

**Universidad Nacional de Ingeniería**  
**Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica**



TESIS

**Caracterización geomecánica para la determinación del  
sostenimiento en labores mineras subterráneas**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

Elaborado por

Luis Adolfo Torres Peña

 [0009-0051-9619-3965](https://orcid.org/0009-0051-9619-3965)

Asesor

Mg. Elvis William Valencia Chávez

 [0000-0003-4891-995X](https://orcid.org/0000-0003-4891-995X)

LIMA – PERÚ

2024

---

Citar/How to cite	Torres Peña [1]
Referencia/Reference	[1] L. Torres Peña, “ <i>Caracterización geomecánica para la determinación del sostenimiento en labores mineras subterráneas</i> ” [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

---



---

Citar/How to cite	(Torres, 2024)
Referencia/Reference	Torres, L. (2024). <i>Caracterización geomecánica para la determinación del sostenimiento en labores mineras subterráneas</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

---

### ***Dedicatoria***

*A Dios, por ser la fuente de mi fe, mi esperanza y mi amor.*

*A mis padres, por su sacrificio, su generosidad y su confianza.*

*A mi esposa e hijos, por su apoyo, su respeto y su alegría.*

*A mis colaboradores, por su determinación y su lealtad.*

*A mis profesores, por su conocimiento, su paciencia y su motivación.*

## **Agradecimientos**

A mis colegas por su colaboración, su solidaridad y su camaradería.

A la Universidad Nacional de Ingeniería, por brindarme la oportunidad de formarme como profesional.

A la Escuela de Ingeniería de Minas, por enseñarme a valorar y aprovechar los recursos naturales.

A todos los que de alguna manera contribuyeron a la realización de este trabajo, les dedico esta tesis, como muestra de mi agradecimiento y mi admiración.

## Resumen

La estabilidad de las labores mineras subterráneas depende en gran medida de las condiciones del macizo rocoso que las rodea. El macizo rocoso se compone de bloques de roca intacta separados por discontinuidades, como fracturas, fallas, estratos, etc. Estas discontinuidades influyen en el comportamiento mecánico e hidráulico del macizo, así como en su resistencia y deformabilidad.

La caracterización del macizo rocoso consiste en obtener una descripción detallada de sus propiedades geológicas y geomecánicas, tanto de la roca intacta como de las discontinuidades, y de su distribución espacial. Para ello, se utilizan diversas técnicas de investigación, como la observación directa en galerías y sondeos, la realización de ensayos de laboratorio y de campo y la aplicación de métodos geofísicos y numéricos.

La caracterización del macizo rocoso permite clasificarlo según diferentes criterios, como el grado de alteración y meteorización, el tamaño y forma de los bloques, la orientación y frecuencia de las discontinuidades, la rugosidad y relleno de las mismas, la presencia de agua y la anisotropía y heterogeneidad del medio. Estas clasificaciones facilitan la evaluación de la estabilidad de las labores mineras subterráneas frente a posibles mecanismos de falla.

En esta tesis se presenta una metodología para la caracterización del macizo rocoso en una zona de interés para el diseño de labores mineras subterráneas en una explotación minera. Se describen las técnicas empleadas para la obtención de los datos geológicos y geomecánicos, así como los criterios para la clasificación y el cálculo de los parámetros del macizo. Se analiza la influencia de las condiciones hidráulicas y de las tensiones naturales e inducidas por la excavación.

Palabras clave — Caracterización geomecánica, sostenimiento de labores, mapeo, clasificación geomecánica.

## **Abstract**

The stability of underground mining works depends largely on the conditions of the rock mass that surrounds them. The rock mass consists of blocks of intact rock separated by discontinuities, such as fractures, faults, strata, etc. These discontinuities influence the mechanical and hydraulic behavior of the mass, as well as its strength and deformability.

The characterization of the rock mass consists of obtaining a detailed description of its geological and geomechanical properties, both of the intact rock and of the discontinuities, and of their spatial distribution. For this, various investigation techniques are used, such as direct observation in galleries and boreholes, laboratory and field tests, and the application of geophysical and numerical methods.

The characterization of the rock mass allows it to be classified according to different criteria, such as the degree of alteration and weathering, the size and shape of the blocks, the orientation and frequency of the discontinuities, the roughness and filling of the same, the presence of water and the anisotropy and heterogeneity of the medium. These classifications facilitate the evaluation of the stability of underground mining works against possible failure mechanisms.

In this thesis, a methodology for the characterization of the rock mass in an area of interest for the design of underground mining works in a mining exploitation is presented. The techniques used to obtain the geological and geomechanical data are described, as well as the criteria for the classification and calculation of the mass parameters. The influence of the hydraulic conditions and the natural and induced stresses by the excavation is analyzed. The results obtained are discussed and sustainability recommendations for mining operations are proposed.

**Keywords** — Geomechanical characterization, labor support, mapping, geomechanical classification.

## Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen.....	v
Abstract.....	vi
Introducción.....	xv
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo.....	1
1.1 Generalidades.....	1
1.1.1 Unidad de estudio.....	1
1.1.2 Ubicación y acceso.....	1
1.1.3 Antecedentes históricos.....	2
1.1.4 Clima y vegetación.....	3
1.1.5 Fisiografía.....	3
1.1.6 Recursos.....	3
1.2 Descripción del problema de investigación.....	4
1.3 Formulación del problema.....	5
1.3.1 Problema general.....	5
1.3.2 Problemas específicos.....	5
1.4 Objetivos del estudio.....	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
1.5 Hipótesis.....	6
1.5.1 Hipótesis general.....	6
1.5.2 Hipótesis específica.....	6
1.6 Variables de Investigación,.....	6
1.7 Operacionalización de variables.....	7
1.8 Antecedentes investigativos.....	10
1.8.1 Antecedentes internacionales.....	10
1.8.2 Antecedentes nacionales.....	11

1.8.3	Antecedentes locales.....	12
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual .....		14
2.1	Marco teórico.....	14
2.1.1	Geología.....	14
2.2	Bases Teóricas.....	21
2.2.1	Geomecánica.....	21
2.2.2	Mecánica de Rocas .....	22
2.2.3	Caracterización geomecánica del macizo rocoso.....	23
2.2.4	Sistemas de Clasificación Geomecánica de Macizos Rocosos.....	33
2.2.5	Criterios de rotura .....	52
2.3	Marco conceptual .....	61
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación .....		65
3.1	Recolección de datos.....	65
3.1.1	Tipo de investigación .....	65
3.1.2	Población o Universo .....	65
3.1.3	Unidad de análisis.....	65
3.1.4	Instrumentos de investigación.....	66
3.1.5	Técnicas de Procesamiento y Análisis.....	67
3.1.6	Metodología.....	69
3.1.7	Desarrollo del trabajo.....	71
3.2	Procesamiento de la información .....	73
3.2.1	Caracterización del macizo rocoso .....	73
3.2.2	Caracterización del comportamiento mecánico de la matriz rocosa .....	75
3.2.3	Clasificación geomecánica del macizo rocoso .....	91
3.2.4	Cartillas Geomecánicas .....	94
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados .....		97
4.1	Propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso.....	97
4.1.1	Parámetros del macizo rocoso – EST 01 .....	98



4.1.2	Parámetros del macizo rocoso – EST 02 .....	101
4.1.3	Parámetros del macizo rocoso – EST 03 .....	103
4.2	Presentación de resultados.....	104
	Conclusiones .....	108
	Recomendaciones .....	110
	Referencias bibliográficas.....	112
	Anexos.....	114

## Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Vías de acceso .....	2
Tabla 2: Matriz de operacionalización de variables .....	8
Tabla 3: Matriz de consistencia.....	9
Tabla 4: Minerales presentes en Compañía Minera Amapola 5 S.A.C.....	19
Tabla 5: Grado de meteorización de la matriz rocosa .....	29
Tabla 6: Parámetro RQD .....	34
Tabla 7: Resistencia de la matriz rocosa (MPa) .....	35
Tabla 8: Separación de diaclasas .....	35
Tabla 9: Longitud de las discontinuidades .....	36
Tabla 10: Presencia de agua .....	36
Tabla 11: Corrección por la orientación de las discontinuidades .....	37
Tabla 12: Clasificación RMR.....	37
Tabla 13: Características geotécnicas .....	38
Tabla 14: Orientación de las discontinuidades en el túnel.....	38
Tabla 15: Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR .....	38
Tabla 16: RQD.....	40
Tabla 17: Diaclasado .....	40
Tabla 18: Rugosidad.....	41
Tabla 19: Alteración .....	42
Tabla 20: Presencia de agua .....	43
Tabla 21: Valor SRF .....	44
Tabla 22: Criterios para la Estimación de la Resistencia del Material .....	47
Tabla 23: Grado de Meteorización ISRM (1981).....	48
Tabla 24: Datos litológicos de las estaciones.....	74
Tabla 25: Datos topográficos de las estaciones geomecánicas .....	74
Tabla 26: Determinación del RQD de la Roca y Mineral .....	75

Tabla 27: Calidad de la Roca de Acuerdo a Deere and Miller .....	75
Tabla 28: Resumen de las propiedades físicas de laboratorio .....	76
Tabla 29: Corrección de dureza para el martillo Smith.....	76
Tabla 30: Rebote promedio según ISRM .....	77
Tabla 31: Correlación de la resistencia compresiva .....	77
Tabla 32: Clasificación de Deere and Miller .....	77
Tabla 33: Cálculo del RMR Promedio .....	91
Tabla 34: Calidad del Macizo Rocosó según RMR (BIENIAWSKI-1989) .....	91
Tabla 35: Tiempo de Autosóporte de la Labores Mineras .....	91
Tabla 36: Parámetros del macizo rocoso – EST 01 .....	98
Tabla 37: Parámetros del macizo rocoso – EST 02 .....	101
Tabla 38: Parámetros del macizo rocoso – EST 03 .....	103

## Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Localización de la mina.....	2
Figura 2: Lutitas negras de la formación Carhuaz.....	15
Figura 3: Lutitas negras en interior mina.....	15
Figura 4: Pizarras blanquecinas de las formaciones Carhuaz.....	16
Figura 5: Pizarras blanquecinas interior mina .....	16
Figura 6: Andesita porfiritica gris violaceo.....	17
Figura 7: Aglomerados volcánicos .....	17
Figura 8: Galena en fragmento de brecha de matriz arcillosa .....	18
Figura 9: Macizo rocoso, matriz rocosa, discontinuidades .....	24
Figura 10: Orientación de las discontinuidades.....	30
Figura 11: Espaciamiento de las discontinuidades.....	31
Figura 12: Rugosidad de las discontinuidades.....	32
Figura 13: Grado de meteorización en tramos de sondajes de diamantina .....	48
Figura 14: Caracterización del macizo rocoso en función de los bloques basado en el entramamiento y las condiciones de las juntas. Adaptada de Hoek (2006).....	50
Figura 15: Estimación del GSI para macizos heterogéneos como flysch, Adaptada de Hoek (2006) .....	51
Figura 16: Guía para estimar el factor de alteración D, Adaptada de Hoek (2006).....	51
Figura 17: Representación del criterio de rotura en términos bidimensionales. Modificada según melentijevic, 2005.....	52
Figura 18: Representación de la envolvente de Mohr-Coulomb en el espacio de tensiones normal y tangencial. Modificada según Melentijevic, 2005.....	54
Figura 19: Representación del criterio de rotura de Hoek&Brown, en el espacio de tensiones normal y tangencial.....	55
Figura 20: Valores de la constante $m_i$ para la matriz rocosa .....	60

Figura 21: Relaciones aproximadas entre la calidad del macizo rocoso y las constantes $m$ y $s$ .....	60
Figura 22: Ábaco de Miller. Relación peso específico, dirección e índice de rebote del martillo Schmidt y compresión simple sobre la roca.....	67
Figura 23: Correlación de la resistencia compresiva .....	78
Figura 24: Reporte Geomecánico EST. 01 .....	80
Figura 25: A: Mineral.....	80
Figura 26: B: Mineral.....	81
Figura 27: Reporte Geomecánico EST. 02 .....	81
Figura 28: A: Andesita .....	82
Figura 29: B: Andesita .....	82
Figura 30: Reporte Geomecánico EST. 03 .....	83
Figura 31: A: Pizarra.....	83
Figura 32: B: Pizarra.....	84
Figura 33: Mapeo geomecánico – EST. 01 .....	85
Figura 34: Ubicación EST. 01 – zona de mapeo.....	86
Figura 35: Mapeo geomecánico – EST. 02.....	87
Figura 36: Ubicación EST. 02 – zona de mapeo.....	88
Figura 37: Mapeo geomecánico – EST. 03.....	89
Figura 38: Ubicación EST. 03 – zona de mapeo.....	90
Figura 39: Tiempo de autosoporte .....	92
Figura 40: Sostenimiento permanente e índice Q (tomado de Carvajal, 2008) .....	93
Figura 41: Criterio generalizado de Hoek and Brown.....	93
Figura 42: Relación de RMR, GSI e Índice Q para diseño de sostenimiento.....	94
Figura 43: Cartilla Geomecánica V-1 .....	95
Figura 44: Diseño de sostenimiento para labores temporales y permanentes .....	96
Figura 45: Esfuerzos principales EST.01 .....	99
Figura 46: Análisis de esfuerzos en EST. 01 .....	100

Figura 47: Esfuerzos principales EST.02 .....	101
Figura 48: Análisis de esfuerzos en EST. 02 .....	102
Figura 49: Esfuerzos principales EST.03 .....	103
Figura 50: Análisis de esfuerzos en EST. 03 .....	104

## Introducción

Dependiendo de las características y condiciones específicas, la composición de la masa rocosa puede variar significativamente tanto entre distintas minas como dentro de una misma mina. Un ejemplo de esto se encuentra en el Yacimiento Minero de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C. En este caso particular, el proceso de extracción de minerales ha evolucionado con el paso del tiempo, resultando en la ampliación de las excavaciones a mayores profundidades. Sin embargo, esta expansión ha generado nuevos desafíos relacionados con la estabilidad del macizo rocoso circundante.

En consecuencia, es fundamental contar con un conocimiento detallado de las propiedades geomecánicas de la masa rocosa y de cómo estas interactúan con las actividades de extracción minera. Este conocimiento permitirá una mayor capacidad para identificar los posibles peligros y riesgos asociados con el desprendimiento de rocas, así como tomar decisiones adecuadas en relación a varios aspectos relacionados con la explotación de minerales. El objetivo de estas decisiones es asegurar la estabilidad de las excavaciones subterráneas, incluso en las condiciones más desfavorables de la masa rocosa, a fin de garantizar la seguridad del personal y los equipos que operan dentro de la mina, y maximizar la recuperación de minerales.

Para conocer dichos atributos geomecánicos y su interacción con aberturas generadas por la explotación minera, se ha realizado el presente estudio: “Caracterización geomecánica para la determinación del sostenimiento en labores mineras subterráneas”.

Para elaborar este estudio, se han realizado una serie de trabajos de campo con el propósito de recopilar información geomecánica básica. Esta información es necesaria para llevar a cabo un análisis de estabilidad de las condiciones actuales de explotación en la mina, y para mantener actualizados los parámetros relevantes.

En este estudio, se presenta una documentación detallada del desarrollo de los trabajos de campo, así como del análisis de los datos recopilados y su relación con las aberturas generadas por la explotación minera.

Este estudio es de gran importancia, ya que su resultado proporcionará información crucial para mejorar la seguridad y la eficiencia de las operaciones mineras subterráneas. Además, este tipo de información también puede ser útil para la toma de decisiones relacionadas con la planificación y el diseño de futuras actividades de extracción minera en esta y otras zonas similares.



# Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

## 1.1 Generalidades

### 1.1.1 *Unidad de estudio*

Empresa Minera Amapola 5 S.A.C. es una empresa regional y familiar peruana con más de 60 años de presencia minera en la sierra de la Región Ancash.

El sistema de explotación del yacimiento es con laboreo subterráneo utilizando el método de corte y relleno ascendente- over cut and fill, por su elevada selectividad y facilidad de explotación en vetas angostas, donde las cajas son muy fracturadas o muy alteradas. Una vez que el material es arrancado de la roca intacta a través de las operaciones unitarias de perforación y voladura, este es acarreado con locomotoras eléctricas por los niveles de acceso hacia la superficie, para posteriormente ser transportado con volquetes hacia la planta de beneficio de Cochapampa, en el distrito de Ticapampa.

La misión de esta empresa es: explorar y explotar vetas polimetálicas de manera altamente productiva y rentable, trabajando con seguridad industrial y con responsabilidad ambiental y social. Buscar y aumentar los recursos y reservas de mineral que garanticen su sostenibilidad y crecimiento en el mediano y largo plazo.

### 1.1.2 *Ubicación y acceso*

La Empresa Minera Amapola 5 S.A.C., se encuentra ubicada en el distrito de la Merced, provincia de Aija, departamento de Ancash, se localiza en el sector occidental de la cordillera negra.

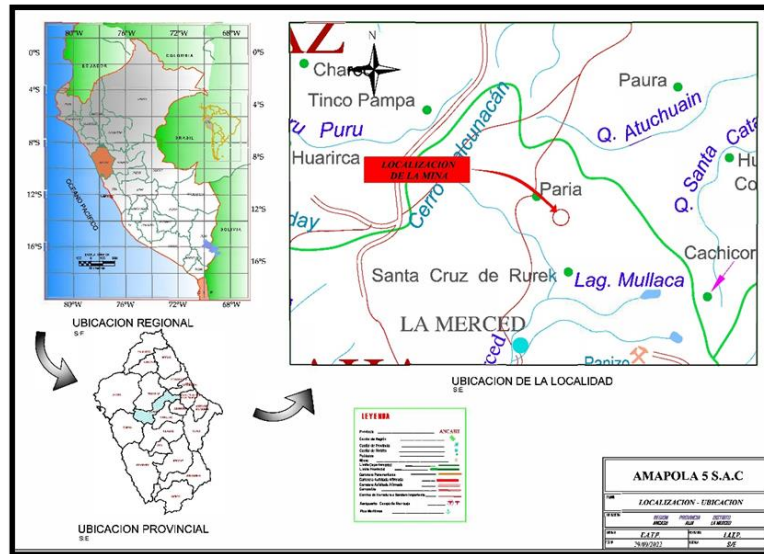
Las coordenadas geográficas aproximadas son las siguientes:

77° 40' 42" latitud Este

09° 41' 36" latitud Sur.

**Figura 1**

*Localización de la mina*



Fuente: geología mina Amapola 5 S.A.C.

El acceso a la mina se realiza de la siguiente manera:

**Tabla 1**

*Vías de acceso*

Lugar	Kilómetros	Tipo de vía
Lima - Pativilca	205	Asfaltada
Pativilca - Huaraz	205	Asfaltada
Huaraz - Mina	25	Asfaltada
	35	Afirmada
<b>Total</b>	<b>470 Km.</b>	

**1.1.3 Antecedentes históricos**

La Empresa Minera Amapola 5 S.A.C., fue constituida en el año 1,999 siendo sus predecesoras las concesiones y trabajos de Don Raúl Vizcarra Álvarez y Don Raúl Vizcarra Smith en el Distrito Minero de Huinac, desde el año 1,957. Con más de 60 años de presencia minera en la Región Ancash. El yacimiento minero Huinac fue trabajado por los españoles y portugueses hasta el año 1,830, quienes dejaron de trabajar debido a las hostilidades producidas por la proclamación de la Independencia del Perú. Posteriormente pasó a la administración de los señores Cáceres (Ludovico y Emiliano), quienes trabajaron a un ritmo de producción de 10 TM/mes, posteriormente la Compañía Minera “Santa Elena” de Mauricio Hirsch había comprado los denuncios de los señores Cáceres, quien

empezó a realizar estudios y puesta en operación del yacimiento a partir del año 1,938 a un ritmo de producción de 130 a 160 TM por día; después de dos años la mina queda en abandono, siendo denunciado por varios pequeños mineros. A partir de 1,965 Don Raúl Vizcarra Alvares compra dicho denuncia a los pequeños mineros, constituyendo la empresa minera Huaraz, que opera con una producción de 30 TM/día. En 1,999 al 2,000 la empresa cambia de razón social formando la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.

#### **1.1.4 Clima y vegetación**

- El clima es típico de nuestra zona andina, templado durante el día, frío durante la noche. se caracteriza por una estación seca entre mayo a noviembre y lluvioso entre diciembre y abril. La temperatura varía de 3° a 25°C a la sombra durante la estación seca y de 5° a 25°C en la época de lluvias.
- La vegetación es propia de la región Puna, es pobre debido al frío inclemente, las principales especies vegetales son las siguientes: el ichu, ocsha o pajonal, gramínea raquílica, escorzonera, pushunco, huarogo o huaraco y puya Raymondi. Debido a las inclemencias del clima no existen terrenos cultivables en el área.

#### **1.1.5 Fisiografía**

El relieve de las partes altas se caracteriza por tener una superficie moderada a intensa erosión, con laderas no tan abruptas, las quebradas como Montecristo y Amapola son relativamente empinadas, las que presentan un típico modelado glaciar, estos valles están separados por pequeñas cadenas de cumbres.

Fisiográficamente se puede diferenciar únicamente la cordillera Negra, esta área se encuentra emplazada longitudinalmente de noroeste a sureste, y se encuentra mayormente definida por su altitud, relieve, el clima y la geología.

#### **1.1.6 Recursos**

En la zona de la minera, el recurso hídrico es escaso durante la estación seca y abundante en la época de lluvia con una irregularidad en el caudal, pero suficiente para cubrir la demanda doméstica e industrial, la mano de obra se consigue en las zonas de Llactun, la Merced, Ullucuran, Santa Cruz de Rurec, Cajamarquilla, puesto que es un lugar

eminentemente minero; la madera para el sostenimiento se consigue en distritos vecinos (Independencia, Mancos, etc.), el combustible, equipos, materiales e insumos son transportados desde la ciudad de Huaraz.

## **1.2 Descripción del problema de investigación**

La minería subterránea es una de las actividades más arriesgadas en la industria, con un alto potencial de accidentes e incidentes durante el proceso de minado. La caída o desprendimiento de mineral y rocas encajonantes en las labores mineras es una de las principales causas de riesgo. Para mitigar estos peligros, es crucial implementar un control adecuado de las operaciones mineras y utilizar métodos de explotación que garanticen altos estándares de seguridad.

Este trabajo de investigación titulado "Caracterización geomecánica para la determinación del sostenimiento en labores mineras subterráneas" tiene como objetivo principal, establecer los parámetros geomecánicos del macizo rocoso del yacimiento minero de la empresa Minera Amapola 5 S.A.C., con el fin de establecer recomendaciones de sostenimiento efectivo y optimizar los resultados técnicos de la operación; a través de la elaboración de la cartilla geomecánica.

El principal problema en la UEA Admirada Atila, reside en la falta de conocimiento real de los parámetros cualitativos y cuantitativos del macizo rocoso, lo cual limita la aplicación adecuada de criterios geomecánicos en las operaciones de minado. Esto resulta en un sostenimiento deficiente en las labores y lo que a su vez afecta la eficiencia y seguridad de las operaciones.

En zonas de roca competente, actualmente se utiliza sostenimiento con cuadros de madera, lo cual incrementa tanto los costos operativos como la lentitud de las operaciones convencionales. Por esta razón, es necesario llevar a cabo la caracterización geomecánica del macizo rocoso, con el objetivo de optimizar el sostenimiento y mejorar los resultados técnicos de la operación, tanto en términos económicos como en términos de seguridad.

Con esta información, será posible establecer criterios geomecánicos adecuados para el diseño y ejecución del sostenimiento en las labores subterráneas. Se podrán utilizar

diversos elementos de sostenimiento de acuerdo a las características del macizo rocoso y a los requerimientos de estabilidad.

### **1.3 Formulación del problema**

#### ***1.3.1 Problema general***

¿En qué medida nos ayuda realizar la Caracterización geomecánica para la determinación del sostenimiento en labores mineras subterráneas? en la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.

#### ***1.3.2 Problemas específicos***

- ¿Qué características geomecánicas tendrá el macizo rocoso de la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.
- ¿Cómo determinamos las propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso, en la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.?
- ¿Cómo seleccionamos y evaluamos el sostenimiento efectivo, en las labores mineras subterráneas de la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.?

### **1.4 Objetivos del estudio**

#### ***1.4.1 Objetivo general***

Realizar la caracterización geomecánica para la determinación del sostenimiento en labores mineras subterráneas, de la UEA Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.

#### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Caracterizar el macizo rocoso, de la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.
- Determinar las propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso, en la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.
- Seleccionar y evaluar el sostenimiento efectivo, en las labores mineras subterráneas de la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.

## **1.5 Hipótesis**

### **1.5.1 Hipótesis general**

¿Si se realiza la caracterización geomecánica, podremos determinar el sostenimiento en las labores mineras subterráneas de preparación y explotación en la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.?

### **1.5.2 Hipótesis específica**

- ¿La Caracterización Geomecánica, nos permitirá evaluar y comprender la calidad y comportamiento del macizo rocoso, en las labores mineras subterráneas de preparación y explotación en la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.?
- ¿Si conocemos la calidad del macizo rocoso, podremos recomendar el adecuado diseño de sostenimiento que garantice la seguridad y calidad de las labores mineras subterráneas de preparación y explotación en la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.?

## **1.6 Variables de Investigación,**

### **Hipótesis general**

Si se realiza la caracterización geomecánica, podremos determinar el sostenimiento en las labores mineras subterráneas de preparación y explotación en la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.

### **Variables de hipótesis general**

#### **Variable independiente:**

- Realizar la caracterización geomecánica de las labores mineras subterráneas.

#### **Variable dependiente:**

- Determinar el sostenimiento en las labores mineras subterráneas.

### **Hipótesis específicas**

#### **Variables de hipótesis específica 1**

- La caracterización geomecánica, nos permitirá evaluar y comprender la calidad y comportamiento del macizo rocoso, en las labores mineras subterráneas de

preparación y explotación en la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.

**Variable independiente:**

Realizar la caracterización geomecánica.

**Variable dependiente:**

Permite evaluar y comprender la calidad y comportamiento del macizo rocoso.

**Variables de hipótesis específica 2**

- Si conocemos la calidad del macizo rocoso, podremos recomendar el adecuado diseño de sostenimiento que garantice la seguridad y calidad de las labores mineras subterráneas de preparación y explotación en la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.

**Variable independiente:**

Conocer la calidad del macizo rocoso.

**Variable dependiente:**

Recomendar el adecuado diseño de sostenimiento.

**1.7 Operacionalización de variables.**

En la Tabla 2 se muestran las variables consideradas, definición conceptual, dimensiones, indicador y unidad de medida.

