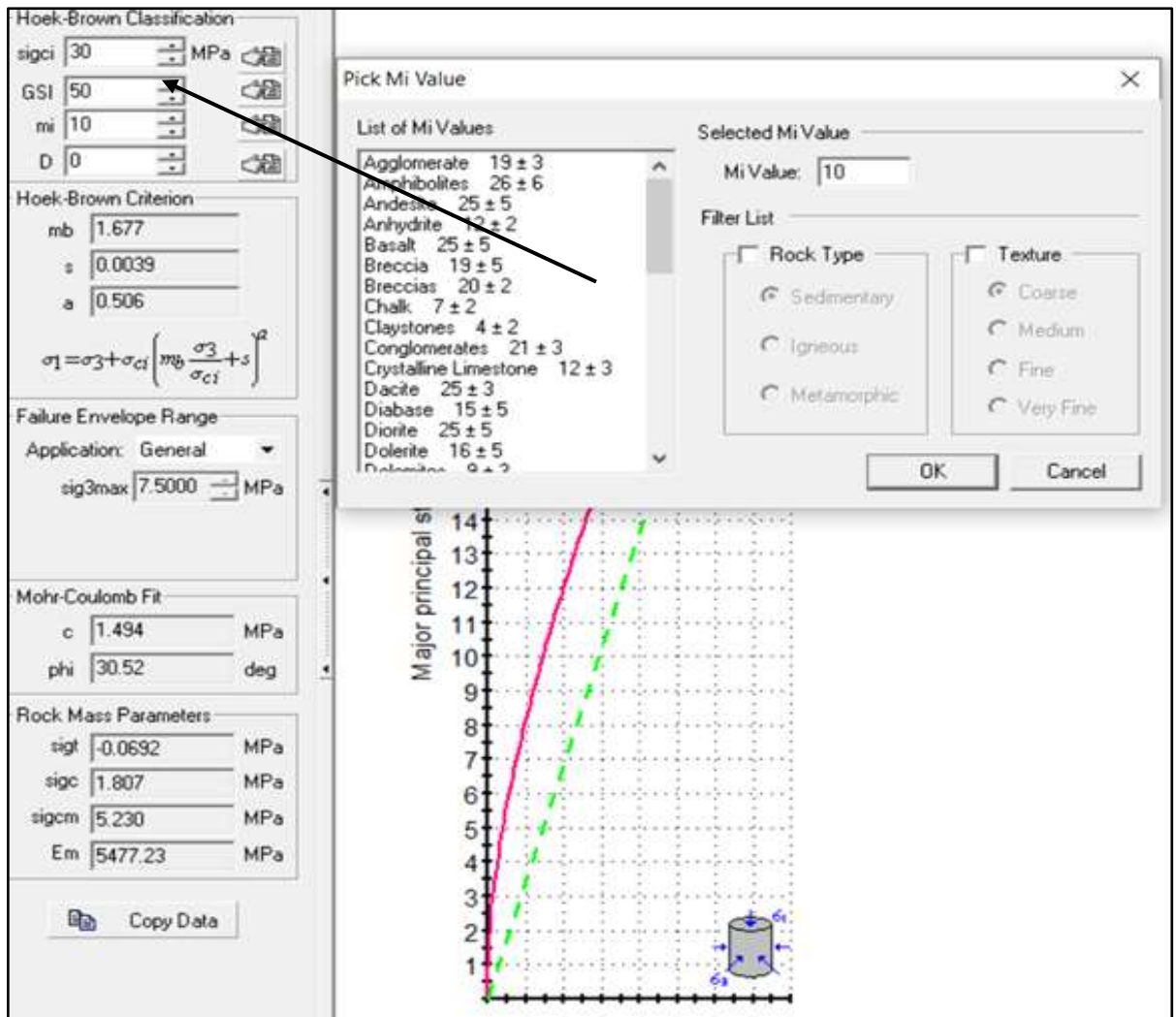
FUENTE: Software Rocdata, 2024

Figura 34 — Ingreso de datos al software (resistencia del macizo rocoso) obtenidos en laboratorio.



FUENTE: Software Rocdata, 2024

Figura 35 — Evaluación de los parámetros para el cálculo de comportamiento del macizo rocoso.



FUENTE: Software Rocdata, 2024

Figura 36 — Parámetros del macizo rocoso (textura y tipo) para el diseño del comportamiento geomecánico.

Ingreso de los parámetros del macizo rocoso al Rocdata su textura y los tipos de roca para determinar el comportamiento de las rocas.

Disturbance Factor D

Application:
☒ Tunnels
☐ Slopes



Excellent quality controlled blasting or excavation by Tunnel Boring Machine results in minimal disturbance to the confined rock mass surrounding a tunnel.

D=0



Mechanical or hand excavation in poor quality rock masses (no blasting) results in minimal disturbance to the surrounding rock mass.

Where squeezing problems result in significant floor heave, disturbance can be severe unless a temporary invert, as shown in the photograph, is placed.

D=0.5
No Invert



Very poor quality blasting in a hard rock tunnel results in severe local damage, extending 2 or 3 m, in the surrounding rock mass.

D=0.8

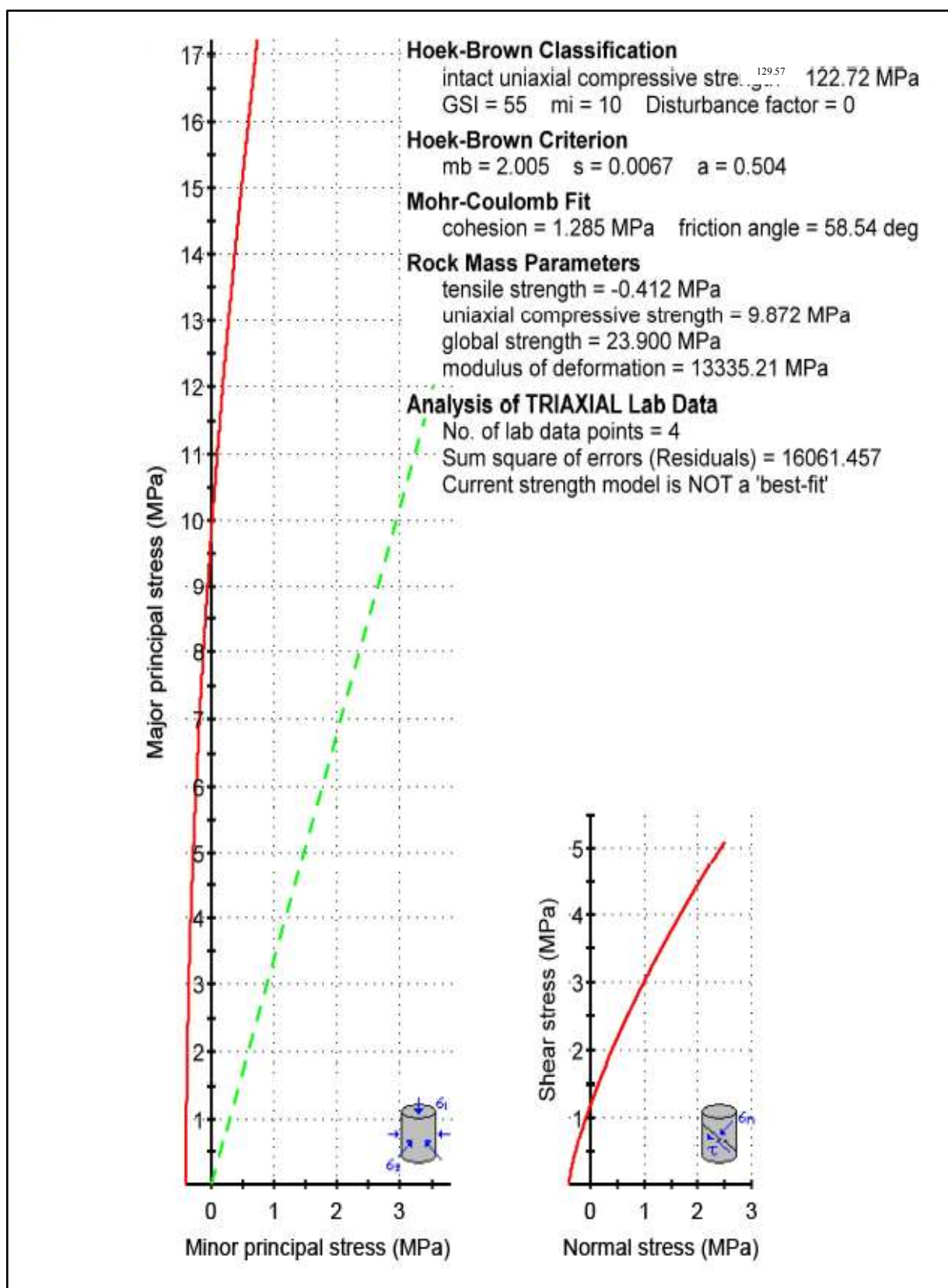
Disturbance Factor:

FUENTE: Software Rocdata, 2024

Figura 37 — Ingreso del valor factor de disturbancia de la roca para el cálculo del comportamiento del macizo rocoso.

El valor de disturbancia de las propiedades mecánicas de un macizo rocoso en función del grado de perturbación o daño que ha sufrido la roca, en el caso de factor de disturbancia (0) indica que el macizo rocoso está muy poco perturbado.

A continuación, procede el software a calcular automáticamente el comportamiento de las rocas y lo vemos en la siguiente gráfica, para cada tipo de muestra se continua con el procedimiento.



FUENTE: Software rocdata, 2024

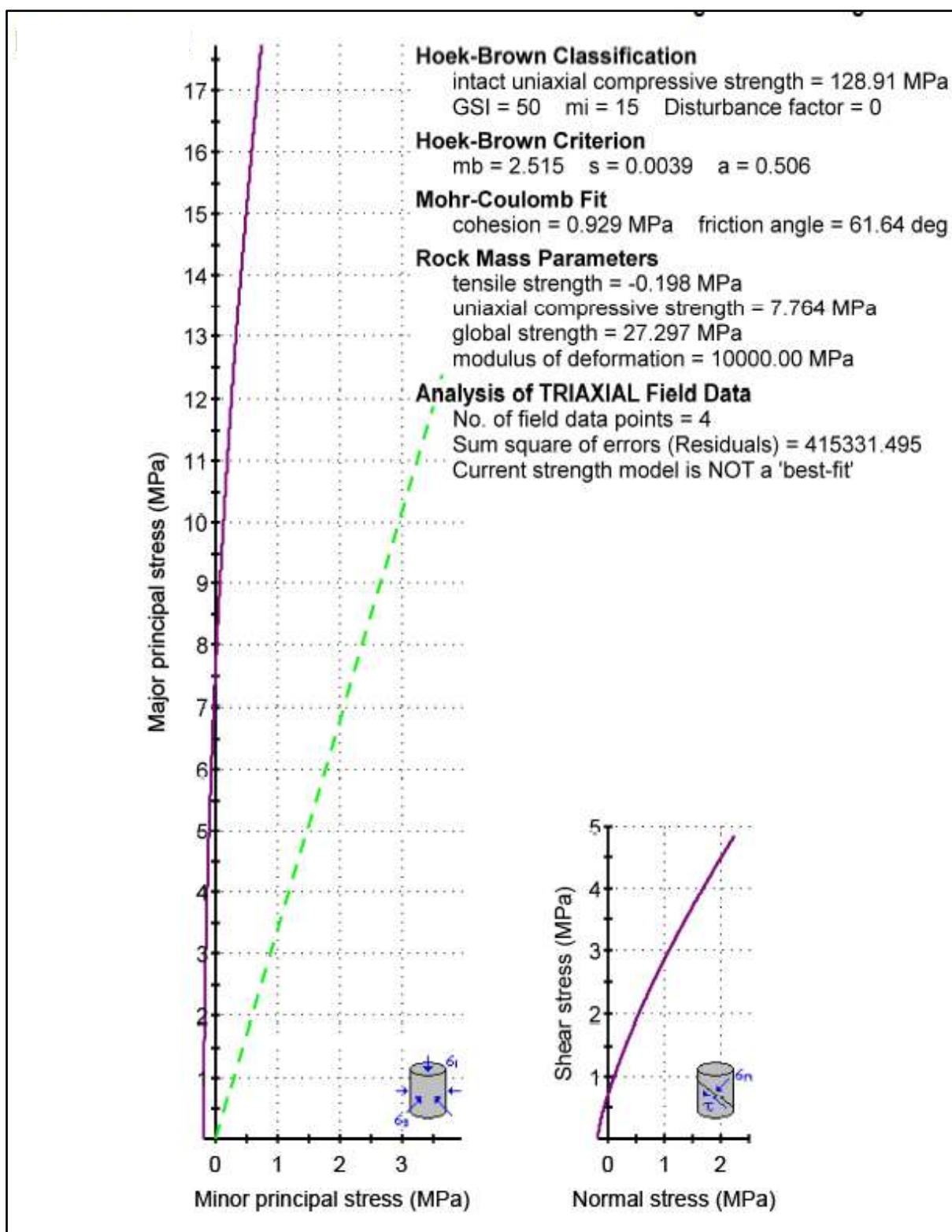
Figura 38 — Resultado del software rocdata del comportamiento geomecánico elasto frágil de la muestra caliza.

En cuanto a la caliza la envolvente curva de Hoek y Brown y la línea de Mohr Coulomb mediante el software nos indica que tiene una resistencia relativamente alta y una estructura moderadamente bien definida, con un índice GSI que sugiere una calidad regular del macizo rocoso. La línea roja indica que, en esta gráfica, el ajuste de Hoek-Brown tiene una curva específica para el macizo rocoso de caliza, muestra la relación entre el esfuerzo principal menor y esfuerzo mayor. La línea verde asume una relación lineal entre los esfuerzos de falla. A pesar de ser menos preciso que Hoek-Brown, Mohr-Coulomb se usa ampliamente debido a su facilidad de aplicación y su capacidad de proporcionar estimaciones razonables en muchas situaciones. Por ende, se muestra los siguientes resultados.

- Cohesión: 1.2851 MPa.
- Ángulo de fricción interna: 58.5458grados.

Los parámetros del macizo roco son resistencia a la tracción, 0.412 MPa (negativa, indicando baja resistencia a la tracción), Resistencia de carga puntual: 9.872 MPa.

Resistencia global, 23.90023MPa y Módulo de deformación: 13335.21 MPa. El módulo de deformación alto indica una baja deformabilidad, lo cual es favorable para la estabilidad del macizo, la caliza en el nivel 4040 muestra un buen comportamiento geomecánico con una resistencia considerable, aunque se deben tomar precauciones adicionales para asegurar la estabilidad en áreas con fracturamiento. los parámetros obtenidos y sus implicaciones, el comportamiento post-rotura del macizo rocoso de caliza en el nivel 4040 de la mina Victoria parece alinearse más con el comportamiento elasto -frágil. La alta resistencia inicial, junto con el alto módulo de deformación, sugiere que la roca es rígida y tiende a romperse abruptamente una vez que alcanza su resistencia máxima, sin una fase significativa de reblandecimiento o comportamiento plástico prolongado. Este comportamiento implica que, una vez que la roca se fractura, la capacidad de carga disminuye bruscamente y, por lo tanto, se deben tomar medidas de soporte adecuadas para asegurar la estabilidad de la galería, especialmente en condiciones de carga alta o en presencia de fracturamiento preexistente.



FUENTE: Software rocdata, 2024

Figura 39 — Resultado del software de rocdata del comportamiento geomecánico elasto frágil de la muestra arenisca.

La curva morada describe cómo la roca arenisca alcanza su límite de resistencia a la falla bajo diferentes condiciones de esfuerzo.

La línea verde es una aproximación lineal de la envolvente de falla utilizando el criterio de Mohr-Coulomb, basado en la cohesión y el ángulo de fricción de la roca. Ambas curvas son útiles para comparar y entender cómo diferentes criterios predicen el comportamiento de la roca arenisca bajo condiciones de esfuerzo.

Se muestra la envolvente curva de Hoek y Brown en el software Rocdata, utilizando el método de las áreas equivalentes, obteniéndose los resultados de ensayo de carga puntual (UCS) Intacta 129.57 MPa, Rocas masivas, 7.764 MPa. Indica degradación considerable debido a la fracturación y la presencia de discontinuidades, el GSI de 50 indica un macizo rocoso de calidad media y los parámetros de Hoek-Brown:

- $m_i=15m$
- $D=0$ (factor de perturbación)
- $m_b=2.515m$
- $s=0.0039$
- $a=0.506$
- Cohesión: 0.929 MPa

El macizo rocoso tiene una buena capacidad de interbloqueo, pero una baja cohesión entre bloques, el comportamiento geomecánico del macizo rocoso en la galería nivel 4040 de la Mina Victoria, Andahuaylas, se caracteriza principalmente por un comportamiento Elasto -frágil. La alta fricción y baja cohesión indican que el macizo rocoso puede resistir grandes deformaciones elásticas antes de fallar bruscamente sin una etapa significativa de reblandecimiento plástico, Además, la alta suma cuadrada de errores indica que los datos y el modelo requieren una mayor refinación para obtener una interpretación más precisa.