**Tabla 1**

*Matriz de operacionalización de variables*

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA
	La caracterización geomecánica de un macizo rocoso implica la evaluación detallada de las propiedades mecánicas y estructurales de los macizos rocosos y suelos. Es crucial entender las propiedades del macizo rocoso, incluyendo la composición mineral, la presencia de discontinuidades, y las propiedades mecánicas de las rocas y las juntas.	Petrografía	Textura y minerales que forman la roca	Tamaño, color de granos, forma de minerales y porcentaje que conforman la roca
Realizar la caracterización geomecánica de las labores mineras subterráneas		Características	Condiciones Geomecánicas: orientación, espaciado, persistencia, rugosidad, abertura, relleno, filtraciones de agua en las discontinuidades. meteorización de la matriz rocosa	RQD RMR Q
			Densidad	gr/cm <sup>3</sup>
			Peso específico aparente	KN/m <sup>3</sup>
		Propiedades físico mecánicas de la roca	Porosidad aparente	%
			Absorción	%
			Resistencia compresiva $\sigma_{ci}$ (martillo Schmidt, laboratorio)	MPa
			Cohesión	MPa
			Angulo de rozamiento	grados
Determinar el sostenimiento en las labores mineras subterráneas.	Al determinar los valores cuantitativos de la caracterización geomecánica, se puede determinar el tipo de elemento de sostenimiento que mejor se adecue a las condiciones estructurales del macizo rocoso.	Sostenimiento de labores mineras	Recomendaciones geomecánicas de sostenimiento	Elementos de sostenimiento adecuados, cartilla geomecánica



**Tabla 2**

*Matriz de consistencia*

1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2.-OBJETIVOS	3.- METODOLOGIA	4.- HIPOTESIS	5.-VARIABLES
1.1 Problema general	2.1 Objetivo general		4.1 Hipótesis general	5.1 Variable independiente (VI)
¿Cómo realizamos la Caracterización geomecánica para la determinación del sostenimiento en labores mineras subterráneas? en la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.	Realizar la caracterización geomecánica para la determinación del sostenimiento en labores mineras subterráneas, de la UEA Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.	Se realiza un estudio descriptivo de corte transversal, ya que se analizan datos de variables recopiladas en un periodo de tiempo sobre una población de muestra ya definido, las cuales no varían a lo largo del curso de la investigación	Si se realiza la caracterización geomecánica, podremos determinar el sostenimiento en las labores mineras subterráneas de preparación y explotación en la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.	Realizar la caracterización geomecánica de las labores mineras subterráneas
1.2 Problemas específicos	2.2 Objetivos específicos	La población estará compuesta por las	4.2 Hipótesis específica	5.2 Variable dependiente (VD)
¿qué características geomecánicas tendrá el macizo rocoso de la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.	Caracterizar el macizo rocoso, de la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.	muestras obtenidas del macizo rocoso de la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C Analizar los datos de campo obtenidos mediante un muestreo sistemático del macizo rocoso en la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C Utilizar los	La Caracterización Geomecánica, nos permitirá evaluar y comprender la calidad y comportamiento del macizo rocoso, en las labores mineras subterráneas de preparación y explotación en la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C	Determinar el sostenimiento en las labores mineras subterráneas.
¿Cómo determinamos las propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso, en la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.?	Determinar las propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso, en la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.	instrumentos de investigación Aplicar técnicas de procesamiento de datos y análisis de los mismos Conclusiones y recomendaciones	Si conocemos la calidad del macizo rocoso, podremos recomendar el adecuado diseño de sostenimiento que garantice la seguridad y calidad de las labores mineras subterráneas de preparación y explotación en la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.	Permite evaluar y comprender la calidad y comportamiento del macizo rocoso
¿Cómo Seleccionamos y evaluamos el sostenimiento efectivo, en las labores mineras subterráneas de la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.?	Seleccionar y evaluar el sostenimiento efectivo, en las labores mineras subterráneas de la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.			Recomendar el adecuado diseño de sostenimiento

## **1.8 Antecedentes investigativos**

### **1.8.1 Antecedentes internacionales**

Villota Titistar, O. (2023). En su trabajo de grado: "Evaluación y caracterización del macizo rocoso para la identificación del comportamiento de los diferentes tipos de sostenimiento en la mina El Roble, El Carmen de Atrato, Chocó, Colombia". [Trabajo de grado, Universidad de Caldas]. Repositorio Digital., Aquí resalta que el mayor riesgo que enfrentan las operaciones de minería subterránea, es la caída de roca desde el inicio hasta el cierre de la mina; conscientes de ello, se han desarrollado diferentes métodos para estabilizar una labor subterránea, los cuales se fundamentan en la cuantificación de la calidad del macizo rocoso a partir de sus propiedades geomecánicas. Los análisis geomecánicos y los ensayos de laboratorio arrojaron información valiosa sobre la calidad del macizo rocoso en la mina El Roble. A partir de estos datos, se construyó un mapa de zonificación geomecánica que reveló la existencia de cuatro tipos de macizos rocosos con diferente calidad. Estos se clasificaron en función de su resistencia y deformabilidad, y se identificaron las zonas más susceptibles a la caída de rocas. Concluyendo que, el sostenimiento recomendado se ajustó a estas condiciones, y contribuyó a estabilizar los frentes de trabajo, garantizando la seguridad del personal y equipos durante toda la explotación.

Cartaya Pire, Maday (2001) en su tesis doctoral titulada "Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental del país". [Resumen de tesis doctoral, Departamento de Geología, Instituto Superior Minero Metalúrgico, Cuba], destaca la importancia de la caracterización geomecánica de los macizos rocosos como una herramienta fundamental para predecir su comportamiento. Dentro de esta caracterización, las clasificaciones geomecánicas juegan un papel destacado, ya que surgieron como una necesidad de parametrizar de manera integral las observaciones y datos empíricos con el fin de evaluar las medidas de sostenimiento en túneles. Estas clasificaciones son un método de ingeniería geológica que permite evaluar

el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos, así como estimar los parámetros geotécnicos de diseño y determinar el tipo de sostenimiento adecuado para un túnel.

Además de su aplicación en obras subterráneas, es importante resaltar que estas clasificaciones también tienen utilidad en el análisis de taludes y cimentaciones.

### **1.8.2 Antecedentes nacionales**

Colan Rodríguez, Aurelio (2021) en su tesis "Evaluación geomecánica del macizo rocoso y diseño de sostenimiento para la explotación segura por corte y relleno ascendente de las estructuras mineralizadas de la mina Caridad - compañía minera Lincuna" [Tesis de grado, Universidad Nacional san Agustín de Arequipa]. Repositorio UNSA, explica que, a partir del análisis del arreglo estructural, la calidad de la masa rocosa y los parámetros de resistencia a nivel de roca intacta, discontinuidades y masa rocosa, se pudo establecer un modelo geomecánico conceptual para la Mina Caridad. Este modelo permitió estimar la magnitud y dirección de los esfuerzos principales, evaluar los métodos de explotación aplicables a las estructuras mineralizadas de interés, realizar el dimensionamiento geomecánico en tajos, puentes y pilares, analizar la estabilidad de las excavaciones, evaluar y rediseñar el sostenimiento, evaluar la instrumentación geomecánica aplicable y establecer recomendaciones. Todo ello permitió una óptima utilización de los elementos de sostenimiento.

El problema identificado en la mina Caridad fue el mal diseño del sostenimiento utilizado en el desarrollo, preparación y explotación de las reservas minerales. Esto generó accidentes laborales, tiempos de inactividad, retrasos en la producción y pérdidas humanas y materiales. Sin embargo, a través de la aplicación de un sostenimiento adecuado para cada método de explotación en la mina Caridad, se logró maximizar la recuperación del mineral en condiciones operacionales seguras y garantizar el cumplimiento de la producción programada.

Bojórquez Huerta, Gustavo (2019) en su tesis titulada "Implementación de un sistema de información geomecánica en la estabilidad subterránea en la mina Huanzála período 2010-2011" [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Santiago Antunez de

Mayolo, Escuela de Postgrado]. Repositorio UNASAM, aborda el problema relacionado con la necesidad de sistematizar y agilizar el sistema de información geomecánica en la estabilidad subterránea en la Mina Huanzalá. Este sistema, según el autor, contribuiría a mejorar la disponibilidad de los datos e información geomecánica, lo que sería de vital importancia para la toma adecuada de decisiones. Mediante su investigación, el autor concluye que la determinación de los diversos parámetros geológicos y geomecánicos ha permitido establecer el comportamiento del macizo rocoso en el área donde se aplica el sostenimiento, así como evaluar su influencia en el diseño del elemento y/o sistema de sostenimiento. Asimismo, destaca que la evaluación de las diferentes variables geomecánicas ha tenido un impacto decisivo en el diseño del sistema de sostenimiento en el ámbito minero.

### ***1.8.3 Antecedentes locales***

Torres Yupanqui, Luis Alberto (2009) En su publicación "Geomecánica aplicada al control de las labores mineras para la minimización de caída de rocas en la mina Madrugada Cía. Minera Huinac S.A.C.-Ancash-2009". [Trabajo de investigación, Compañía Minera Huinac S.A.C., Ancash], presenta un trabajo de investigación donde se aplica la geomecánica al Yacimiento Minero Madrugada; en el cual, no se dispone de un conocimiento real sobre las consideraciones cualitativas y cuantitativas del macizo rocoso en el que se llevan a cabo las operaciones mineras, lo cual es fundamental en la actualidad para realizar trabajos que optimicen los resultados técnicos, económicos y de seguridad. Según el autor, la minería subterránea es una actividad que conlleva un alto riesgo de accidentes e incidentes durante el proceso de minado, principalmente debido a la caída o desprendimiento de minerales y rocas encajonantes que contienen la mineralización. Para abordar este problema, es esencial llevar a cabo un control efectivo de las labores de minado y utilizar métodos de explotación que garanticen un alto nivel de seguridad en las operaciones, minimizando así los riesgos de accidentes e incidentes. También se deben establecer directrices para calificar y cuantificar el sistema de información geomecánica, siguiendo los estándares establecidos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas

(ISRM,). El resultado de este estudio será la implementación de un adecuado sistema de laboreo minero en la mina Madrugada, con el fin de minimizar los riesgos de accidentes causados por caídas de rocas, a través de su cartilla geomecánica.

Los estudios geomecánicos se centran en determinar las características del macizo rocoso a través del análisis litológico estructural. Posteriormente, se establecen las propiedades físicas, mecánicas y la resistencia compresiva tanto del macizo rocoso como del mineral para comprender su comportamiento mecánico. Mediante este enfoque, se obtiene la determinación de los dominios estructurales, lo que permite establecer el factor de seguridad del macizo rocoso frente a la apertura de las labores mineras y asegurar un proceso de minado adecuado.

## Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

### 2.1 Marco teórico

#### 2.1.1 Geología

**2.1.1.1 Geología local.** Localmente en el área de estudio afloran rocas sedimentarias, rocas ígneas intrusivas y rocas volcánicas, las cuales son descritas a continuación:

##### **Formación Santa:**

Esta formación es una secuencia marina compuesta por lutitas y calizas intercaladas. En la zona de estudio, la formación Santa se compone de una serie estratificada de lutitas negras a gris oscura y calizas negruzcas, que gradan hacia calizas margosas de color gris verdoso en algunas zonas, como se puede observar de la entrada del nivel 4 hasta unos 500 m. La formación Santa tiene interés económico, por cuanto en sus niveles calcáreos se tiene la presencia de zonas mineralizadas de plomo, plata y zinc.

##### ▪ **Calizas Bituminosas**

Se encuentran al sur del área de estudio, pertenecen a la formación Santa y se encuentran infrayaciendo a la formación Carhuaz. Presentan un color negro oscuro por la presencia de bitumen y pirita diseminada por la alteración regional existente.

##### **Formación Carhuaz:**

Litológicamente esta formación está constituida por una secuencia de lutitas grises y marrones, se presentan ocasionalmente capas delgadas con calizas negras de grano fino.

##### ▪ **Lutitas Bituminosa**

Se encuentran presentes al sur del área de estudio, con colores gris y marrón, con esporádicas intercalaciones de calizas. Pertenecen a la formación Carhuaz y se encuentran formando un anticlinal erosionado, cuyo eje tiene rumbo NW-SE y pasa por el medio del área de estudio. Se encuentran metamorfizada en algunas zonas,

con pirita diseminada, además de estar fuertemente fracturadas a causa del tectonismo.

## Figura 2

*Lutitas negras de la formación Carhuaz.*



Fuente: geología mina Amapola 5 S.A.C.

## Figura 3

*Lutitas negras en interior mina*



Fuente: geología mina Amapola 5 S.A.C.

### ▪ Pizarras Blanquecinas

El contacto de las lutitas pertenecientes a la formación Carhuaz, con los intrusivos presentes en el área de estudio, ha generado una pizarra metamórfica blanquecina, con abundante pirita diseminada y venilleo entrecruzado de pirita y carbonatos. Es la roca caja de muchas de las vetas presentes en el área de estudio, siendo mayor su metamorfismo cerca de las mismas.

#### **Figura 4**

*Pizarras blanquecinas de las formaciones Carhuaz*



Fuente: geología mina Amapola 5 S.A.C.

#### **Figura 5**

*Pizarras blanquecinas interior mina*



Fuente: geología mina Amapola 5 S.A.C.

#### **Grupo Calipuy:**

En la zona de estudio el grupo Calipuy se expresa a través del complejo volcánico Huinoc – Alto Ruri. Está compuesto por dos volcanes superpuestos y erosionados.

- **Andesitas Porfíricas**

Las andesitas porfíricas y microporfíricas pertenecientes a la formación Calipuy, se encuentran presentes en el área de estudio, sobreyaciendo a las lutitas de la formación Carhuaz. Su coloración es entre verdosa y violácea, siendo su pseudo estratificación concordante con los flancos del anticlinal que atraviesa el área.



## Figura 6

*Andesita porfírica gris violáceo*



Fuente: geología mina Amapola 5 S.A.C.

### ▪ **Aglomerados volcánicos**

Hacia el este del área de estudio, se encuentran aflorando aglomerados volcánicos, tanto de cuarzo con arenisca y carbonatos, así como un aglomerado formado por fragmentos angulosos de andesita.

## Figura 7

*Aglomerados volcánicos*



Fuente: geología mina Amapola 5 S.A.C.

### ▪ **Brechas Piroclásticas**

Es la roca caja de la mineralización, son clastos angulosos de lutita negra piritizada, con tamaños que verían desde centímetros a varios metros, en una matriz arcillosa desagregada. En la brecha también se encuentran bloques de roca argilizada, donde aún se pueden observar relictos de fenocristales de plagioclasas. En base a

las observaciones de campo, se ha propuesto que la brecha piroclástica es un flujo piroclástico de bloques y cenizas, asociado a los domos andesíticos presentes en el área, siendo las cenizas alteradas por los flujos hidrotermales a arcillas. Por el tamaño de los bloques, la roca caja se le asignado la denominación de brecha piroclástica.

### **Figura 8**

*Galena en fragmento de brecha de matriz arcillosa*



Fuente: geología mina Amapola 5 S.A.C.

#### **Depósitos Cuaternarios:**

Los depósitos cuaternarios en la zona son muy escasos debido a que son erosionados constantemente por las lluvias, cuya potencia varia de 1 a 2 m en forma muy restringida, estos depósitos son remanentes de los depósitos coluviales y aluviales que se encuentran en toda la zona.

#### **2.1.1.2 Geología económica**

**2.1.1.2.1 Origen y tipo de yacimiento.** El yacimiento de la zona en estudio, es de origen magmatogénico, tipo cordillerano, mesotermal y de característica epitermal, donde las soluciones de origen magmático, se emplazaron en las cavidades pre - existentes. La mineralización es de origen epigenético, con la formación de minerales a partir de fluidos hidrotermales que contienen plomo, plata, zinc, cobre, etc., que rellenaron fracturas pre-existentes en rocas sedimentarias e intrusivas hipabisales.

Las temperaturas imperantes de deposición corresponden a la zona mesotermal en la parte central del depósito y epitermal hacia la periferie.

**2.1.1.2.2 Mineralogía.** La mineralogía de la mina se resume en el siguiente cuadro:

**Tabla 4**

*Minerales presentes en Compañía Minera Amapola 5 S.A.C.*

Tipo de clasificación	Mineral	Fórmula
Minerales de mena	Esfalerita	ZnS
	Galena	Pbs
	Galena Argentífera	PbAgS
	Tetraedrita	(Cu,Fe) <sub>12</sub> As <sub>4</sub> S <sub>13</sub>
	Jamesonita	Pb <sub>4</sub> FeSb <sub>6</sub> S <sub>14</sub>
	Proustita	Ag <sub>3</sub> AsS <sub>3</sub>
	Pirargirita	Ag <sub>3</sub> SbS <sub>3</sub>
	Calcopirita	CuFeS
Minerales de ganga	Cuarzo	SiO <sub>2</sub>
	Pirita	FeS <sub>2</sub>
	Calcita	CaCO <sub>3</sub>
	Rodocrosita	MnCO <sub>3</sub>
	Arsenopirita	AsFeS
	Malaquita	Cu <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub>
	Rodonita	MnSiO <sub>3</sub>
Pirrotita	Fe <sub>(1-x)</sub> S	

**2.1.1.2.3 Alteración.** La alteración hidrotermal influye directamente en las cajas de la mineralización, las principales alteraciones que se presentan son conocidos como la Silicificación, Caolinización y Argilización, los mencionados son variables según las características de la roca, así las rocas sedimentarias presentan mayor Silicificación y Piritización, pero las rocas de origen volcánico presentan mayor Caolinización, Piritización y Silicificación. Por ejemplo, la alteración argílica encontramos en la veta Caira, veta Don Raúl, veta Esperanza; la silicificación en la veta Pierina. Muchas de las alteraciones son producto de las soluciones hidrotermales con temperaturas altas que entran en contacto con las paredes rocosas dando lugar a cambios físico-químicos, es necesario recalcar que la alteración y la mineralización de la veta no son fenómenos diferentes, son parte del proceso general y más aún ambos se complementan. Los minerales que se forman en un ambiente hidrotermal son el resultado de la precipitación de soluciones acuosas calientes.

**2.1.1.3 Geología estructural.** El área de estudio es atravesada por un anticlinal erosionado, con rumbo NW, se pueden observar los flancos claramente definidos a ambos lados de las quebradas. El yacimiento es principalmente explotado por vetas polimetálicas,

las cuales son rellenos de fallas pre-existentes, se pueden reconocer 3 sistemas de estructuras principales:

**NW-SE - NE-SW - ENE-WSW**

Las fallas y fracturas de tensión y cizalla son las estructuras que han sido favorables para la circulación, deposición y receptáculo de los fluidos hidrotermales mineralizantes. diques de composición dacítica-andesítica de color gris verdosos, con textura afanítica, en algunos casos se comporta como rocas encajonantes, estos diques tendrían una estrecha relación con la deposición de los fluidos hidrotermales mineralizantes.

En el área de estudio se observa la presencia de estructuras geológicas como son los pliegues, las fallas y las diaclasas.

**Pliegues.**

Las rocas sedimentarias en el área de estudio se presentan plegadas, debido a la acción de las fuerzas tectónicas, donde se observa la presencia de un anticlinal en el crucero 695 N del nivel 4 un tanto disturbado por la presencia de fallas, algunas de alcance regional y por el intrusivo que ha intruido a las rocas sedimentarias, produciendo en forma combinada el fracturamiento de las mismas. El eje del anticlinal tiene un rumbo aproximado N 30° W y el buzamiento de los flancos tienen una inclinación de 65° NE y 60° al SW.

**Diaclasas.**

Las Diaclasas son estructuras geológicas que dividen a las rocas tanto ígneas, sedimentarias y metamórficas, su origen puede ser tectónico o formadas por otras causas. Estas estructuras se han identificado en el área de estudio, en dos familias principales, las cuales se entrecruzan afectando a las rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas.

**Fallas.**

Otro de los rasgos estructurales locales es la presencia de fallas pre y post minerales ya que las estructuras mineralizadas se han emplazado en éstas, cuyo rumbo promedio van de N 25° a 60° W, con un buzamiento de 60° a 80° NE o SW, las rocas sedimentarias que se encuentran como rocas encajonantes, han sufrido un proceso de

metamorfismo de distintos grados y una alteración hidrotermal como es la piritización y la silicificación, haciendo que esta parte del macizo rocoso sea mucho más estable.

**2.1.1.4 Reservas de mineral.** Al 31 de diciembre del 2023, la empresa minera Amapola 5 S.A.C., tiene entre mineral probado y probable la cantidad de 696,107 T.M., de mineral con una ley promedio de Pb: 6.88%, Ag oz/t c: 24.50, Zn: 10.95 % y Cu: 0.70 %.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Geomecánica**

La geomecánica es una ciencia teórica y aplicada que se ocupa del estudio del comportamiento mecánico de todos los materiales geológicos, abarcando tanto el suelo como las rocas. Es una rama de la ingeniería geotécnica y se basa en principios de la mecánica y la geología para analizar y resolver problemas relacionados con la interacción entre las estructuras y el subsuelo.

La geomecánica surgió como respuesta a la necesidad de comprender y predecir el comportamiento del terreno en proyectos de ingeniería civil y minería. Con el tiempo, ha evolucionado para incorporar técnicas avanzadas de modelado y análisis. Los desafíos actuales en geomecánica incluyen la predicción de fenómenos complejos como deslizamientos de tierra y el manejo de riesgos geotécnicos en condiciones extremas.

La geomecánica utiliza una variedad de técnicas experimentales y computacionales para modelar el comportamiento del terreno. Esto incluye pruebas de campo y laboratorio, así como software especializado para simulación numérica.

Incluye dos áreas principales: la mecánica de suelos, que se ocupa del estudio de las propiedades y comportamiento del suelo, incluyendo su resistencia, deformabilidad y estabilidad, y la mecánica de rocas, que se centra en el análisis de las características de los materiales rocosos, como su resistencia, fracturación y respuesta a cargas externas.

Ambas disciplinas son aplicadas en varios campos, como la ingeniería petrolera, en el diseño y la construcción de estructuras civiles, cimientos, túneles, presas y otras estructuras que interactúan con el terreno; en la minería para la exploración y explotación

de recursos minerales ayudando a diseñar excavaciones seguras y eficientes para optimizar su extracción.

### **2.2.2 Mecánica de Rocas**

La mecánica de rocas es una ciencia teórica y aplicada que se ocupa del estudio del comportamiento mecánico de las rocas y los macizos rocosos. Se considera una rama de la geomecánica y es esencial para comprender cómo las rocas responden a las fuerzas de su entorno, ya sean naturales o inducidas por actividades humanas.

La mecánica de rocas surgió como una disciplina independiente en la década de 1950, dos décadas después de la mecánica de suelos. Su desarrollo fue impulsado por la necesidad de comprender mejor las propiedades ingenieriles de las rocas en proyectos de construcción como puentes, edificios y túneles.

El conocimiento preciso de las propiedades específicas de las rocas es fundamental para llevar a cabo cualquier estudio que involucre la mecánica de rocas. Existen diversas propiedades en materia de mecánica de rocas, las cuales pueden ser analizadas mediante diferentes métodos y técnicas. Algunas propiedades pueden ser observadas directamente en el campo, mientras que otras requieren un análisis exhaustivo en el laboratorio.

En la mecánica de rocas, existen diferentes propiedades de importancia, clasificadas en propiedades físicas, químicas y mecánicas. Las propiedades físicas están relacionadas con características tales como densidad, porosidad, permeabilidad y dureza, entre otras que están asociadas a los aspectos geológicos y la génesis de las rocas. Por otro lado, las propiedades químicas implican las reacciones que las rocas pueden tener con otros compuestos, como las sales. Las propiedades mecánicas de las rocas incluyen características como deformabilidad, resistencia y velocidad o tiempo de propagación de ondas sonoras. Estas propiedades son esenciales para comprender el comportamiento de las rocas bajo cargas y tensiones, así como para evaluar su estabilidad y resistencia.

Los desafíos actuales en la mecánica de rocas incluyen la predicción precisa de la respuesta de las rocas a condiciones extremas y el desarrollo de métodos más eficientes

para la evaluación de la estabilidad de taludes, excavaciones y actividades de minado. Con el avance de la tecnología y la investigación, la mecánica de rocas continuará evolucionando y desempeñando un papel crucial en la ingeniería.

### **2.2.3 Caracterización geomecánica del macizo rocoso**

La caracterización geomecánica es un proceso integral en la ingeniería geotécnica que implica la evaluación detallada de las propiedades mecánicas y estructurales de los macizos rocosos y suelos. Su objetivo es comprender cómo estos materiales interactúan con las fuerzas naturales y las inducidas por las actividades humanas, especialmente en el contexto de la minería, la construcción civil y la exploración de hidrocarburos.

Antes de realizar una caracterización geomecánica, es crucial entender las propiedades del macizo rocoso, incluyendo la composición mineral, la presencia de discontinuidades, y las propiedades mecánicas de las rocas y las juntas.

**2.2.3.1 Macizo rocoso.** Un macizo rocoso es una formación geológica compuesta por un conjunto de rocas que comparten ciertas características estructurales, litológicas y geomorfológicas específicas. Los macizos rocosos ocurren en la naturaleza y medio ambientes geológicos afectados por planos de discontinuidad (discontinuidades) o planos de debilidad que separan a los bloques de matriz rocosa, ambos conjuntos la matriz rocosa y discontinuidades forman el macizo rocoso. Con respecto a su tamaño y forma, un macizo rocoso puede variar desde pequeños afloramientos hasta grandes cadenas montañosas.

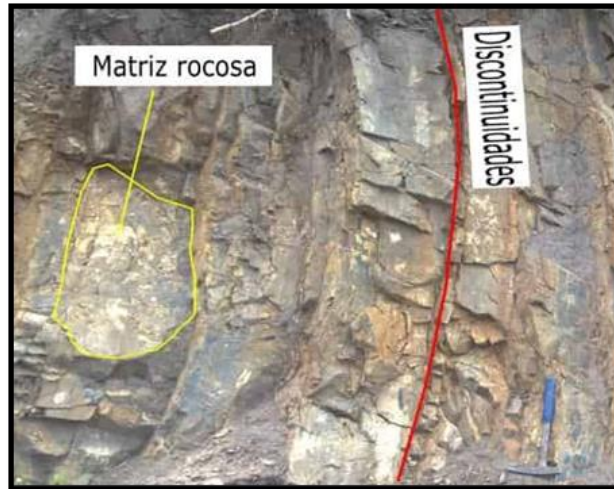
Un macizo rocoso es un medio discontinuo, anisótropo y heterogéneo conformado en conjunto tanto por bloques de matriz rocosa y distintos tipos de discontinuidades que afectan al medio rocoso, mecánicamente los macizos rocosos pueden considerarse que presentan resistencia a la tracción nula.

El conjunto de discontinuidades y bloques de matriz gobiernan el comportamiento mecánico global del macizo rocoso, es así que, para el estudio del comportamiento mecánico del macizo rocoso se debe analizar las propiedades de la matriz rocosa y de las discontinuidades.

El estudio de los macizos rocosos es indispensable en la mecánica de rocas.

### Figura 9

*Macizo rocoso, matriz rocosa, discontinuidades*



Fuente [https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/macizo-rocoso/#Tipos\\_de\\_discontinuidades\\_geologicas](https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/macizo-rocoso/#Tipos_de_discontinuidades_geologicas).

### **Anisotropía**

La característica de anisotropía ocurre por la presencia de discontinuidades (planos de debilidad) con orientación preferencial (estratificación, clivaje, foliación, laminación, familias de diaclasas tectónicas), las discontinuidades generan diferente comportamiento mecánico en el macizo rocoso en función de la dirección considerada (rumbo, buzamiento).

Además, la orientación de los esfuerzos que afectan el material rocoso puede acarrear anisotropía asociada al estado tensional.

### **Discontinuidades**

Son las discontinuidades geológicas (superficies de estratificación, juntas, fallas, diques, etc.) las que cambian la continuidad de las propiedades mecánicas de los bloques rocosos, lo que confiere al macizo rocoso un comportamiento geomecánico e hidráulico discontinuo.

Es la naturaleza (origen y tipo), frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad, la que causa variaciones en las propiedades mecánicas de los macizos rocosos.



## **Heterogeneidad**

La heterogeneidad que se presenta en el macizo rocoso se relaciona a la variabilidad de propiedades físicas y mecánicas en distintas zonas del macizo rocoso controlado por cambios de la matriz rocosa y las discontinuidades geológicas (discontinuidades de las rocas).

Los cambios en la matriz rocosa pueden ser debido a cambios litológicos, grado de alteración, grado de meteorización, contenido de agua, etc., generando propiedades mecánicas diferentes.

**2.2.3.2 Matriz rocosa.** La matriz rocosa se refiere al material rocoso intacto que se encuentra entre las discontinuidades de un macizo rocoso. A pesar de que se considera continua, la matriz rocosa presenta un comportamiento heterogéneo y anisótropo, lo cual está relacionado con su estructura interna y su composición mineral.

Considerar a la matriz rocosa en el diseño y análisis geotécnico, tiene mucha importancia porque:

- **Determina las propiedades mecánicas:** La matriz rocosa define las propiedades mecánicas básicas del macizo rocoso, como la resistencia a la compresión y la deformabilidad, que son cruciales para el diseño estructural.
- **Influye en el comportamiento del macizo:** La matriz rocosa, junto con las discontinuidades, gobierna el comportamiento mecánico global del macizo rocoso. Esto afecta la estabilidad y la seguridad de las estructuras geotécnicas.
- **Afecta la anisotropía y heterogeneidad:** La matriz rocosa contribuye a la anisotropía y heterogeneidad del macizo rocoso, lo que significa que las propiedades mecánicas pueden variar en diferentes direcciones y ubicaciones.
- **Esencial para modelos predictivos:** Los modelos numéricos y analíticos utilizados en geotecnia dependen de una caracterización precisa de la matriz rocosa para predecir el comportamiento de las rocas bajo cargas naturales o inducidas.

- Impacta en la evaluación de riesgos: La matriz rocosa juega un papel importante en la evaluación de riesgos geotécnicos, como deslizamientos de rocas o colapsos de túneles, que son aspectos críticos en la planificación de proyectos de ingeniería.

Por estas razones, comprender al detalle a la matriz rocosa es vital para cualquier análisis geotécnico y para garantizar la integridad y longevidad de las obras de ingeniería.

**2.2.3.3 Discontinuidad de las rocas.** Las discontinuidades geológicas o discontinuidades de las rocas constituyen planos de debilidad (planos de estratificación, foliación, diaclasas, clivaje, orientación de minerales, etc.) que controlan, el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos, porque condicionan el mecanismo de deformación y rotura ante los esfuerzos.

Las discontinuidades que ocurren en los macizos rocosos son planos de debilidad que pueden tener origen mecánico o tectónico (diaclasas tectónicas), sedimentario (planos de estratificación), enfriamiento de rocas (diaclasas de enfriamiento) y metamórfico (foliación), las discontinuidades independizan los bloques de matriz rocosa.

Generalmente la resistencia a la tracción de los planos de discontinuidad es muy baja o nula, es así que, su comportamiento mecánico es caracterizado por su resistencia al corte o, en su caso, por la del material de relleno

#### **Tipos de discontinuidades geológicas:**

- **Diaclasas o juntas**

Son los planos de discontinuidad más frecuentes que se forman en los macizos rocosos, su origen puede ser de tres formas: por tectonismo (origen tectónico), por enfriamiento del cuerpo ígneo, y por reducción de la carga litostática.

Las diaclasas de origen tectónico, suelen estar asociadas al plegamiento de las rocas (sedimentarias principalmente) y a la acción de fallas geológicas sobre cualquier tipo de roca. Las diaclasas asociadas a fallas suelen ser paralelas a las fallas, mientras que las diaclasas que se forman en plegamientos suelen ser perpendiculares a los esfuerzos tectónicos.

Las diaclasas de enfriamiento o que se forman por el enfriamiento de los cuerpos ígneos, se forman antes o después del emplazamiento del cuerpo, suelen ser ortogonales entre sí, un ejemplo típico son las estructuras columnares de los flujos de lava.

Las diaclasas que se forman por la reducción de la carga litostática suelen ser paralelas a la superficie topográfica y la frecuencia con la que ocurren disminuye a profundidad.

- **Planos de estratificación**

Son los planos relacionados a la depositación de los sedimentos en las rocas sedimentarias, suelen tener un espaciado sistemático que varía entre pocos centímetros a varios metros.

- **Fallas geológicas**

Son planos de origen tectónico que afectan las rocas, suelen causar movimiento relativo entre los bloques que componen el macizo rocoso.

- **Esquistosidad o foliación**

Son planos o discontinuidades que se forman principalmente por tectonismo intenso, y se asocian a la estructura interna de las rocas metamórficas (esquistos, Gneis).

**2.2.3.4 Caracterización de macizos rocosos.** La caracterización de macizos rocosos es un análisis detallado y descriptivo que se realiza in situ, y que, proporciona información para entender las propiedades geomecánicas y geológicas de los macizos rocosos, en un área determinada.

Este análisis es fundamental en proyectos de ingeniería geotécnica y minera, ya que es base para predecir y gestionar el comportamiento de las rocas ante cargas o esfuerzos aplicados durante la construcción o la explotación de recursos naturales.

El conjunto de discontinuidades y bloques de matriz rocosa gobiernan el comportamiento mecánico global del macizo rocoso. Por lo tanto, el estudio del comportamiento mecánico del macizo rocoso incluye la descripción de la matriz rocosa, la

descripción de las discontinuidades del macizo rocoso (discontinuidades geológicas), y la descripción de los parámetros del macizo rocoso.

**2.2.3.4.1 Descripción de la matriz rocosa.** La descripción de la matriz rocosa incluye:

- Identificación litológica de la matriz rocosa
- Grado de meteorización de la matriz rocosa
- Resistencia de la matriz rocosa

#### **Identificación de la matriz rocosa**

La matriz rocosa es la roca intacta o bloque de roca ubicado entre las discontinuidades, en la descripción de macizos rocosos es de vital importancia la identificación de la litología correspondiente a la matriz rocosa.

La matriz rocosa puede estar representada por los tres tipos de rocas que se conocen en geología, es decir, rocas ígneas, rocas sedimentarias o rocas metamórficas.

Las observaciones más prácticas para llevar a cabo esta identificación son:

- Composición mineralógica: esta permite clasificar litológicamente la roca, es decir, describe los minerales que la componen.
- Forma y tamaño de grano: se refiere a las dimensiones promedio de los minerales o fragmentos de roca que conforman la roca intacta.
- Color: el color de la roca depende de los minerales que la componen. Una roca se considera sana cuando no ha experimentado procesos de alteración y conserva su color original y característico. Las variaciones en la coloración de la roca indican que el material rocoso ha experimentado procesos de meteorización.
- Dureza: esta propiedad está directamente relacionada con la resistencia de la roca y depende tanto de su composición mineralógica como del grado de alteración que haya experimentado.

#### **Meteorización de la matriz rocosa**

La meteorización de la matriz rocosa es condicionada por factores ambientales que generan procesos físicos y químicos que afectan al macizo rocoso en general, mientras

mayor sea la meteorización ocurre aumento de la porosidad, permeabilidad y deformabilidad del material rocoso, al mismo tiempo que disminuye su resistencia.

**Tabla 5**

*Grado de meteorización de la matriz rocosa.*

<b>Grado de meteorización de la matriz rocosa</b>	
<b>Término</b>	<b>Descripción</b>
<b>Fresca</b>	No se observan signos de meteorización en la matriz rocosa
<b>Decolorada</b>	Se observan cambios en el color original de la matriz rocosa. Es conveniente indicar el grado de cambio. Si se observa que el cambio de color se restringe a uno o algunos minerales se debe mencionar.
<b>Desintegrada</b>	La roca se ha alterado a un estado de suelo, manteniéndose la fábrica original. La roca es friable, pero los granos minerales no están descompuestos.
<b>Descompuesta</b>	La roca se ha alterado al estado de un suelo, algunos o todos los minerales están descompuestos

### **Resistencia de la matriz rocosa**

La resistencia de la matriz rocosa se puede estimar mediante ensayos de campo in situ como el ensayo de carga puntual (PLT) o el martillo Schmidt, que se pueden correlacionar con la resistencia a la compresión simple y esta a su vez define si el macizo rocoso es entre muy blando a extremadamente duro.

También se puede estimar la resistencia de la masa rocosa con el martillo de geólogo de la siguiente manera:

- Resistencia muy alta : se astilla con varios golpes (suele salir chispas).
- Resistencia alta : se astilla con 3 golpes.
- Resistencia media : se rompe con 1 a 3 golpes.
- Resistencia baja : se identa superficialmente con un solo golpe o con la punta del martillo.
- Resistencia muy baja: se identa profundamente con la punta del martillo.

**2.2.3.4.2 Descripción de las discontinuidades del macizo rocoso.** La descripción de las discontinuidades del macizo rocoso incluye:

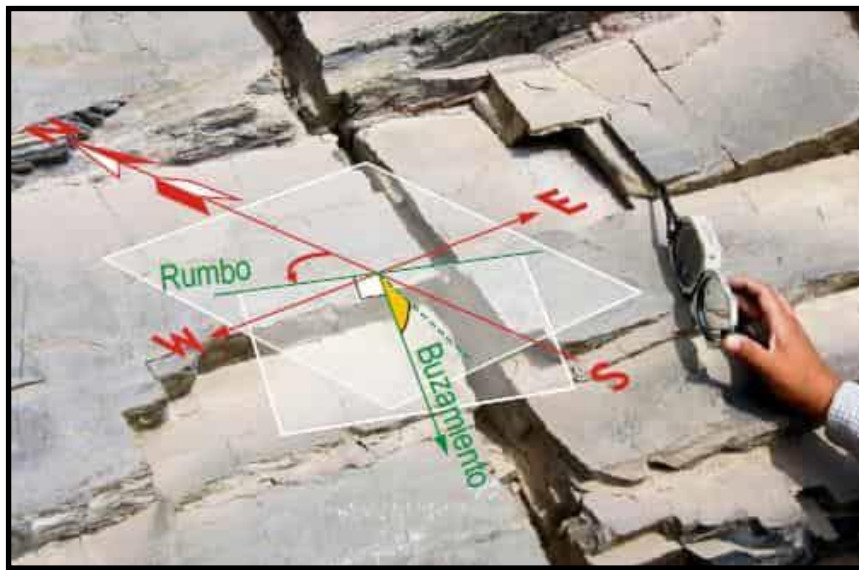
- Orientación
- Espaciado
- Continuidad o persistencia

- Rugosidad
- Resistencia de las paredes de la discontinuidad
- Abertura
- Relleno
- Filtraciones
- **Orientación**

La orientación de las discontinuidades se mide o define por su rumbo y buzamiento y corresponde a la posición espacial de los planos de debilidad (juntas, diaclasas, fallas, estratificación, etc.), es así que, cuando un grupo de discontinuidades presentan similitudes o son paralelas entre sí, se dice que son familias de discontinuidades.

### Figura 10

*Orientación de las discontinuidades*



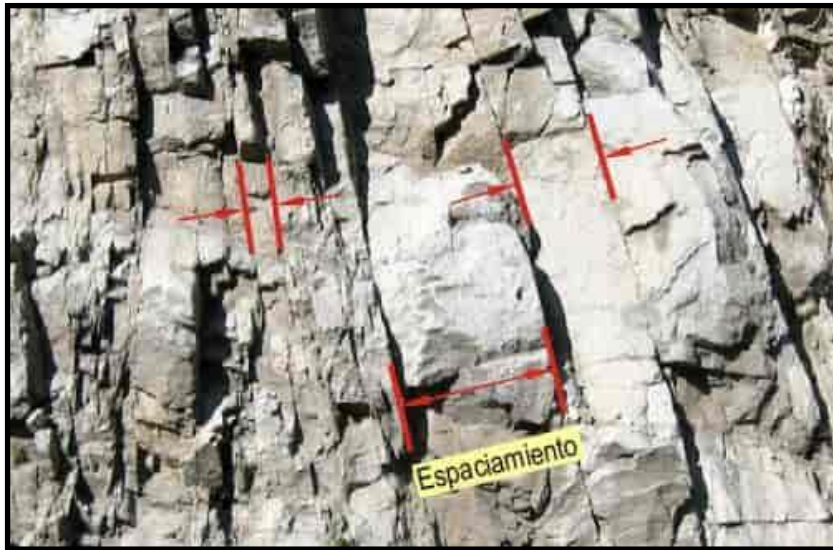
Fuente: [https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/macizo-rocoso/#Tipos\\_de\\_discontinuidades\\_geologicas](https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/macizo-rocoso/#Tipos_de_discontinuidades_geologicas)

- **Espaciado**

El espaciado corresponde a la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes, es así que, entre menos espaciado los bloques de matriz rocosa (roca intacta) serán más pequeños y entre más espaciado, los bloques de matriz rocosa serán más grandes.

## Figura 11

### *Espaciamiento de las discontinuidades*



Fuente: [https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/macizo-rocoso/#Tipos\\_de\\_discontinuidades\\_geologicas](https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/macizo-rocoso/#Tipos_de_discontinuidades_geologicas)

- **Persistencia o continuidad**

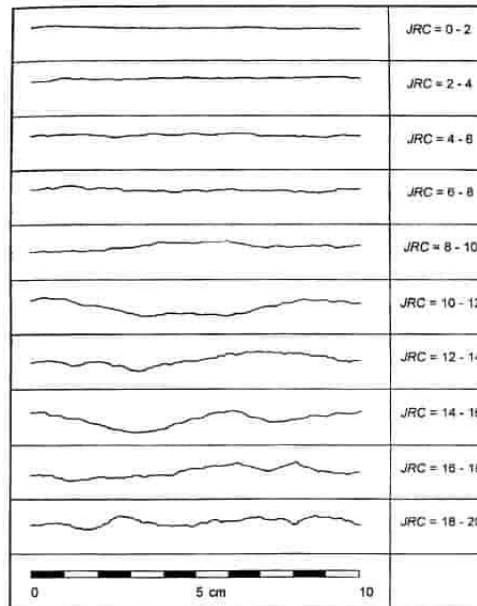
La persistencia o continuidad corresponde a la extensión en área o tamaño de una discontinuidad en el macizo rocoso, es así que cuanto menor sea la persistencia, la estabilidad de la masa rocosa es mayor y si la persistencia es mayor, la estabilidad del macizo rocoso es menor.

- **Rugosidad**

La rugosidad corresponde a la aspereza o irregularidad que ocurre en la superficie de las discontinuidades, es así que, entre menor rugosidad tenga una discontinuidad, la competencia del macizo rocoso es menor y entre mayor rugosidad tenga la discontinuidad, la competencia del macizo rocoso es mayor.

## Figura 12

### Rugosidad de las discontinuidades



Fuente: [https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/macizo-rocoso/#Tipos\\_de\\_discontinuidades\\_geologicas](https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/macizo-rocoso/#Tipos_de_discontinuidades_geologicas)

#### ▪ Abertura o apertura

La abertura o apertura corresponde a la separación que existe entre las paredes o superficies rocosas de una discontinuidad, es así que, a menor abertura, la estabilidad y condición del macizo rocoso será mayor y a mayor abertura, la estabilidad y condición del macizo rocoso será menor.

#### ▪ Relleno

El relleno corresponde a los materiales que se alojan en los espacios de las discontinuidades, es así que, cuando los materiales de relleno son suaves (arcillas), la competencia del macizo rocoso es menor y cuando el relleno consiste de materiales duros (sílice), la competencia del macizo rocoso es mayor.

**2.2.3.4.3 Descripción de los parámetros de los macizos rocosos.** La descripción de los parámetros de los macizos rocosos incluye:

- El número y orientación de familias de discontinuidades
- El tamaño de bloque y grado de facturación
- Grado de meteorización



### **Número y orientación de familias de discontinuidades**

El número o cantidad de familias de discontinuidades condiciona la intensidad de fracturación y el tamaño de los bloques de matriz rocosa, por lo tanto; influye en el comportamiento mecánico general del macizo rocoso, es así que debe reconocerse las familias de discontinuidades principales.

Para reconocer las familias de discontinuidades, se toma en cuenta desde la familia principal a la menos relevante, es así que, la familia principal será la que esté presente en mayor porcentaje en el macizo y será la más fácil de reconocer.

### **Grado de fracturación del macizo rocoso**

El grado de facturación del macizo rocoso es condicionado por la cantidad de familias de discontinuidades presentes y el espaciado que tengan entre las mismas, es así que, el tamaño de la matriz rocosa es menor a mayor número de familias de discontinuidades.

### **Grado de meteorización del macizo rocoso**

El grado de meteorización responde a factores medioambientales y procesos físicos, químicos y biológicos que descomponen la masa rocosa in situ, la evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso se puede hacer directamente sobre el afloramiento.

#### ***2.2.4 Sistemas de Clasificación Geomecánica de Macizos Rocosos***

El macizo rocoso es un medio discontinuo, complejo, con un comportamiento geomecánico que debe ser considerado como un conjunto, y que puede ser estudiado y clasificado en función de su aptitud para distintas aplicaciones, a partir de observaciones realizadas en el campo y ensayos sencillos.

Los Sistemas de Clasificación Geomecánica de Macizos Rocosos son métodos utilizados en ingeniería geotécnica para evaluar la calidad y estabilidad de los macizos rocosos. Estos sistemas se basan en la observación directa y en ensayos sencillos para establecer índices de calidad que se relacionan con las necesidades de sostenimiento y con parámetros de resistencia y deformabilidad del macizo rocoso.

Las clasificaciones geomecánicas de rocas son un elemento fundamental en la caracterización de macizos rocosos ya sea mediante toma de datos de afloramientos o mediante sondeos con recuperación de testigo. Son fundamentales en estudios de túneles y taludes y permiten una clasificación rápida del macizo rocoso.

Algunos de los sistemas de clasificación geomecánica de macizos rocosos más utilizados son:

**2.2.4.1 Clasificación geomecánica RMR(Bieniawski).** La clasificación geomecánica RMR (Rock Mass Rating) o también llamada de Bieniawski por ser desarrollada por el profesor Z. T. Bieniawski en 1973 y actualizada en 1979 y 1989, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite relacionar índices de calidad con parámetros de diseño y de sostenimiento de túneles. La clasificación geomecánica RMR permite obtener un índice de calidad del macizo rocoso a partir de resistencia de la roca intacta, grado de fracturación y diaclasado de las discontinuidades del macizo, presencia de agua y la orientación de las discontinuidades respecto al elemento de estudio: túnel, talud o cimentación.

El índice RMR va desde 15 hasta 100 puntos a partir de los cuales el macizo rocoso puede clasificarse en 5 categorías.

Los parámetros geomecánicos que influyen en el índice RMR son:

- **RQD**

Valora el grado de fracturación del macizo según el universalmente conocido RQD desde 3 puntos para un valor de RQD inferior al 25% hasta 20 puntos para un valor de RQD superior al 90%.

**Tabla 6**

*Parámetro RQD*

RQD	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%
<b>Puntuación</b>	20	17	13	6	3

*Nota:* Fuente Bhawani y R.K. 2011

- **Resistencia de la matriz rocosa**

Se mide a partir del ensayo de rotura a compresión simple de testigos de rocas o a partir del ensayo de carga puntual. La puntuación va desde 0 hasta 15 puntos dependiendo de la resistencia de la roca.

**Tabla 7**

*Resistencia de la matriz rocosa (MPa)*

Descripción	Resistencia a la	Ensayo de carga	Puntuación
	Compresión simple (Mpa)	Puntual (Mpa)	
<b>Extremadamente dura</b>	>250	>10	15
<b>Muy dura</b>	250-100	10-4	12
<b>Dura</b>	100-50	4-2	7
<b>Moderadamente Dura</b>	50-25	2-1	4
<b>Blanda</b>	25-5		2
	5-1	< 1	1
<b>Muy blanda</b>	< 1		0

- **Separación entre diaclasas**

Como bien dice el enunciado puntúa el espaciamiento entre discontinuidades. La puntuación alcanza valores de 20 puntos para diaclasas separadas más de 2 m y un valor mínimo de 5 para diaclasas espaciadas menos de 6 cm.

**Tabla 8**

*Separación de diaclasas*

Separación entre diaclasas	>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	< 0,06 m
Puntuación	20	15	10	8	5

- **Estado de las diaclasas**

Permite puntuar el estado de las diaclasas a través de persistencia o longitud de las discontinuidades, abertura, rugosidad, presencia de relleno y alteración de las juntas. El valor máximo es de 20 puntos mientras que el mínimo es de 0 puntos.

**Tabla 9***Longitud de las discontinuidades*

Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
Puntuación	6	4	2	1	0
Abertura	Nada		0.1-1mm	1-5mm	>5mm
Puntuación	6	5	3	1	0
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
Puntuación	6	5	3	1	0
Relleno	Ninguno	Relleno duro	Relleno duro >5mm	Relleno blando	Relleno blando >5mm
Puntuación	6	4	2	2	0
Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
Puntuación	6	5	3	1	0

- **Presencia de agua freática**

Mide las filtraciones de agua en el macizo, el flujo de agua y la humedad presente en las discontinuidades. La puntuación alcanza un valor de 15 para un macizo rocoso seco y un valor de 0 para cuando el agua está fluyendo entre las juntas con un caudal superior a 125 l/min o la relación presión de agua/tensión principal mayor es superior a 0,5.

**Tabla 10***Presencia de agua*

Caudal por 10m del túnel	Nulo	10 L/min	10-25 L/min	25-125 L/min	>125 L/min
Relación: Presión de agua/tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
Estado general	Seco	Ligeramente seco	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
Puntuación	15	10	7	4	0

- **Corrección por la orientación de las discontinuidades**

Permite corregir el índice RMR mediante la orientación de las principales discontinuidades en el macizo respecto a la orientación de la excavación. La valoración de este parámetro fluctúa, desde orientaciones “muy favorables”, hasta orientaciones “muy desfavorables” y cuyas puntuaciones dependen de si se trata de un túnel con valores comprendidos entre 0 y -12, un talud con valores comprendidos entre 0 y -60 y una cimentación con valores comprendidos entre 0 y -25.

**Tabla 11***Corrección por la orientación de las discontinuidades*

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

Para realizar la clasificación RMR, primeramente, se zonifica al macizo rocoso en tramos que tengan características geológicas similares o uniformes.

Se realiza la recolección de los datos y medidas correspondientes a la tabla de clasificación geomecánica referentes a las propiedades y caracterización del macizo rocoso (matriz rocosa y discontinuidades).

A continuación, se obtienen las puntuaciones que resultan de la aplicación de los cinco parámetros de clasificación, se ejecuta la corrección por orientación de discontinuidades y finalmente se obtiene un valor numérico que sirve para clasificar el macizo rocoso. Por ejemplo, un macizo rocoso Clase I será clasificado como Muy Bueno, ya que es un macizo rocoso duro, poco fracturado, sin filtraciones notorias y leve o poco meteorizado, representa muy pocos problemas frente a su estabilidad y resistencia, por lo tanto, se deduce que tendrá una capacidad portante alta, y no será necesario implementar medidas de sostenimiento y refuerzo en túneles.

**Tabla 12***Clasificación RMR*

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy Buena	Buena	Media	Mala	Muy Mala
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	<20

**Tabla 13***Características geotécnicas*

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

**Tabla 14***Orientación de las discontinuidades en el túnel*

Dirección perpendicular al eje de la obra				Dirección paralela al Eje de la obra		Buzamiento 0°-20°. Cualquier dirección
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento		Buzamiento 45°-90°	Buzamiento 20°-45°	
Buzamiento 45-90	Buzamiento 20°-45°	Buzamiento 45°-90°	Buzamiento 20°-45°	Buzamiento 45°-90°	Buzamiento 20°-45°	
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable

**Tabla 15***Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR*

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

Nota: Fuente, Bhawani y R.K., 2011, p.51

**2.2.4.2 Clasificación geomecánica Q(Barton).** La clasificación Q fue desarrollada por Barton, Lien y Lunde en 1974 a partir de un estudio empírico de un gran número de túneles. Esta clasificación permite estimar parámetros geotécnicos del macizo y diseñar sostenimientos para túneles y cavernas subterráneas. El índice Q se basa en seis parámetros que indican el tamaño de los bloques, la resistencia a corte entre los bloques y la influencia del estado tensional:

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

Los tres términos de la expresión de la Q de Barton representan lo siguiente:

- **(RQD/Jn):** Tamaño de los bloques.
- **(Jr/Ja):** la resistencia al corte entre los bloques.
- **(Jw/SRF):** influencia del estado tensional.

A partir de la puntuación obtenida en cada bloque podremos conocer que término tiene mayor o menor peso en la evaluación del índice Q y por tanto su influencia en la calidad del macizo rocoso.

Donde:

- RQD : índice de calidad de la roca (Rock Quality Designation).
- Jn : índice de diaclasado, que indica el grado de fracturación del macizo rocoso.
- Jr : índice de rugosidad de las discontinuidades o juntas.
- Ja : índice que indica la alteración de las discontinuidades.
- Jw : coeficiente reductor por la presencia de agua.
- SRF : coeficiente que tiene en cuenta la influencia del estado tensional del macizo rocoso (Stress Reduction Factor).

El índice Q varía entre 0,001 y 1.000, correspondiendo los valores bajos a rocas malas y los altos a las rocas buenas.

- **RQD:**

Se trata de un índice para medir el grado de un macizo rocoso a partir de testigos de sondeo y puede determinarse como la sumatoria de trozos de roca intacta de más de 10 cm. de longitud divididos por la longitud total del tramo.

Se mide en porcentaje y los valores inferiores al 25% nos indican un macizo muy fracturado y de una calidad muy mala mientras que, en el otro extremo, los valores de RQD superiores al 90% nos indican un macizo rocoso nada o muy poco fracturado y por tanto de calidad excelente.

**Tabla 16***RQD*

Parámetro de la clasificación		
	Calidad de testigo	RQD (%)
<b>A</b>	Muy mala	0-25
<b>B</b>	Mala	25-50
<b>C</b>	Media	50-75
<b>D</b>	Buena	75-90
<b>E</b>	Excelente	90-100

Nota: (i) Cuando se obtienen valores RQD inferiores o iguales a 10, se toma un valor de 10 para calcular el índice Q. (ii) Los índices de 5 unidades para el RQD, es decir, 100, 95, 90, etc. Tienen suficiente precisión.

- **Jn:**

Es el índice de diaclasado. De forma similar el RQD, nos indica el grado de fracturación del macizo rocoso. Presenta unos valores comprendidos entre 0,5 y 20.

**Tabla 17***Diaclasado*

	Índice de diaclasado	Jn
<b>A</b>	Roca masiva, sin diaclarar o con fisuración escasa	0.5-1.0
<b>B</b>	Una familia de diaclasas	2
<b>C</b>	Una familia y algunas diaclasas aleatorias	3
<b>D</b>	Dos familias de diaclasas	4
<b>E</b>	Dos familias y algunas diaclasas aleatorias	6
<b>F</b>	Tres familias de diaclasas	9
<b>G</b>	Tres familias y algunas diaclasas aleatorias	12
<b>H</b>	Cuatro o más familias, diaclasas aleatorias, roca muy fracturada, roca en terrones, etc.	15
<b>I</b>	Roca triturada, terrosa	20

Nota: (i) En las intersecciones de túneles se utiliza la expresión (3Jn). (ii) En las bocas de los túneles se utiliza la expresión (2Jn).

- **Jr:**

Es el índice de rugosidad de las discontinuidades o juntas. Contiene 9 clasificaciones, en dos grupos: las diaclasas que están en contacto ante un desplazamiento inferior a 10 cm y aquellas que no estarán en contacto ante desplazamientos cortantes.



**Tabla18***Rugosidad*

Índice de rugosidad		Jr
<b>a) Contacto entre las dos caras de la discontinuidad</b>		
<b>b) Contacto entre las dos caras de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm.</b>		
<b>A</b>	Diaclasas discontinuas.	4
<b>B</b>	Diaclasas onduladas, rugosas o irregulares.	3
<b>C</b>	Diaclasas onduladas, lisas.	2
<b>D</b>	Diaclasas onduladas, perfectamente lisas.	1.5
<b>E</b>	Diaclasas planas, rugosas o irregulares.	1.5
<b>F</b>	Diaclasas planas, lisas.	1
<b>G</b>	Diaclasas Planas, perfectamente lisas.	0.5
<i>Nota:</i> (i) Las descripciones se refieren a caracterizaciones a pequeña escala y escala intermedia, por este orden.		
<b>H</b>	Zona que contiene minerales arcillosos con un espesor suficiente para impedir el contacto de las caras de la discontinuidad.	1
<b>I</b>	Zona arenosa, de grava o triturada con un espesor suficiente para impedir el contacto entre las dos caras de la discontinuidad	1

*Nota:* (i) Si el espaciado de la principal familia de discontinuidades es superior a 3 m, se debe aumentar el índice Jr en una unidad. (ii) En el caso de diaclasas planas perfectamente lisas que presenten lineaciones, y que dichas lineaciones estén orientadas según la dirección de mínima resistencia se puede usar el valor de Jr=0,5

- **Ja:**

Es el índice de alteración de las discontinuidades. Mide las alteraciones de las juntas. Se distinguen tres grupos, dependiendo de, si están o no en contacto los planos de discontinuidad: a) contacto entre los planos de discontinuidad, b) contacto entre los planos de discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm y c) no existe contacto entre los planos de las juntas ante un desplazamiento.

Dentro de cada grupo hay varios campos en función del grado de alteración y presencia de minerales arcillosos cuyos valores extremos oscilan entre 0,75 para las discontinuidades cerradas, duras, sin reblandecimiento, impermeable, cuarzo y 20 para las discontinuidades abiertas con rellenos de arcilla gruesos.