5.1.3 Determinación el comportamiento geomecánico, para el sostenimiento de la galería del nivel 4040 de la mina Victoria, Andahuaylas 2024.

Para determinar el comportamiento geomecánico del sostenimiento de la galería 4040 se usó la simulación en software Fhase2 Según este método, la zona elasto plástico presenta su extensión máxima de 1.75 en los hastiales, y en el techo, presenta una zona plastificada. las longitudes de la galería son 3.65m x 3.50 m.

La diferencia observable en la extensión de la zona elasto plástico con restablecimiento, es fundamentalmente atribuible al uso de un estado tensional gravitacional. Por lo cual el sostenimiento que se pudo determinar es pernos de anclaje, es un tipo de sostenimiento activo esto, implica que el esfuerzo principal mayor presenta una orientación vertical, lo que resulta en una concentración de esfuerzos en los hastiales, dado el flujo tensional producido en torno a la excavación.

Tabla 20 — Datos para determinar el tipo de sostenimiento de la galería nivel 4040

Datos geomecánicos	
Resistencia a la compresión uniaxial	130 MPa
RQD	75%
Número de discontinuidades	3 familias
mi	20
D (Factor de disturbancia)	0.3
GSI	51
Ángulo de fricción interna de las discontinuidades	35°
Condición de las discontinuidades	
Apertura	0.1-1.0 mm
Rugosidad	Rugosa
Relleno	Duro
Relleno	<5 mm
Meteorización	Moderadamente intemperizadas
Persistencia	3-10 m
Espaciamiento	0.6-0.8 m
Condiciones de agua	Húmedo
Orientación de la labor	Paralela a las discontinuidades
Buzamiento del sistema principal	75°



Define Material Properties

Material: CALIZA | Material 2 | Material 3 | Material 4 | Material 5

Name: CALIZA | Initial Element Loading: Field Stress Only

Material Colour: [Orange] | Unit Weight (MN/m³): 0.027

Elastic Properties

Material Type: Isotropic

Young's Modulus (MPa): 23000 | Poisson's Ratio: 0.32

E1 (MPa): 2000 | E2 (MPa): 2000 | E3 (MPa): 2000

v12: 0.2 | v13: 0.2 | v23: 0.2

Strength Parameters

Failure Criterion: Hoek-Brown | Material Type: Elastic

Intact UCS (MPa): 130 | Dilation Parameter: 0

m Parameter (peak): 2.552 | m Parameter (resid): 1

s Parameter (peak): 0.002359 | s Parameter (resid): 0.001

Stage Material Properties

☐ Apply Factors | Define Factors...

Copy To... | OK | Cancel

FUENTE: Software phase2, 2023

Figura 40 — Parámetros geomecánicos para el diseño del tipo de sostenimiento

Intact UCS (MPa): 130

☒ Peak ☒ Residual

Geological Strength Index: 51

Intact Rock Constant m_i : 20

Disturbance Factor: 0.3

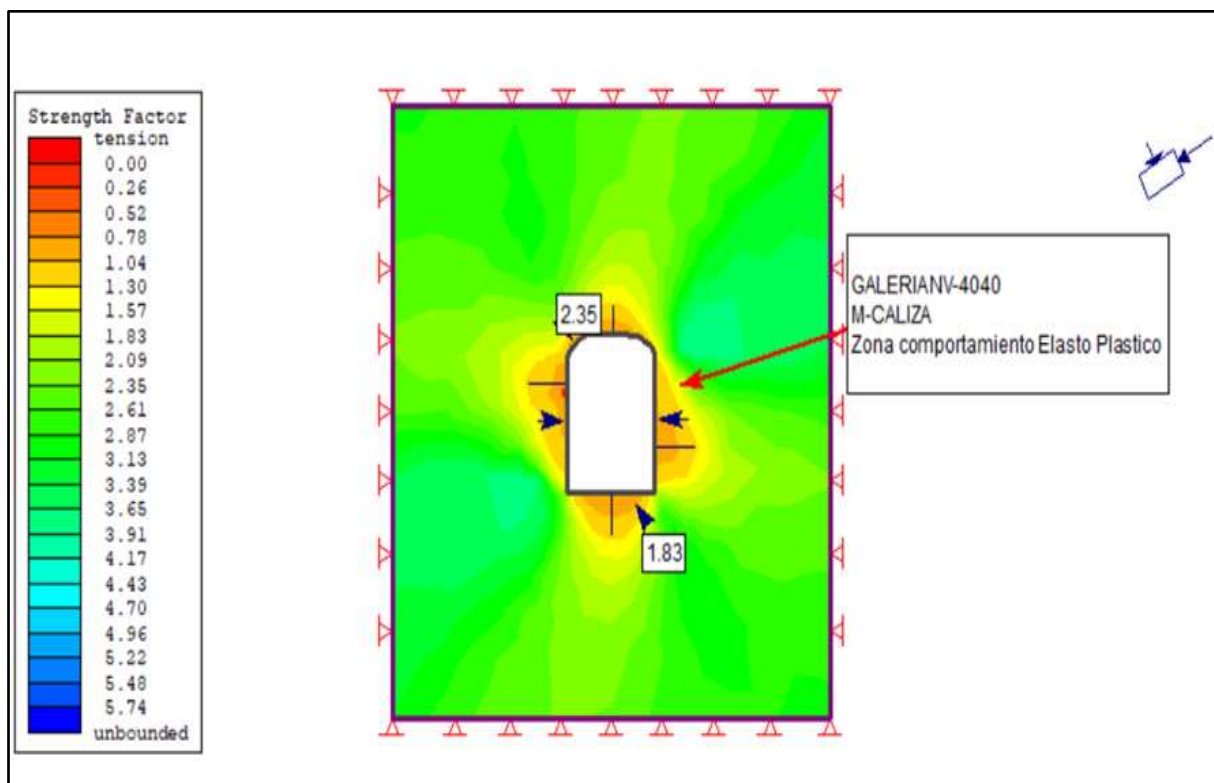
Parameter	Peak	Residual
mb:	2.552	2.552
s:	0.0023593	0.0023593
a:	0.5054	0.5054

FUENTE: Software Phase2, 2023

Figura 41 — Parámetros de la roca para el cálculo del tipo de sostenimiento.

Los parámetros de resistencia de la roca por medio del GSI al interpretarse los datos introducidos al Phase 2 se muestra de la siguiente manera

A continuación, se muestra el gráfico obtenido en el software



FUENTE: Software Phase2, 2023

Figura 42 — Resultado del tipo de sostenimiento de la galería nivel 4040

Resultados de fase2 de las 3 muestras (andesita, arenisca y caliza), es fundamentalmente atribuible al uso de un estado tensional gravitacional. Por lo cual el sostenimiento que se pudo determinar es Pernos de anclaje de 12 pies (3.84 m) longitud, espaciados a 1.9 metros, es un tipo de sostenimiento activo esto, implica que el esfuerzo principal mayor presenta una orientación vertical, lo que resulta en una concentración, dado el flujo tensional producido en torno a la excavación. Los pernos ayudarán a estabilizar el macizo rocoso y reducirán el desplazamiento de los bloques fracturados.

Project Settings

Project Title:
M - Andesita

Stress Units: Megapascals (MPa)

Strength Criterion

☒ Generalized Hoek-Brown ☐ Mohr-Coulomb

☐ Barton-Bandis ☐ Power Curve

OK Cancel

FUENTE: Software Phase2, 2023

Figura 43 — Configuración del software para el cálculo de comportamiento geomecánico del macizo rocoso de la galería nivel 4040.

Calculate m_i , σ_{ci} from Lab Data

Lab Data

Curve-Fitting Method: Levenberg-Marquardt

Number of Tests: 4

#	σ_3 (MPa)	σ_1 (MPa)
1	11.33027647	113.3027647
2	12.30687482	123.0687482
3	11.3314945	113.314945
4	14.12029223	141.2029223

mi: 50.000 sigci: 18.471 MPa

Major principal stress (MPa)

Minor principal stress (MPa)

☐ Plot Mogi's Line Residuals: 144.343

Apply OK Cancel

FUENTE: Software Rocdata, 2024

Figura 44 — Ingreso de los datos del laboratorio al software para el comportamiento del macizo rocoso.

Hoek-Brown Classification

sigci 18.471 MPa

GSI 50

mi 50

D 0

Hoek-Brown Criterion

mb 8.384

s 0.0039

a 0.506

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Failure Envelope Range

Application: Custom

sig3max 14.1203 MPa

Mohr-Coulomb Fit

c 3.230 MPa

phi 35.01 deg

Rock Mass Parameters

sigt -0.0085 MPa

sigc 1.112 MPa

sigcm 7.082 MPa

Em 4297.79 MPa

Intact Uniaxial Compressive Strength

Field Estimate of Strength	Examples	Strength (MPa)
Specimen can only be chipped with a geological hammer.	Fresh basalt, chert, diabase, gneiss, granite, quartzite.	>250
Specimen requires many blows of a geological hammer to fracture it.	Amphibolite, sandstone, basalt, gabbro, gneiss, granodiorite, limestone, marble, rhyolite, tuff.	100-250
Specimen requires more than one blow of a geological hammer to fracture it.	Limestone, marble, phyllite, sandstone, schist, shale.	50-100
Cannot be scraped or peeled with a pocket knife, specimen can be fractured with a single blow from a geological hammer.	Claystone, coal, concrete, schist, shale, siltstone.	25-50
Can be peeled with a pocket knife with difficulty, shallow indentation made by firm blow with point of a geological hammer.	Chalk, rock salt, potash.	5-25
Crumbles under firm blows with point of a geological hammer, can be peeled by a pocket knife.	Highly weathered or altered rock.	1-5
Indented by thumbnail.	Stiff fault gouge.	0.25-1

Uniaxial Compressive Strength (sigci) 130 MPa

OK

Cancel

FUENTE: Software Rocdata, 2024

Figura 45 — Datos de resistencia del macizo obtenidos en laboratorio para el cálculo del comportamiento del macizo rocoso

Hoek-Brown Classification

sigci 130 MPa

GSI 50

mi 50

D 0

Hoek-Brown Criterion

mb 8.384

s 0.0039

a 0.506

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Failure Envelope Range

Application: Custom

sig3max 14.1203 MPa

Mohr-Coulomb Fit

c 5.813 MPa

phi 51.16 deg

Rock Mass Parameters

sigt -0.0599 MPa

sigc 7.830 MPa

sigcm 49.847 MPa

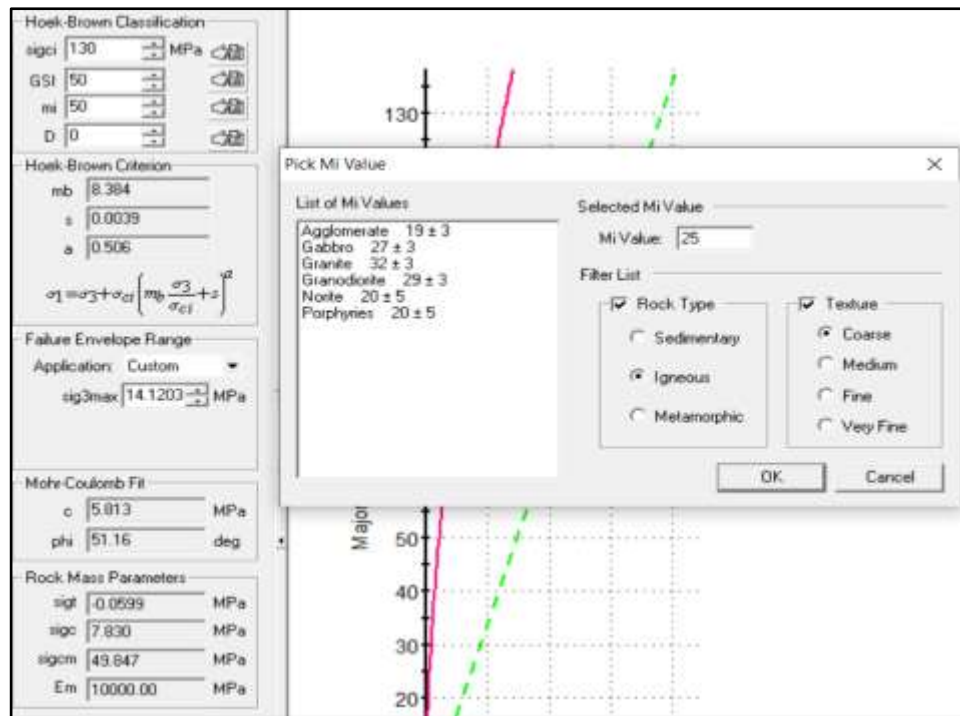
Em 10000.00 MPa

Pick GSI Value

Rock Type:	GSI Selection:	SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities		90	80	70	N/A	N/A
BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets		60	50	40	30	20
VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets						
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity						
DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces						
LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes		N/A	N/A			10

FUENTE: Software Rocdata, 2024

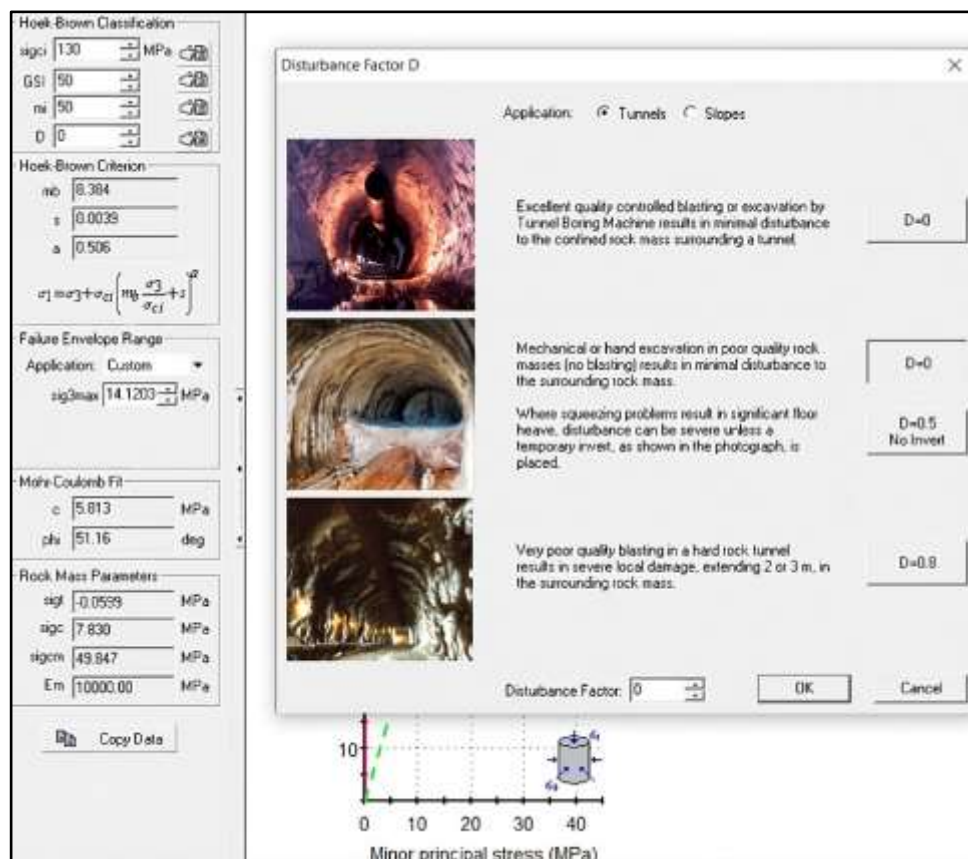
Figura 46 — Evaluación de GSI para el comportamiento de las rocas



FUENTE: Software Rocdata, 2024

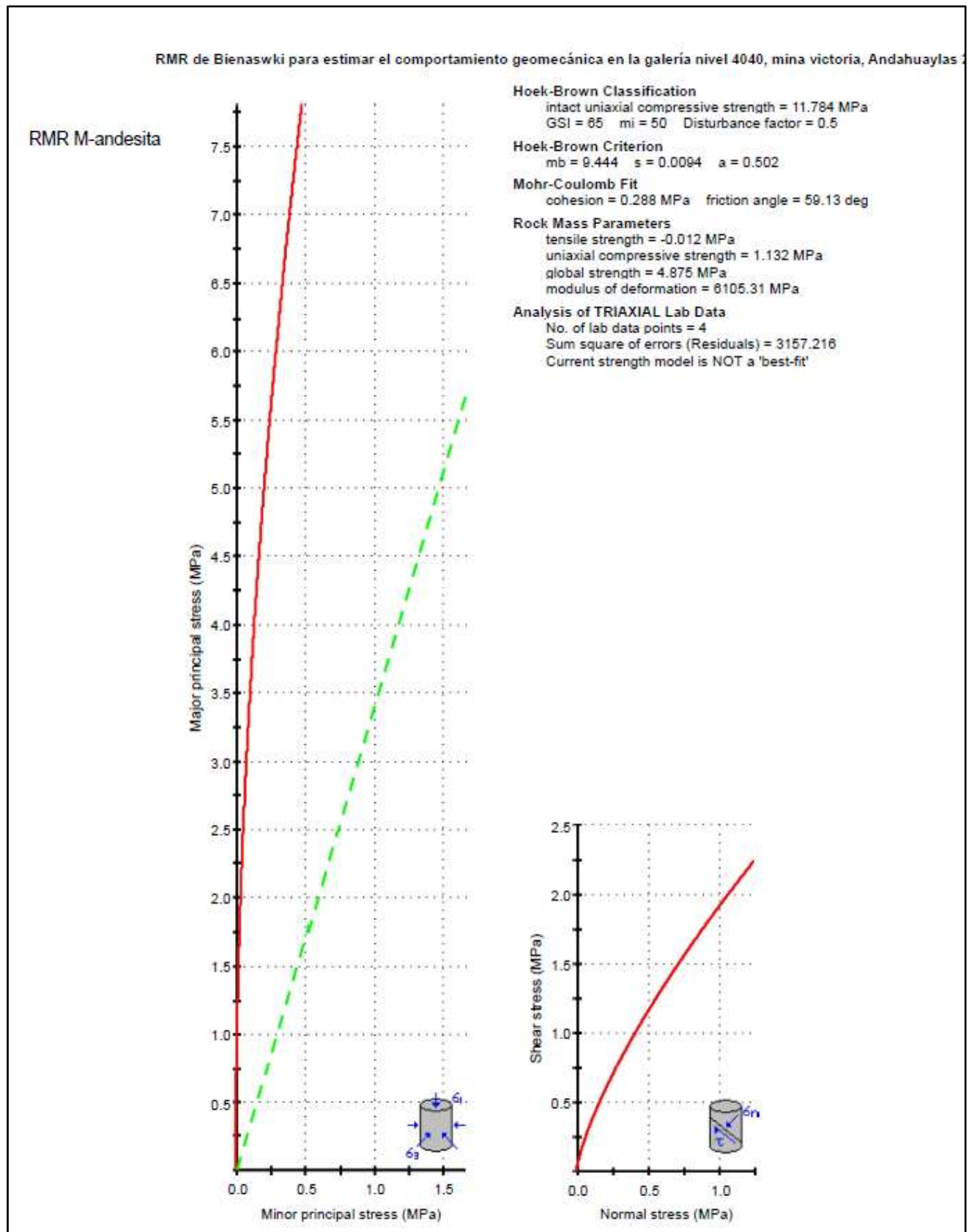
Figura 47 — Parámetros de la clasificación geomecánica de la muestra andesita

La grafica muestra los parámetros de las rocas que se insertan al software específicamente la textura y su tipo de roca



FUENTE: Software Rocdata, 2024

Figura 48 — Valores del factor de disturbancia de la muestra de andesita



FUENTE: Software Rocdata, 2024

Figura 49 — Resultado de Rocdata del comportamiento geomecánico elasto plástico con reblandecimiento de la muestra andesita

La línea roja describe cómo la roca andesita alcanza su límite de resistencia a la falla bajo diferentes condiciones de esfuerzo. Mientras la línea verde describe que el macizo rocoso está aproximado a la lineal de la envolvente de falla utilizando el criterio de Mohr-Coulomb,

El software Rocdata muestra el resultado de la siguiente manera.

Usamos la correlación entre el RMR y el GSI para determinar el RMR

Resolviendo en la fórmula del RMR

$$\text{RMR} = 65 + 5 \log_{10} (11.741/100)$$

$$\text{RMR} = 65 + 5 \log_{10} (0.11784)$$

$$\text{RMR} = 65 + 5 (-0.9295) \text{RMR}$$

$$\text{RMR} = 60.3525$$

Aproximamos a 60

Del gráfico obtenido

RMR M- Andesita

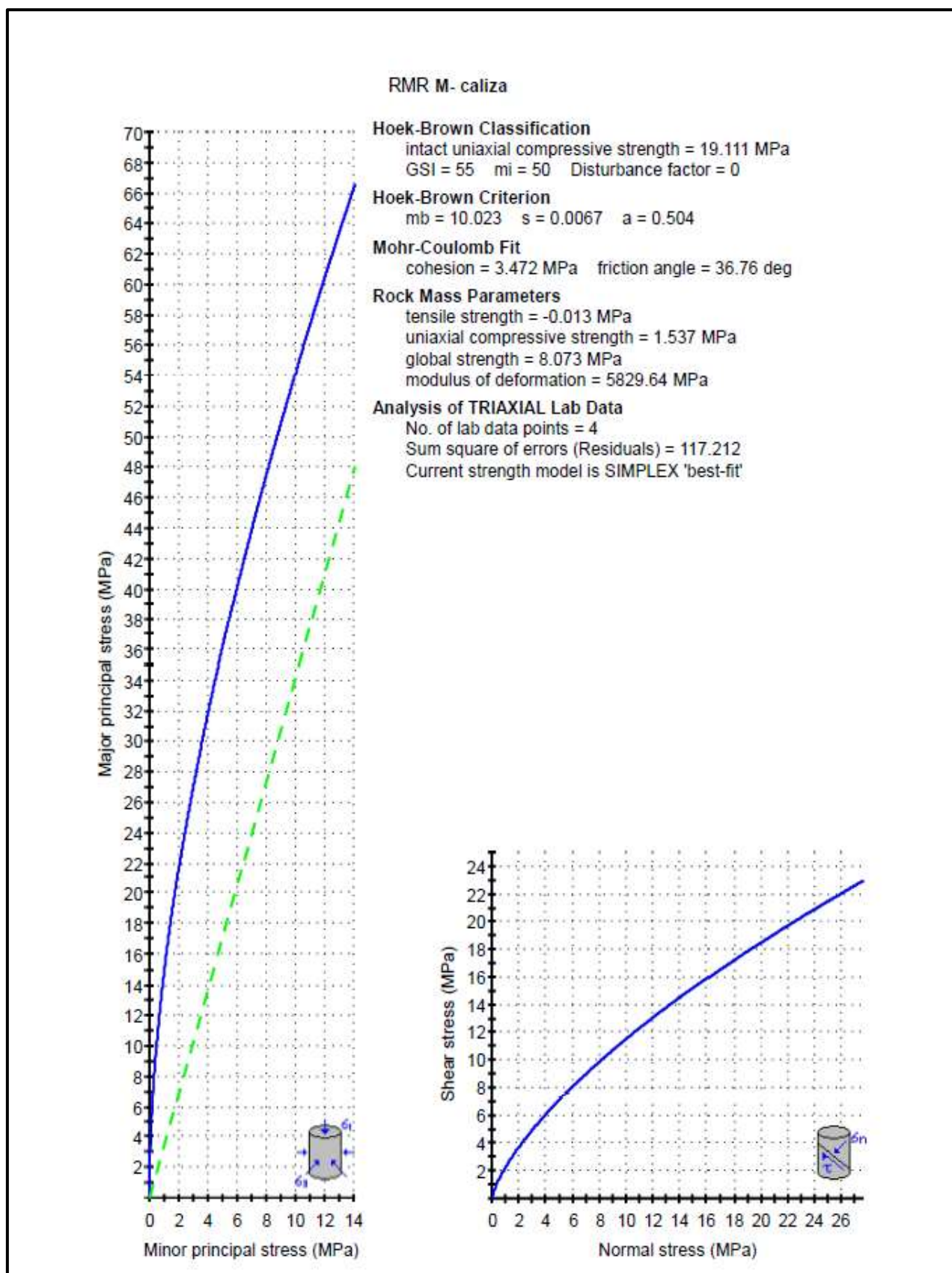
Hoek-Brown Classification:

- Intacta Uniaxial Compressive Strength, 11.784 MPa
- GSI: 65
- m_i : 50
- Disturbance Factor: 0.5

Hoek-Brown Criterion:

- m_b : 9.444
- s : 0.0094
- a : 0.502

El comportamiento según los resultados es relativamente bajo de la resistencia a la compresión de carga puntual y los parámetros del macizo rocoso, el comportamiento post-rotura para la andesita en este contexto es más probable que sea Elasto -frágil. Esto se debe a que el macizo rocoso tiene una resistencia relativamente baja y puede fracturarse repentinamente bajo carga sin una deformación plástica significativa.



FUENTE: Software Rocdata, 2024

Figura 50 — Resultado de rocdato del comportamiento geomecánico elasto plástico con resblandecimiento de la muestra caliza.

La línea azul muestra que la curva envolvente indica la relación entre el esfuerzo principal menor, describe cómo la roca fallará bajo diferentes combinaciones de esfuerzos principales. A medida que aumentan los esfuerzos, la roca alcanzará su límite de resistencia, indicado por esta línea.

según el modelo de Hoek-Brown el software Rocdata muestra el resultado de la siguiente manera para la muestra caliza.

Dado que el σ_{ci} (Resistencia de la roca intacta): 19.111 MPa

GSI (Geological Strength Index): 55

mi (parámetro del material Hoek-Brown): 50

Factor de perturbación: 0.5

Resolviendo en la fórmula del RMR

$$RMR = 65 + 5 \log_{10} (19.111/100)$$

$$RMR = 65 + 5 \log_{10} (0.19111)$$

$$RMR = 65 + 5 \cdot (-0.718716) RMR$$

$$RMR = 61.40642$$

Aproximamos a 61

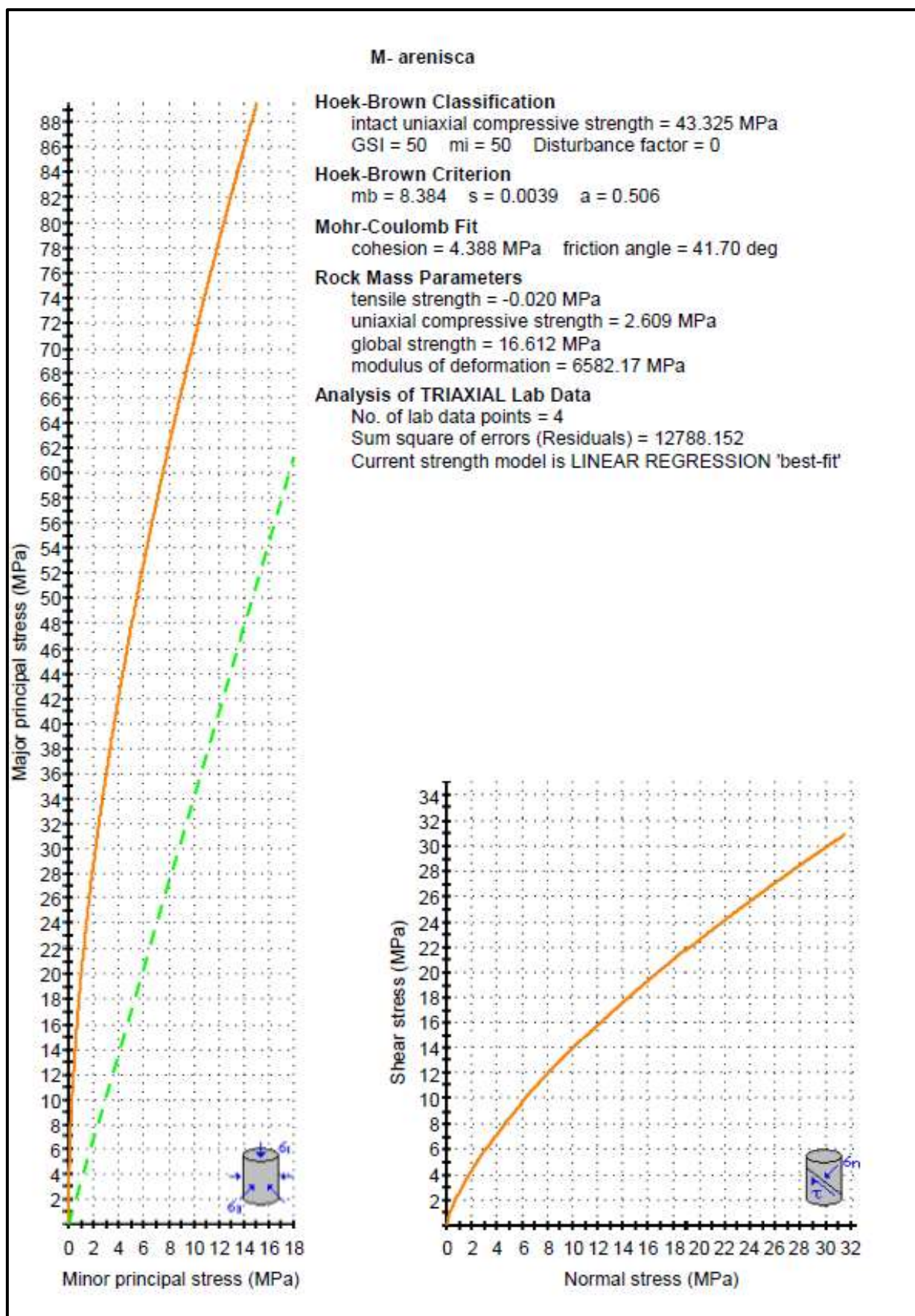
Del gráfico obtenido:

RMR M-Andesita

Hoek-Brown Classification:

- Intacta Uniaxial Compressive Strength: 19.111 MPa
- GSI: 55
- mi: 50
- Disturbance Factor: 0

El comportamiento según los resultados las rocas podrían exhibir un comportamiento post-rotura Elasto plástico con reblandecimiento. Esto se debe a que los parámetros indican una resistencia inicial alta seguida de una deformación plástica gradual y una posible disminución en la resistencia después de la ruptura. Este comportamiento es típico en rocas como la caliza etc. donde la plasticidad puede manifestarse más significativamente después de la ruptura inicial debido a la naturaleza de su estructura y composición.



FUENTE: Software Rocdata, 2024

Figura 51 — Resultado de rocdato del comportamiento geomecánico elasto plástico con reblandecimiento de la muestra arenisca.

La curva envolvente de color naranja indica la intersección entre el esfuerzo mayor y menor y describe cómo la roca fallará bajo diferentes combinaciones de esfuerzos principales. A medida que aumentan los esfuerzos, la roca alcanzará su límite de resistencia, indicando la línea de verde. la correlación entre el RMR y el GSI para determinar el RMR, Dado que el σ_{ci} (Resistencia de la roca intacta): 43.325 MPa

GSI (Geological Strength Index): 50

mi (parámetro del material Hoek-Brown): 50

Factor de perturbación: 0.5

Resolviendo en la fórmula del RMR

$$RMR = 50 + 5 \log_{10}(43.325/100)$$

$$RMR = 50 + 5 \log_{10}(0.19111)$$

$$RMR = 50 + 5 \cdot (-0.363261) RMR$$

$$RMR = 48.218$$

Aproximamos a :48

Del gráfico obtenido:

RMR M-arenisca

Hoek-Brown Classification:

- Intacta Uniaxial Compressive Strength: 43.325 MPa
- GSI: 50
- mi: 50
- Disturbance Factor: 0

El comportamiento según los resultados dado, el comportamiento Post-rotura de las rocas en la galería nivel 4040 de la Mina Victoria, Andahuaylas, podría ser interpretado como Elasto plástico con reblandecimiento, debido a la presencia de parámetros que sugieren una reducción en la resistencia después de la ruptura inicial.

El comportamiento geomecánico del macizo rocoso, en la galería del nivel 4040

Para determinar el sostenimiento el nivel de galería 4040 se usó la simulación en software Phase2 Según este método, la zona Elasto plástico presenta su extensión máxima de 1.75 en los hastiales, y en el techo, presenta una zona plastificada. las longitudes de la galería son 3.65m x 3.50 m

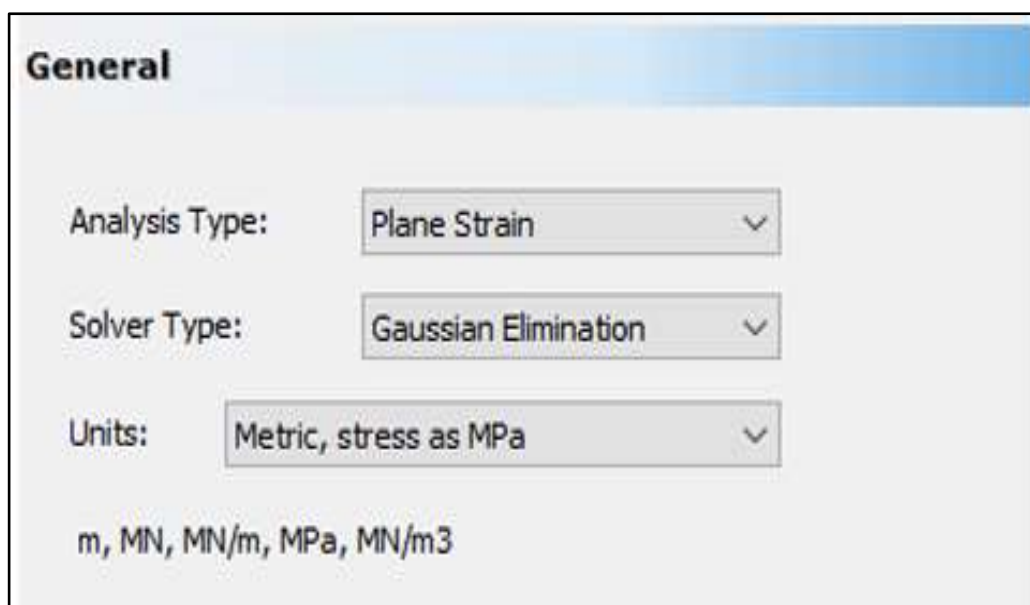
Datos para estimar el sostenimiento

Tabla 21 — Datos para poder el diseño del tipo de sostenimiento de la galería nivel 4040

Datos Geomecánicos	
Resistencia a la compresión uniaxial	130 MPa
RQD	75%
Número de discontinuidades	3 familias
mi	20
D (Factor de disturbancia)	0.3
GSI	51
Ángulo de fricción interna de las discontinuidades	35°
Condición de las discontinuidades	
Apertura	0.1-1.0 mm
Rugosidad	Rugosa
Relleno	Duro
Relleno	<5 mm
Meteorización	Moderadamente intemperizadas
Persistencia	3-10 m
Espaciamiento	0.6-0.8 m
Condiciones de agua	Húmedo
Orientación de la labor	Paralela a las discontinuidades
Buzamiento del sistema principal	75°

Datos geomecánicos del macizo rocosos para la evaluación del adecuado sostenimiento del macizo rocoso y para utilizar el software de modelado geotécnico como Phase2.