**Tabla 19**

*Alteracion*

Índice de alteración		Ja
<b>a) Contacto entre los planos de la discontinuidad (sin minerales intermedios)</b>		
<b>A</b>	Discontinuidad cerrada, dura, sin reblandecimiento, impermeable, cuarzo	0.75
<b>B</b>	Planos de discontinuidad inalterado, superficies ligeramente manchadas	1.0
<b>C</b>	Planos de discontinuidad ligeramente alterados. Presenta minerales no reblandecibles partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcilla, etc.	2.0
<b>D</b>	Recubrimiento de arcillas limosas o arenosas. Fracción pequeña de arcilla (no blanda)	3.0
<b>E</b>	Recubrimiento de arcillas blandas o de baja fricción, es decir caolinita o mica. También clorita, talco, yeso, grafito, etc. Y pequeñas cantidades de arcillas expansivas	4.0
<b>b) Contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm (minerales de relleno en pequeños espesores)</b>		
<b>F</b>	Partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcilla, etc.	4.0
<b>G</b>	Fuertemente sobreconsolidados, con relleno de minerales arcillosos no blandos (continuos, pero de espesores inferiores a 5 mm)	6.0
<b>H</b>	Sobreconsolidación media a baja, con reblandecimiento, relleno de minerales arcillosos (continuos, pero de espesores inferiores a 5 mm)	8.0
<b>I</b>	Relleno de arcilla expansiva, es decir, montmorillonita (continuos, pero con espesores e inferiores a 5 mm). El valor de Ja depende del porcentaje de partículas con tamaños similares a los de las arcillas expansivas	8-12
<b>c) No se produce contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante (rellenos de mineral de gran espesor)</b>		
<b>J</b>	Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcillas (ver G, H y I para la descripción de las condiciones de las arcillas)	6-8
<b>K</b>		o
<b>L</b>		8-12
<b>M</b>	Zonas o bandas de arcillas limosas o arenas, con pequeñas fracciones de arcilla no reblandecible	5.0
<b>N</b>	Zonas o bandas continuas de arcilla, de espesor grueso (ver G, H y I para la descripción de las condiciones de las arcillas)	10-13
<b>O</b>		o
<b>P</b>		13-20

*Nota:* Los valores expresados para los parámetros Jr y Ja se aplican a las familias de diaclasas o discontinuidades que son menos favorables con relación a la estabilidad, tanto por la orientación de las mismas como por su resistencia al corte (esta resistencia puede evaluarse mediante la expresión:  $T \approx \sigma_{nt} g^{-1} (Jr/Ja)$ )

▪ **Jw:**

Factor de reducción por la presencia de agua. Se trata de un coeficiente que aminora el índice Q en función de la entrada de agua a la excavación. Alcanza un valor máximo de 1,0 para excavaciones secas o pequeñas surgencias y un valor mínimo de 0,05 para fluencias excepcionalmente altas o de presión elevada de carácter persistente (>10 kg/cm<sup>2</sup>)

**Tabla 20***Presencia de agua*

	<b>Factor de reducción por la presencia de agua</b>	<b>Presión de agua (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Jw</b>
<b>A</b>	Excavaciones secas o pequeñas afluencias, inferiores a 5 l/min, de forma localizada	< 1	1.0
<b>B</b>	Afluencia a presión media, con lavado ocasional de los rellenos de las discontinuidades	1-2.5	0.66
<b>C</b>	Afluencia importante o presión alta en rocas competentes con discontinuidad sin relleno	2.5-10	0.5
<b>D</b>	Afluencia importante o presión alta, produciéndose un lavado considerable de los rellenos de las diaclasas	2.5-10	0.33
<b>E</b>	Afluencia excepcionalmente alto o presión elevada en el momento de realizar las voladuras decreciendo con el tiempo	> 10	0.2-2.1
<b>F</b>	Afluencia excepcionalmente alta, o presión elevada de carácter persistente, sin disminución apreciable	> 10	0.1-0.05

*Nota:* (i) Los valores de las clases C, D, E, y F son meramente estimativos. Si se acometen medidas de drenaje, puede incrementarse el valor. (ii) No se han considerado los problemas especiales derivados de la formación de hielo

- **SRF:**

SRF significa Stress Reduction Factor en inglés y es un factor que evalúa el estado tensional del macizo rocoso. El valor fluctúa entre 0,5 y 400.

Se distinguen 4 grupos para evaluar el coeficiente SRF:

- zonas débiles que intersectan a la excavación pudiendo producirse desprendimientos de roca a medida que la excavación del túnel va avanzando.
- rocas competentes, problemas tensionales en las rocas.
- rocas deformables: flujo plástico de roca incompetente sometida a altas presiones litostáticas.
- rocas expansivas: actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua.

**Tabla 21**

*Valor SRF*

<b>a) Las zonas débiles intersectan a la excavación, pudiendo producirse desprendimientos de rocas a medida que la excavación del túnel va avanzando</b>		<b>SRF</b>
A	Múltiples zonas débiles, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca de contorno muy suelta.	10
B	Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación ≤ 50m)	5
C	Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación > 50m)	2.5
D	Múltiples zonas de fracturas en roca competente (libre de arcilla), roca de contorno suelta (a cualquier profundidad)	7.5
E	Zona de fractura aislada en roca competente (libre de arcillas) (profundidad de excavación ≤ 50 m)	5.0
F	Zona de fractura aislada en roca competente (libre de arcillas) (profundidad de excavación > 50 m)	2.5
G	Terreno suelto, diaclasas abiertas, fuertemente fracturadas, en terrones, etc. (a cualquier profundidad)	5.0
<i>Nota: (i) Se reducen los valores expresados del SRF entre un 20% -50% si las zonas de fracturas sólo ejercen ciertas influencias, pero no intersectan a la excavación</i>		
H	Tensiones pequeñas cerca de la superficie, diaclasa abierta	2.5
I	Tensiones medias, condiciones tensionales favorables	1.0
J	Tensiones elevadas, estructura muy compacta. Normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales	0.5-2
K	Lajamiento moderado de la roca después de 1 hora en rocas masivas	5-50
L	Lajamiento y estallido de la roca después de algunos minutos en roca masiva	50-200
M	Estallidos violentos de la roca (deformación explosiva) y deformaciones dinámicas inmediatas en rocas masivas	200-400
<i>Nota: (i) Si se comprueba la existencia de campos tensionales fuertemente anisotrópicos: cuando <math>5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10</math>, se disminuye el parámetro <math>\sigma_c</math> hasta <math>0,75 \sigma_c</math> si <math>\sigma_1/\sigma_3 &gt; 10</math>, se tomara el valor <math>0,5 \sigma_c</math>. Siendo <math>\sigma_c</math> la resistencia a compresión simple, <math>\sigma_1/\sigma_3</math> las tensiones principales mayores y menores y <math>\sigma_\theta</math> la tensión tangencial máxima, estimada a partir de la teoría de la elasticidad. (ii) En los casos en que la profundidad de la clave del túnel es menor que la anchura de la excavación, se sugiere aumentar el valor del factor SRF entre 2,5 y 5 unidades (véase clase H)</i>		
<b>b) Rocas competentes, problemas tensionales en las rocas</b>		<b>SRF</b>
N	Presión de deformación baja	5-10
O	Presión de deformación alta	10-20
<i>Nota: (i) Los fenómenos de deformación o fluencia de roca suelen ocurrir a profundidades: <math>H &gt; 350 Q^{1/3}</math> (Singh et al. 1992). La resistencia a compresión del macizo rocoso puede estimarse mediante la expresión: <math>q \text{ (Mpa)} \approx 7 \cdot \gamma \cdot Q^{1/3}</math>, donde <math>\gamma</math> es la densidad de la roca en <math>g/cm^2</math> (Singh, 1993)</i>		
		<b>SRF</b>
P	Presión de expansión baja	5-10
Q	Presión de expansión alta	10-15

### **Correlación entre RMR y Q.**

Dada la implantación que tienen hoy en día los sistemas de clasificación de macizos rocosos RMR y Q, y su aplicación en gran cantidad de obras subterráneas con variadas condiciones de litologías, calidad de rocas, dimensiones o profundidad, se desarrollaron fórmulas comparativas de ambas clasificaciones.

El sistema desarrollado por Barton parece más completo, pero cabe decir que la orientación y el buzamiento de las discontinuidades no se tienen tan en cuenta como en el sistema RMR.

Desde su desarrollo en la década de los años 70, diferentes autores, en base a sus experiencias y estudios, desarrollaron fórmulas comparativas de las dos clasificaciones:

$RMR = 9 \ln Q + 44$	Bieniawski (1976)
$RMR = 13.5 \ln Q + 43$	Ruteledge (1978)
$RMR = 12.5 \ln Q + 55.2$	Moreno (1980)
$RMR = 10.53 \ln Q + 41.83$	Abad (1983)
$RMR = 15 \ln Q + 50$	Barton (1995)

#### **2.2.4.3 Clasificación geomecánica GSI (GEOLOGICAL STRENGTH INDEX).**

Hoek et al., (1995) presentó el índice de resistencia geológica, adicionalmente a su criterio generalizado de falla en roca, y como una forma de estimar los parámetros  $s$ , y  $m_b$  en el criterio, el GSI estima la reducción de la resistencia del macizo para diferentes condiciones geológicas. El GSI se ha actualizado para macizos débiles en varias ocasiones (1998, 2000 y 2001)

La caracterización del macizo rocoso es simple y está basada en la impresión visual de la estructura rocosa, en términos de bloques y de la condición superficial de las discontinuidades indicadas por la rugosidad y alteración de las juntas. La combinación de estos dos parámetros proporciona una base práctica para describir un rango amplio de tipos de macizos rocosos.

La determinación de los parámetros del GSI se basa en las descripciones de la calidad del macizo rocoso en lugar de formular datos de entrada cuantitativos como en los sistemas RMR, Q y RMI. El GSI es principalmente útil para macizos rocoso más blandos con RMR menor a 20.

### **Descripción de Parámetros**

A continuación, se describen los parámetros básicos utilizados de acuerdo a la Tabla Geomecánica GSI:

#### **Estructura**

La estructura de la masa rocosa considera el grado de fracturamiento o la cantidad de fracturas (discontinuidades) por metro lineal, según esto, las cinco categorías consideradas se definen así:

- Levemente Fracturada (LF)
- Fracturada (F)
- Muy Fracturada (MF)
- Intensamente fracturada (IF)

#### **Condición superficial**

La condición superficial de la masa rocosa involucra a la resistencia (ver Tabla 22) de la roca intacta y se determina utilizando un martillo o picota. Además, considera las propiedades de las discontinuidades: resistencia, apertura, rugosidad, relleno y la meteorización o alteración. Según esto, las cuatro categorías consideradas se definen así:

- Buena (B)
- Regular (R)
- Pobre (P)
- Muy pobre (MP)

**Tabla 22***Crterios para la Estimación de la Resistencia del Material*

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Identificación de terreno</b>	<b>Rango aproximado de resistencia a la compresión uniaxial (Mpa)</b>
<b>S1</b>	Arcilla Muy Blanda	Fácilmente penetrable varias pulgadas con el puño.	<0,025
<b>S2</b>	Arcilla Blanda	Fácilmente penetrable varias pulgadas con el pulgar.	0,025-0,05
<b>S3</b>	Arcilla Firme	Puede ser penetrada varias pulgadas con el pulgar, con esfuerzo moderado.	0,05-0,10
<b>S4</b>	Arcilla Rígida	Fácilmente marcada por el pulgar, solamente puede ser penetrada con gran esfuerzo.	0,10-0,25
<b>S5</b>	Arcilla Muy rígida	Fácilmente marcada por la uña.	0,25-0,50
<b>S6</b>	Arcilla Dura	Marcada con dificultad por la uña.	>0,50
<b>R0</b>	Roca Extremadamente Débil	Marcada por la uña.	0,25-1,0
<b>R1</b>	Roca Muy Débil	Se disgrega por un golpe fuerte de la punta del martillo geológico, puede ser escarbada por el cortaplumas.	1,0-5,0
<b>R2</b>	Roca Débil	Puede ser escarbada por el cortaplumas con dificultad, se deforma o disgrega por un fuerte golpe de la punta del martillo.	5,0-25
<b>R3</b>	Roca Medianamente Fuerte	No puede ser escarbada o disgregada por una corta plumas, la muestra se fractura con un solo golpe firme del martillo geológico.	25-50
<b>R4</b>	Roca Fuerte	La muestra requiere más de un golpe del martillo geológico para ser fracturada.	50-100
<b>R5</b>	Roca Muy Fuerte	La muestra requiere de muchos golpes del martillo geológico para ser fracturada.	100-250
<b>R6</b>	Roca Extremadamente Fuerte	La muestra solo puede ser astillada con el martillo geológico.	>250

Los grados S1 a S6 se aplican a suelos cohesivos, por ejemplo, arcillas, arcillas limosas, y combinaciones de limos y arcillas con arenas, generalmente de bajo drenaje. La resistencia de las paredes de las discontinuidades, o la matriz de la roca será por los grados R0-R6 mientras que S1-S6 (arcilla) serán generalmente aplicados a los rellenos “blandos” de las discontinuidades.

**Meteorización**

La meteorización es un proceso destructivo mediante el cual la roca experimenta cambios al estar expuesta a los agentes atmosféricos en o cerca de la superficie de la tierra. Este fenómeno implica tanto una desintegración física como una descomposición química de la roca. En relación a los yacimientos mineros, es importante destacar que la

alteración de la roca de origen hipógeno también puede degradarla en algunos casos. Por lo tanto, es posible cuantificar el grado de meteorización como una medida del proceso destructivo que la roca ha experimentado. La Tabla 23 presenta los diferentes grados de meteorización, que van desde una roca fresca hasta un suelo residual.

**Tabla 23**

*Grado de Meteorización ISRM (1981).*

<b>Término</b>	<b>Descripción</b>	<b>Grado</b>
<b>Roca Fresca</b>	No presenta signos visibles de meteorización en la roca: tal vez una leve decoloración en las superficies de las discontinuidades mayores.	I
<b>Levemente Meteorizada</b>	La decoloración indica meteorización de la roca y en las superficies de las discontinuidades. La roca en su totalidad puede estar decolorada por la meteorización y puede estar externamente algo más débil, que en su condición fresca.	II
<b>Moderadamente Meteorizada</b>	Menos de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La roca fresca o decolorada se puede presentar como colpas o testigos continuos.	III
<b>Muy Meteorizada</b>	Más de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La roca fresca o decolorada se puede presentar como colpas o testigos discontinuos.	IV
<b>Completamente Meteorizada</b>	Toda la roca está descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La estructura original del macizo aún se mantiene en gran parte intacta.	V
<b>Suelo Residual</b>	Toda la roca está convertida como suelo. La estructura del macizo y la fábrica del material están destruidas. Existe un gran cambio de volumen, sin embargo, el suelo no ha sido transportado significativamente.	VI

Este sistema de caracterización del grado de meteorización se puede aplicar tanto a cortes de taludes, afloramientos, y sondajes, la figura siguiente muestra un ejemplo de los grados de meteorización definidos en cajas de sondajes de diamantina.

**Figura 13**

*Grado de meteorización en tramos de sondajes de diamantina*



Fuente: <https://geotecniafacil.com/gsi-indice-resistencia-geologica/>.



## **Condición de Agua**

Se describe la condición de agua presente en la pared rocosa de acuerdo a lo recomendado en el sistema de clasificación RMR Bieniawski 1989:

- Completamente Seco
- Húmedo
- Mojado
- Goteo
- Flujo

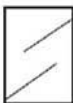





El GSI es utilizado para la estimación de los parámetros de entrada para el cálculo de la resistencia, solo es una relación empírica y los procesos asociados a las clasificaciones de la ingeniería de rocas.

La determinación del GSI se hace a partir de las tablas mostradas en la figura 14 y la figura 15 a las que se ingresa desde 2 puntos diferentes, uno horizontal: referente al tamaño y entramamiento de bloques, composición y estructura; el ingreso vertical es referente a las condiciones de las discontinuidades, se converge posteriormente en el valor del GSI dispuesto en las líneas diagonales.

La figura 16 presenta la relación del parámetro D con el macizo rocoso y el tipo de excavación, este parámetro es empleado por Hoek con el objetivo de considerar los daños ocasionados al macizo por voladura influencia de las voladuras.

**Figura 14**

*Caracterización del macizo rocoso en función de los bloques basado en el entramamiento y las condiciones de las juntas. Adaptada de Hoek (2006)*

INDICE DE ESFUERZO GEOLOGICO PARA ROCAS UNIDAS (HOEK & MARINOS, 2000)		CONDICIONES DE SUPERFICIE				
<p>Desde la litología, estructura y condiciones de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio del GSI. No intentar ser muy preciso. Un rango de 33 a 37 es mas real que tomar un GSI de 35. Note que la tabla no aplica a fallas controladas estructuralmente. Donde planos estructurales debiles estan presentes en una direccion desfavorable con respecto a la excavacion, estos dominaran el comportamiento del macizo rocoso. Las zonas de falla son propensas a la alteracion como resultado de cambios de humedad que puede reducirse cuando el agua esta presente. Cuando trabajamos en roca regular o mala calidad cambian las condiciones por el cambio de humedad. La presion del agua es tratada por analisis de esfuerzos efectivos.</p>		MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE
		Superficie muy rugosas, no meteorizadas, frescas	Superficies rugosas, ligeramente meteorizadas, manchadas con hierro	Superficies lisas, moderadamente meteorizadas y alteradas	Superficie con espejos de falla, alto grado de meteorizacion y rellenos compactos.	Superficie con espejos de falla, alto grado de meteorizacion y rellenos de arcillas suave.
ESTRUCTURA		DECRECE LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE →				
	INTACTA O MASIVA Rocas intactas o masivas in-situ, rocas con discontinuidades amplias y espaciadas	90			N/A	N/A
	FRACTURADA Macizo rocos con bloques enclavados, bloques cubicos formados tres intersecciones de sistemas de dicontinuidades	80	70			
	MUY FRACTURADA Macizo perturbado con bloques entabados y angulares formados por la interseccion de 4 o mas sistemas		60	50		
	FRACTURADA/PERTURBADA/SORDIDA Macizo plegado formado por bloques angulares productos de la interseccion de varios sistemas de discontinuidades. Persistencia de los planos de estratificacion			40	30	
	DISGREGADO Pobremente enclavado, macizo altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados				20	
	LAMINADA/FOLIADA Se carece de bloques debido al debil material en los planos de esquistocidad y cizalla	N/A	N/A			10

Fuente: <https://geotecniafacil.com/gsi-indice-resistencia-geologica/>

Figura 15

Estimación del GSI para macizos heterogéneos como flysch, Adaptada de Hoek (2006)

INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA MACIZOS ROCOSOS ESTRATIFICADOS HETEROGENEOS (Marinos & Hoek (2000))		CONDICION ESTRUCTURAS (PLANOS DE ESTRATIFICACION)	
En base a una descripción de la litología, la estructura del macizo y la condición de las estructuras (especialmente los planos de estratificación), seleccione una zona en la tabla. Ubique en esa zona la posición correspondiente a la condición de las estructuras y estime el valor medio de GSI. NO trate de ser demasiado preciso. De hecho, el considerar $33 \leq GSI \leq 37$ es más realista que suponer $GSI = 35$ . <b>Note que esta tabla NO es aplicable a problemas con control estructural.</b> Si hay estructuras desfavorablemente orientadas ellas controlarán el comportamiento del macizo rocoso. En aquellos casos en que la resistencia al corte de las estructuras podría ser afectada por la humedad, deberá considerarse la eventual presencia de agua. Esto puede hacerse "desplazando hacia la derecha" el rango estimado para GSI para condiciones regular, mala o muy mala de las estructuras. La presión del agua no se considera al evaluar el GSI (análisis en esfuerzos efectivos).		MUY BUENA Muy rugosas, superficies frescas o no Meteorizadas.	
COMPOSICION Y ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		BUENA Rugosas, superficies algo meteorizadas.	
		REGULAR Lisas, superficies moderadamente meteorizadas y lateradas.	
		MALA Muy lisas, ocasionalmente pulidas, con pátinas compactas o rellenos con fragmentos angulosos.	
		MUY MALA Muy lisas y pulidas o de superficies muy meteorizadas, y con pátinas o rellenos de arcilla blanda.	
	A. Estratos gruesos de arenisca de mucha blocosidad. El efecto de posibles pátinas pétricas en los planos de estratificación se ve minimizado por el confinamiento del macizo rocoso; sin embargo, en túneles poco profundos y/o taludes, estos planos de estratificación pueden generar inestabilidades controladas estructuralmente.	70	A
	B. Arenisca con lentes delgadas de limonita.	60	B, C, D, E
	C. Arenisca y limonita, en estratos de similar potencia.		
	D. Limonitas o esquistos limosos con estratos de arenisca.	50	F
	E. Limonitas débiles o esquistos arcillosos con estratos de arenisca.		
C, D, E y G: Pueden estar más o menos plegados que lo indicado, pero esto no altera su resistencia. Si presentan deformación tectónica, fallamientos y pérdidas de continuidad, cambie estas categorías a F y H.		40	30
	F. Esquistos limosos o arcillosos, deformados tectónicamente, muy plegados y Cizallados, con estratos de arenisca deformados y quebrados, definiendo una estructura casi caótica.	N/A	G, H
	G. Esquistos limosos o arcillosos no perturbados, con o sin intercalaciones de estratos delgados de arenisca.		
	H. Esquistos limosos o arcillosos, deformados tectónicamente, con una estructura caótica y bolsones de arcilla. Estratos delgados de arenisca quebrados en pequeños bloques de roca.		20
			10

→ Indica deformación por tectonismo.

Fuente: <https://geotecniafacil.com/gsi-indice-resistencia-geologica/>

Figura 16

Guía para estimar el factor de alteración D, Adaptada de Hoek (2006)

APARIENCIA DEL MACIZO ROCOSO	DESCRIPCION DEL MACIZO ROCOSO	VALOR SUGERIDO DE D
	Excelente calidad por voladura controlada o excavación con tuneladora, TBM, resultando en la perturbación mínima del macizo alrededor del túnel	D=0
	Excavación mecánica o manual en macizo de mala calidad (sin voladura) resultando en la mínima perturbación en el macizo rocoso circundante Cuando se presentan problemas de fluencia con significantes movimientos en el piso, la perturbación puede ser severa a menos que una solera temporal o contrabóveda se instalada, como muestra la fotografía.	D=0 D=5 sin solera
	Voladura de muy mala calidad en un túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2-3m en el macizo circundante.	D=0,8
	Pequeñas voladuras en taludes de ingeniería civil dan lugar a pequeños daños en el macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía	D=0,7; buena voladura. D=1 pobre voladura
	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 cavo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor	D=1; voladura de producción D=0,7; excavación mecánica.

Fuente: el criterio de rotura de Hoek-Brown edición 2002

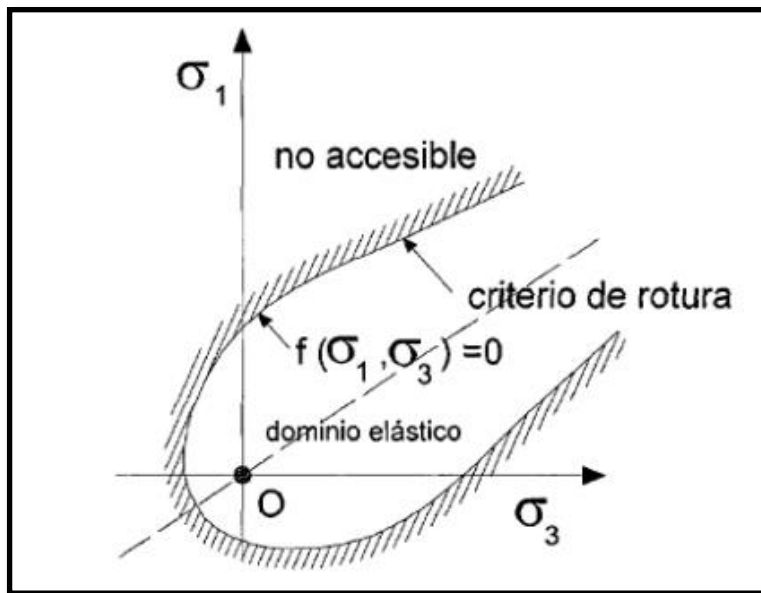
### 2.2.5 Criterios de rotura

Existen dos formas para definir el comportamiento de una roca en rotura: mediante el estado de tensiones o mediante el de deformaciones. Normalmente se utiliza la primera (González Vallejo, 2002). De esta forma, se toma como resistencia de la roca la máxima tensión que ésta puede soportar.

Para cualquier punto del macizo el tensor de tensiones viene definido por seis componentes, tres componentes normales, y tres componentes tangenciales,  $\sigma_{xi}$ ,  $\sigma_{yi}$ ,  $\sigma_{zi}$ ,  $\tau_{xyi}$ ,  $\tau_{yzi}$  y  $\tau_{xzi}$ , en un sistema de coordenadas (x, y, z). Dependiendo de la magnitud y dirección de las seis componentes del tensor, se obtienen las tres tensiones principales,  $\sigma_{1i}$ ,  $\sigma_{2i}$ ,  $\sigma_{3i}$ , donde  $\sigma_{1i}$  es la tensión mayor,  $\sigma_{2i}$  la tensión intermedia y  $\sigma_{3i}$  la tensión menor.

**Figura 17**

*Representación del criterio de rotura en términos bidimensionales. Modificada según melentijevic, 2005.*



*Nota:* <https://www.cidhma.edu.pe/criterios-de-rotura-y-clasificaciones-geomecanicas/>

Los puntos representados encima del dominio elástico ( $f(\sigma_1, \sigma_3) = 0$ ) están en situación de rotura, por el contrario, los puntos del macizo con estado tensional en el interior del dominio elástico no están en rotura, sino que están en estado elástico. Los puntos del exterior del dominio elástico son puntos tensionales inaccesibles, es decir no se pueden

obtener dichas tensiones para el macizo en cuestión. Dependiendo de cómo se defina la ecuación de la superficie de fluencia (f) se obtienen distintos criterios de rotura. A continuación, se hace una descripción del criterio de rotura lineal de Mohr-Coulomb, y del criterio de rotura no lineal de Hoek&Brown.

**2.2.5.1 Criterio de rotura lineal de Mohr-Coulomb.** El criterio de rotura de Mohr-Coulomb, introducido por primera vez por Coulomb en el año 1773, inicialmente pensado para el estudio en suelos, es un criterio de rotura lineal. Esto significa, tal y como se ha indicado anteriormente, que la ecuación que define la superficie de fluencia es una ecuación lineal. Aunque el comportamiento de la roca en un ensayo triaxial no concuerda con un modelo lineal, Mohr-Coulomb se sigue utilizando mucho por su sencillez y comodidad.

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

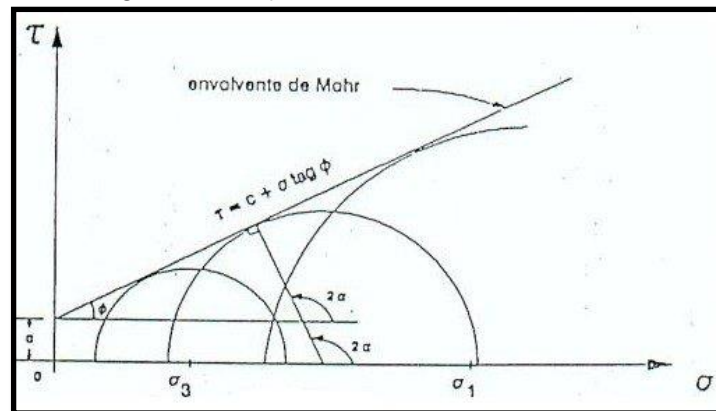
Donde:

- **C** es la cohesión, una constante que representa la tensión cortante que puede ser resistida sin que haya ninguna tensión normal aplicada.
- **$\phi$**  es el ángulo de fricción
- **T** es la tensión tangencial que actúa en el plano de rotura
- **$\sigma_n$**  es la tensión normal que actúa en el plano de rotura

En la Figura 18, se representa el criterio de Mohr-Coulomb en el espacio de tensiones normal y tangencial. Se puede apreciar que la ecuación de la superficie de rotura es la ecuación de la recta tangente a todos los círculos de falla.