General

Analysis Type: Plane Strain

Solver Type: Gaussian Elimination

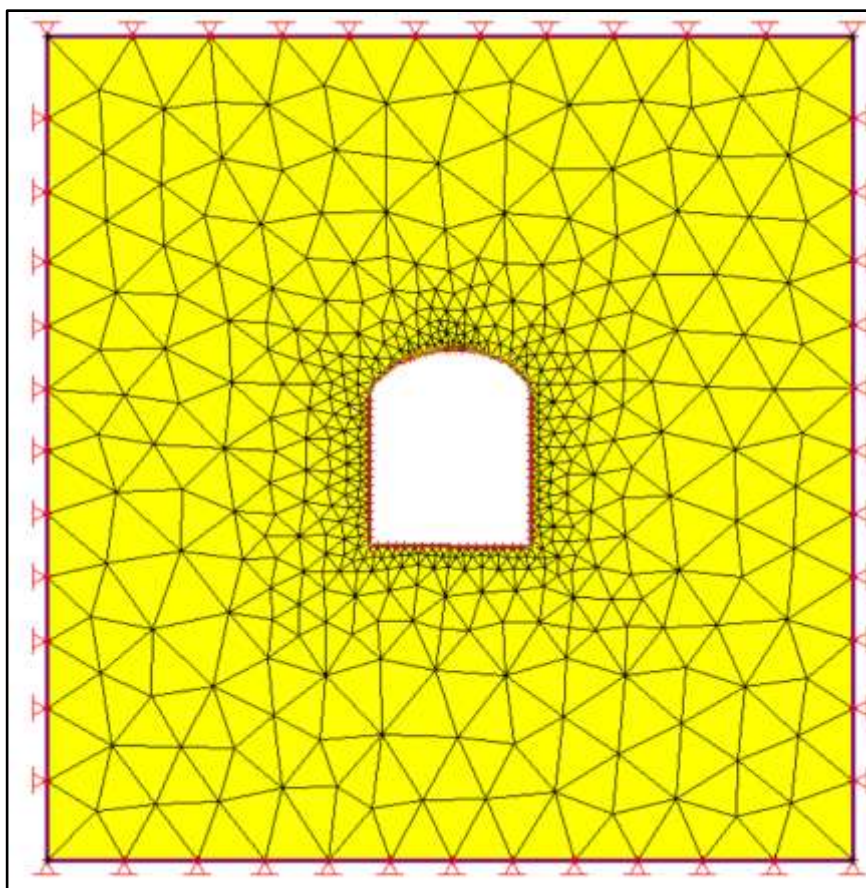
Units: Metric, stress as MPa

m, MN, MN/m, MPa, MN/m³

FUENTE: Software phase2, 2023

Figura 52 — Configuración general del software para diseñar el tipo de sostenimiento para la galería

Una vez ingresados los datos generales se establece la malla con la que se analizará el proyecto



FUENTE: Software phase2, 2023

Figura 53 — Diseño de sostenimiento del interior de la galería nivel 4040

Define Material Properties

Material: ANDESITA | Material 2 | Material 3 | Material 4 | Ma

Name: ANDESITA Initial Element Loading: Field Stress Only

Material Colour: [Red] Unit Weight: (MN/m³): 0.027

Elastic Properties

Material Type: Isotropic

Young's Modulus (MPa): 2300 Poisson's Ratio: 0.2

E1 (MPa): 2000 E2 (MPa): 2000 Ez (MPa): 2000

v12: 0.2 v13: 0.2 v23: 0.2

Strength Parameters

Failure Criterion: Hoek-Brown Material Type: Elastic

Intact UCS (MPa): 130 Dilation Parameter: 0

m Parameter (peak): 2.5548 m Parameter (resid): 1

s Parameter (peak): 0.02359 s Parameter (resid): 0.001

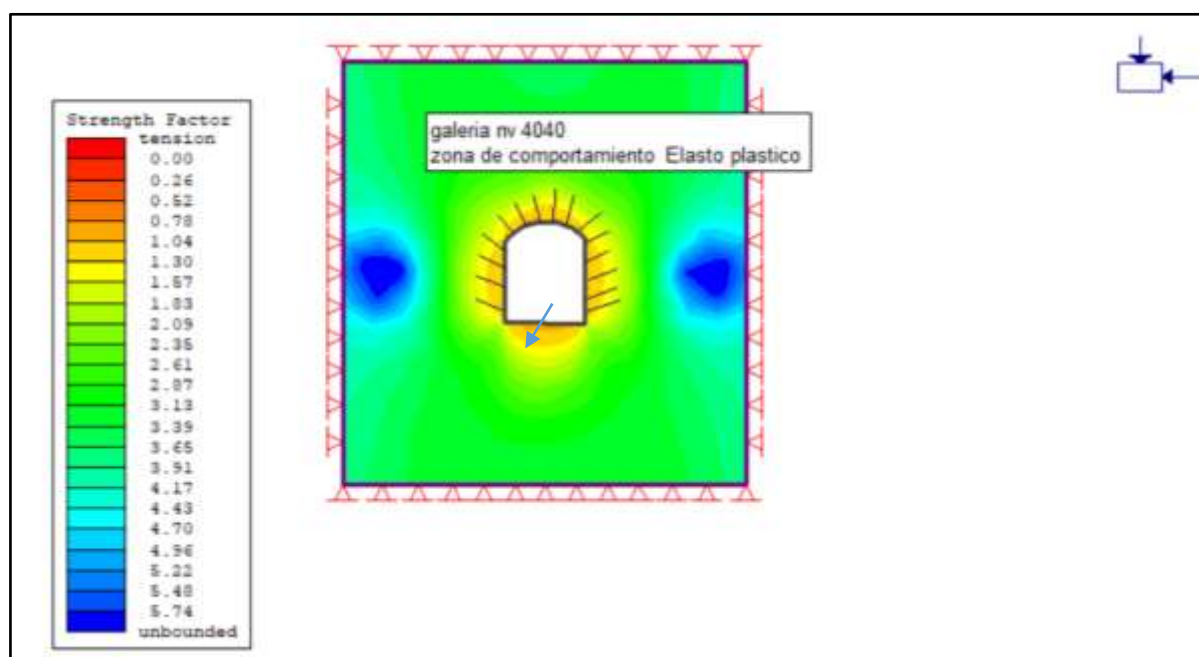
Stage Material Properties

☐ Apply Factors Define Factors...

Copy To... OK Cancel

FUENTE: Software phase2, 2023

Figura 54 — Parámetros de las rocas para diseñar el tipo de sostenimiento de la galería



FUENTE: Software phase2, 2023

Figura 55 — Resultado de tipo de sostenimiento de la galería nivel 4040 mina la Victoria

Modelamiento del diseño del sostenimiento adecuado de la galería nivel 4040. La diferencia observable en la extensión de la zona plastificada, es fundamentalmente atribuible al uso de un estado tensional gravitacional. Por lo cual el sostenimiento que se pudo determinar es pernos de anclaje, es un tipo de sostenimiento activo esto implica que el esfuerzo principal mayor presenta una orientación vertical, lo que resulta en una concentración de esfuerzos en los hastiales, dado el flujo tensional producido en torno a la excavación. La necesidad de un sistema de sostenimiento robusto para manejar las zonas de comportamiento plástico y los altos factores de resistencia a la tensión alrededor de la galería

Tabla 22 — Datos de resistencia para hallar el comportamiento de la muestra (Andesita).

Área Transversal (mm ²)	Carga (kN)	Resistencia (σ) (MPa)
2295	24	142.20
2496	23	115.84
2650	26	131.11
2025	27	146.63
	promedio	133.95

Tabla 23 — Datos de resistencia para determinar el comportamiento de la muestra caliza

CALIZA		
Área — Datos de resistencia para hallar GSI (mm ²)	Carga (kN)	σ (MPa)
3596	28	113.30
2352	25	137.84
2650	27	113.31
2025	26	141.20
	promedio	126.41

Tabla 24 — Datos de resistencia para determinar el comportamiento de la muestra arenisca

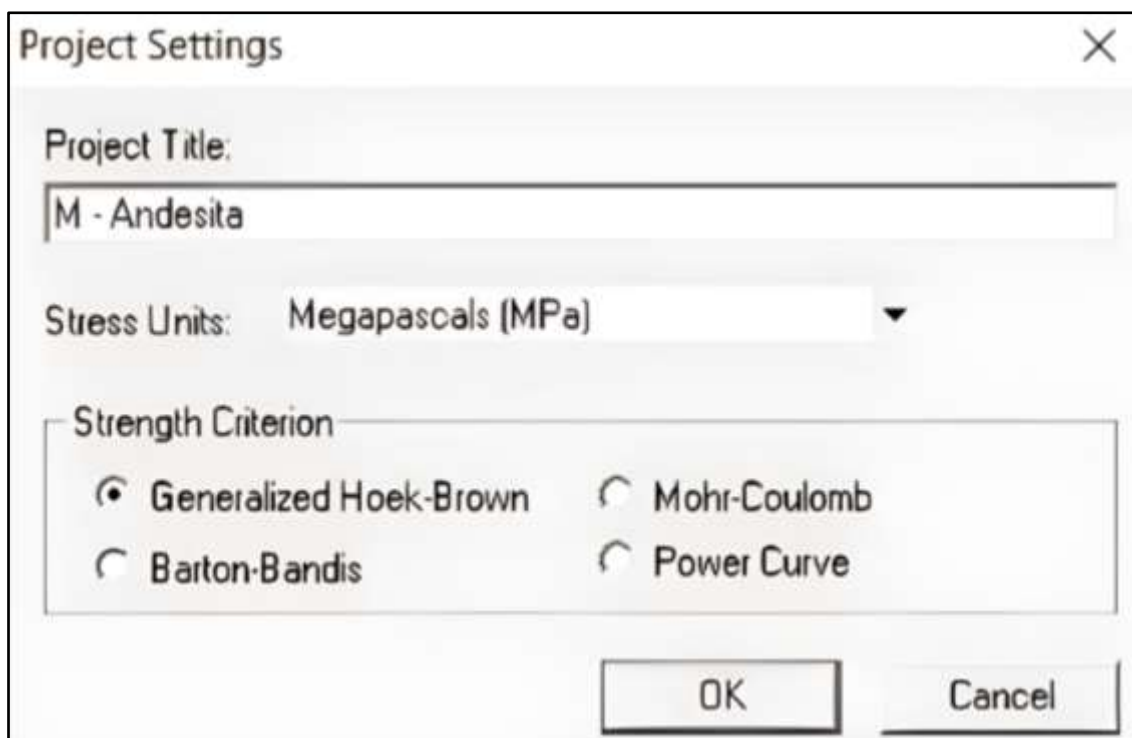
ARENISCA		
Área (mm ²)	Carga (kN)	σ (MPa)
3074	27	115.30
2695	25	110.56
2650	27	105.40
1620	24	114.62
	promedio	111.47

Tabla 25 — Mi (Parámetro material, depende del tipo de roca)

Andesita: $m_i \approx 25m$
Caliza: $m_i \approx 10m$
Arenisca: $m_i \approx 15m$

Tabla 26 — Calidad del macizo rocoso

Muy Buena Roca:	75 - 100
Buena Roca:	50 - 75
Roca Regular:	25 - 50
Mala Roca:	0 - 25



Project Settings

Project Title:
M - Andesita

Stress Units: Megapascals (MPa)

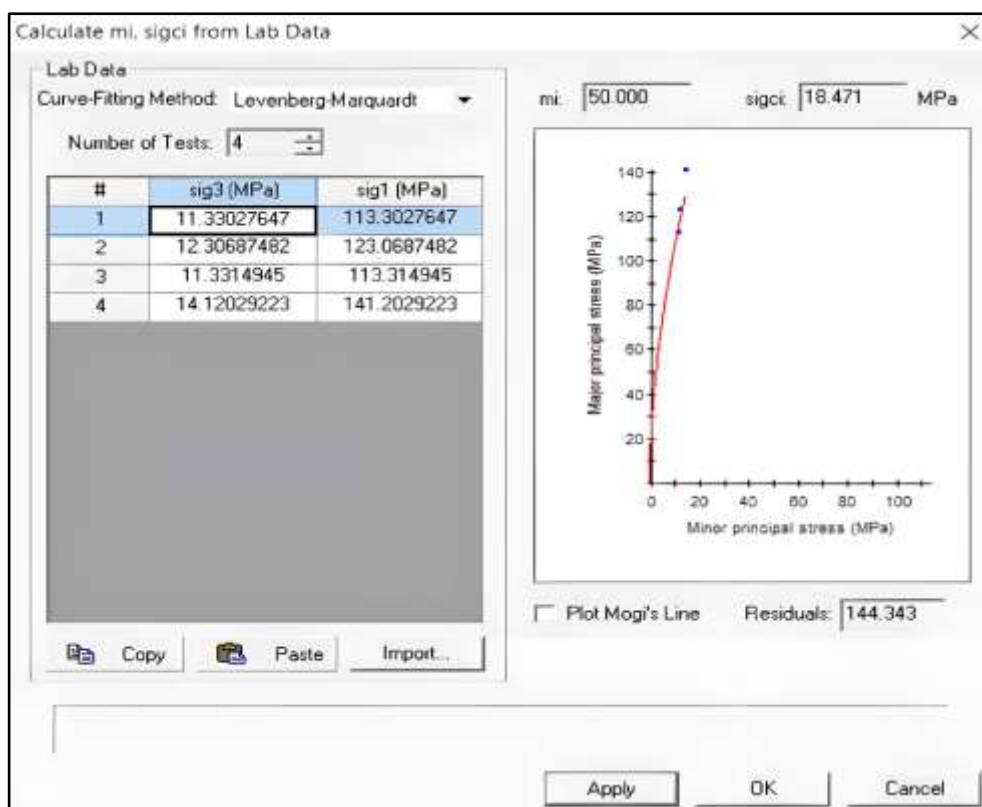
Strength Criterion

☒ Generalized Hoek-Brown ☐ Mohr-Coulomb
☐ Barton-Bandis ☐ Power Curve

OK Cancel

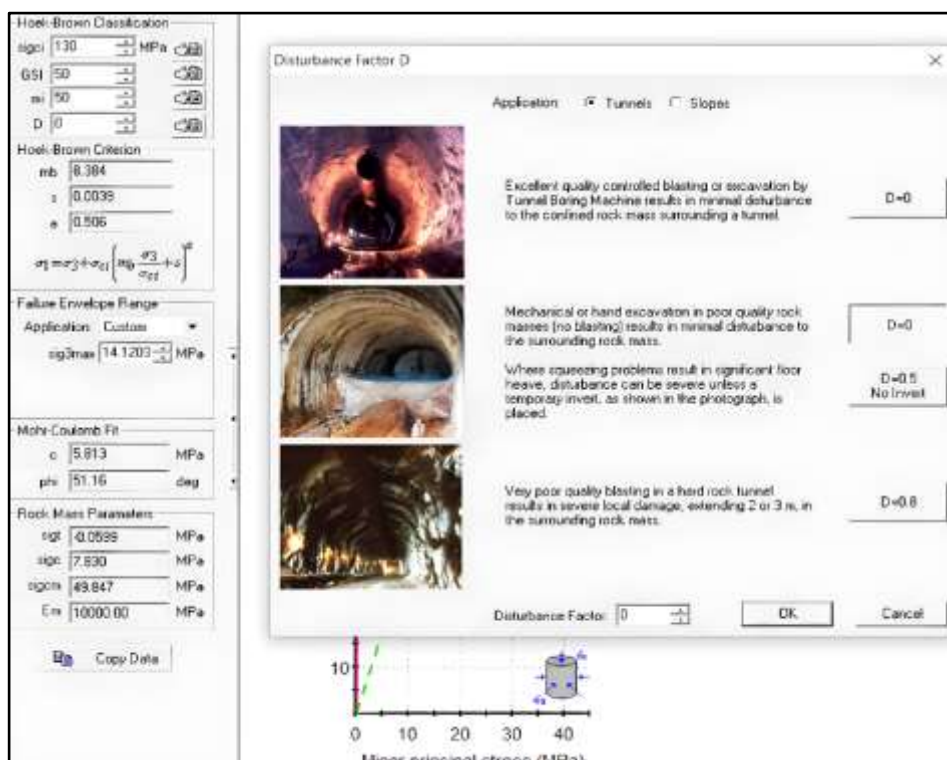
FUENTE: Software Rocdata, 2024

Figura 56 — Configuración del software para el cálculo de comportamiento geomecánico del macizo rocoso de la galería nivel 4040