**Figura 18**

Representación de la envolvente de Mohr-Coulomb en el espacio de tensiones normal y tangencial. Modificada según Melentijevic, 2005



Fuente: <https://www.cidhma.edu.pe/criterios-de-rotura-y-clasificaciones-geomecanicas/>

En este caso, el dominio elástico viene representado por la envolvente de Mohr. Por lo tanto, haciendo referencia a la que se ha dicho anteriormente (figura 18) los puntos del macizo con estado tensional por debajo de dicha envolvente están en un estado elástico mientras que los que se sitúan encima se encuentran en rotura. La zona de estados tensionales inaccesibles para este macizo es aquella que se encuentra por encima de la envolvente de Mohr. Aunque anteriormente se ha dicho que es usual describir el criterio de Mohr-Coulomb en el espacio de tensiones tangencial y normal, éste también se expresa en el espacio de tensiones principales de la forma:

$$\sigma_1 = N_\phi \sigma_3 + 2c\sqrt{N_\phi}$$

Donde:

$$N_\phi = \tan^2 \left[ \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right]$$

donde **C** y **φ** vuelven a ser cohesión y ángulo de fricción respectivamente.

**2.2.5.2 Criterio de rotura no lineal de Hoek&Brown.** El criterio de rotura de Hoek&Brown su versión original fue introducida en el 1980 (Hoek y Brown, 1980a; Hoek y Brown, 1980b) desde entonces su uso se ha generalizado en el ámbito de la mecánica de rocas, traspasando los límites para los que fue propuesto (cálculo de la estabilidad en



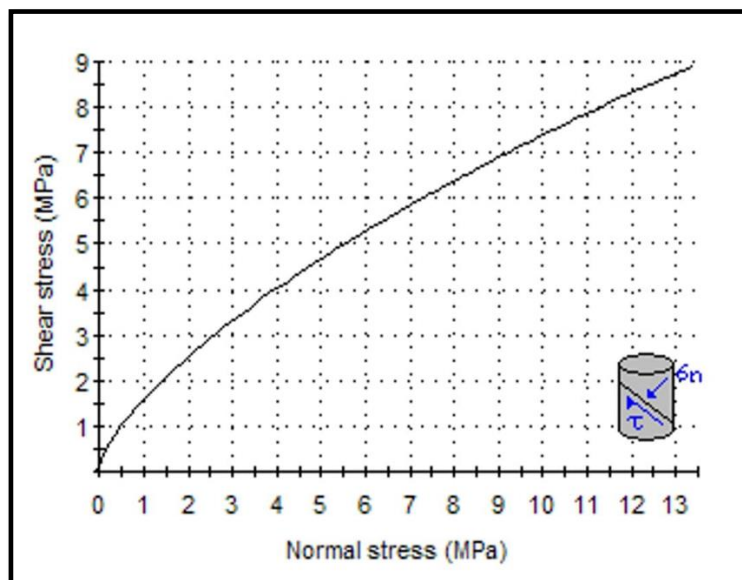
taludes y estados tensionales en el entorno de un túnel, para macizos rocosos duros). Debido a esto, y con el fin de mejorarlo, el criterio ha sufrido varias modificaciones, así como la introducción de nuevos parámetros para definir el estado del material, y nuevas propuestas para obtener la caracterización del macizo, la última en 2002 (Hoek et al., 2002).

Se trata de un criterio no lineal, puramente empírico, que permite valorar, de manera sencilla, la rotura de un medio rocoso mediante la introducción de las principales características geológicas y geotécnicas.

En la Figura 19 se representa las tensiones de rotura para el criterio de rotura de Hoek&Brown. En la figura se aprecia que la función que define el dominio elástico es no lineal. Tal y como se ha indicado para el criterio de rotura de Mohr-Coulomb, los estados de tensiones encima de la curva están en rotura, mientras que los interiores están en el dominio elástico, y los estados tensionales por encima de la curva son inaccesibles para este determinado caso.

### Figura 19

*Representación del criterio de rotura de Hoek&Brown, en el espacio de tensiones normal y tangencial.*



Fuente: <https://www.cidhma.edu.pe/criterios-de-rotura-y-clasificaciones-geomecanicas/>

En un intento de proporcionar datos previos (datos de partida) en el análisis del diseño de excavaciones subterráneas en rocas competentes, los autores presentaron su

criterio de rotura. El criterio se dedujo a partir de los resultados de las investigaciones de Hoek en roturas frágiles de rocas intactas y de un modelo de estudio del comportamiento de macizos rocosos de Brown.

### **Consideraciones previas**

El criterio comienza tomando en consideración las propiedades de la roca intacta y entonces se introducían factores reductores de estas propiedades sobre la base de las características de un macizo rocoso diaclasado.

No debe olvidarse que los autores, intentaron relacionar siempre este criterio de naturaleza empírica con las observaciones geológicas, y con los resultados obtenidos por Bieniawski en su RMR.

Debido a la ausencia de otras alternativas, el criterio fue pronto adoptado por la comunidad de la mecánica de rocas y su uso rápidamente extendido más allá de los límites originales utilizados en la deducción de las relaciones de reducción de la resistencia.

### **Principales características**

- Es más adecuado en el análisis de una matriz rocosa o en el de macizos rocosos isótropos.
- Es un modelo no lineal.
- Tiene en cuenta diversos parámetros que determinan la rotura de un medio rocoso a gran escala:
  - La no linealidad con el nivel de tensiones.
  - La influencia del tipo de roca y el estado del macizo.
  - La relación entre resistencia a la compresión y a la tracción.
  - La disminución del ángulo de rozamiento con el aumento de la tensión de confinamiento.

Fue desarrollado inicialmente para su aplicación a macizos rocosos fracturados sin alterar con matriz rocosa resistente, asumiendo que los bloques de roca están en contacto unos con otros y que la resistencia del macizo está controlada por la resistencia de las discontinuidades.



### Dificultades del criterio

El criterio de rotura de macizos rocosos de Hoek-Brown es ampliamente aceptado y ha sido aplicado en un gran número de proyectos a nivel mundial.

Mientras que en general el criterio se considera satisfactorio, existen algunas incertidumbres e inexactitudes que han creado inconvenientes en su implementación a modelos numéricos y a programas de computación de equilibrio límite.

En particular, la dificultad de encontrar un ángulo de fricción y resistencia cohesiva equivalentes para un macizo rocoso dado, ha sido un inconveniente desde su publicación.

A continuación se explica el criterio de rotura original de Hoek&Brown y su última versión, esto se realiza porque será de interés en el transcurso de esta tesina. El criterio original, es un criterio empírico para el estudio de macizos rocosos duros. Su expresión es:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{Ci} \cdot \left( m \frac{\sigma_3'}{\sigma_{Ci}} + s \right)^{0.5}$$

donde:

- $\sigma_1'$  es el esfuerzo principal en el momento de rotura.
- $\sigma_3'$  es el esfuerzo principal menor en el momento de rotura.
- $\sigma_{ci}$ , es la resistencia a compresión uniaxial del material intacto.
- $m$  y  $s$  son constantes del material, que dependen de las propiedades de la roca y del grado de fracturación de la roca antes de someterla a las tensiones de rotura.

El parámetro  $s$  es la medida de disminución de la resistencia a compresión simple de la roca debido a la fracturación. Por su parte,  $m$  influye en la resistencia al corte del material. Ambos parámetros se pueden obtener a partir del cuadro mostrado en la Figura 21 referido a: relaciones aproximadas entre la calidad del macizo rocoso y las constantes empíricas.

El uso del criterio no solo en macizos rocosos duros, sino también en macizos de rocas débiles, ha supuesto una reformulación del criterio, así como la introducción de nuevos parámetros. Su última versión se expresa:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad (1)$$

donde  $m_b$  es un valor reducido de la constante del material  $m_i$  y está dado por:

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

Donde:

$m_b$ ,  $s$  y  $a$  dependen de las propiedades y características del macizo rocoso.

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

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

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

La resistencia a la compresión uniaxial  $\sigma_c$  se obtiene haciendo  $\sigma_3 = 0$ .

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

y siendo la resistencia a tracción:

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

Esta ecuación se obtiene haciendo:  $\sigma'_1 = \sigma'_3 = \sigma_t$  en la ecuación (1)

En el entorno de una excavación la rotura se inicia cuando los esfuerzos generados exceden el valor  $\sigma_c$ , y se propagan generando un campo de esfuerzos biaxial, dentro del área afectada por la rotura.

Este campo se estabiliza cuando la relación entre los esfuerzos de resistencia local resulta mayor que la combinación de los esfuerzos inducidos ( $\sigma'_1$  y  $\sigma'_3$ ).

Los esfuerzos normales y al corte están relacionadas con los esfuerzos principales por las siguientes ecuaciones:

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

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

Siendo:

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

Los módulos de deformación se expresan según D, tiene en cuenta los efectos de los daños de las voladuras y la relajación de esfuerzos.

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

$$E_m [GPa] = \left( 1 - \frac{D}{2} \right) \cdot 10^{\frac{GSI-10}{40}} \text{ SI} \quad \text{si } > 100 \text{ MPa}$$

El factor de alteración del criterio de rotura de Hoek&Brown D, tal y como se ha explicado antes, es un factor que depende principalmente del grado de alteración al que ha sido sometido el macizo. Alteraciones debidas a la relajación de esfuerzos, causados por excavaciones por voladura, mecánicas, o por otras causas.

El factor fue introducido en la última versión del criterio de rotura de Hoek&Brown (Hoek et al., 2002), porque se detectó que para el caso de macizos de rocas no alteradas (D=0), el criterio daba parámetros resistentes demasiado optimistas. El factor adopta valores desde 0 para la roca no alterada en condiciones in situ, hasta el valor de 1 para la roca muy alterada. Ver Figura 16, donde se muestran los valores del factor de alteración D, para las diferentes situaciones del macizo.

**Figura 20**

Valores de la constante  $m_i$  para la matriz rocosa

Valores de la constante $m_i$ para la matriz rocosa				
Tipo de roca y valor de la constante $m_i$				
Sedimentarias clásticas	Conglomerado	(22)	Lutita	4
	Arenisca	19	Grauvaca	(18)
	Limolita	9		
Sedimentarias no clásticas	Caliza margosa	7	Caliza micrítica	8
	Brecha caliza	(20)	Yeso	16
	Caliza esparítica	(10)	Anhidrita	13
Metamórficas	Mármol	9	Gneiss (*)	33
	Cuarcita	24	Esquisto (*)	4-8
	Migmatita	(30)	Filita (*)	(10)
	Anfibolita	25-31	Pizarra (*)	9
	Milonita	(6)		
Ígneas	Granito	33	Diorita	(28)
	Riolita	(16)	Andesita	19
	Granodiorita	(30)	Gabro	27
	Dacita	(17)	Basalto	(17)
Ígneas extrusivas piroclásticas	Aglomerado	(20)	Toba	(15)
	Brecha	(18)		

Hoek y Brown, 1997. Los valores entre paréntesis son estimados.  
 (\*) Valores obtenidos de ensayos en matriz rocosa con dirección de aplicación de la carga normal a los planos de foliación. El valor de  $m_i$  será significativamente diferente si la rotura ocurre a favor de los planos de debilidad.

Fuente: Tomado de González de Vallejo et al., 2002

**Figura 21**

Relaciones aproximadas entre la calidad del macizo rocoso y las constantes  $m$  y  $s$

Relaciones aproximadas entre la calidad de los macizos rocosos y los valores de las constantes $m$ y $s$						
Criterio de rotura empírico $\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m\sigma_1\sigma_3 + s\sigma_1^2}$ $\sigma_1$ y $\sigma_3$ : esfuerzos principales mayor y menor $\sigma_1$ : esfuerzo compresivo uniaxial de la matriz rocosa $m$ y $s$ : constantes empíricas del macizo rocoso	Constantes del macizo $m$ y $s$	Rocas carbonatadas: dolomitas, calizas y mármol.	Rocas arcillosas: argilas, limolitas, lutitas y pizarras.	Rocas amoniacas: areniscas y cuarcitas	Rocas ígneas de grano fino: andesitas, doleritas, diabasas y riolitas.	Rocas cristalinas ígneas de grano grueso: anfibolitas, gabros, gneises, granitos, riontas y cuarcodioritas.
<b>Muestras de roca intacta</b> Muestras de tamaño de probeta de laboratorio sin discontinuidades. RMR = 100 Q = 500	$m$ $s$ $m$ $s$	7,0 1,0 7,0 1,0	10,0 1,0 10,0 1,0	15,0 1,0 15,0 1,0	17,0 1,0 17,0 1,0	25,0 1,0 25,0 1,0
<b>Macizo rocoso de muy buena calidad</b> Bloque de roca sana. Juntas sin meteorizar y con espaciado de 1 a 3 m. RMR = 85 Q = 100	$m$ $s$ $m$ $s$	2,40 0,082 4,10 0,189	3,43 0,082 5,85 0,189	5,14 0,082 8,78 0,189	5,82 0,082 9,95 0,189	8,56 0,082 14,63 0,189
<b>Macizo rocoso de calidad buena</b> Bloques de roca sana o ligeramente meteorizada, con juntas espaciadas de 1 a 3 m. RMR = 65 Q = 10	$m$ $s$ $m$ $s$	0,575 0,00293 2,006 0,0205	0,821 0,00293 2,865 0,0205	1,231 0,00293 4,298 0,0205	1,395 0,00293 4,871 0,0205	2,052 0,00293 7,163 0,0205
<b>Macizo rocoso de calidad media</b> Varias familias de discontinuidades moderadamente meteorizadas con espaciados de 0,3 a 1 m. RMR = 44 Q = 1	$m$ $s$ $m$ $s$	0,128 0,00009 0,947 0,00198	0,183 0,00009 1,353 0,00198	0,275 0,00009 2,030 0,00198	0,311 0,00009 2,301 0,00198	0,458 0,00009 3,383 0,00198
<b>Macizo rocoso de calidad mala</b> Numerosas juntas meteorizadas con algo de relleno. Brechas compactas sin rellenos. Espaciado de 0,03 a 0,5 m. RMR = 23 Q = 0,1	$m$ $s$ $m$ $s$	0,029 0,000003 0,447 0,00019	0,041 0,000003 0,639 0,00019	0,061 0,000003 0,959 0,00019	0,069 0,000003 1,087 0,00019	0,102 0,000003 1,598 0,00019
<b>Macizo rocoso de calidad muy mala</b> Numerosas juntas intensamente meteorizadas con rellenos. Espaciado < 0,05 m. Brechas con rellenos arcillosos. RMR = 3 Q = 0,01	$m$ $s$ $m$ $s$	0,007 0,0000001 0,219 0,00002	0,010 0,0000001 0,313 0,00002	0,015 0,0000001 0,469 0,00002	0,017 0,0000001 0,532 0,00002	0,025 0,0000001 0,782 0,00002

Hoek y Brown, 1988.

Nota: Tomado de González de Vallejo et al., 2002

### 2.3 Marco conceptual

- **Ángulo de fricción:** Ángulo entre dos superficies en contacto en el que la fricción es igual a la cohesión.
- **Anisotropía:** Variación de las propiedades de una roca en diferentes direcciones.
- **Caracterización:** La caracterización de un macizo rocoso es un proceso que permite describir y analizar las propiedades geomecánicas y geológicas de un macizo rocoso.
- **Cartilla Geomecánica:** Es una herramienta de trabajo de campo que se utiliza para caracterizar el macizo rocoso identificando el tipo de roca al que pertenece y determinar el tiempo de autosoporte sin sostenimiento que puede permanecer la excavación sin colapsar.
- **Clasificaciones Geomecánicas:** Se utilizan clasificaciones geomecánicas, como la clasificación geomecánica de la roca masiva de Bieniawski o la clasificación geomecánica de terrenos RMR (Rock Mass Rating), para evaluar la calidad y la estabilidad del macizo rocoso. Estas clasificaciones se basan en características geotécnicas y geológicas, y ayudan a identificar posibles problemas de estabilidad y diseñar medidas de mitigación.
- **Cohesión:** Fuerza que mantiene unidos los granos de una roca.
- **Compresibilidad:** Capacidad de una roca para reducir su volumen bajo carga.
- **Contracción:** Reducción del volumen de una roca debido a la pérdida de agua.
- **Deformación:** Cambio en la forma o tamaño de una roca bajo carga.
- **Dilatación:** Aumento del volumen de una roca debido a la absorción de agua.
- **Discontinuidad:** Una discontinuidad en un macizo rocoso es un plano surgido ya sea por causas mecánicas o sedimentarias, el cual separa o aísla los bloques de roca de la matriz principal.
- **Dominios Estructurales:** Se considera la existencia de diferentes dominios estructurales en el macizo rocoso, que se definen por la presencia de diferentes tipos de estructuras geológicas y litológicas. Estos dominios pueden tener un

comportamiento mecánico distinto, por lo que es fundamental identificarlos y tener en cuenta sus características al realizar el estudio geomecánico.

- **Elasticidad:** Capacidad de una roca para recuperar su forma original después de la deformación.
- **Ensayos de laboratorio:** Se llevan a cabo pruebas en muestras de roca extraídas de la zona de interés para determinar sus propiedades mecánicas, como resistencia a la compresión, resistencia al corte, deformabilidad, entre otros. Estos ensayos brindan información fundamental para comprender cómo se comportará la roca en las condiciones de carga a las que estará sometida en la mina.
- **Ensayos in-situ:** Consisten en realizar pruebas directamente en el macizo rocoso para obtener datos sobre su comportamiento mecánico bajo condiciones reales. Algunos ejemplos de ensayos in-situ son el ensayo de penetración estática (SPT), el ensayo de permeabilidad, y el ensayo de carga.
- **Esfuerzo normal:** la componente normal del esfuerzo, también conocida como esfuerzo normal, es aquella que actúa perpendicularmente al plano sobre el cual se aplica el esfuerzo.
- **Esfuerzo o tensión:** que es la fuerza interna que actúa sobre una unidad de área en un material. Cuando esta área tiende a cero, se considera el límite de esfuerzo, o esfuerzo infinitesimal.
- **Esfuerzo tangencial:** la componente tangencial de esfuerzo se refiere a la fuerza o esfuerzo ejercido en dirección paralela al plano sobre el cual actúa.
- **Factor de Seguridad:** El factor de seguridad es una medida de la capacidad de un sistema para resistir las cargas y demandas a las que está expuesto. Es una relación entre la capacidad máxima calculada del sistema y el valor real del requerimiento al que será sometido.
- **Fragilidad:** Capacidad de una roca para romperse sin deformarse.
- **Fricción:** Resistencia al movimiento entre dos superficies en contacto.

- **Geomecánica:** La geomecánica es una disciplina que implica el estudio geológico del comportamiento del suelo y rocas, y se divide en dos ramas principales: mecánica de suelos y mecánica de rocas
- **Labores permanentes:** Estas son las labores mineras que tendrán una duración prolongada o permanente a lo largo de la vida de la mina. Es necesario establecer un adecuado sistema de soporte que asegure un alto nivel de seguridad, ya que estas tareas implicarán un constante movimiento de personas y equipos, así como la construcción de diversas instalaciones.
- **Labores temporales:** estas labores necesitan menos sostenimiento que las labores permanentes, ya que serán rellenadas una vez que sean explotadas.
- **Levantamiento litológico-estructural:** Consiste en identificar y mapear las diferentes unidades litológicas presentes en el macizo rocoso, así como las estructuras geológicas como fallas, fracturas, y estratificaciones. Esto permite entender la heterogeneidad del macizo y su influencia en su comportamiento mecánico.
- **Macizo rocoso:** conjunto de matriz rocosa y discontinuidades. Presenta carácter heterogéneo, comportamiento discontinuo y normalmente anisótropo, consecuencia de la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad, que condicionan su comportamiento geomecánico e hidráulico.
- **Mapeo Geomecánico:** Se trata de recopilar información sobre las características de las discontinuidades, la condición de las rocas y los factores que pueden afectar.
- **Matriz rocosa = Roca matriz = Roca intacta:** material rocoso sin discontinuidades, o bloques de roca entre discontinuidades. (Se caracteriza por su densidad, deformabilidad y resistencia; por su localización geográfica; y por su litología, ya sea ésta única o variada).
- **Permeabilidad:** Capacidad de una roca para permitir el flujo de fluidos a través de ella.

- **Plasticidad:** Capacidad de una roca para deformarse permanentemente sin romperse.
- **Porosidad:** Proporción de espacio vacío en una roca.
- **Resistencia a la Compresión:** La máxima resistencia a la que un material puede ser sometido cuando se le aplica una carga de compresión
- **Resistencia:** Capacidad de una roca para soportar cargas sin romperse.
- **Roca:** agregado natural de partículas de uno o más minerales, con fuerte unión cohesiva permanente, que constituyen masas geológicamente independientes y cartografiables.
- **Sostenimiento:** El propósito es asegurar la estabilidad de la roca en todas las tareas, lo cual es muy importante para permitir el desarrollo de todas las actividades mineras. El objetivo principal del sostenimiento es prevenir la caída de rocas, bancos y planchones del techo o laterales del área de trabajo.
- **Suelo:** agregado natural de partículas minerales granulares y cohesivas, separables por medios mecánicos de baja energía o por agitación en agua.
- **Textura:** Características visuales de una roca, como el tamaño y la forma de los granos.
- **Zonificación Geomecánica:** Implica llevar a cabo distintas actividades que, en conjunto, permiten describir de forma precisa y detallada los parámetros que caracterizan la geología y geotecnia de macizos rocosos.



## **Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación**

### **3.1 Recolección de datos**

#### ***3.1.1 Tipo de investigación***

Se realiza un estudio descriptivo de corte transversal, ya que se analizan datos de variables recopiladas en un periodo de tiempo sobre una población de muestra ya definido, las cuales no varían a lo largo del curso de la investigación.

#### ***3.1.2 Población o Universo***

La población estará compuesta por las muestras obtenidas del macizo rocoso de la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C., estas muestras serán utilizadas con el propósito de determinar las características geomecánicas de dicha población, así como evaluar su condición de estabilidad.

El análisis geomecánico de las muestras permitirá obtener información fundamental sobre las propiedades mecánicas de los materiales presentes en el macizo rocoso. Esto incluye aspectos como la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad, la fracturación y la permeabilidad de la roca. Estos datos serán de vital importancia para comprender la capacidad de carga y la respuesta estructural del macizo rocoso

#### ***3.1.3 Unidad de análisis***

El presente estudio se centrará en analizar los datos de campo obtenidos mediante un muestreo sistemático del macizo rocoso en la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.; así como las pruebas de rebote realizadas en las áreas donde se realizan las labores mineras de desarrollo, preparación y explotación. El objetivo es definir los aspectos geomecánicos del yacimiento, los cuales desempeñan un papel crucial en términos técnicos debido a los trabajos realizados en el marco de la operación minera. Esta información básica se utiliza para la evaluación realizada.

Además, para la evaluación geomecánica del yacimiento, se llevó a cabo una primera etapa de investigación básica con el fin de obtener la información necesaria para evaluar los factores principales que controlan la estabilidad y estimar los parámetros

geomecánicos fundamentales. En una segunda etapa, se integró la información obtenida durante esta investigación básica con el propósito de evaluar las condiciones de estabilidad de las excavaciones relacionadas con el proceso de minado.

### ***3.1.4 Instrumentos de investigación***

Los instrumentos utilizados en la investigación comprenden el martillo Schmidt, el cual permitirá llevar a cabo pruebas de rebote en el macizo rocoso presente en las labores mineras de la unidad bajo análisis. En caso de encontrarse con rocas incompetentes, se realizará un muestreo de las mismas para ser posteriormente analizado en el laboratorio mediante pruebas de compresión y consideraciones físicas de la roca y el mineral. También se usaron brújulas, flexómetros, picotas de geólogo, lupas, etc.

#### **El martillo de Schmidt:**

También conocido como esclerómetro, es un instrumento que permite estimar aproximadamente la resistencia a compresión simple de una roca o de una discontinuidad. Originalmente se aplicaba a hormigones para conocer su resistencia, pero también se ha extendido su uso a macizos rocosos.

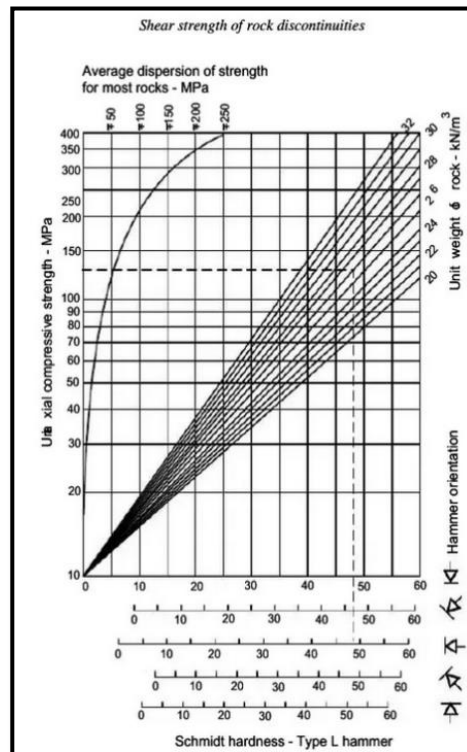
El funcionamiento del martillo de Schmidt se basa en el rebote que produce un muelle que se aloja en su interior después de un impacto sobre una superficie rocosa. Se aplica presionando la punta del martillo sobre una superficie rocosa hasta que salta el muelle, el cual golpea la roca a través de una punta cilíndrica. En función de la dureza de la roca o superficie ensayada, el muelle sufre un mayor o menor rebote. A mayor rebote, mayor resistencia de la roca.

El esclerómetro debe colocarse perpendicularmente al plano o roca ensayada. Previamente al inicio de las medidas se debe limpiar la superficie a ensayar para que esté libre de suelo, musgo, líquenes, pátinas de alteración, fisuras o grietas. En cada área o zona de ensayo con esclerómetro se deben tomar 10 medidas de cada superficie descartándose los 5 valores más bajos y realizándose el promedio de los otros 5 valores restantes.

Una vez determinado el valor promedio de cada superficie, el valor del rebote del esclerómetro se correlaciona mediante el gráfico de Miller para la determinación de la resistencia a la compresión simple Martillo.

**Figura 22**

*Ábaco de Miller. Relación peso específico, dirección e índice de rebote del martillo Schmidt y compresión simple sobre la roca*



Fuente: <https://geotecniafacil.com/martillo-schmidt-rocas/>

### 3.1.5 Técnicas de Procesamiento y Análisis

Para abordar este caso y casos similares, se sigue el siguiente procedimiento:

- En primer lugar, se realiza un levantamiento litológico estructural del punto seleccionado utilizando el método de detalle lineal. Este levantamiento consiste en determinar las características de las discontinuidades presentes en el macizo rocoso, como el rumbo, el buzamiento, el azimuth y la dirección de buzamiento. Además, se analiza el relleno de las discontinuidades, su persistencia, rugosidad, espaciamiento y la presencia de agua.
- Posteriormente, se emplean clasificaciones geomecánicas como el RMR (Rock Mass Rating) y el Q de Barton para determinar la calidad del macizo rocoso. Estas

clasificaciones se basan en diferentes parámetros y criterios, como la resistencia de las rocas, la calidad de las discontinuidades y la presencia de agua.

- El RMR es una clasificación ampliamente utilizada que evalúa la calidad de un macizo rocoso considerando seis parámetros principales: resistencia de la roca intacta, calidad de las discontinuidades, presencia de agua, orientación de las discontinuidades, condiciones de esfuerzo y condiciones de exposición. Cada parámetro se valora de acuerdo a una escala, y el resultado final es un valor que se interpreta como la calidad del macizo rocoso.
- Por otro lado, el Q de Barton es una clasificación basada en la calidad de las discontinuidades del macizo rocoso. Esta clasificación tiene en cuenta el espaciamiento, la apertura, la rugosidad, el relleno y la persistencia de las discontinuidades. Cada parámetro se valora y se obtiene un valor de calidad global del macizo rocoso.
- El uso de estas técnicas de procesamiento y análisis es fundamental para comprender la naturaleza del macizo rocoso y evaluar su estabilidad. Esto permite tomar decisiones informadas y adoptar las medidas adecuadas para garantizar la seguridad y eficiencia de los proyectos relacionados con la ingeniería geológica y la mecánica de rocas.