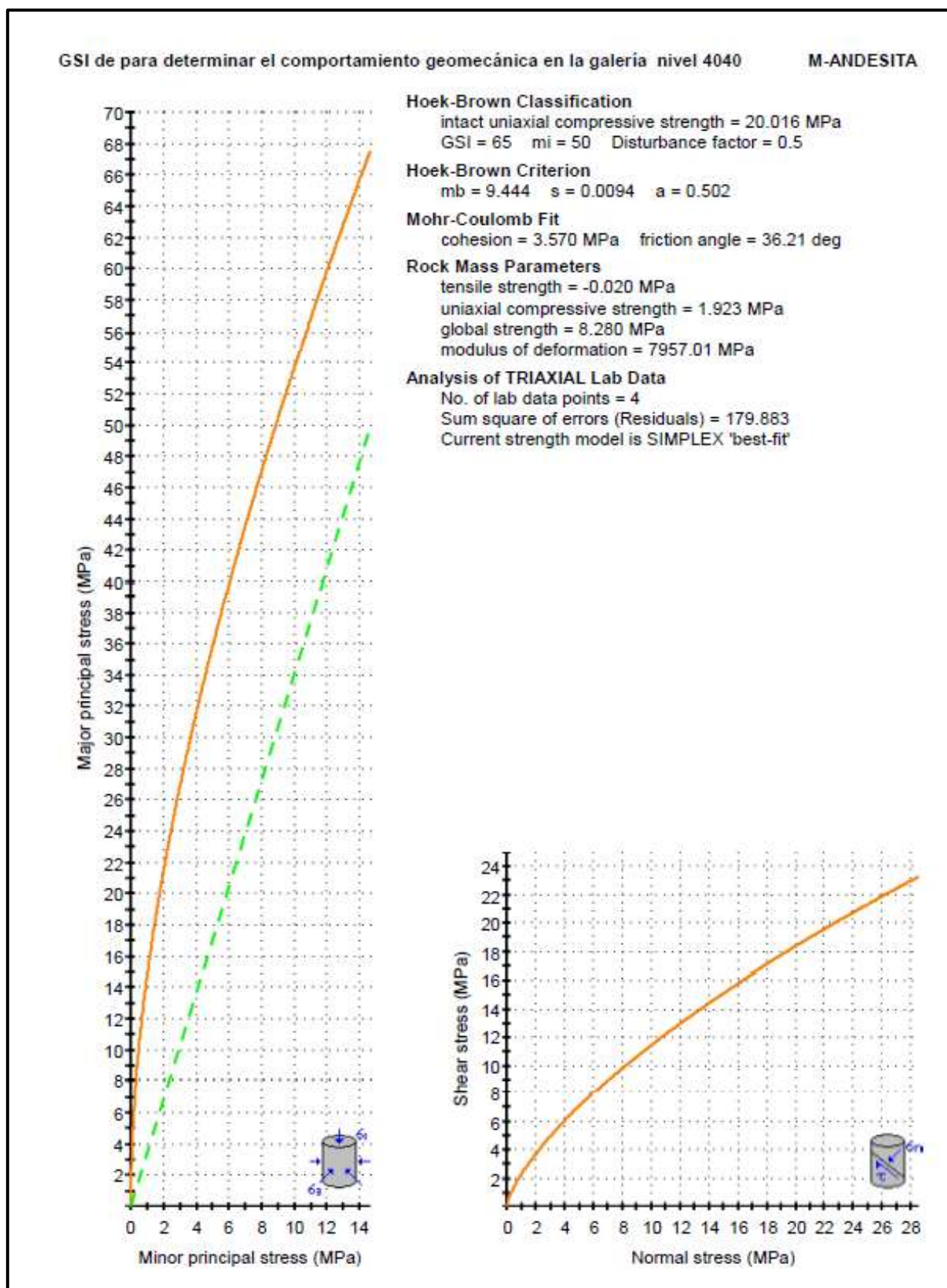
FUENTE: Software Rocdata, 2024

Figura 57 — Datos de laboratorio para el cálculo del comportamiento de las rocas de la galería nivel 4040



FUENTE: Software Rocdata, 2024

Figura 58 — Valores del factor de Disturbancia del macizo rocoso para el cálculo del comportamiento geomecánico del macizo rocoso.



FUENTE: Software Rocdata, 2024

Figura 59 — Resultado de rocdato del comportamiento elasto plástico perfecto de la muestra andesita.

La envolvente curva de color naranja indica que relación entre el esfuerzo mayor y esfuerzo menor y describe como la cómo la roca está bajo diferentes combinaciones de esfuerzos principales. A medida que aumentan los esfuerzos, la roca alcanza su límite de resistencia, de la muestra andesita son los siguientes:

- GSI (Geological Strength Index): 65
- m_i : 50
- Factor de perturbación (D): 0.5

Hoek-Brown Criterion:

- m_b : 9.444
- s : 0.0094
- a : 0.502

Mohr-Coulomb Fit:

- Cohesión (c): 3.570 MPa
- Ángulo de fricción (ϕ): 36.21 grados
- Parámetros del macizo rocoso:
- Resistencia a la tracción (σ_t): -0.020 MPa
- Resistencia a la compresión carga puntual del macizo rocoso (σ_{cm}): 1.923 MPa
- Resistencia global: 8.280 MPa
- Módulo de deformación: 7957.01 MPa
- Análisis de datos triaxiales:
- Número de puntos de datos de laboratorio: 4
- Suma de los errores residuales: 179.883

La calidad del macizo rocoso es relativamente alta, con un GSI de 65 lo cual es una indicación de la fortaleza del material en su estado intacto, los parámetros del criterio de Hoek-Brown y el ajuste de Mohr-Coulomb proporcionan una caracterización completa de la resistencia y el comportamiento del macizo rocoso bajo diferentes condiciones de carga. Estos resultados son cruciales para el diseño y la estabilidad de la galería, proporcionando información esencial para las decisiones de ingeniería y construcción en la mina, según a la grafico del software Rocdata se estima que La andesita en la galería nivel 4040 de la mina Victoria probablemente tenga un comportamiento frágil con poca capacidad de deformación plástica post-rotura. La inclusión de revestimiento mejoraría la estabilidad de la galería, proporcionando soporte adicional y reduciendo el riesgo de fallo frágil.



GSI de para determinar el comportamiento geomecánica en la galería nivel 4040

M-CALIZA

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 10.36 MPa

GSI = 55 $m_i = 10$ Disturbance factor = 0.5

Hoek-Brown Criterion

$m_b = 1.173$ $s = 0.0025$ $a = 0.504$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 1.315 MPa friction angle = 15.76 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.022 MPa

uniaxial compressive strength = 0.503 MPa

global strength = 1.514 MPa

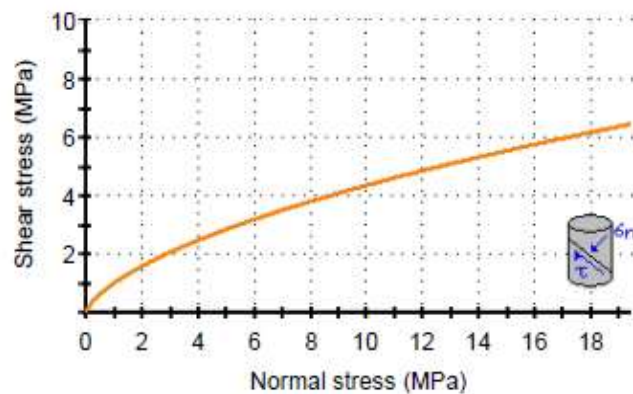
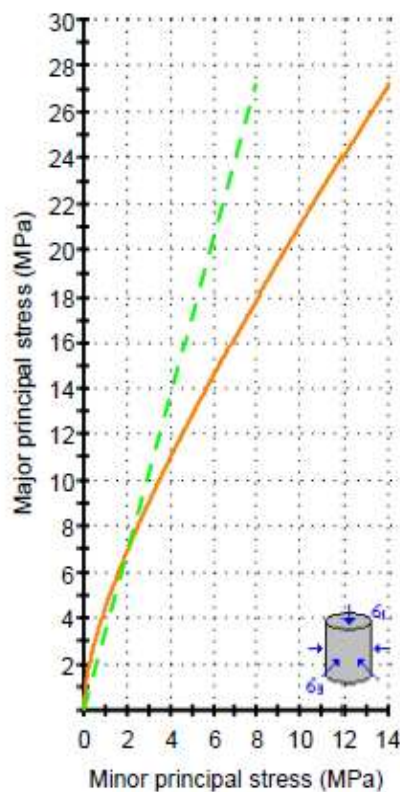
modulus of deformation = 3219.15 MPa

Analysis of TRIAXIAL Lab Data

No. of lab data points = 4

Sum square of errors (Residuals) = -1.000

Current strength model is NOT a 'best-fit'



FUENTE: Software Rocdata, 2024

Figura 60 — Resultado de rocdato del comportamiento geomecánico elástico plástico perfecto de la muestra caliza.

La envolvente curva de color verde muestra los modelos y criterios de fallas analizados bajo condiciones de stress y una relación entre el esfuerzo mayor .la curva naranja muestra como la a roca alcanzará su límite de falla bajo diferentes combinaciones de esfuerzos principales.

Los resultados dados en el software Rocdata de la muestra caliza son los siguientes:

- GSI (Geological Strength Index): 55
- m_i : 10
- Factor de perturbación (D): 0.5

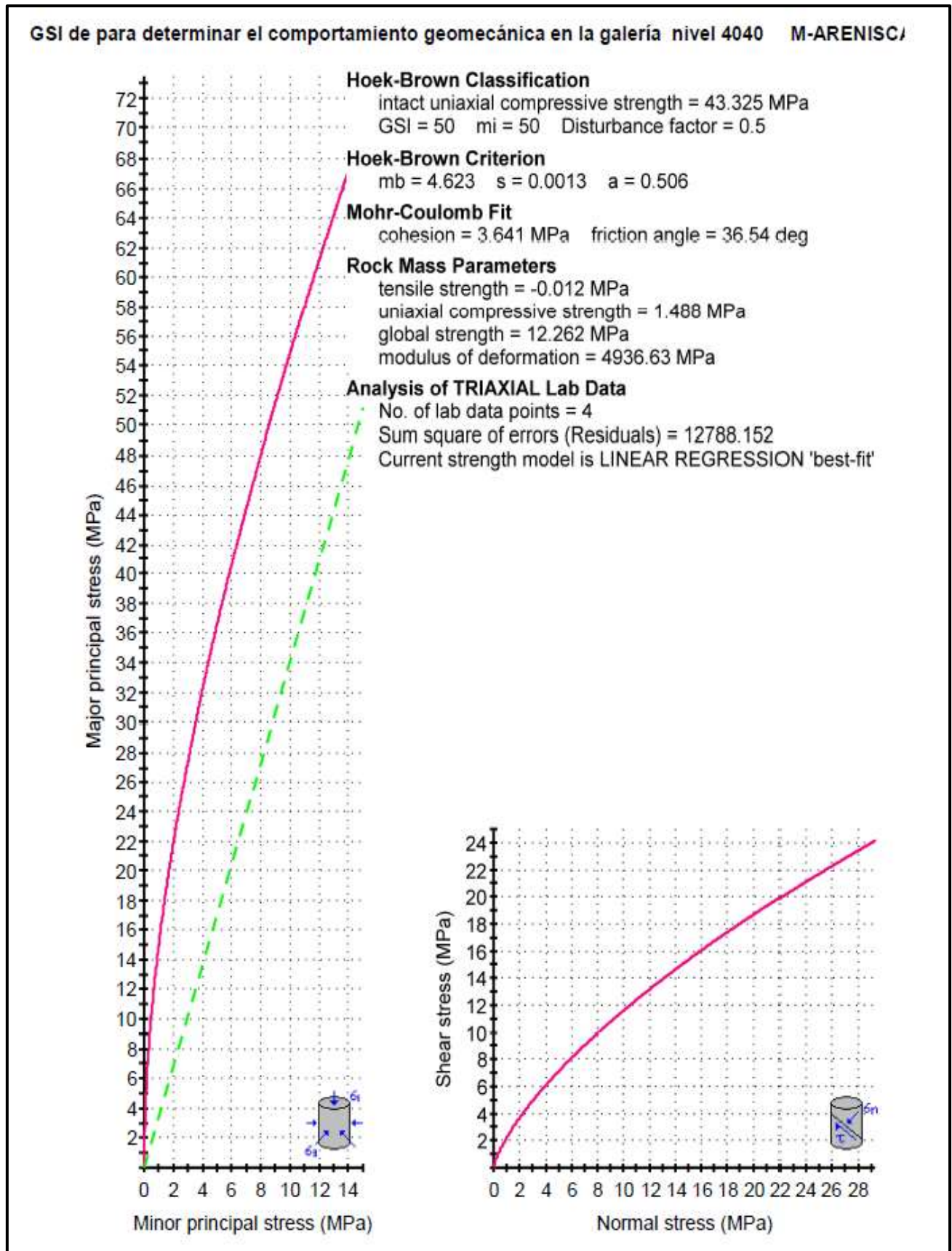
Hoek-Brown Criterion:

- m_b : 1.173
- s : 0.0025
- a : 0.504
- Mohr-Coulomb Fit:
- Cohesión (c): 1.315 MPa
- Ángulo de fricción (ϕ): 15.76 grados

Parámetros del macizo rocoso:

- Resistencia a la tracción (σ_t): -0.022 MPa
- Resistencia a la compresión carga puntual del macizo rocoso (σ_{cm}): 0.503 MPa
- Resistencia global: 1.514 MPa
- Módulo de deformación: 3219.15 MPa

Por lo el comportamiento de la muestra caliza según los resultados un GSI de 55 y una resistencia a la tracción muy baja (-0.022 MPa) indican que la roca puede fallar de manera frágil bajo condiciones de tensión. La caliza probablemente tenga un comportamiento frágil, fallando rápidamente después de alcanzar su resistencia máxima, con poca o ninguna deformación plástica. Y también según el ajuste de Mohr-Coulomb muestra los valores bajos de cohesión y un ángulo de fricción moderado, lo que puede indicar una capacidad limitada de deformación plástica antes del fallo completo, La roca podría mostrar un comportamiento Elasto -plástico limitado, con alguna capacidad de carga residual antes de la falla completa.



FUENTE: Software Rocdata, 2024

Figura 61 — Resultado de rocdato del comportamiento geomecánico elasto plástico perfecto de la muestra arenisca

La línea de color rosada muestra la relación entre el esfuerzo mayor y el esfuerzo menor, es una representación lineal que aproxima una falla basada en el criterio de Mohr-Coulomb, que se basa en la cohesión y el ángulo de fricción de la roca. y la línea de color verde describe el comportamiento de materiales friccionantes, como suelos o rocas homogéneas.

Los resultados dados en el software Rocdata de la muestra caliza son los siguientes:

- m_b : 4.623
- s : 0.0013
- a : 0.506

Mohr-Coulomb Fit:

- Cohesión (c): 3.641 MPa
- Ángulo de fricción (ϕ): 36.54 grados

Parámetros del macizo rocoso:

- Resistencia a la tracción (σ_t): -0.012 MPa
- Resistencia a la compresión carga puntual del macizo rocoso (σ_{cm}): 1.488 MPa
- Resistencia global: 12.262 MPa
- Módulo de deformación: 4936.63 MPa
- Resistencia a la compresión de carga puntual del material intacto (σ_{ci}): 43.325 MPa
- GSI (Geological Strength Index): 50
- m_i : 50
- Factor de perturbación (D): 0.5

Entonces según la gráfica se puede interpretar el comportamiento de la muestra arenisca probablemente tenga un comportamiento frágil, fallando rápidamente después de alcanzar su resistencia máxima, con poca o ninguna deformación plástica, con cierta capacidad de deformación plástica post-rotura.

5.2 Discusiones

Discusión 1. La intención fue determinar el sostenimiento de acuerdo a las clasificaciones geomecánicas de Bieniaswki, Barton y GSI del macizo rocoso en la galería nivel 4040, mina Victoria, se demostró que al correlacionar con el software Phase y Rocdata se calcularon los puntajes referentes a la calidad del macizo rocoso, siendo el Rock Mass Rating o RMR de Bieniawski (1989) de 55 MPa, que en otros términos implica una masa rocosa tipo III – regular. Por otro lado, se obtuvo el valor del índice Q (Barton1974) es 12, lo cual implica una calidad de excavación regular Para la excavación de 3.65 metros de ancho y 3.50 metros de altura. En cuanto al empernado, se obtuvo en el índice del Q de Barton (1974) un largo mínimo de 2.9 metros, mientras que Bieniawski (1989) recomienda un espaciamiento de 1.5 – 2 metros.