**3.1.5.1 Programa RocLab.** Es un programa de software gratuito, producto de Rocscience para determinar los parámetros de resistencia del macizo rocoso, basado en el criterio de falla generalizado de Hoek-Brown.

Uno de los principales obstáculos que se encuentran en el campo del modelado numérico para la mecánica de rocas es el problema de la entrada de datos sobre las propiedades del macizo rocoso.

La utilidad de modelos constitutivos elaborados y potentes programas de análisis numérico es muy limitada si el analista no dispone de datos de entrada fiables sobre las propiedades del macizo rocoso.

La última versión del criterio de falla de Hoek-Brown junto con su implementación en el programa de software RocLab, contribuye en gran medida a remediar esta situación.

Algunos problemas que antes eran confusos, con el criterio de falla ahora se han resuelto, entre ellos:

- la aplicabilidad del criterio a macizos rocosos muy débiles, y
- el cálculo de parámetros de Mohr-Coulomb equivalentes, a partir de la envolvente de falla de Hoek-Brown.

El programa RocLab proporciona una implementación simple e intuitiva del criterio de falla de Hoek-Brown, lo que permite a los usuarios obtener fácilmente estimaciones confiables de las propiedades del macizo rocoso y visualizar los efectos de los cambios en los parámetros del macizo rocoso en las envolventes de falla. La tarea de determinar las propiedades del macizo rocoso no suele ser un fin en sí mismo, se lleva a cabo con el fin de proporcionar información para programas de análisis numérico, que requieren propiedades del material para realizar un análisis de estabilidad o tensión.

Las propiedades del macizo rocoso determinadas por RocLab se pueden utilizar como entrada para el programa de análisis numérico Phase 2 (análisis de tensiones por elementos finitos y diseño de soportes para excavaciones).

### ***3.1.6 Metodología***

El presente estudio titulado: "Caracterización geomecánica para la determinación del sostenimiento en labores mineras subterráneas" consiste en una investigación que involucra trabajo de campo, ensayos de laboratorio y análisis de gabinete, utilizando técnicas apropiadas seleccionadas entre las alternativas disponibles.

Los distintos aspectos abordados para cuantificar los parámetros geomecánicos y de estabilidad de las labores mineras subterráneas, desde el punto de vista de la geomecánica y la mecánica de rocas, se han considerado dentro de tres tipos de modelos: geológico, geomecánico y matemático.

Dentro de los modelos geológicos y geomecánicos, se llevaron a cabo las siguientes investigaciones básicas sobre el macizo rocoso, tanto del mineral como de la roca encajonante:

- Se caracterizó la estructura del macizo rocoso siguiendo las normas sugeridas por la ISRM (International Society for Rock Mechanics), basándose en los registros litológico-estructurales de cada estación determinada.
- Se determinaron las propiedades físico-mecánicas de los diferentes materiales presentes en el macizo rocoso, como el número de rebote con el martillo Schmidt para estimar el índice de resistencia ( $\sigma_{ci}$ ), el Índice de carga puntual Franklin para determinar la resistencia, densidad, porosidad aparente, peso específico aparente y absorción. Además, se identificaron los materiales.
- Se evaluó la calidad del macizo rocoso utilizando los criterios de clasificación de Bieniawski (1989) basados en la información recopilada.
- A partir de las investigaciones geomecánicas realizadas en el macizo rocoso de las labores mineras específicas, como Tajo 7 Norte - Veta Pierina - Mineral, Tope Norte Nv. 04 - Veta Margarita - Andesita y Subnivel Tajo 7 Norte - Veta Pierina - Pizarra Silicificada, se llevó a cabo un zoneamiento, definiendo dominios estructurales con un comportamiento similar.
- Toda la información obtenida durante las investigaciones básicas se registró en una base de datos y en los respectivos informes.

Por otro lado, el modelo matemático utilizado en este estudio involucró métodos de cálculo manuales y computarizados (programas: DIPS, RocLab y PHASE 2), y se realizaron los siguientes cálculos de diseño:

- Se determinaron los parámetros geomecánicos específicos de las labores mineras de La Empresa Minera Amapola 5 S.A.C
- Se analizó la estabilidad de las labores mineras subterráneas, lo cual constituyó la parte final de la modelización de la labor minera. En este análisis se utilizó toda la información geológica, geomecánica y de geometría de la excavación. Esta parte

del estudio implicó evaluar las condiciones de estabilidad de todos los componentes estructurales, especialmente de las rocas andesita, pizarra y mineral.

Los valores de los parámetros mencionados anteriormente se pueden observar en los anexos correspondientes.

### **3.1.7 Desarrollo del trabajo**

El presente estudio tiene como objetivo analizar los diversos aspectos relacionados con la geomecánica, a fin de determinar las características de comportamiento o condiciones de estabilidad de la masa rocosa frente al diseño, planificación y operaciones mineras, según las actuales consideraciones del yacimiento.

Para alcanzar este objetivo, fue necesario realizar trabajo de campo, ensayos de laboratorio y gabinete, así como la creación de una cartilla geomecánica.

#### **En el campo:**

- Se tomó información detallada sobre el Tajo 7 Norte - Veta Pierina – Mineral, Tope Norte Nv. 04 - Veta Margarita – Andesita y Subnivel tajo 7 Norte – Veta Pierina – Pizarra Silicificada, que a la fecha se viene ejecutando.
- Se efectuó el reconocimiento detallado de las labores mineras subterráneas.
- Se efectuó el reconocimiento detallado del método de explotación aplicado.
- Se efectuó el reconocimiento de los elementos y sistemas de sostenimiento aplicado en las labores mineras.
- Se efectuó el levantamiento litológico – estructural del Tajo 7 Norte - Veta Pierina – Mineral, Tope Norte Nv. 04 - Veta Margarita – Andesita y Subnivel tajo 7 Norte – Veta Pierina – Pizarra Silicificada, de acuerdo a lo planificado, para realizar el estudio geomecánico: teniendo en consideración características peculiares de la labor minera.
- Se tomaron muestras rocosas de la andesita, pizarra y muestra de mineral, para efectuar los ensayos de laboratorio y determinar sus propiedades físicas y mecánicas.
- Se efectuaron ensayos in-situ de rebote, para estimar la resistencia compresiva.

- Se acopio información necesaria, sobre los planes futuros de operación de la mina y toda la información válida para el objetivo del estudio.

**En el laboratorio:**

- Se realizaron ensayos de determinación de las propiedades físicas de las rocas y del mineral, en el Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Facultad de Minas, Geología y Metalurgia de la Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”.

**En gabinete:**

- Se analizaron y evaluaron los datos como: Persistencia, relleno, alteración, apertura, rugosidad, espaciamiento, continuidad, fracturamiento de las discontinuidades en cada una de las estaciones determinadas para el estudio, así como también la presencia de agua, para determinar las características litológicas de las labores mineras subterráneas.
- Se evaluaron las condiciones de estabilidad de los diferentes componentes estructurales de las labores mineras subterráneas.
- Se analizó los datos del levantamiento litológico-estructural, en función al número de discontinuidades y topográficos para determinar la calidad de la roca. RQD (Rock Quality Designation).
- Se analizaron los resultados de los ensayos de laboratorio y de la información procedente del ensayo in-situ de la estimación de la resistencia compresiva.
- Se analizaron y evaluaron los parámetros para determinar la calidad del macizo rocoso mediante las clasificaciones geomecánicas de Bieniawski (RMR) y (GSI).
- Se evaluó el tiempo de autosostenimiento del macizo rocoso, en función a la ecuación determinada para la labor minera, caracterizada geomecánicamente.
- Se evaluó el elemento y/o sistema de sostenimiento a aplicarse en la operación minera, en función a la calidad del macizo rocoso.

Como resultado, en función a la caracterización geomecánica del macizo rocoso de la empresa minera Amapola 5 S.A.C, se elaboró la cartilla geomecánica para dicha operación minera, buscando las mejores alternativas de sostenimiento, con la finalidad de



garantizar la estabilidad de la labor minera, para coadyuvar la seguridad del personal, infraestructura y equipos y/o maquinarias mineras.

### **3.2 Procesamiento de la información**

Para llevar a cabo la caracterización geomecánica para la determinación del sostenimiento en labores mineras subterráneas de la empresa minera Amapola 5 S.A.C. en lo que respecta a su estabilidad, es fundamental contar con datos de entrada relacionados con los diversos factores que condicionan el comportamiento mecánico de la roca y del macizo rocoso. Estos factores, de acuerdo con los estándares del ISRM (Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas), se definen como componentes del Sistema de Información Geomecánica, y son los siguientes:

- Caracterización del Macizo Rocosos:
  - Levantamiento litológico – estructural
- Características del comportamiento mecánico de la masa rocosa
  - Ensayos de Laboratorio
  - Ensayos in –situ
- Clasificaciones Geomecánicas
- Dominios Estructurales

#### ***3.2.1 Caracterización del macizo rocoso***

Para caracterizar el macizo rocoso de acuerdo a los estándares del ISRM (Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas), se llevó a cabo un levantamiento litológico estructural en tres áreas específicas: el Tajo 7 Norte - Veta Pierina - Mineral, el Tope Norte Nv. 04 - Veta Margarita - Andesita y el Subnivel tajo 7 Norte - Veta Pierina - Pizarra Silicificada.

El objetivo de este levantamiento fue determinar que cada área presenta las características litológicas y estructurales distintas, lo que implica variaciones en la resistencia y la capacidad del macizo rocoso para soportar las actividades mineras y las estructuras subterráneas.

**3.2.1.1 Levantamiento litológico.** Esta referido al modelo geológico, caracterizado por el estudio de las discontinuidades, como: persistencia, rugosidad, alteración, relleno, apertura, fracturamiento y espaciamiento, método sugerido por la ISRM – 1980.

En el caso de las labores mineras subterráneas de la empresa minera Amapola 5 S.A.C, se ha realizado el levantamiento litológico en 03 estaciones representativas, considerándose además los tipos de roca predominantes en la mina, como: andesita, pizarra y el mineral.

**Tabla 24**

*Datos litológicos de las estaciones*

Est.	Tipo de roca/mi n.	RQD	Espacia miento	Persist encia	Apertur a	Rugosi dad	Relleno	Alteraci ón	Agua subt.
		%	mts.	mts.	mm.	Identific ado	mm.	Identific ado	Identific ado
Est. 01	Mineral	69.70%	0.6-2	3-10 m Long.	0.1-1.0mm	Lig. Rugosa	Suave <5 mm	Muy Alterada	Seco
Est. 02	Andesit a	91.60%	0.6-2	1-3 m Long.	0.1-1.0mm	Rugosa	Limpia	Mod. Alterada	Seco
Est. 03	Pizarra	95.90%	0.2-0.6	1-3 m Long.	Cerrada	Lig. Rugosa	Limpia	Muy Alterada	Seco

**3.2.1.2 Levantamiento estructural.** Esta referido al análisis estructural de las discontinuidades que se presentan en las labores mineras subterráneas, para el presente estudio se ha considerado valores como: coordenadas, cota, así como también el número de fracturas; en los Cuadros N° 31, 32 y 33, se presentan las características técnicas de las labores mapeadas, así como las representaciones estereográficas de las estaciones representativas.

**Tabla 25**

*Datos topográficos de las estaciones geomecánicas*

ESTACIÓN	NIVEL	COORDENADAS		
		ESTE	NORTE	ELEVACIÓN
Est. 01	Nivel 04	206070.727	8927664.059	3980.995
Est. 02	Nivel 04	206251.515	8927607.961	3982.700
Est. 03	Nivel 04	206107.380	8927638.332	3980.610

**Tabla 26***Determinación del RQD de la Roca y Mineral*

Est.	Tipo de roca/ Mineral	Spam	Nº de fracturas	$\lambda$	RQD %
Est. 01	Mineral	3.5	14	4.00	69.7
Est. 02	Andesita	2.3	11	4.78	91.6
Est. 03	Pizarra	3.5	11	3.14	95.9

**Tabla 27***Calidad de la Roca de Acuerdo a Deere and Miller*

Teórico		Aplicación práctica
% RQD	CALIDAD DE ROCA	
< 25	Muy Mala	-----
25 – 50	Mala	-----
50 – 75	Regular	Mineral
75 – 90	Buena	-----
90 – 100	Muy Buena	Andesita y Pizarra

**3.2.2 Caracterización del comportamiento mecánico de la matriz rocosa****3.2.2.1 Ensayos de laboratorio**

- **Propiedades físicas**

Aquí se describe el proceso de determinación de las propiedades físicas de muestras rocosas en el laboratorio. Para ello, se midió el peso seco, el peso saturado y el volumen externo de las muestras. Las muestras se secaron en un horno ventilado a 105°C y se saturaron sumergiéndolas en agua destilada. Los pesos seco y saturado se obtuvieron mediante un registro diario con una precisión de 0.01 gr., y se consideraron obtenidos cuando la diferencia entre dos pesadas sucesivas no excedía de 0.1 gr., lo cual se logró en aproximadamente 48 h. Las propiedades físicas solicitadas se definen mediante las siguientes relaciones matemáticas: la densidad, el peso específico aparente, la porosidad aparente y la absorción (en peso).

**Densidad**

$$\rho = \frac{\text{Peso Seco}}{\text{Volumen}} \quad (\text{gr/cm}^3)$$

### Peso Específico Aparente

$$P.E.a = \frac{\text{Peso Seco}}{\text{Volumen}} \times 9.81 \quad (\text{KN/m}^3)$$

### Porosidad Aparente:

$$P.a. = \frac{\text{Peso Saturado} - \text{Peso Seco}}{\rho_w \cdot \text{Volumen}} \times 100 \quad (\%)$$

Siendo:  $\rho_w$  = densidad del agua (gr/cm<sup>3</sup>)

### Absorción (en peso)

$$Abs = \frac{\text{Peso Saturado} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} \times 100 \quad (\%)$$

**Tabla 28**

*Resumen de las propiedades físicas de laboratorio*

Muestra Rocosa	Propiedades físicas			
	Densidad	P.E.A.	P.A.	Absorción
	(gr/cm <sup>3</sup> )	KN/m <sup>3</sup>	%	%
Mineral	4.00	39.24	4.07	1.02
Andesita	2.61	25.60	3.33	1.28
Pizarra	2.69	26.39	1.09	0.41

Nota: Fuente Laboratorio de mecánica de rocas UNASAM-FIMGM

**3.2.2.2 Ensayos in situ.** El ensayo de rebote se llevó a cabo en las estaciones seleccionadas para realizar el levantamiento litológico estructural. Se utilizó el Martillo Schmidt para realizar dichos ensayos.

**Tabla 29**

*Corrección de dureza para el martillo Smith*

Esclerómetro tipo "L"	Rebote	Hacia arriba		Hacia abajo		Horizontal
	R	$\alpha = -90^\circ$	$\alpha = -45^\circ$	$\alpha = +90^\circ$	$\alpha = +45^\circ$	$\alpha = 0^\circ$
10	0	-0.8	0	0	-3.2	
20	0	-0.9	-8.8	-6.9	-3.4	
30	0	-0.8	-7.8	-6.2	-3.1	
40	0	-0.7	-6.6	-5.3	-2.7	
50	0	-0.6	-5.3	-4.3	-2.2	
60	0	-0.4	-4	-3.3	-1.7	

**Tabla 30***Rebote promedio según ISRM*

Estación	Rebote promedio según ISRM					
	Promedio					
<b>1.- MINERAL</b>	24	22	20	18	18	20,4
<b>RESISTENCIA COMPRESIVA (MPa)</b>						44,89
<b>2.- ANDESITA</b>	36	34	34	34	32	34
<b>RESISTENCIA COMPRESIVA (MPa)</b>						59,7
<b>3.- PIZARRA</b>	52	48	48	46	46	48
<b>RESISTENCIA COMPRESIVA (MPa)</b>						133,26

**Tabla 31***Correlación de la resistencia compresiva*

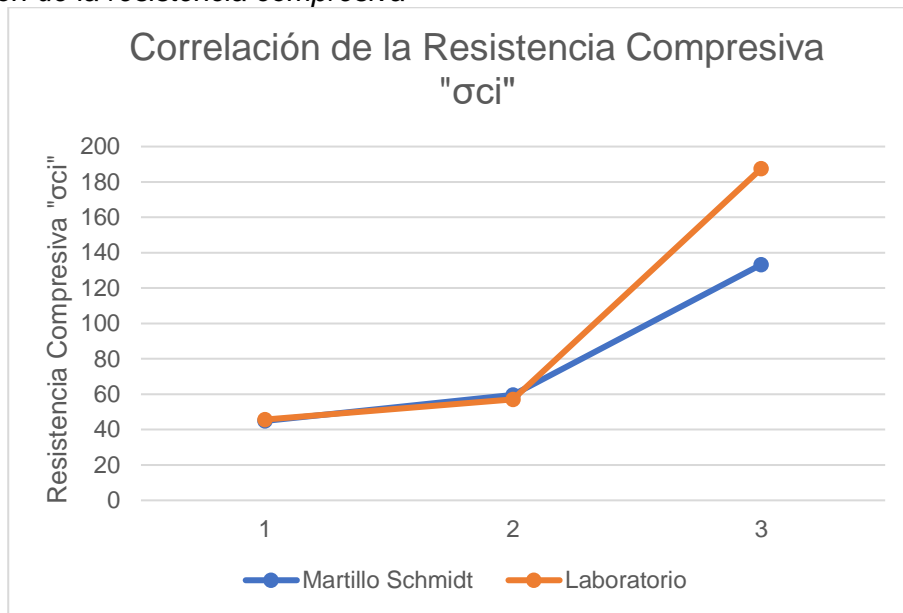
Estación	Tipo de roca/ Mineral	$\sigma_{ci}$	$\sigma_{ci}$
		Martillo (MPa)	Laboratorio (MPa)
<b>Est. 01</b>	Mineral	44.89	45.67
<b>Est. 02</b>	Andesita	59.70	57.03
<b>Est. 03</b>	Pizarra	133.26	187.48

**Tabla 32***Clasificación de Deere and Miller*

Estación	Tipo de roca/ mineral	Resistencia
<b>Est. 01</b>	Mineral	Resistencia Baja
<b>Est. 02</b>	Andesita	Resistencia Media
<b>Est. 03</b>	Pizarra	Resistencia Alta

**Figura 23**

*Correlación de la resistencia compresiva*



Fuente: Elaboración propia

La correlación entre los valores de resistencia compresiva  $\sigma_{ci}$  obtenidos tanto en el campo in-situ como en el laboratorio de mecánica de rocas es simétrica en los tres casos. Esta correlación simétrica permite su aplicación en la valoración del macizo rocoso. Esta correlación permite utilizar los datos obtenidos en el campo de manera confiable, evitando la necesidad de realizar ensayos adicionales en el laboratorio. lo que resulta en un ahorro de tiempo y recursos.

**3.2.2.3 Mapeo Geomecánico.** El mapeo geomecánico es una técnica utilizada para identificar las propiedades de los suelos y rocas en función de su origen, y determinar los diferentes mecanismos de movimiento. El mapeo geomecánico se realiza mediante la observación y registro de las características geológicas y geotécnicas de una excavación subterránea o superficie, como la presencia de fallas, diaclasas, fracturas, alteraciones, etc. Su objetivo es proporcionar información detallada sobre la condición geomecánica de una excavación para prevenir el colapso de la excavación y garantizar la seguridad de los trabajadores.

**3.2.2.4 Dominios estructurales.** La determinación de los dominios estructurales se llevó a cabo mediante un análisis estructural que estuvo relacionado con el levantamiento litológico estructural realizado en las labores mineras subterráneas.

El objetivo de este análisis fue identificar y clasificar las diferentes estructuras geológicas presentes en el área de estudio, con el fin de comprender mejor la distribución y la geometría de las formaciones rocosas. Para lograr esto, se consideraron aspectos tales como la orientación y el tipo de fallas, fracturas y pliegues presentes en la zona.

El levantamiento litológico estructural se realizó mediante la observación directa de las características litológicas y estructurales de las rocas expuestas en las labores mineras subterráneas. Se recopilaron datos sobre la orientación de las fracturas y las fallas, así como sobre el grado de deformación de las rocas.

Posteriormente, se llevó a cabo un análisis detallado de los datos recopilados, utilizando técnicas de interpretación estructural, tales como la construcción de diagramas estereográficos y la determinación de parámetros estructurales, como los vectores de orientación de las estructuras.

A partir de este análisis, se identificaron varios dominios estructurales en el área de estudio, los cuales se caracterizaron por diferencias en la orientación y la geometría de las estructuras presentes. Estos dominios estructurales fueron mapeados y se utilizaron para comprender la distribución espacial de las diferentes unidades litológicas presentes en el área.

Figura 24

Reporte Geomecánico EST. 01

REPORTE GEOMECÁNICO							
Empresa: AMAPOLA 5		Lugar: Veta Pierina		Labor: Tajo 7 Norte - Nv. 04		Fecha: 17/09/2022	
SAC		Tipo de Roca y/o Mineral: Mineral		$\sigma_c$ (Mpa) = 46		RQD = 70	
VALORIZACION DEL MACIZO (R.M.R) - Clasificación RMR de Bieniawski (1989)							
PARAMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORIZACIONES						VALORACION
RESIST. COMP. UNIAXIAL	>250=R6 (15)	100-250=R5 (12)	50-100=R4 (7)	25-50=R3 (5)	<25(2)=R2, <5(1)=R1		5
RQD (%) (fracts.)	90-100 (2-6) (20)	75-90 (6-12) (17)	50-75 (12-20) (13)	25-50 (>20 frac) (8)	<25 (Bxdo) (3)		13
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)		15
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10 m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	2
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert (5)	0.1-1.0mm (4)	1-5 mm (1)	>5 mm (0)	4
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	3
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro > 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	1
ALTERACIÓN	Sana (6)	Lig.Alterada. (5)	Mod.Alterad (3)	Muy Alterada (2)	Descompuesta (0)		2
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco (15)	Humeda (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)		15
VALOR TOTAL RMR							
CLASE DE MACIZO ROCOSO							
RMR	100-81	80-61	60-41	40-26	25-0		60
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III BUENA MALA	IV MALA	V MUY MALA		

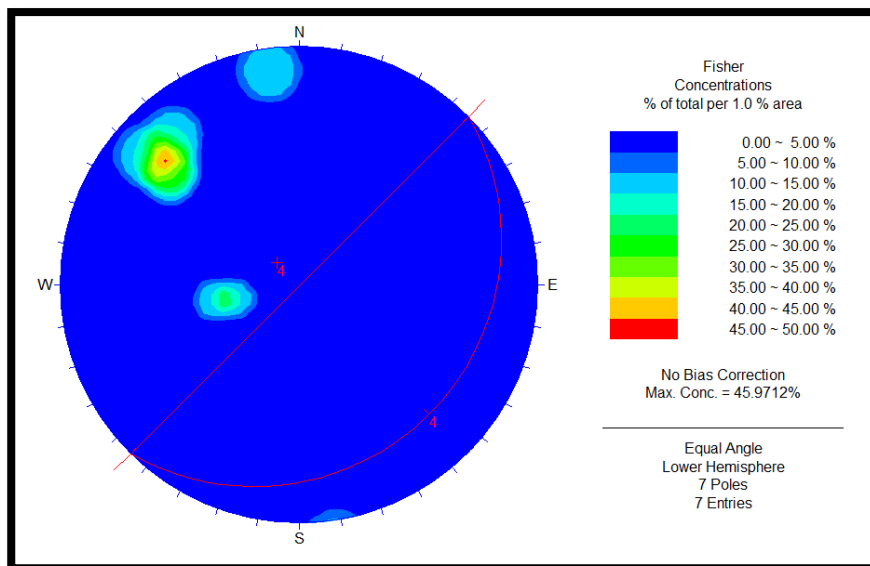
DATOS DE CAMPO						
DATOS IN-SITU			SET DE FAMILIAS		DIRECCION DE LA LABOR	
REBOTE (R) - Martillo Schmidt	# DE DISCONTINUIDADES	SPAN (m.)	BUZAMIENTO	DIREC. DE BUZAMIENTO	VETA PIERINA	
0°	18		70	130		
0°	18	14	3.5	72	132	N45°W
0°	24			78	140	
0°	20			80	130	
0°	16			84	172	
0°	22			30	78	
0°	16			40	80	
0°	18		RQD - ROCK QUALITY DESIGNATION			
0°	20		RQD= 100e <sup>(-0.1R)</sup> (0.1λ+1)			
0°	16		RQD= 69.71			
0°	18					

DESCRIPCIÓN:	<i>Se puede observar que la veta Pierina se encuentra en un área completamente seca.</i>
COMENTARIO	<i>El levantamiento litológico - estructural para caracterizar al macizo rocoso, fue ejecutado de acuerdo al estándar del ISRM, por el Bachiller Luis Torres Peña</i>
LTP	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 25

A: Mineral

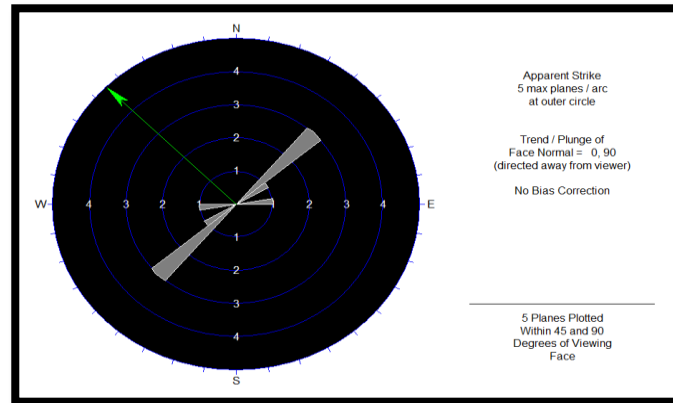


Fuente: software Dips Rocscience - Elaboración propia.



Figura 26

B: Mineral



Fuente: software Dips Rocscience - Elaboración propia.

En la Figura 25, se observa que, mediante el análisis estereográfico de la excavación, se determinó un rumbo de N 45° W. Asimismo, se identificó que la familia de planos representativa se encuentra en concordancia con la excavación, presentando un buzamiento de 75°.

Por otro lado, en la Figura 26 se puede apreciar, a través del uso de la roseta, que la excavación exhibe condiciones de estabilidad, la excavación presenta condiciones favorables y no muestra riesgos de desestabilización o colapso

Figura 27

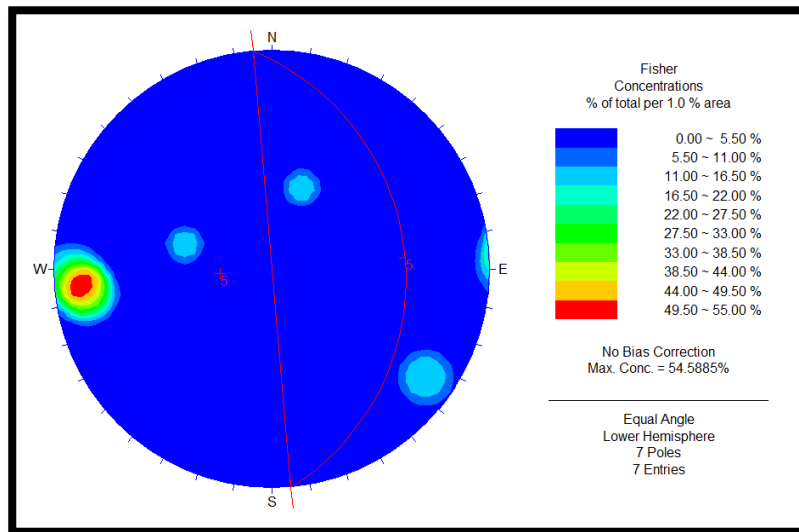
Reporte Geomecánico EST. 02

REPORTE GEOMECÁNICO							
Empresa: AMAPOLA 5 SAC		Lugar: Veta Margarita		Labor: Tope Norte - Nv. 04		Fecha: 17/09/2022	
Tipo de Roca y/o Mineral: Andesita		σc (Mpa) = 57		RQD = 92			
VALORIZACION DEL MACIZO (R.M.R) - Clasificación RMR de Bieniawski (1989)							
PARAMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORIZACIONES					VALORACION	
RESIST. COMP. UNIAIXIAL	>250=R6 (15)	100-250=RS (12)	50-100=R4 (7)	25-50=R3 (5)	<25(2)=R2, <S(1)=R1	7	
RQD (%) (fracts.)	90-100 (2-6) (20)	75-90 (6-12) (17)	50-75 (12-20) (13)	25-50 (>20 frac) (8)	<25 (Bxdo) (3)	20	
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	15	
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10 m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	5
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro > 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	6
AGUA SUBTERRÁNEA	ALTERACIÓN	Sana (6)	Lig.Alterada. (5)	Mod.Alterad (3)	Muy Alterada (2)	Descompuesta (0)	3
		Seco (15)	Humeda (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	15
CLASE DE MACIZO ROCOSO							
RMR	100-81	80-61	60-41	40-26	25-0	79	
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III BUENA	IV MALA	V MUY MALA	II BUENA	
DATOS DE CAMPO							
DATOS IN-SITU		SET DE FAMILIAS		DIRECCION DE LA LABOR			
REBOTE (R) - Martillo Schmidt	# DE DISCONTINUIDADES	SPAN (m.)	BUZAMIENTO	DIREC. DE BUZAMIENTO	VETA MARGARITA		
0°	32		43	200			
0°	34	11	81	305	N35°W		
0°	34		80	82			
0°	30		81	84			
0°	36		83	85			
0°	34		85	89			
0°	32		45	106			
0°	32						
0°	32						
0°	32						
RQD - ROCK QUALITY DESIGNATION							
RQD = 100e <sup>(-0.1R)</sup> (0.1λ+1)							
RQD = 91.64							
DESCRIPCIÓN:							
Se pudo observar que la estocada de la Veta Amapola, se encontraba en operación.							
COMENTARIO							
El levantamiento litológico - estructural para caracterizar al macizo rocoso, fue ejecutado de acuerdo al estándar del ISRM, por el Bachiller Luis Torres Peña.							
LTP							

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 28**

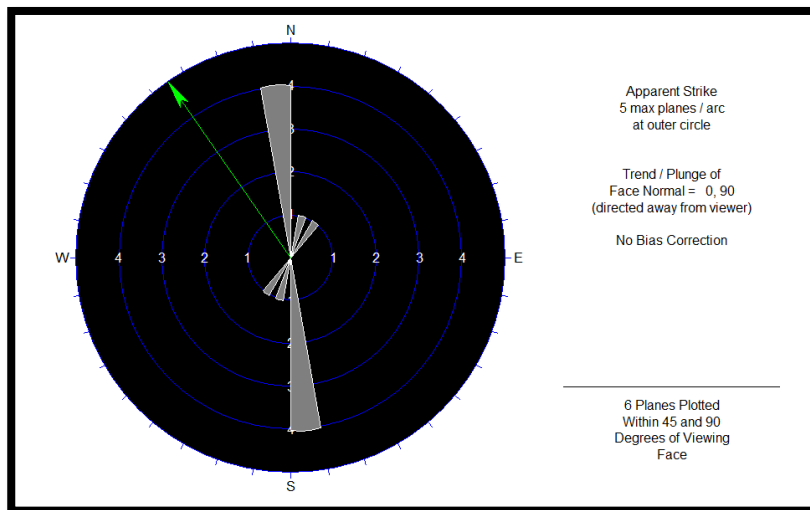
*A: Andesita*



Fuente: software Dips Rocscience - Elaboración propia.

**Figura 29**

*B: Andesita*



Fuente: software Dips Rocscience- elaboración propia

En la Figura 28, se observa a través del análisis estereográfico de la excavación que su rumbo es N 35° W, mientras que la familia representativa tiene un buzamiento de 63° a favor de la excavación.

En la Figura 29, podemos apreciar mediante la roseta que la excavación es estable. El resultado indica que la excavación está en condiciones favorables y no presenta riesgos de desestabilización o colapso

Figura 30

Reporte Geomecánico EST. 03

REPORTE GEOMECÁNICO							
Empresa: AMAPOLA 5 SAC		Lugar: Veta Pierina Tipo de Roca y/o Mineral: Pizarra silisificada		Labor: Subnivel Tajo 7 Norte $\sigma_c$ (Mpa) = 187		Fecha: 17/09/2022 RQD = 96	
VALORIZACION DEL MACIZO (R.M.R) - Clasificación RMR de Bieniawski (1989)							
PARAMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORIZACIONES					VALORACION	
RESIST. COMP. UNIAxIAL	>250=R6 (15)	100-250=R5 (12)	50-100=R4 (7)	25-50=R3 (5)	<25(2)=R2, <5(1)=R1	12	
RQD (%) (fracts.)	90-100 (2-6) (20)	75-90 (6-12) (17)	50-75 (12-20) (13)	25-50 (>20 frac) (8)	<25 (Bxdo) (3)	20	
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	10	
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10 m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert (5)	0.1-1.0mm (4)	1-5 mm (1)	>5 mm (0)	6
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	3
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro > 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	6
	ALTERACIÓN	Sana (6)	Lig.Alterada. (5)	Mod.Alterad (3)	Muy Alterada (2)	Descompuesta (0)	2
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco (15)	Humeda (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	15	
VALOR TOTAL RMR							
CLASE DE MACIZO ROCOSO							
RMR	100-81	80-61	60-41	40-26	25-0	78	
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III BUENA MOD	IV MALA	V MUY MALA	II BUENA	

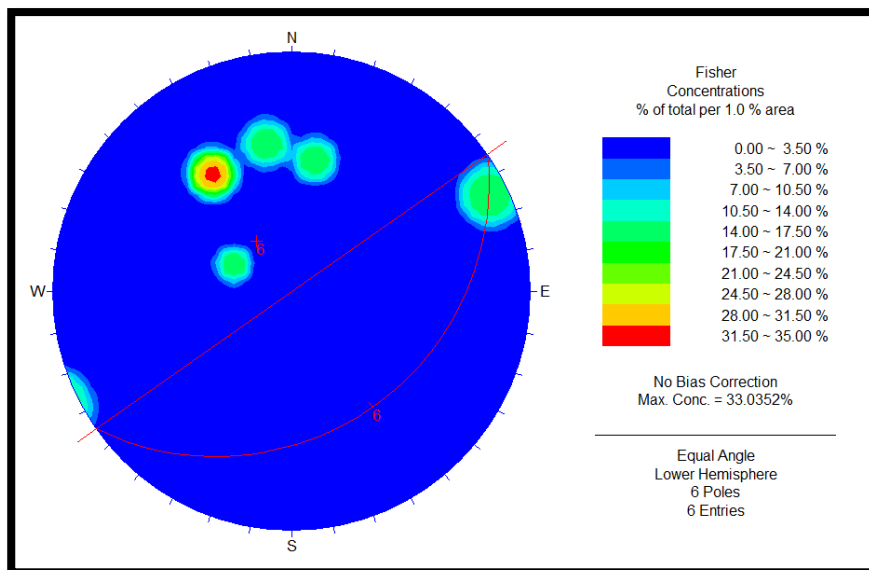
DATOS DE CAMPO					
DATOS IN-SITU			SET DE FAMILIAS		DIRECCION DE LA LABOR
REBOTE (R) - Martillo Schmidt	# DE DISCONTINUIDADES	SPAN (m.)	BUZAMIENTO	DIREC. DE BUZAMIENTO	VETA PIERINA
0°	48		30	115	
0°	32	11	85	244	S32°E
0°	42		64	170	
0°	46		58	190	
0°	42		60	146	
0°	48		62	146	
0°	38				
0°	46				
RQD - ROCK QUALITY DESIGNATION					
0°	32		$RQD = 100e^{-(0.1\lambda)} (0.1\lambda + 1)$		
0°	52		RQD = 95.99		

<b>DESCRIPCIÓN:</b>
<i>Se puede notar que la construcción del Pique es sobre roca pizarra silisificada, que se encuentra en proceso de construcción, con el objetivo de profundizar la mina</i>
<b>COMENTARIO</b>
<i>El levantamiento litológico - estructural para caracterizar al macizo rocoso, fue ejecutado de acuerdo al estándar del ISRM, por el Bachiller Luis Torres Peña</i>
LTP

Fuente: elaboración propia

Figura 31

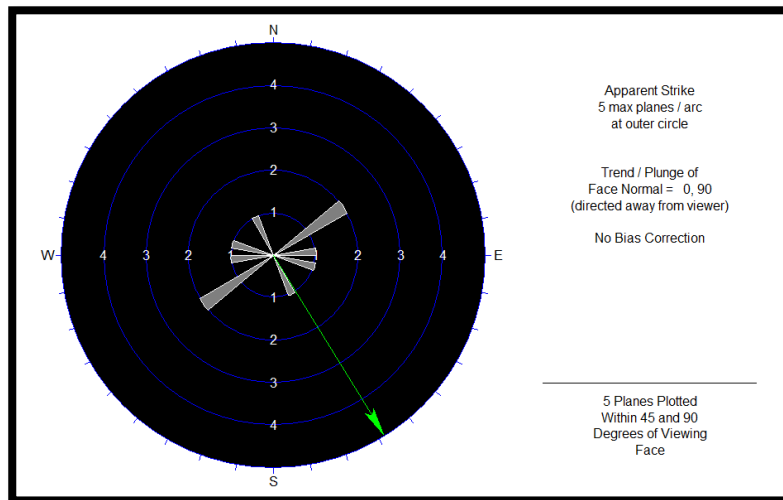
A: Pizarra



Fuente: software Dips Rocscience- elaboración propia

## Figura 32

B: Pizarra



Fuente: software Dips Rocscience- elaboración propia

En la Figura 31, se puede observar el análisis estereográfico de la excavación, indicando que tiene un rumbo de S 32° E. Además, se observa que la familia representativa se encuentra en contra de la excavación con un buzamiento de 61°.

En la Figura 32, se puede apreciar mediante la roseta que la excavación es estable. Este resultado es de suma importancia, ya que indica que la excavación está en condiciones favorables y no presenta riesgos de desestabilización o colapso.

Figura 33

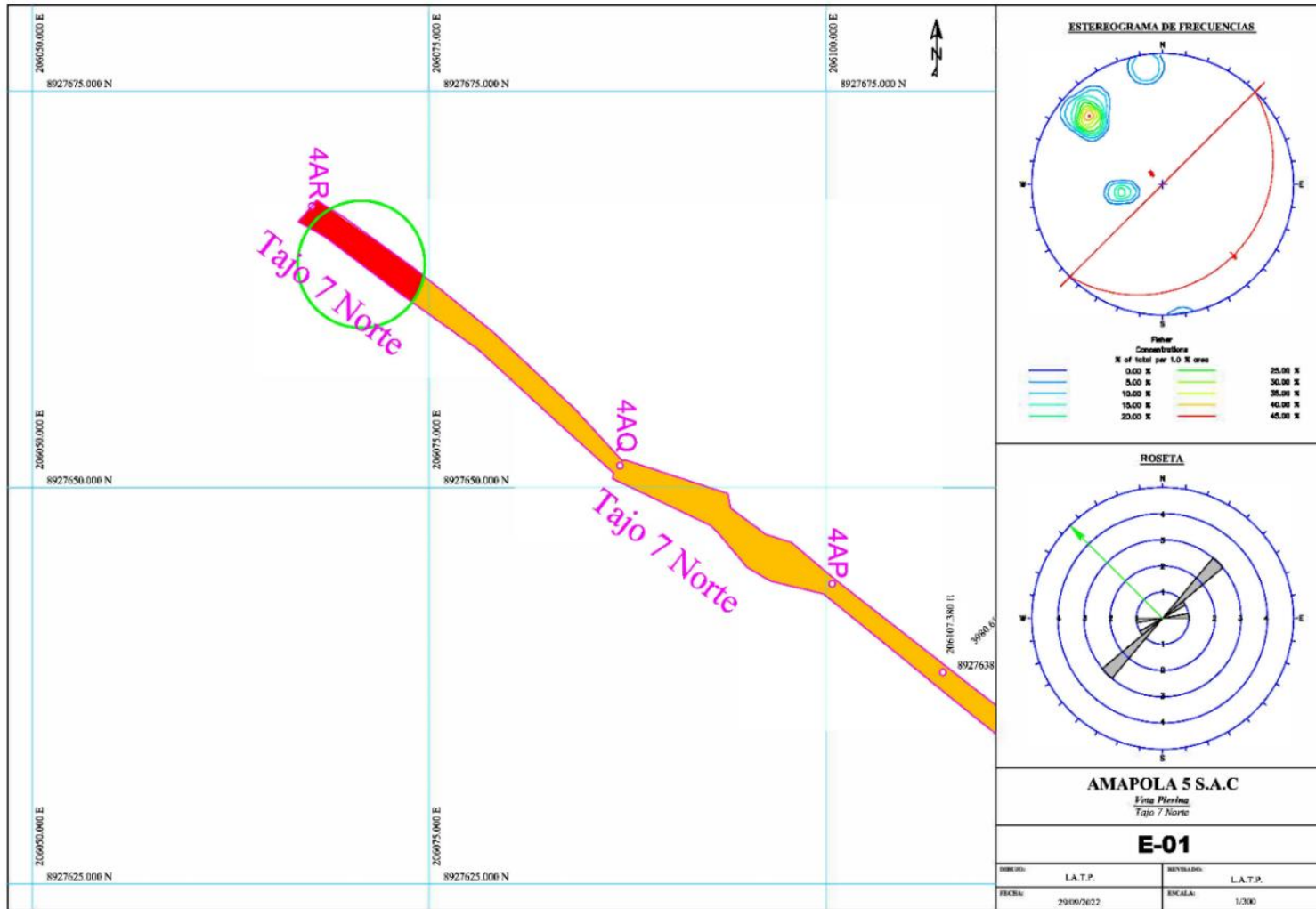
Mapeo geomecánico – EST. 01

Empresa: AMAPOLA 5 SAC.		Lugar: Veta Pierina		Labor: Tajo 7 Norte		Fecha: 17/09/2022		
Tipo de Roca y/o Mineral: Mineral		σc (Mpa) = 46		RQD = 70%				
<b>VALORIZACION DEL MACIZO (R.M.R) - Clasificación RMR de Bieniawski (1989)</b>								
PARAMETRO		RANGO DE VALORES Y VALORIZACIONES					VALORACIÓN	
RESIST. COMP. UNIAXIAL		>250=R6 (15)	100-250 =R5 (12)	50-100=R4 (7)	25-50 =R3 (5)	<25(2)=R2, <5(1)=R1	1	5
RQD (%) (fracts.)		90-100 (2-6) (20)	75-90 (6-12) (17)	50-75 (12-20) (13)	25-50 (>20 frac) (8)	<25 (Bxdo) (3)	2	13
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	15
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10 m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	2
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	4
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3
	RELLENO	Limpia (6)	Duro <5mm (4)	Duro>5mm (2)	Suave <5 mm (1)	Suave >5 mm (0)	4D	1
	ALTERACIÓN	Sana (6)	Lig.Alterada. (5)	Mod.Alterad (3)	Muy Alterada .(2)	Descompuesta (0)	4E	2
AGUA SUBTERRÁNEA		Seco (15)	Humeda (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	15
VALOR TOTAL RMR								
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>								
RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0	60		
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA	III REGULAR		
<b>CORRECCIÓN POR ORIENTACIÓN</b>								
Rumbo perpendicular al eje de túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Echado de 0-20° independiente del rumbo Desfavo. -10		
Penetración en el sentido del rumbo		Penetración contra el rumbo						
Echado 45°-90° Muy favo. 0	Echado 20°-45° Favo. -2	Echado 45°-90° Regu. -5	Echado 20°-45° Desfavo. -10	Echado 45°-90° Muy desfavo. -12	Echado 20°-45° Regu. -5			
<b>SIGNIFICADO DE LAS CLASES DE MACIZO ROCOSO</b>								
TIEMPO DE MANTENIMIENTO	10 AÑOS PARA 5 m.	6 MESES PARA 4 m.	1 SEMANA PARA 3 m.	5 HORAS PARA 1.5 m.	10 MINUTOS PARA 0.5 m.	RMR (Bás.) 60		
COHESIÓN	> 30.66 Mpa	20.44 - 30.66 Mpa	15.33 - 20.44 Mpa	10.22 - 15.33 Mpa	< 10.22 Mpa	Corrección		
ANG. DE FRICCIÓN	> 45°	40° - 45°	30° - 40°	30° - 35°	< 30°	0		
<b>DESCRIPCIÓN:</b>								
La dirección de la veta esta favor del sistema de familia con un buzamiento de 75°. Por lo que la condición geomecánica de esta veta es regular ya que el mineral tiene una composición casi uniforme, razón que dicha estructura mineralizada es estable.						RMR (Correg.) 60		
<b>SUB - TIPO</b> III A REGULAR								
<b>RECOMENDACIONES</b>								

Fuente: elaboración propia

**Figura 34**

Ubicación EST. 01 – zona de mapeo



Fuente: topografía mina Amapola 5 S.A.C

Figura 35

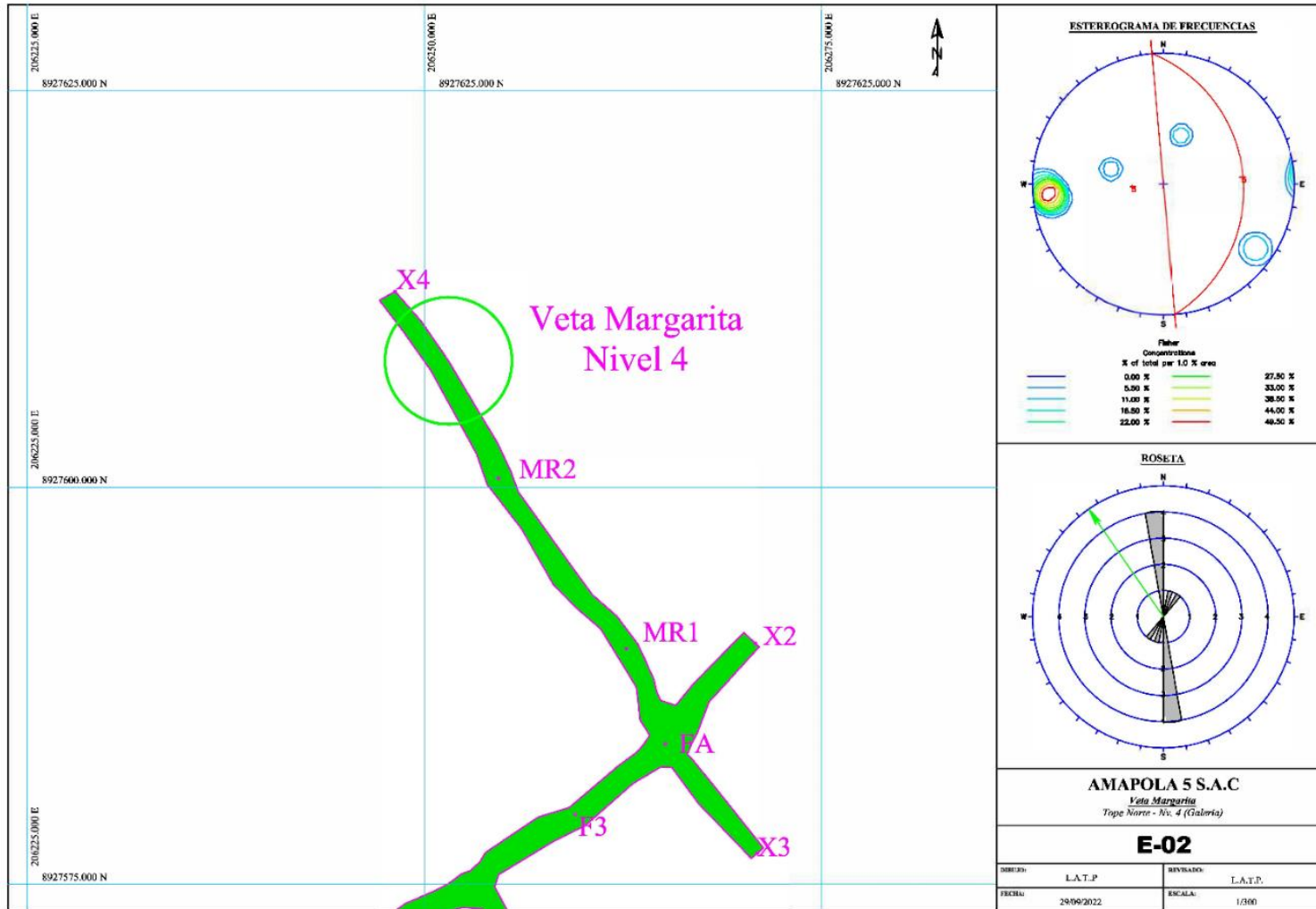
Mapeo geomecánico – EST. 02

Empresa: AMAPOLA 5 SAC.		Lugar: Veta Margarita Tipo de Roca y/o Mineral: <i>Andesita</i>		Labor: <i>Tope Norte - Nv. 04</i> $\sigma$ (Mpa) = 57		Fecha: 17/09/2022 RQD = 92%		
VALORIZACION DEL MACIZO (R.M.R) - Clasificación RMR de Bieniawski (1989)								
PARAMETRO		RANGO DE VALORES Y VALORIZACIONES					VALORACIÓN	
RESIST. COMP. UNIAXIAL	>250=R6 (15)	100-250 =R5 (12)	50-100=R4 (7)	25-50 =R3 (5)	<25(2)=R2, <5(1)=R1	1	7	
RQD (%) (fracts.)	90-100 (2-6) (20)	75-90 (6-12) (17)	50-75 (12-20) (13)	25-50 (>20 frac) (8)	<25 (Bxdo) (3)	2	20	
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	15	
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10 m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	4
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	4
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	5
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro > 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	4D	6
	ALTERACIÓN	Sana (6)	Lig.Alterada. (5)	Mod.Alterad (3)	Muy Alterada (2)	Descompuesta (0)	4E	3
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco (15)	Humeda (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	15	
							VALOR TOTAL RMR	
CLASE DE MACIZO ROCOSO								
RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0	79		
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA	II BUENA		
CORRECCIÓN POR ORIENTACIÓN								
Rumbo perpendicular al eje de túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Echado de 0-20° independiente del rumbo		
Penetración en el sentido del rumbo		Penetración contra el rumbo						
Echado 45°-90°	Echado 20°-45°	Echado 45°-90°	Echado 20°-45°	Echado 45°-90°	Echado 20°-45°			
Muy favo.	Favo.	Regu.	Desfavo.	Muy desfavo.	Regu.	Desfavo.		
0	-2	-5	-10	-12	-5	-10		
SIGNIFICADO DE LAS CLASES DE MACIZO ROCOSO								
TIEMPO DE MANTENIMIENTO	10 AÑOS PARA 5 m.	6 MESES PARA 4 m.	1 SEMANA PARA 3 m.	5 HORAS PARA 1.5 m.	10 MINUTOS PARA 0.5 m.	RMR (Bás.) 79		
COHESIÓN	> 30.66 Mpa	20.44 - 30.66 Mpa	15.33 - 20.44 Mpa	10.22 - 15.33 Mpa	< 10.22 Mpa	Corrección		
ANG. DE FRICCIÓN	> 45°	40° - 45°	30° - 40°	30° - 35°	< 30°	0		
DESCRIPCIÓN:								
La dirección de la labor minera - Estocada de la Veta Amapola esta a favor del set de familia con un buzamiento de 63°.						RMR (Correg.) 79		
Por lo que la condición geomecánica de esta labor es buena, y por lo tanto estable.								
SUB - TIPO								
IIA BUENA								
RECOMENDACIONES								

Fuente: elaboración propia

**Figura 36**

Ubicación EST. 02 – zona de mapeo



Fuente: topografía mina Amapola 5 S.A.C



Figura 37

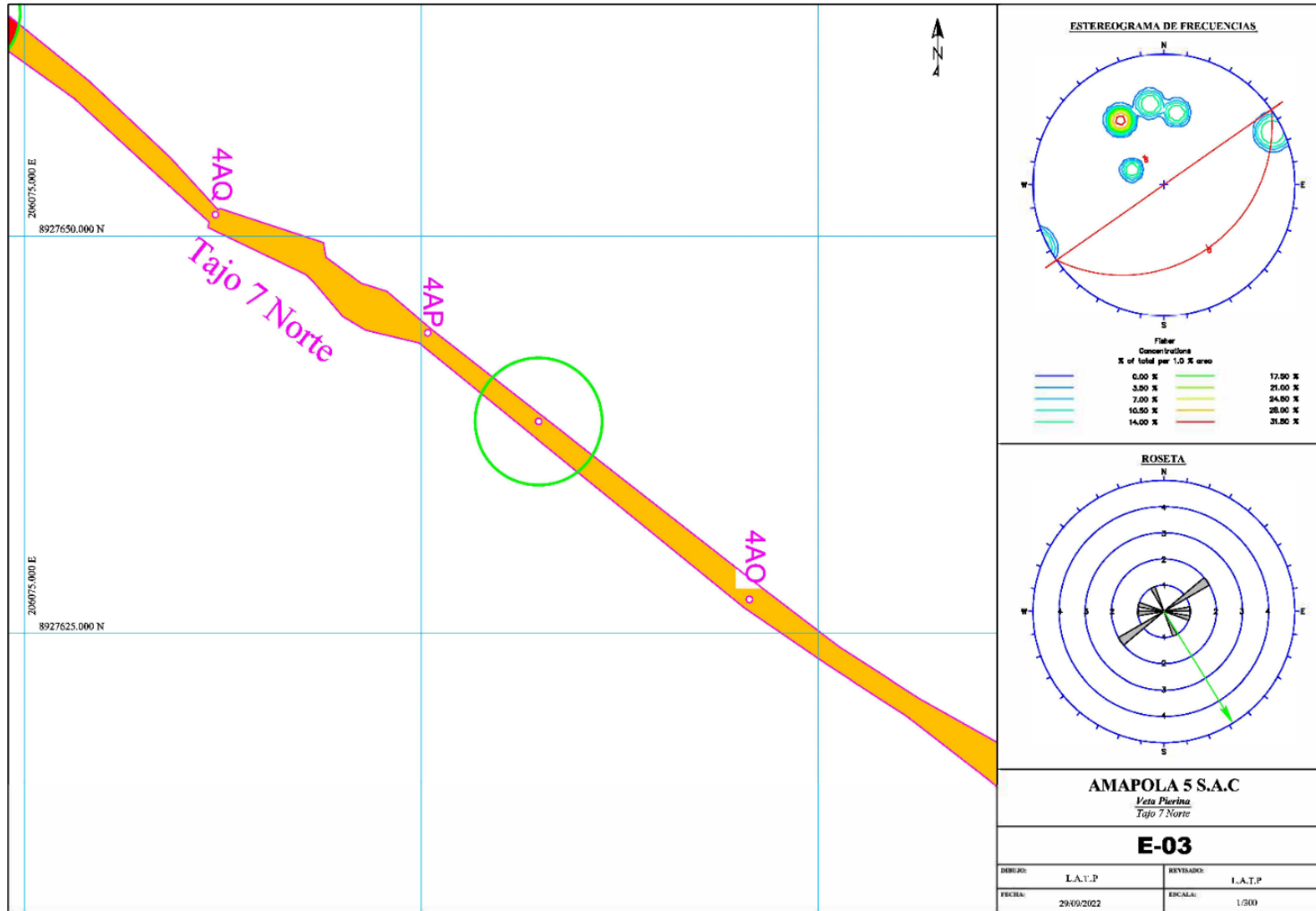
Mapeo geomecánico – EST. 03

Empresa: AMAPOLA 5 SAC.		Lugar: Veta Pierina Tipo de Roca y/o Mineral: Pizarra Silisificada		Labor: Subnivel Tajo 7 Norte $\sigma_c$ (Mpa) = 187		Fecha: 17/09/2022 RQD = 96%		
VALORIZACION DEL MACIZO (R.M.R) - Clasificación RMR de Bieniawski (1989)								
PARAMETRO		RANGO DE VALORES Y VALORIZACIONES					VALORACIÓN	
RESIST. COMP. UNIAxIAL		>250=R6 (15)	100-250 =R5 (12)	50-100=R4 (7)	25-50 =R3 (5)	<25(2)=R2, <5(1)=R1	1	12
RQD (%) (fracts.)		90-100 (2-6) (20)	75-90 (6-12) (17)	50-75 (12-20) (13)	25-50 (>20 frac) (8)	<25 (Bxdo) (3)	2	20
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	10
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10 m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	4
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	>5 mm (0)	4B	6
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3
	RELLENO	Limpia (6)	Duro <5mm (4)	Duro>5mm (2)	Suave <5 mm (1)	Suave >5 mm (0)	4D	6
	ALTERACIÓN	Sana (6)	Lig. Alterada. (5)	Mod.Alterad (3)	Muy Alterada (2)	Descompuesta (0)	4E	5
AGUA SUBTERRÀNEA		Seco (15)	Humeda (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	15
VALOR TOTAL RMR								
CLASE DE MACIZO ROCOSO								
RMR		100-81	80-61	60-41	40-21	20-0		81
DESCRIPCION		I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		
CORRECCIÓN POR ORIENTACIÓN								
Rumbo perpendicular al eje de túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Echado de 0-20° independiente del rumbo		
Penetración en el sentido del rumbo		Penetración contra el rumbo						
Echado 45°-90°	Echado 20°-45°	Echado 45°-90°	Echado 20°-45°	Echado 45°-90°	Echado 20°-45°	Desfavo. -10		
Muy favo. 0	Favo. -2	Regu. -5	Desfavo. -10	Muy desfavo. -12	Regu. -5			
SIGNIFICADO DE LAS CLASES DE MACIZO ROCOSO								
TIEMPO DE MANTENIMIENTO	10 AÑOS PARA 5 m.	6 MESES PARA 4 m.	1 SEMANA PARA 3 m.	5 HORAS PARA 1.5 m.	10 MINUTOS PARA 0.5 m.	RMR (Bás.) 81		
COHESIÓN	> 30.66 Mpa	20.44 - 30.66 Mpa	15.33 - 20.44 Mpa	10.22 - 15.33 Mpa	< 10.22 Mpa	Corrección		
ANG. DE FRICCIÓN	> 45°	40° - 45°	30° - 40°	30° - 35°	< 30°	-5		
DESCRIPCIÓN:								
La dirección de la labor minera esta en contra del set de familia con un buzamiento de 61°. Por lo que la condición geomecánica de esta labor es buena, y por lo tanto estable.							RMR (Correg.) 76	
SUB - TIPO IIA BUENA								
RECOMENDACIONES								

Fuente: elaboración propia

**Figura 38**

Ubicación EST. 03 – zona de mapeo



Fuente: topografía mina Amapola 5 S.A.C

### 3.2.3 Clasificación geomecánica del macizo rocoso

Para evaluar la calidad del macizo rocoso, se llevó a cabo el mapeo geomecánico, en función a los parámetros previamente descritos. La información detallada se puede encontrar en las Tablas 33, 34 y 35. Este análisis geomecánico proporciona una comprensión integral de las características y propiedades del macizo rocoso en estudio.