Este hallazgo guarda relación por encontrado por (Rodrigues, 2020) quienes al estudiar el “diseño de sostenimiento para túneles y excavaciones mineras” sus resultados fueron masa rocosa tipo III – regular. Por otro lado, se obtuvo el valor del índice Q (Barton et al, 1974) de 25, lo cual implica una calidad de excavación buena. Para la excavación de 12 metros de ancho y 12 metros de altura se evaluó. Se ha estimado según el método de Protodyakonov (1976) una zona plástica de 0.93 fuera del contorno de la excavación, mientras que para el modelo de Duncan Fama la zona plastificada identificada fue de 0.46 metros, En cuanto a la modelación, para lograr un mínimo del F.S se sugiere un espaciamiento de pernos de 1.3 metros, a 4 metros de la frente.

Discusión 2. La intención fue determinar el sostenimiento de acuerdo en el comportamiento elasto frágil del macizo rocoso en la galería nivel 4040, mina Victoria. Se demostró los resultados obtenidos en el software pase el tipo de sostenimiento adecuado para la galería es el sostenimiento con pernos. Según Hoek-Brown.GSI 65, mi 50 y mb 9.444, s 0.0094, a 0.502, también se consideró el criterio de Mohr-Coulomb Fit: Cohesión (c) 3.570 MPa, Ángulo de fricción (ϕ) 36.21 grados.

El comportamiento según los resultados dado, las rocas podrían exhibir un comportamiento post-rotura elasto plástico con frágil. Esto se debe a que los parámetros indican una resistencia inicial alta seguida de una deformación plástica gradual y una posible disminución en la resistencia después de la ruptura.

Este resultado guarda relación al de (Ochoa Quesada, 2018), al estudiar el comportamiento geomecánico, confirmando la utilidad del modelo Hoek-Brown y el



comportamiento de post rotura elasto frágil del macizo rocoso proponer una clasificación geomecánica que permitiera evaluar el comportamiento del macizo rocoso en dicho túnel. La metodología empleada fue de carácter científico, aplicada a la investigación, obteniendo resultados significativos, para el comportamiento de post rotura el estudio reveló que el macizo rocoso estaba fracturado con tres familias de grietas predominantes y, según las clasificaciones geomecánicas, se clasificaba de calidad regular, estos hallazgos refuerzan la importancia de aplicar clasificaciones geomecánicas adecuadas y el tipo de sostenimiento adecuado es con mallas empernadas que es ajustadas para evaluar el comportamiento del macizo rocoso en proyectos subterráneos Según Hoek-Brown, la resistencia del material intacto (σ_{ci}) 27.038 MPa, el criterio de Mohr-Coulomb Fit: Cohesión (c) 2.320 MPa garantizando así la seguridad y estabilidad de las excavaciones.

Discusión 3 La intension fue determinar el sostenimiento en el comportamiento Elasto -Plastico con reblandecimiento del macizo rocoso se utilizó el software Rocdata, Phase2 Los resultados para las rocas tipo "caliza, andesita y arenisca " GSI 55 mi 10, Factor de perturbación (D) 0.5 según Hoek-Brown Criterion: mb 1.173, s 0.0025, a 0.504, Mohr-Coulomb Fit Cohesión (c) 1.315 MPa, Ángulo de fricción (ϕ) 15.76 grados. Entonces el comportamiento según los resultados dados, las rocas podrían exhibir un comportamiento post-rotura Elasto plástico con reblandecimiento. Esto se debe a que los parámetros indican una resistencia inicial alta seguida de una deformación plástica gradual y una posible disminución en la resistencia después de la ruptura. De acuerdo a los resultados dados se determino el sostenimiento adecuado pernos de anclaje reforzados para asegurar la estabilización de los bloques rocosos y el comportamiento esperado de las rocas pueden ofrecer el soporte inicial mientras que los pernos de anclaje pueden proporcionar soporte a largo plazo.

Este trabajo guarda relación con la investigación del Estudio de (Valdivia Donayre 2020), tuvo como objetivo estimar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso utilizando el método de Kriging y Phase2. las rocas podrían exhibir un comportamiento post-rotura Elasto plástico con reblandecimiento. Esto se debe a que los parámetros indican la Resistencia: RCU (resistente a muy resistente), Rugosidad: JRC (rugosa), RQD: Regular a buena, Espaciado, medianamente junto, que la estimación representa una fuente confiable para identificar las zonas críticas del macizo rocoso, lo cual es crucial para establecer medidas preventivas necesarias por parte de las autoridades.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Conclusión 1.

El análisis geomecánico indica que el macizo rocoso tiene una calidad regular con un RMR de 51, una resistencia a la compresión de 130 MPa y un RQD de 75%. Según los métodos de Bieniawski, Barton, el sostenimiento adecuado incluye pernos sistemáticos reforzado con fibra de 5-6 cm. pero el análisis con GSI sugiere pernos de 1.50 x 1.50 m con una zona plástica de 1.35 m por lo que el soporte deberá sobrepasar esta zona para obtener una excavación más segura.

Conclusión 2.

El estudio del sostenimiento para la galería nivel 4040 de la Mina Victoria indica que se deben usar pernos de 4.27 m de longitud, espaciados a 1.9 m, para garantizar la estabilidad de la excavación. Los resultados del software phase indican que este tipo de sostenimiento mitigará el riesgo de fallas y mejorará las condiciones operativas. Con una resistencia de carga de 130 MPa y un ángulo de fricción de 69.2° según Rocdata, las rocas en la galería presentan un comportamiento elasto plástico frágil, lo que implica que, aunque inicialmente fuertes, se deforman plásticamente y pierden resistencia después de la ruptura. La andesita, con su capacidad de deformación, refuerza la necesidad de un sostenimiento adecuado para mantener la estabilidad de la galería.

Conclusión 3.

Los resultados indican que las rocas mostrarán un comportamiento elasto plástico post-rotura, con reblandecimiento y una disminución gradual de la resistencia después de alcanzar su límite. El análisis con Rocdata muestra un RMR de 56, y un factor de disturbancia de 0.5, lo que facilita la caracterización y modelamiento de los macizos rocosos. Según el software phase, el sostenimiento adecuado son pernos de anclaje reforzados de 3.84 m de longitud, que estabilizarán los bloques rocosos y asegurarán la estabilidad de la galería a largo plazo. La calidad de las rocas es de regular a buena, con un RQD de 75 % y una alteración moderada.



6.2 Recomendaciones

Recomendación 1. Se recomienda para garantizar la estabilidad en un macizo rocoso con una calidad regular, es esencial implementar un diseño de sostenimiento robusto que tenga empernado bien proyectado, y el uso de malla. Además, se debe realizar un monitoreo constante y mantenimientos proactivos las condiciones del macizo rocoso y ajustar el sostenimiento según sea necesario. para asegurar que el sistema de sostenimiento siga funcionando eficazmente. Este enfoque ayudará a mantener la seguridad y estabilidad de la excavación, incluso en áreas con zonas plásticas significativas.

Recomendación 2. Se recomienda la caracterización de macizos rocosos debe ser hecha antes de la definición del planeamiento de la obra, es crucial realizar un monitoreo continuo de las deformaciones y el estado de los pernos durante la excavación para mantener la estabilidad en la galería, el uso de pernos de anclaje es adecuado y efectivo. Sin embargo, para abordar el comportamiento Elasto -frágil y el posible reblandecimiento de las rocas, se recomienda complementar el sostenimiento con proyectado y malla.

Recomendación 3. Se recomienda evaluar y planificar para condiciones que puedan afectar la estabilidad, como la presencia de agua, vibraciones o cargas dinámicas, que podrían requerir ajustes en el diseño de sostenimiento o la implementación de drenajes y otros sistemas de control, usar programas computacionales para modelar y prever refuerzos, implementar un programa de monitoreo continuo para observar la evolución del comportamiento elasto plástico del macizo rocoso, especialmente después de la instalación de los pernos. Esto permitirá realizar ajustes oportunos si se detectan cambios en las condiciones geomecánicas y también asegurara que el personal encargado de las instalaciones y monitoreo de los pernos de anclaje este bien capacitado y siga protocolos de seguridad este bien capacitado.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARANIBAR AGUILAR, Jose. 2017.** Geotecnia aplicada al diseño de escombreras en labores mineras del grupo AMAPA S.R.L.- Pachaconas, Antabamba. Abancay : s.n., 2017.
- ARIAS, FIDIAS G. 2012.** El proyecto de investigación introducción a la metodología científica. 6a. Caracas, Venezuela : Episteme, C.A., 2012. pág. 143. ISBN: 980-07-8529-9.
- BEHAR, DANIEL Salomón. 2008.** Metodología de la investigación. Bogotá, Colombia : Shalom, 2008. pág. 94. ISBN: 978-959-212-783-7.
- BIENIAWSKI, Z.T. 1989.** Rock mechanics design in mining and tunneling. A.A. Balkema, Rotterdam, 272pp. 1989.
- CABEZAS, Edison, ANDRADE, Diego y TORRES, Johana . 2018.** Introducción a la metodología de la investigación científica. 1a. Quito, Ecuador : ESPE, 2018. pág. 135. ISBN: 978-9942-765-44-4.
- CARNERO CARNERO, Leoncio. 1995.** Mecanica de rocas aplicada al dimensionamiento de sistema de atirantamiento en minas subterraneas. San Paulo : s.n., 1995.
- EGG, EZEQUIEL, Ander. 2011.** Aprender a investigar: Nociones básicas para la investigación social. 1a. Córdoba, Argentina : Brujas, 2011. pág. 190. ISBN 978-987-591-271.
- FRATELLI, Maria Graciela. 1993.** Suelos, fundaciones y muros. Caracas, venezuela : Bonalde Editors, 1993. pág. 570. ISBN: 980-07-1626-2.
- GOMEZ, Hildalgo. 2009.** Ingenieria de rocas en el tunel de conduccion superior del proyecto hidroelectrico Porce III, Colombia. Boletin de ciencias de la Tierra. Bogota : s.n., 2009.
- GÓMEZ, Sergio. 2012.** Metodología de la investigación. 1a. México D.F., México : Red Tercer Milenio S.C., 2012. pág. 89. ISBN 978-607-733-149-0.
- HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Maria del Pilar. 2019.** Metodología de la investigación. 6a. México D.F., México : McGRAW-HILL, 2014. pág. 600. ISBN: 978-1-4562-2396-0.
- HUDSON, Claude H. 1989.** 1989.
- LERMA, Héctor Daniel. 2009.** Metodología de la investigación propuesta, anteproyecto y proyecto. 4a. Bogotá, Colombia : Ecoe Ediciones, 2009. pág. 190. ISBN: 978-958-648-602-6.



- MARINOS, P. y HOEK, E. 2000.** GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. In ISRM international symposium. International Society for Rock Mechanics. 2019.
- NIÑO, Victor Miguel. 2011.** Metodología de la investigación. 1a. Bogotá, Colombia : Ediciones de la U, 2011. pág. 156. ISBN 978-958-8675-94-7.
- ÑAUPAS, Humberto, y otros. 2018.** Metodología de la investigación Cuantitativa-Cualitativa y Redacción de la tesis. 5a. Bogotá, Colombia : Ediciones de la U, 2018. pág. 562. ISBN: 978-958-762-876-0.
- OCHOA QUESADA, Alexander. 2018.** Propuesta de una clasificación geomecánica para la evaluación del comportamiento del macizo rocoso en el frente de arranque del túnel Levisa-Mayari Tramo IV. Moa, Cuba : s.n., 2018.
- ROBLES ESPINOZA, Nerio H. 1994.** Excavación y sostenimiento de túneles en roca. Lima, Perú : Concytec, 1994. pág. 570. ISBN: 980-07-1626-2.
- ROBLES ESPINOZA, Nerio H. 1994.** Excavación y sostenimiento de Túneles de Roca. Lima, Perú : Concytec, 1994.
- ROBLES, Nerio. 1994.** Excavación y sostenimiento de túneles en roca. Lima : s.n., 1994.
- TACURI GAMBOA, Amilcar. 2017.** Evaluación geomecánica del macizo rocoso para la aplicación del sostenimiento en la mina Hercules-cia minera Lincuna s.a. Ayacucho : s.n., 2017.
- VALDIVIA DONAYRE, Alex Fredy. 2020.** Estimación del comportamiento geomecánico, mediante método de kriging para el macizo rocoso del cerro Callacpuma-sector Huayrapongo, 2020. Cajamarca : s.n., 2020.



ANEXOS



ANEXO I

Tabla 27 — Matriz de consistencia

Título: Comportamiento geomecánico del macizo rocoso analizados mediante clasificaciones geomecánicas galería nivel 4040, mina Victoria, Andahuaylas 2024.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	SUB INDICADORES	MÉTODO
Problema general ¿Cuál es el comportamiento geomecánico del macizo rocoso analizados mediante clasificaciones geomecánicas para estimar el sostenimiento de la galería nivel 4040, mina Victoria, Andahuaylas, 2024? Problema específico PE 1. ¿Cuáles son las propiedades geomecánicas para el sostenimiento de la galería del nivel 4040 de la mina Victoria, Andahuaylas, 2024? PE 2. ¿Cuáles es el comportamiento geomecánico, para el sostenimiento de la galería del nivel 4040 de la mina Victoria, Andahuaylas 2024?	Objetivo general Determinar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso analizados mediante clasificaciones geomecánicas para estimar el sostenimiento de la galería nivel 4040, mina Victoria, Andahuaylas, 2024 Objetivos específicos OE 1. Determinar las propiedades geomecánicas para el sostenimiento de la galería del nivel 4040 de la mina Victoria, Andahuaylas, 2024 OE 2. Determinar el comportamiento geomecánico, para el sostenimiento de la galería del nivel 4040 de la mina Victoria, Andahuaylas 2024	Hipótesis general Es posible que con el comportamiento geomecánico del macizo rocoso analizados mediante clasificaciones geomecánicas se pueda estimar el sostenimiento de la galería nivel 4040, mina Victoria, Andahuaylas, 2024 Hipótesis específicas HE 1. Es adecuado las propiedades geomecánicas para la estimación del sostenimiento de la galería del nivel 4040 de la mina Victoria, Andahuaylas, 2024 HE 2. Es favorable el comportamiento geomecánico, para poder determinar el sostenimiento de la galería del nivel 4040 de la mina Victoria, Andahuaylas 2024	V1: Clasificaciones geomecánicas V2: Comportamiento geomecánico del macizo rocoso para estimar el sostenimiento	D1 Propiedades Geomecánicas D2 Comportamiento Geomecánico	I1: Bieniaswki I2: Barton I3: GSI I1: Elastico-Fragil I2: Elasto -Plastico con reblandecimiento I3: Elasto -plastico perfecto	I1: Espaciamiento I2: Condición de juntas I3: Presencia de agua subterránea I4: Corrección por orientación I1: Resistencia a la compresión simple I2: R.Q.D I3: Espacio de las discontinuidades I4: Condición de discontinuidades I5.- Presencia de agua I6.- Orientación de discontinuidades I1: Grado de fractura miento I2: Resistencia de la roca intacta I3: Tipo de sostenimiento I1: Modulo de elasticidad I2: Resistencia a la influencia I3: Curva Esfuerzo-Deformación I4: Capacidad de Deformación Plástica I1: Modulo de elasticidad I2: Resistencia a la influencia I3: Modulo de plastificación I4: Curva Esfuerzo-Deformación I4: Coeficiente de Reblandecimiento I1: Modulo de elasticidad I2: Resistencia a la influencia I3: Curva Esfuerzo-Deformación I4: Capacidad de Deformación Plástica	MÉTODO: Deductivo Gómez (2012) es un proceso racional que viene de lo general para llegar a lo específico TIPO: Aplicada Egg (2011) consiste en utilizar los conocimientos y aplicarlos para resolver problemas NIVEL: Descriptivo – Explicativo Hernández et al. (2014) definir las cualidades del objeto de investigación y como el análisis de dos o más variables se relaciona. DISEÑO: No experimental Behar (2008) es observar lo sucesos sin participar. POBLACIÓN: Mina Victoria Lerma (2009) es un conjunto de elementos del mismo tipo MUESTRA: galería nivel 4040 Ñaupas et al. (2018) la selección de un subconjunto. MUESTREO: No probabilístico Niño (2011) el investigador selecciona la muestra bajo un criterio establecido. TÉCNICA: Observación directa Arias (2012) la acción de visualizar cualquier manifestación INSTRUMENTO: Fichas de recopilación de datos. Cabezas et al. (2018) es recoger información que posteriormente el investigador puede trasladar a una ficha

ANEXO II

PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 62 — Medición de la geometría de la sección para la caracterización geomecánica de la galería nivel 4040



Figura 63 — Medición de dirección y buzamiento y ángulo de buzamiento de los estratos en la parte superficial de la mina



Figura 64 — Vista panorámica de la mina



Figura 65 — Bocamina ingreso principal de la galería nivel 4040 de la mina Victoria



Figura 66 — Mapeo geomecánico en interior mina de la galería nivel 4040



Figura 67 — Determinación de la dirección



Figura 68 — Utilización de los Equipos en el laboratorio para realizar ensayo de carga simple para estimar la resistencia del macizo rocoso

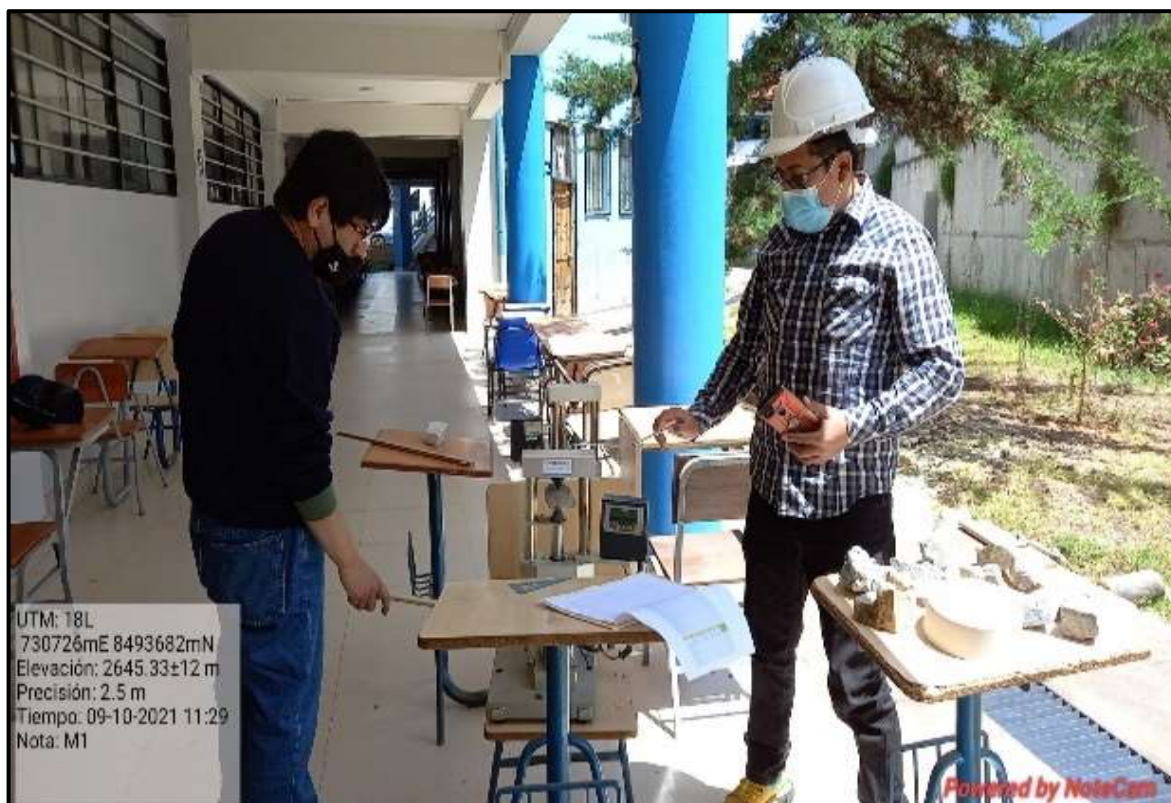


Figura 69 — Realización de ensayos con el uso de equipo de carga puntual



Figura 70 — Registro de resultados del equipo de carga puntual de haber sometido a ensayo la muestra



Figura 71 — Identificación de las rocas para el diagnóstico para someter al ensayo



Figura 72 — Cuantificación de los servicios auxiliares de la mina

CALCULOS DE LA RESISTENCIA

Según el modelo:

$$I_s = \frac{P}{D^2}$$

P = (carga aplicada)

D = (ancho de la muestra)

Conversión de 1 kN = 101.972 kg-f.

1MPa=10.1972kg-f/cm²

Calculos de las muestras del dominio estructural 01 en Andesita

Muestra 1 .

$$I_s = \frac{28 \text{ KN}}{(10.4)^2} \times \frac{101.972 \text{ Kg}}{1 \text{ KN}} \times 24 = 633.55 \text{ Kg-f/cm}^2$$

$$\sigma_c \frac{633.5 \text{ Kg-f/cm}^2}{10.1972 \text{ Kg-f/cm}^2} \times 1 \text{ MPa} = 62.13 \text{ MPa}$$

$$RC = 62.13 \times 4.8 \text{ Cm}$$

$$RC = 291.65 \text{ MPa}$$

Muestra 2

$$I_s = \frac{25 \text{ KN}}{(11.5)^2} \times \frac{101.972}{1 \text{ KN}} \times 24 = 462 \text{ Kg-f/cm}^2$$

$$\sigma_c \frac{462}{10.1972 \text{ Kg-f/cm}^2} \times 1 \text{ MPa} = 45.3 \text{ MPa}$$

$$RC = 45.3 \times 5.0 \text{ Cm}$$

$$RC = 117.44 \text{ MPa}$$

Muestra 3

$$I_s = \frac{26 \text{ KN}}{(9.8)^2} \times \frac{101.972}{1 \text{ KN}} \times 24 = 662.40 \text{ Kg-f/cm}^2$$

$$\sigma_c \frac{662.40}{10.1972 \text{ Kg-f/cm}^2} \times 1 \text{ MPa} = 64.96 \text{ MPa}$$

$$RC = 64.96 \times 5.1 \text{ Cm}$$

$$RC = 131.10 \text{ MPa}$$



Muestra 4

$$I_s = \frac{27 \text{ KN}}{(10)^2} \times \frac{101.972}{1 \text{ KN}} \times 24 = 658.08 \text{ Kg-f/cm}^2$$

$$\sigma_c \frac{658.08}{10.1972 \text{ Kg-f/cm}^2} \times 1 \text{ MPa} = 64.6 \text{ MPa}$$

$$RC = 64.6 \times 4.5 \text{ Cm}$$

$$RC = 146 \text{ MPa}$$

Calculos de las muestras del dominio estructural 02 en caliza

Muestra 1

$$I_s = \frac{28 \text{ KN}}{(11.8)^2} \times \frac{101.972 \text{ Kg}}{1 \text{ KN}} \times 24 = 493.06 \text{ Kg-f/cm}^2$$

$$\sigma_c \frac{493.06 \text{ Kg-f/cm}^2}{10.1972 \text{ Kg-f/cm}^2} \times 1 \text{ MPa} = 48.04 \text{ MPa}$$

$$RC = 48.04 \times 6.0 \text{ Cm}$$

$$RC = 188.24 \text{ MPa}$$

Muestra 2:

$$I_s = \frac{28 \text{ KN}}{(10.8)^2} \times \frac{101.972 \text{ Kg}}{1 \text{ KN}} \times 24 = 588 \text{ Kg-f/cm}^2$$

$$\sigma_c \frac{588 \text{ Kg-f/cm}^2}{10.1972 \text{ Kg-f/cm}^2} \times 1 \text{ MPa} = 57.7 \text{ MPa}$$

$$RC = 57.7 \times 4.9 \text{ Cm}$$

$$RC = 115.87 \text{ MPa}$$

Muestra 3.

$$I_s = \frac{27 \text{ KN}}{(13)^2} \times \frac{101.972 \text{ Kg}}{1 \text{ KN}} \times 24 = 390.48 \text{ Kg-f/cm}^2$$

$$\sigma_c \frac{390.48 \text{ Kg-f/cm}^2}{10.1972 \text{ Kg-f/cm}^2} \times 1 \text{ MPa} = 57.7 \text{ MPa}$$

$$RC = 57.7 \times 5.0 \text{ Cm}$$

$$RC = 131.5 \text{ MPa}$$

Muestra 4

$$I_s = \frac{26 \text{ KN}}{(10)^2} \times \frac{101.972 \text{ Kg}}{1 \text{ KN}} \times 24 = 634.08 \text{ Kg-f/cm}^2$$

$$\sigma_c \frac{634.08 \text{ Kg-f/cm}^2}{10.1972 \text{ Kg-f/cm}^2} \times 1 \text{ MPa} = 62.2 \text{ MPa}$$



$$RC = 62.2 \times 4.5 \text{ Cm}$$

$$RC = 179.9 \text{ MPa}$$

Calculos de las muestras del dominio estructural 03 en arenisca

Muestra 1

$$Is = \frac{27 \text{ KN}}{(11)^2} \times \frac{101.972 \text{ Kg}}{1 \text{ KN}} \times 24 = 545.52 \text{ Kg-f/cm}^2$$

$$\sigma_c \frac{545.52 \text{ Kg-f/cm}^2}{10.1972 \text{ Kg-f/cm}^2} \times 1 \text{ MPa} = 53.6 \text{ MPa}$$

$$RC = 53.6 \times 5.5 \text{ Cm}$$

$$RC = 294.81 \text{ MPa}$$

Muestra 2

$$Is = \frac{25 \text{ KN}}{(11.1)^2} \times \frac{101.972 \text{ Kg}}{1 \text{ KN}} \times 24 = 497.52 \text{ Kg-f/cm}^2$$

$$\sigma_c \frac{497.52 \text{ Kg-f/cm}^2}{10.1972 \text{ Kg-f/cm}^2} \times 1 \text{ MPa} = 53.6 \text{ MPa}$$

$$RC = 48.8 \times 5.2 \text{ Cm}$$

$$RC = 153.76 \text{ MPa}$$

Muestra 3.

$$Is = \frac{27 \text{ KN}}{(10.6)^2} \times \frac{101.972 \text{ Kg}}{1 \text{ KN}} \times 24 = 586.8 \text{ Kg-f/cm}^2$$

$$\sigma_c \frac{586.8 \text{ Kg-f/cm}^2}{10.1972 \text{ Kg-f/cm}^2} \times 1 \text{ MPa} = 53.6 \text{ MPa}$$

$$RC = 57.6 \times 5.1 \text{ Cm}$$

$$RC = 193.76 \text{ MPa}$$

Muestra 4.

$$Is = \frac{25 \text{ KN}}{(8.9)^2} \times \frac{101.972 \text{ Kg}}{1 \text{ KN}} \times 24 = 772.8 \text{ Kg-f/cm}^2$$

$$\sigma_c \frac{772.8 \text{ Kg-f/cm}^2}{10.1972 \text{ Kg-f/cm}^2} \times 1 \text{ MPa} = 75.9 \text{ MPa}$$

$$RC = 75.9 \times 4 \text{ Cm}$$

$$RC = 139.25 \text{ MPa}$$

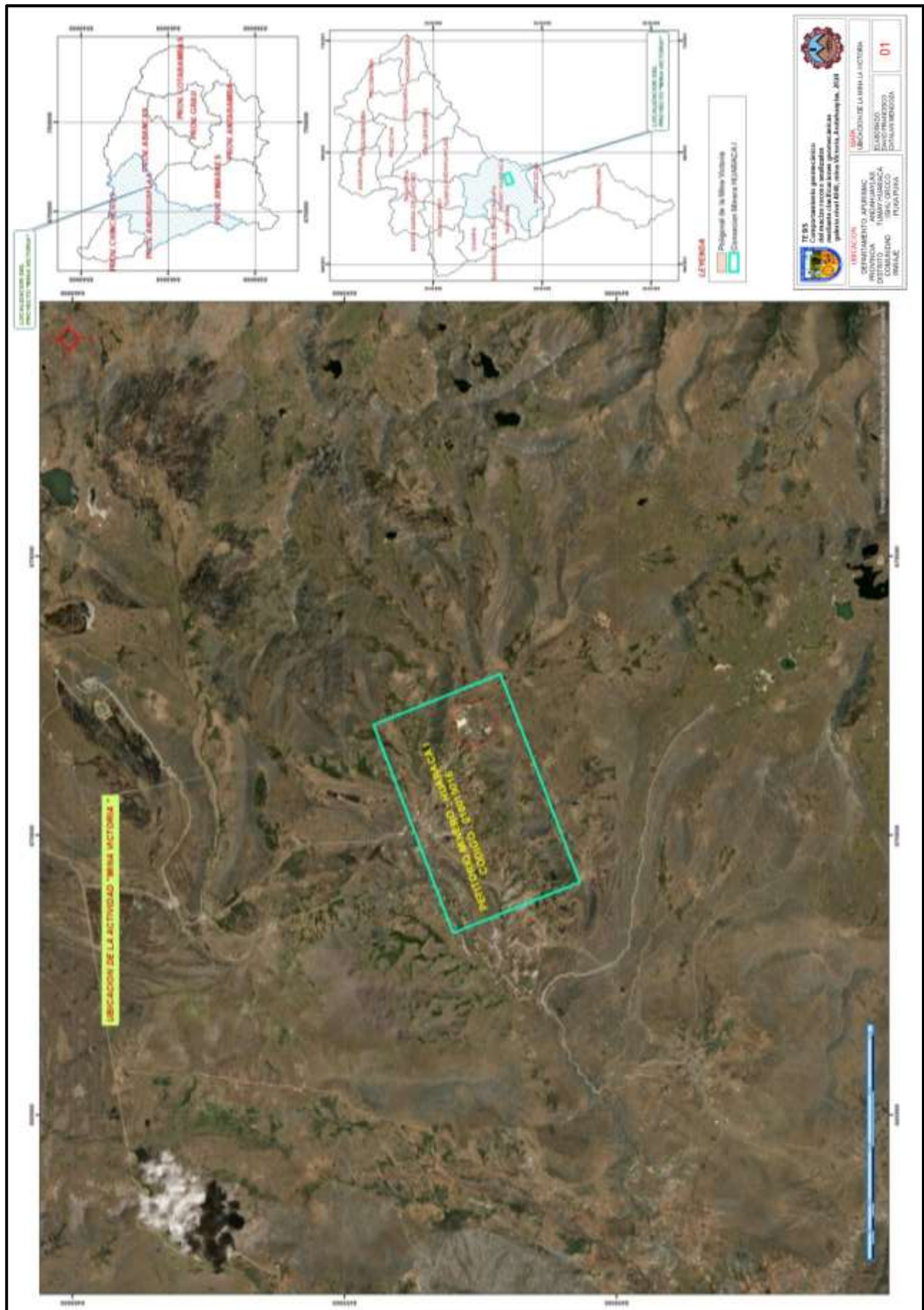


Figura 73 — Ubicación de la mina la Victoria

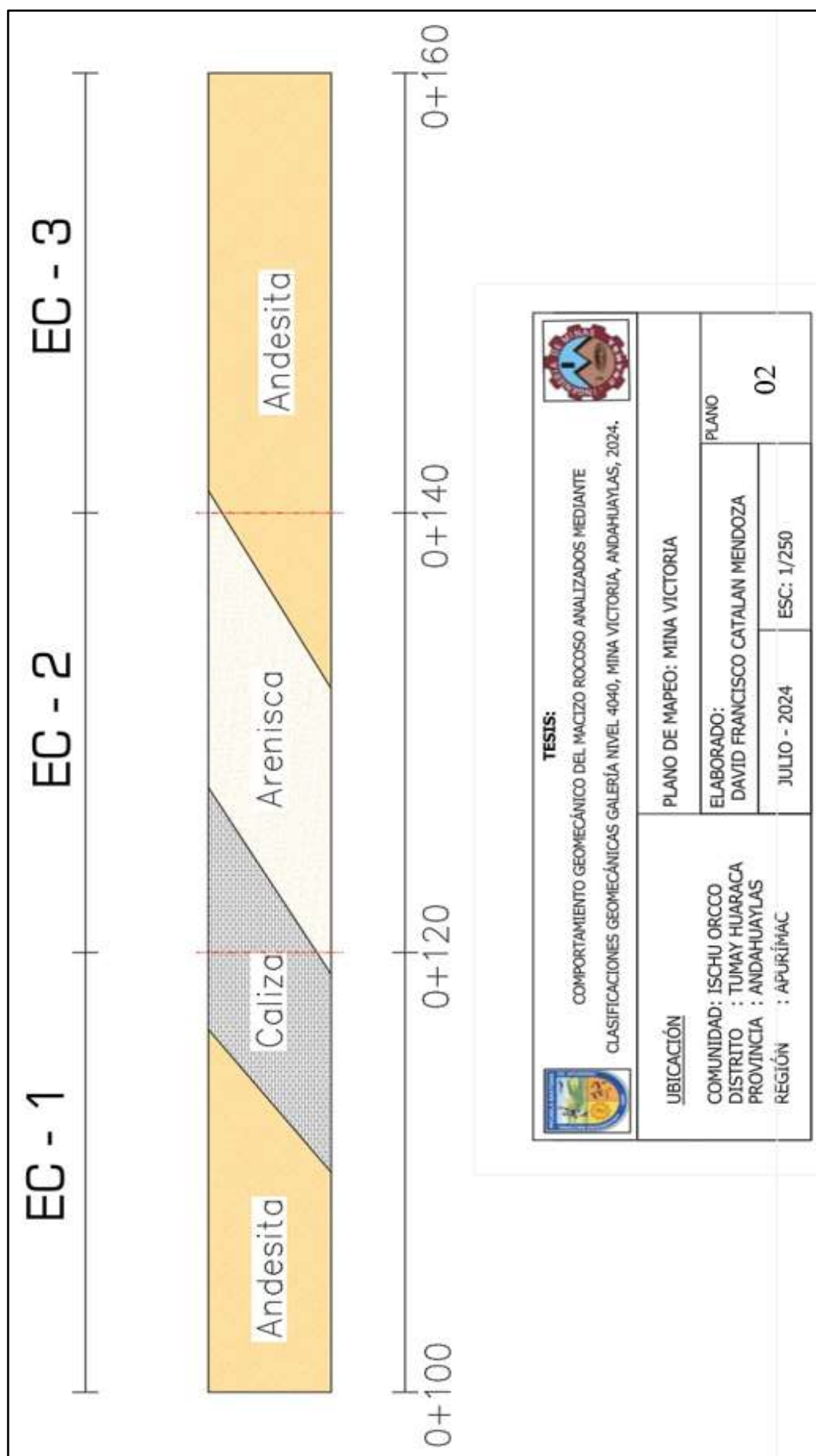


Figura 74 — Mapeo geomecánico de las rocas de la mina la Victoria

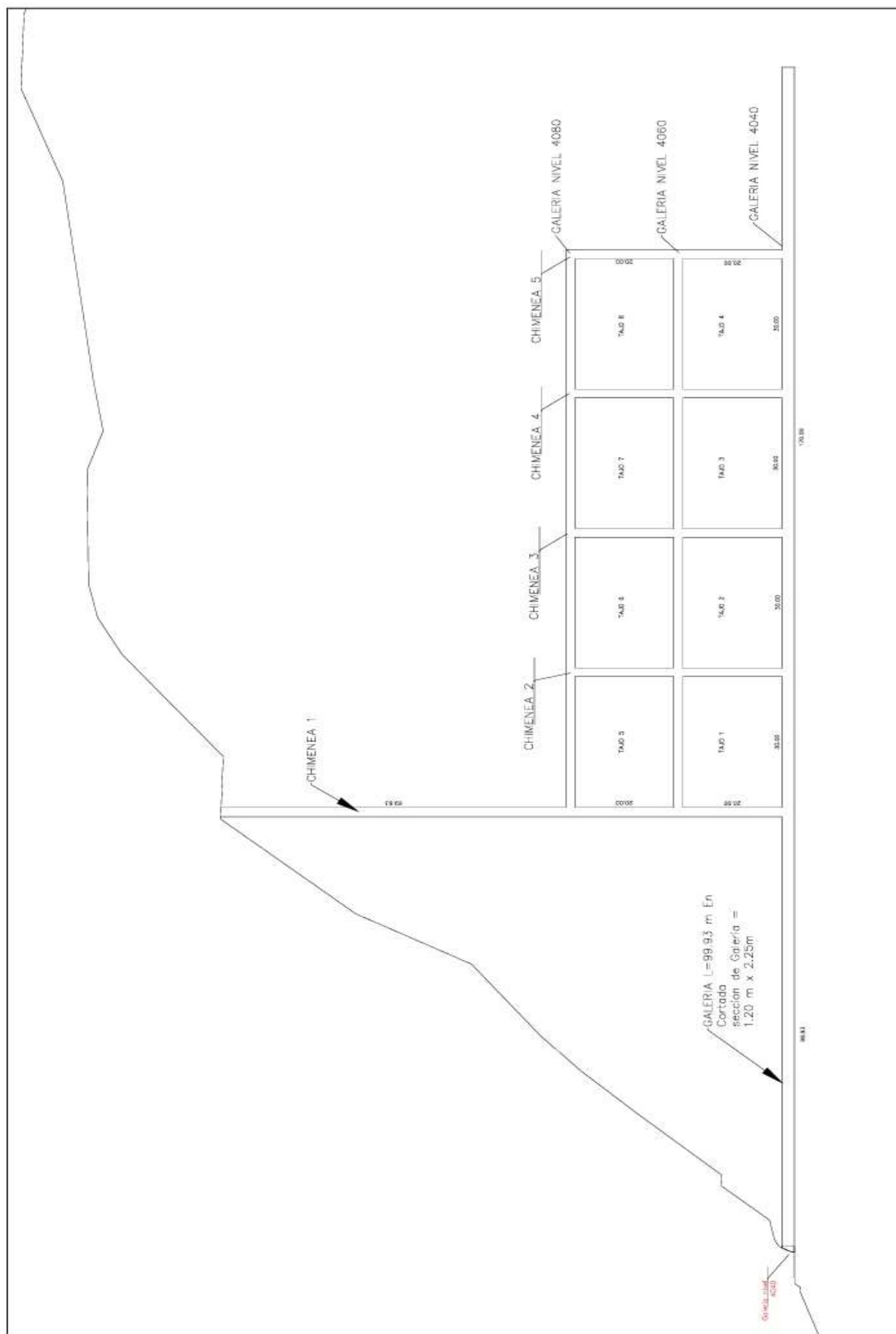


Figura 75 — Croquis de la labor mina la Victoria galería nivel 4040

FECHA: 08/08/2024 FECHA: 08/08/2024	PROYECTO: CROQUIS DE LABOR SUBTERRANEO VISTA PERFIL GALERIA NV 4040 P-03
COMUNIDAD : ISCHU ORCCO DISTRITO : TUMAY HUARACA PROVINCIA : ANDAHUAYLAS REGION : APURIMAC	TESIS Comportamiento geomecánico del macizo rocoso analizado mediante clasificaciones geomecánicas galería nivel 4040, mina Victoria, Andahuaylas, 2024 TESISTA : David Francisco Catalán Mendoza

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

TABLA DE VALORES DE LOS SEIS PARAMETROS CARACTERISTICOS DEL SISTEMA Q BARTON

1.- INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA	
Descripción	ROD %
MUY POBRE	0 - 25
POBRE	26 - 50
REGULAR	51 - 75
BUENA	76 - 90
EXCELENTE	91 - 100

Nota:
i) Estimar el ROD con 5% de aproximación
ii) Cuando no se disponga de los datos
ROD = 115 - 3.3 Jv. Donde: Jv = N° de discontinuidades por m3
iii) Si el ROD es menor de 10, emplear un valor nominal 10

2.- NUMERO DE DISCONTINUIDADES	
Descripción	Jv
Massiva o con muy poca discontinuidad	0.5 - 1.0
Un sistema de discontinuidad	2
Un sistema de principal y uno secundario	3
Dos sistemas de discontinuidad	4
Dos sistemas de principal y uno secundario	5
Tres sistemas de discontinuidades	6
Tres sistemas de principal y uno secundario	7
Cuatro sistemas de discontinuidades o más	8
(roca muy fracturada)	15
Roca triturada (Tremora)	20

Nota:
i) Para intersecciones de túneles, usar (3.0 Jv)
ii) Para pozos usar (2.0 Jv)

3.- FACTOR DE REDUCCION POR CONTINGENCIA	
Descripción	Kt
A. Discontinuidades	1
B. Rupturas e irregularidades, onduladas	2
C. Lijas, Onduladas	3
D. Lijas onduladas	4
E. Rupturas e irregularidades, planas	5
F. Lijas, Planas	6
G. Lijas, Planas	7
H. Zona con discontinuidades en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la fractura	8
I. Zona de material avanzado en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la fractura	9

NOTAS:
En grupo A hasta la G, el contacto entre las superficies de la discontinuidad se logra con desplazamientos de poca importancia inferiores a los 10 cm.
Las descripciones se refieren a las características de pequeña escala y características de escala intermedia, en ese orden.
En los grupos H y J no se produce contacto entre las superficies al ocurrir desplazamientos de poca importancia.
* Agrupar 1.0 cuando el espaciamiento medio de las discontinuidades sea superior a 3 cm.
* Jv = 0.5 puede ser usado para juntas planas, lisas, que tienen alineaciones, siempre que las alineaciones estén orientadas para la resistencia mínima.

FACTOR DE ALTERACION DE LAS DISCONTINUIDADES	
Descripción	Jv
A. Ajustada, relleno de material compacto	0.75
B. Superficies laterales, ligeras manchas de oxidación	1
C. Superficies ligeramente alteradas, cubiertas con material granular no arcilloso, producto de la desintegración de la roca	2
D. Capas superficiales de material limoso o arcilloso, con una pequeña fracción cohesiva	3
E. Capas superficiales de arcilla (calcilina, mica, dolomita, etc.)	4
F. Cantidades pequeñas de arcilla expansiva en capas de 1-2 mm de espesor	5
G. Contacto entre superficies de la discontinuidad se produce después de 10 cm de (relleno de material fino)	6
H. Relleno granular no cohesivo, roca desintegrada libre de partículas arcillosas	7
I. Material con alto grado de consolidación, relleno cohesivo (hasta de 5 mm, de espesor)	8
J. Relleno cohesivo compacto	9
K. Relleno cohesivo compacto con bajo grado de consolidación	10
L. Relleno continuo de arcilla expansiva (Montmorillonita)	11
M. Relleno continuo de arcilla expansiva (Montmorillonita)	12
N. El valor de Jv dependerá del % de expansión, al tamaño de las partículas arcillosas, la acidez del agua, etc.	13 - 20

FACTOR DE REDUCCION POR CONTENIDO DE AGUA EN FRACTURAS	
Descripción	Jw
A. Secas o ligeros ruidos (3 mm)	0.86
B. Fugas a presiones bajas que ocasionen erosión del material de relleno	0.86
C. Fugas a presiones altas en roca competente con fisclasas sin relleno	0.5
D. Fugas a presiones altas con erosión considerable del material de relleno	0.33
E. Fugas a presiones excepcionalmente altas luego de la vibración disminuyendo con el tiempo	0.2 - 0.1
F. Fugas a presiones excepcionalmente altas sin que ocurra una disminución en el tiempo	0.1 - 0.06

NOTAS:
i) Factores C a F son estimaciones básicas. Aumentar Jw si se han instalado medidas de drenaje.
ii) Especiales problemas causados por la formación de hielo no son considerados.
iii) Para la caracterización general de las masas de roca distantes de las influencias de excavación, el uso de Jw = 1.0, 0.66, 0.33, etc., aumenta con la profundidad como por ejemplo 0.5m, 5-25m, 25-250m se recomienda, si se asume que ROD / Jv es lo suficientemente bajo (ejemplo 0.5-25) para una buena conectividad hidráulica. Esto le ayudará a ajustar Q para algunos de las tensiones efectivas y los efectos de ablandamiento de agua, en combinación con los valores apropiados de caracterización SRF. Correlaciones con módulo de deformación estática y la profundidad dependen de la velocidad sísmica. En la práctica usar estos valores cuando se desarrollan.

FACTOR DE REDUCCION POR TENSIONES	
Descripción	SRF
A. Las zonas de alta tensión a la excavación, sufriendo problemas de desintegración de rocas a medida que la excavación del túnel va avanzando	10
B. Mucha zona de alta tensión a la excavación, sufriendo problemas de desintegración química	5
C. Zona de alta tensión a la excavación, sufriendo problemas de desintegración química	2.5
D. Mucha zona de alta tensión a la excavación, sufriendo problemas de desintegración química	7.5
E. Zona de alta tensión a la excavación, sufriendo problemas de desintegración química	5
F. Zona de alta tensión a la excavación, sufriendo problemas de desintegración química	2.5
G. Dificultad de alta tensión a la excavación, sufriendo problemas de desintegración química	5

NOTAS: i) Reducir estos valores de SRF por 25-50% si las zonas de alta tensión influyen para no intervenir la excavación.
ii) Roca competente, problemas tensionales en las rocas
H. Tensiones bajas, poca profundidad, distancias abiertas > 200 < 0.01 2.5
I. Tensiones moderadas, condiciones tensionales favorables 200 - 10 0.01 - 0.3 1
J. Tensiones elevadas, estructura muy compacta 10 - 5 0.3 - 0.4 0.5 - 2
K. Normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de las fisclasas
L. Laminamiento moderado de la roca después de 1 hora en roca masiva 5 - 3 0.5 - 0.65 5 - 50
M. Laminamiento y estallido de la roca después de pocas minutos en roca masiva 3 - 2 0.65 - 1 50 - 200
N. Estallidos violentos de roca (deformación explosiva) y deformaciones dinámicas inmediatas en rocas masivas < 2 200 - 400

FACTOR DE REDUCCION POR TENSIONES	
Descripción	SRF
A. Las zonas de alta tensión a la excavación, sufriendo problemas de desintegración de rocas a medida que la excavación del túnel va avanzando	10
B. Mucha zona de alta tensión a la excavación, sufriendo problemas de desintegración química	5
C. Zona de alta tensión a la excavación, sufriendo problemas de desintegración química	2.5
D. Mucha zona de alta tensión a la excavación, sufriendo problemas de desintegración química	7.5
E. Zona de alta tensión a la excavación, sufriendo problemas de desintegración química	5
F. Zona de alta tensión a la excavación, sufriendo problemas de desintegración química	2.5
G. Dificultad de alta tensión a la excavación, sufriendo problemas de desintegración química	5

NOTAS: i) Reducir estos valores de SRF por 25-50% si las zonas de alta tensión influyen para no intervenir la excavación.
ii) Roca competente, problemas tensionales en las rocas
H. Tensiones bajas, poca profundidad, distancias abiertas > 200 < 0.01 2.5
I. Tensiones moderadas, condiciones tensionales favorables 200 - 10 0.01 - 0.3 1
J. Tensiones elevadas, estructura muy compacta 10 - 5 0.3 - 0.4 0.5 - 2
K. Normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de las fisclasas
L. Laminamiento moderado de la roca después de 1 hora en roca masiva 5 - 3 0.5 - 0.65 5 - 50
M. Laminamiento y estallido de la roca después de pocas minutos en roca masiva 3 - 2 0.65 - 1 50 - 200
N. Estallidos violentos de roca (deformación explosiva) y deformaciones dinámicas inmediatas en rocas masivas < 2 200 - 400

Figura 78 — Mapeo geomecánico de parámetros característicos del macizo rocos según el sistema Q de Barton

SISTEMA DE CLASIFICACION Q						
PARAMEROS			RANGO			VALOR
RQD %			RQD		%	75
Número de discontinuidades			Jn	4 D		9
Número de rugosidad			Jr	Lisa		3
Número de alteración			Ja	ligero		2
Número de agua subterránea			Jw	seco		1
Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)			SRF	tension elevada		2
$Q = (RQD/J_n) \times (J_r / J_a) \times (J_w / SRF)$			$Q =$			6.25
$Q' = (RQD/J_n) \times (J_r / J_a)$			$Q' =$			12.50
$RMR = 9 \ln Q + 44$						
$RMR' = 9 \ln Q' + 44$						
Q	1000-400	400-100	100-40	40-10	(10-4,0)	4-1,0
DESCRIPCION	EXCEPCIONAL MENTE BUENA	EXTREMENADA MENTE BUENA	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE
					1-0,1	MUY POBRE
					0,1-0,01	EXTREMENADAMENTE POBRE
					0,01-0,001	EXCEPCIONAL MENTE POBRE
						Regular

Figura 79 — Parámetros característicos del macizo rocos según el sistema Q de Barton

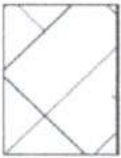
MINA VICTORIA		CONDICIONES SUPERFICIALES			
A B C D E F	SIN SOPORTE - PERNOS OCASIONALES PERNOS SISTEMÁTICOS 1.50 x 1.50 m. (Malla o cinta ocasional). PERNO SISTEMÁTICO 1.2 x 1.2 m. (Malla o cinta ocasional). PERNOS SISTEMÁTICOS 1.0 x 1.0 m. más malla de refuerzo obligatoria. (SHOTCRETE 5.0 cm sin fibra). PERNOS SISTEMÁTICOS 1.0 x 1.0 m. más SHOTCRETE 5.0 cm con fibra. PERNOS SISTEMÁTICOS 1.0 x 1.0 m. más SHOTCRETE 10.0 cm con fibra. (CIMBRA O CUADRO DE MADERA).	BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA) SUPERFICIES DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS. (Rc 100 A 250 MPa) (SE ROMPE CON VARIOS GOLPES DE PICOTA). REGULAR (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LEVEMENTE ALTERADAS, MANCHAS DE OXIDACIÓN, LIGERAMENTE ABIERTAS. (Rc 50 a 100 MPa) (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE PICOTA). MALA (MODER. RESIST. LEVE A MODER. ALTERADA) DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERADAS, LIGERAMENTE ABIERTAS. (Rc 25 A 50 MPa) (SE INDENTA SUPERFICIALMENTE CON GOLPES DE PICOTA). MUY MALA (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA O CON ESTRIACIONES, MUY ALTERADA RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA (Rc 5 A 25 MPa) - (SE INDENTA MÁS DE 5 mm).			
	ESTRUCTURA				
	 LEVEMENTE FRACTURADA TRES O MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI (RQD 75-90%). (2 A 6 FRACTURAS POR METRO)				
	 MODERADAMENTE FRACTURADA MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CÚBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES (RQD 50 - 75%). (6 A 12 FRACTURAS POR METRO).				
	 MUY FRACTURADA MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MÁS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES (RQD 25-50%). (12 A 20 FRACTURAS POR METRO).				
	 INTENSAMENTE FRACTURADA PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES (RQD 0 - 25%). (MÁS DE 20 FRACTURAS POR METRO).				

Figura 80 — Mapeo geomecánico según sistema Hoek-Brown (GSI)