**Tabla 33**

*Cálculo del RMR Promedio*

Estación	Tipo de roca/Mineral	RMR Básico	RMR Corregido	RMR Promedio
Est. 01	Mineral	60	60	60
Est. 02	Andesita	79	79	79
Est. 03	Pizarra	81	76	79

**Tabla 34**

*Calidad del Macizo Rocosu según RMR (BIENIAWSKI-1989)*

Tipo de roca/Mineral	Clase	Sub clase	Calidad
Mineral	III	III-A	Regular
Andesita	II	II-A	Buena
Pizarra	II	II-A	Buena

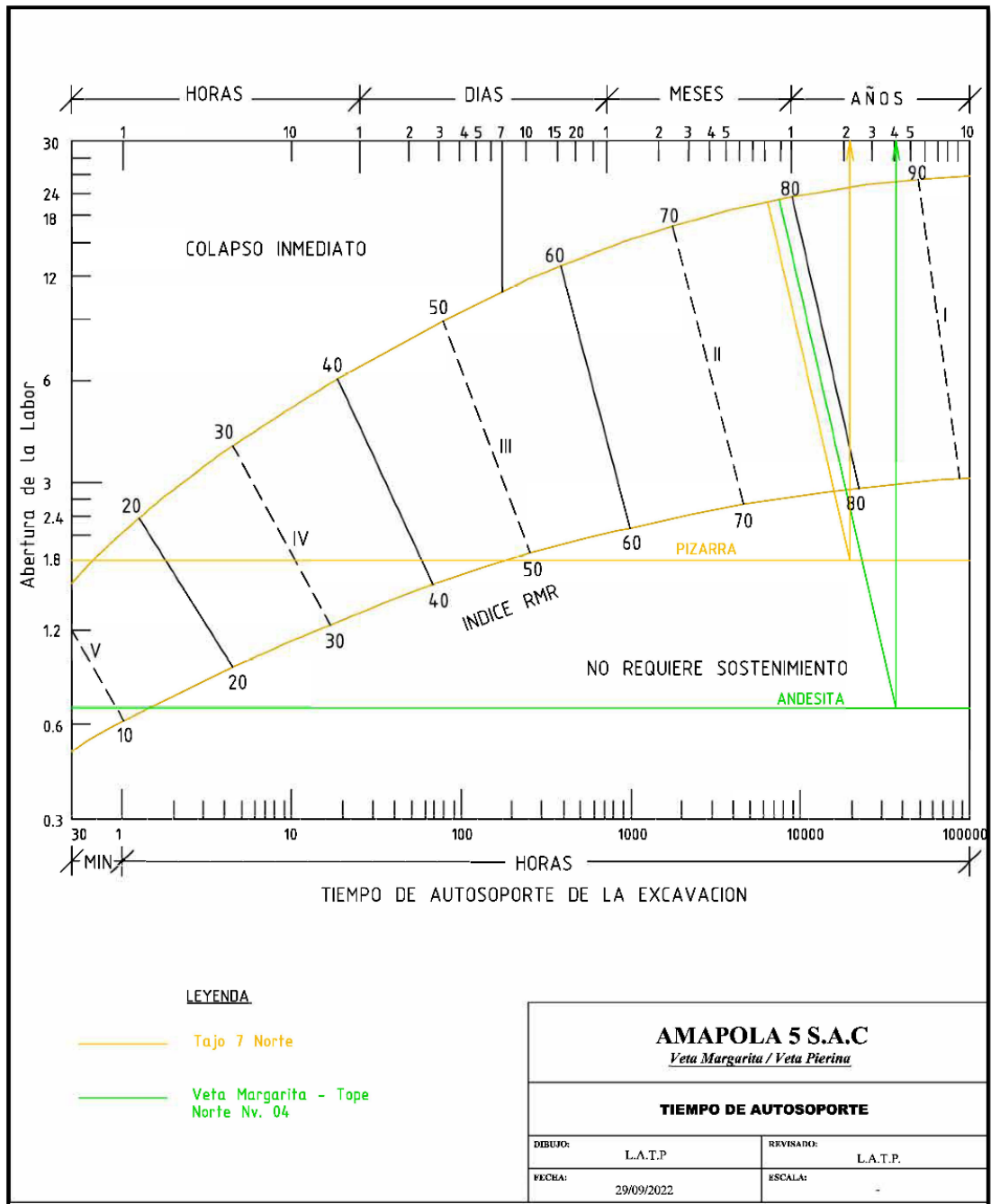
**Tabla 35**

*Tiempo de Autosostento de la Labores Mineras*

EST.	Tipo de roca/mineral	RMR sin sost.	Tiempo de autosostenimiento	Sostenimiento
Est. 01	Mineral	60	1 mes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere puntal de seguridad con redondos de 6" a 8" para secciones menores a 1.50 m.</li> <li>• Perno sistemático split s. de 4' para secciones de 1.50 a 2.10 m espaciado de 2.00 a 2.50 m, split s. sistemático de 5' para secciones de 2.10 a 3.00 m espaciado de 2.00 a 2.50 m, split s. sistemático de 7' para secciones mayores a 3 m espaciado de 1.50 a 1.80 m.</li> </ul>
Est. 02	Andesita	79	4 años y 1 mes	Perno, puntual u ocasional, split s. de 4' para secciones de 1.50 m. 2.10 m, split s. sistemático de 5' para secciones de 2.10 a 3.00 m.
Est. 03	Pizarra	79	2 años y 2 meses	Perno puntual u ocasional split s. de 4' para secciones de 1.50 m. 2.10 m, split s. sistemático de 5' para secciones de 2.10 a 3.00 m

**Figura 39**

Tiempo de autoaporte



Fuente: elaboración propia

Donde:

Dimensión Equivalente

$$DE = \left( \frac{LUZ}{ESR} \right)$$

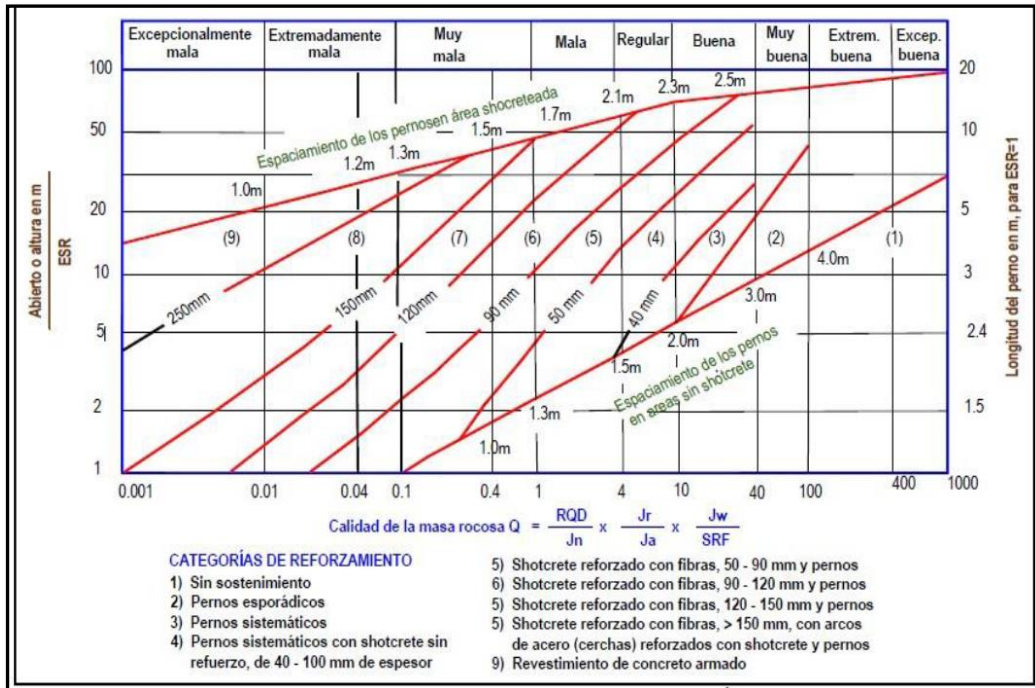
ESR =1.5 (labores permanentes)

=3.0 (labores temporales)

Usaremos como referencia los siguientes ábacos para determinar el sostenimiento de nuestras labores, estos han sido acondicionados y/o adaptados a la realidad de minas peruanas con similares características a nuestra mina en estudio

**Figura 40**

Sostenimiento permanente e índice Q (tomado de Carvajal, 2008)



Fuente: [https://www.researchgate.net/figure/Categorias-de-sostenimiento-o-refuerzo-a-partir-del-indice-Q-de-Barton\\_fig1\\_325389367](https://www.researchgate.net/figure/Categorias-de-sostenimiento-o-refuerzo-a-partir-del-indice-Q-de-Barton_fig1_325389367)

**Figura 41**

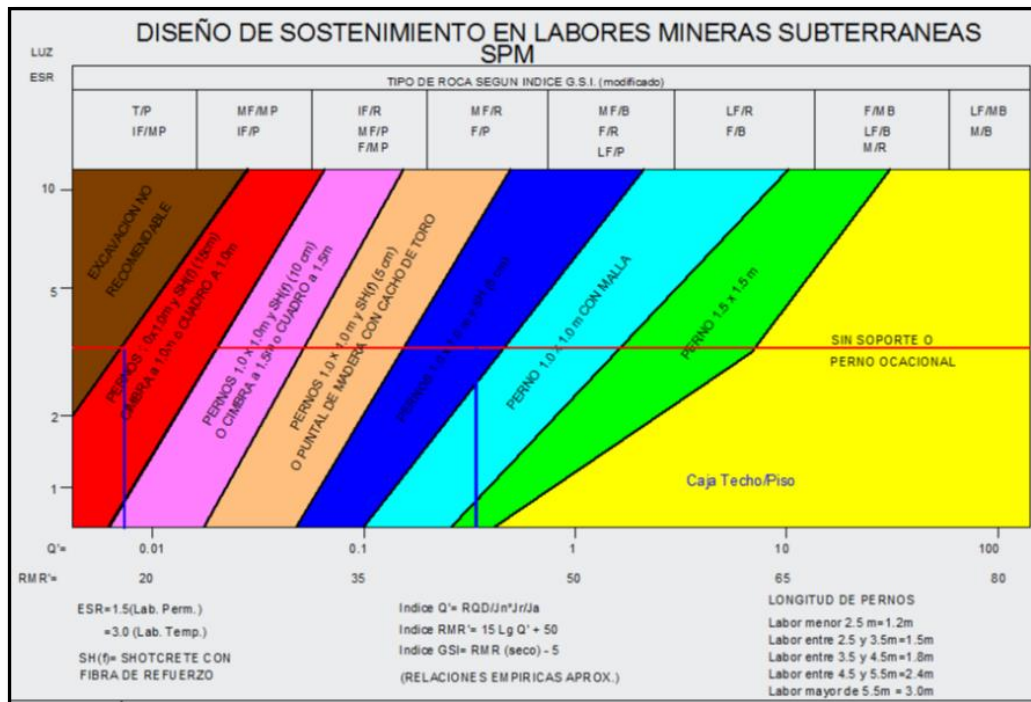
Criterio generalizado de Hoek and Brown

*Criterio generalizado de Hoek and Brown	Condición de la Superficie				
	Muy Buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala
<b>Estructura</b>	Muy rugosa, superficie no intemperizada.	Rugosa, superficies ligeramente intemperizadas y manchadas.	Lisa, superficies moderadamente intemperizadas o alteradas.	Espejo de falla, superficies muy intemperizadas con cobertura compacta o relleno que contiene fragmentos rocosos angulares.	Espejo de falla, superficies muy intemperizadas con relleno de arcilla suave.
<b>Bloqueada</b> muy bien entrelazado, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales.	m/m <sub>i</sub> = 0.60 s = 0.190 a = 0.5 E <sub>m</sub> = 75000 □ = 0.2 GSI = 85	m/m <sub>i</sub> = 0.40 s = 0.062 a = 0.5 E <sub>m</sub> = 40000 □ = 0.2 GSI = 75	m/m <sub>i</sub> = 0.26 s = 0.015 a = 0.5 E <sub>m</sub> = 20000 □ = 0.25 GSI = 62	m/m <sub>i</sub> = 0.16 s = 0.003 a = 0.5 E <sub>m</sub> = 9000 □ = 0.25 GSI = 48	m/m <sub>i</sub> = 0.08 s = 0.004 a = 0.5 E <sub>m</sub> = 3000 □ = 0.25 GSI = 34
<b>Muy Bloqueada</b> entrelazado Macizo rocoso parcialmente disturbada con bloques angulares de varias caras formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades.	m/m <sub>i</sub> = 0.40 s = 0.062 a = 0.5 E <sub>m</sub> = 40000 □ = 0.2 GSI = 75	m/m <sub>i</sub> = 0.29 s = 0.021 a = 0.5 E <sub>m</sub> = 24000 □ = 0.25 GSI = 65	m/m <sub>i</sub> = 0.16 s = 0.003 a = 0.5 E <sub>m</sub> = 9000 □ = 0.25 GSI = 48	m/m <sub>i</sub> = 0.1 s = 0.001 a = 0.5 E <sub>m</sub> = 5000 □ = 0.25 GSI = 38	m/m <sub>i</sub> = 0.07 s = 0 a = 0.53 E <sub>m</sub> = 2500 □ = 0.3 GSI = 25
<b>Bloqueada/Seamy</b> plegada y fallada con intersección de muchas discontinuidades, formando bloques angulares.	m/m <sub>i</sub> = 0.24 s = 0.012 a = 0.5 E <sub>m</sub> = 18000 □ = 0.25 GSI = 60	m/m <sub>i</sub> = 0.17 s = 0.004 a = 0.5 E <sub>m</sub> = 10000 □ = 0.25 GSI = 50	m/m <sub>i</sub> = 0.12 s = 0.001 a = 0.5 E <sub>m</sub> = 6000 □ = 0.25 GSI = 40	m/m <sub>i</sub> = 0.08 s = 0 a = 0.5 E <sub>m</sub> = 3000 □ = 0.3 GSI = 30	m/m <sub>i</sub> = 0.06 s = 0 a = 0.55 E <sub>m</sub> = 2000 □ = 0.3 GSI = 20
<b>Triturada</b> pobremente entrelazada, macizo rocoso severamente fracturado con bloques angulares y redondeados.	m/m <sub>i</sub> = 0.17 s = 0.004 a = 0.5 E <sub>m</sub> = 10000 □ = 0.25 GSI = 50	m/m <sub>i</sub> = 0.12 s = 0.001 a = 0.5 E <sub>m</sub> = 6000 □ = 0.25 GSI = 40	m/m <sub>i</sub> = 0.08 s = 0 a = 0.5 E <sub>m</sub> = 3000 □ = 0.3 GSI = 30	m/m <sub>i</sub> = 0.06 s = 0 a = 0.55 E <sub>m</sub> = 2000 □ = 0.3 GSI = 20	m/m <sub>i</sub> = 0.04 s = 0 a = 0.60 E <sub>m</sub> = 1000 □ = 0.3 GSI = 10

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 42**

Relación de RMR, GSI e Índice Q para diseño de sostenimiento



Nota: tomado de compañía minera Argentum

### 3.2.4 Cartillas Geomecánicas

Figura 43

Cartilla Geomecánica V-1

<b>AMAPOLA 5 S.A.C.</b>			<b>CARTILLA GEOMECÁNICA</b>					
			<b>LABORES DE EXPLOTACIÓN Y AVANCES</b>					
<i>SOSTENIMIENTO DE LABORES CONVENCIONALES DE PREPARACIÓN SEGÚN GSI MODIFICADO (Secciones de 1.5 x 2.0m hasta 3.0x3.0m)</i>			<b>CONDICIÓN SUPERFICIAL</b>	<b>MUY BUENA</b> Superficie de discontinuidades muy rugosas e inalteradas, aperturas cerradas ( Rc>250 Mpa). (La muestra solo se astilla con varios golpes de picota)	<b>BUENA</b> Superficie de discontinuidades muy rugosas, sanas e inalteradas, aperturas cerradas, muy angostas ( Rc: 100-250 Mpa). (La muestra solo se rompe con 3-4 golpes de picota).	<b>REGULAR</b> Superficie de discontinuidades rugosas, ligeramente alteradas, manchas de oxidación, aperturas muy angostas (Rc: 50-100 Mpa). (La muestra solo se rompe con 1 golpe de picota).	<b>MALA</b> Superficie de discontinuidades ligeramente rugosas, moderadamente alteradas, aperturas ligeramente abiertas (Rc: 25-50 Mpa). (La muestra solo se rompe con 1-2 golpes de picota).	<b>MUY MALA</b> No se aprecia discontinuidades lisas con espejo de falla muy abiertas, ligeramente alteradas, manchas de oxidación, aperturas muy angostas (Rc< 50 Mpa). (La punta de la picota con 1 golpe se indenta profundamente en la muestra).
Tipo de roca	RMR	CLASIFICACIÓN GSI / RMR						
I	81-100							
II-A	71-80	Tiempo de Autoaporte <b>CERO</b>						
II-B	61-70							
III-A	51-60	Sostenimiento Inmediato						
III-B	41-50							
IV-A	31-40	Metro Avanzado Metro Sostenido						
IV-B	21-30							
V	0-20							
<b>CONDICION ESTRUCTURAL</b>			<b>CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO PARA ESTIMAR SU RESISTENCIA</b>					
	<b>LEVEMENTE FRACTURADA</b>	LF/MB	LF/B	LF/R	LF/M	LF/MM		
	<b>FRACTURADA</b>	F/MB	F/B	F/R	F/M	F/MM		
	<b>MUY FRACTURADA</b>	MF/MB	MF/B	MF/R	MF/M	MF/MM		
	<b>INTENSAMENTE FRACTURADA</b>	IF/MB	IF/B	IF/R	IF/M	IF/MM		

Fuente: elaboración propia

**Figura 44**

*Diseño de sostenimiento para labores temporales y permanentes.*

Tipo de Roca	R.M.R.	Calidad	Descripción	LABOR TEMPORAL	LABOR PERMANENTE
I	81-100	Muy Buena	• Roca dura con muy pocas fracturas. • Muy leve alteración en algunos casos. • Terreno seco.	• Requiere puntal de seguridad con redondos de 6" a 8" para secciones menores de 1.50 m. • Perno puntal u ocasional split set de 4' para secciones de 1.50 m. 2.10 m, split set de 5' para secciones de 2.10 a 3.00 m, split set de 7' para secciones mayores de 3 m.	• Perno puntal u ocasional Helicoidal de 4' para secciones de 1.50 a 2.10 m. Perno Helicoidal de 5' para secciones de 2.10 a 3.00 m, Perno Helicoidal de 7' para secciones mayores a 3 m.
II-A	71-80	Buena "A"	• Roca dura con regular cantidad de fracturas • Leve alteración. Húmedo en algunos casos	• Requiere puntal de seguridad con redondos de 6" a 8" para secciones menores a 1.50 m. • Perno puntal u ocasional split s. de 4' para secciones de 1.50 m. 2.10 m, split s. sistemático de 5' para secciones de 2.10 a 3.00 m, split s. sistemático de 7' para secciones mayores a 3 m espaciado de 2.50 a 3.0m	• Perno puntal u ocasional Helicoidal de 4' para secciones de 1.50 a 2.10 m. Perno Helicoidal puntal u ocasional de 5' para secciones de 2.10 a 3.00 m, Perno Helicoidal Sistemático de 7' para secciones mayores a 3 m espaciado de 2.50 a 3.0 m.
II-B	61-70	Buena "B"	• Roca dura con regular cantidad de fracturas • Moderadamente alterada • Húmedo en algunos casos.	• Requiere puntal de seguridad con redondos de 6" a 8" para secciones menores a 1.50 m. • Perno sistemático split s. de 4' para secciones de 1.50 a 2.10 m espaciado de 2.50 a 3.00 m, split s. sistemático de 5' para secciones de 2.10 a 3.00 m espaciado de 2.50 a 3.00 m, split s. sistemático de 7' para secciones mayores a 3 m espaciado de 2.00 a 2.50 m.	• Perno sistemático Helicoidal de 4' para secciones de 1.50 a 2.10 m espaciado de 2.50 a 3.00 m, Perno Helicoidal sistemático de 5' para secciones de 2.10 a 3.00 m espaciado de 2.50 a 3.00 m, Perno Helicoidal Sistemático de 7' para secciones mayores a 3 m espaciado de 2.00 a 2.50 m.
III-A	51-60	Regular "A"	• Roca de regular dureza, con regular o mayor cantidad de fracturas. • Ligeramente a moderadamente alterada. • Pequeñas fallas de panizo. • Terreno ligeramente humedecido.	• Requiere puntal de seguridad con redondos de 6" a 8" para secciones menores a 1.50 m. • Perno sistemático split s. de 4' para secciones de 1.50 a 2.10 m espaciado de 2.00 a 2.50 m, split s. sistemático de 5' para secciones de 2.10 a 3.00 m espaciado de 2.00 a 2.50 m, split s. sistemático de 7' para secciones mayores a 3 m espaciado de 1.50 a 1.80 m.	• Perno sistemático Helicoidal de 4' para secciones de 1.50 a 2.10 m espaciado de 2.00 a 2.50 m, Perno Helicoidal sistemático de 5' para secciones de 2.10 a 3.00 m espaciado de 2.00 a 2.50 m, Perno Helicoidal Sistemático de 7' para secciones mayores a 3 m espaciado de 1.50 a 1.80 m
III-B	41-50	Regular "B"	• Roca poco blanda con regular o mayor cantidad de fracturas. • Ligeramente a moderadamente alterada. • Pequeñas fallas de panizo. • Terreno con ligero goteo (fuerte en algunos casos).	• Requiere puntal de seguridad con redondos de 6" a 8" para secciones menores a 1.50 m. • Perno split s. de 4' más malla electrosoldada para secciones de 1.50 a 2.10 m, split s. de 5' más malla electrosoldada para secciones de 2.10 a 3.00 m, split s. de 7' más malla electrosoldada para secciones mayores a 3 m.	• Perno Helicoidal de 4' + malla electrosoldada para secciones de 1.50 a 2.10 m, Perno Helicoidal de 5' + malla electrosoldada para secciones de 2.10 a 3.00 m, Perno Helicoidal de 7' + malla electrosoldada para secciones mayores a 3 m.
IV-A	31-40	Mala "A"	• Roca blanda que presenta muchas fracturas. • Roca muy alterada. • Fallas significativas. • Goteo de agua.	• Requiere cuadros de madera para secciones menores de 1.50 m espaciado a 1.50 m. • Perno Hydrabolt sistemático de 4' para secciones de 1.50 a 2.10 m espaciado de 1.20 a 1.50 m, Hydrabolt sist. de 5' para secciones de 2.10 a 3.00 m espaciado de 1.20 a 1.50 m, Hydrabolt sistemático de 7' para secciones mayores a 3 m espaciado de 1.20 a 1.50 m.	• Requiere cuadros de madera para secciones de 1.50 a 2.10 m. y secciones de 2.10 a 3.00 m espaciado a 1.50 m. Shotcrete de 2" con fibra + perno Helicoidal sistemático de 7' para secciones mayores a 3 m espaciado de 1.50 x 1.50 m.
IV-B	21-30	Mala "B"	• Roca blanda que presenta muchas fracturas. • Roca muy alterada. • Fallas significativas con panizo. • Goteo o flujo constante de agua.	• Requiere cuadros de madera para secciones menores de 1.50 m espaciado a 1.50 m. • Shot. de 2" C/F + split s. sist. de 4' para secciones de 1.50 a 2.10 m espaciado 1.50 x 1.50 m. Shot. de 2" C/F + split s. sist. de 5' para secciones de 2.10 a 3.00 m espaciado 1.50 x 1.50 m, Shot. de 2" C/F + split s. sist. de 7' para secciones > a 3.00 m espaciado 1.50 x 1.50.	• Requiere cuadros de madera para secciones de 1.50 a 2.10 m. y secciones de 2.10 a 3.00 m espaciado a 1.50 m. • Shotcrete de 4" sin fibra + Malla electrosoldada + perno Helicoidal sistemático de 7' para secciones mayores a 3.00 m espaciado 1.50 x 1.50 m.
V	0-20	Muy Mala	• Roca muy blanda, intensamente deleznable con muchas fracturas. • Roca intensamente alterada. • Fallas significativas con mucho Panizo. • Flujo continuo de agua en fracturas.	• Requiere cuadros de madera para secciones menores de 1.50 m y secciones de 1.50 a 3.50 m espaciado a 1.00 m. • Shotcrete de 4" sin fibra + Malla electrosoldada + perno split set sistemático de 7' para secciones mayores a 3.00 m espaciado 1.50 x 1.50 m.	• Requiere cuadros de madera para secciones de 1.50 a 2.10 m. y secciones de 2.10 a 3.00 m espaciado a 1.00 m. • Cimbra metálica para secciones de 3.50 a 4.00 m espaciado a 1.00 m, Cimbra metálica para secciones de 4.00 a 4.50 m espaciado a 1.00 m.

Fuente: elaboración propia



## Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

### 4.1 Propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso

Para la determinación de las propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso de la empresa minera Amapola 5 S.A.C., se consideraron los siguientes parámetros.

#### Datos iniciales

- Clasificaciones Geomecánicas:
  - La Clasificación Geomecánica de Bieniawski – RMR (Rock Mass Rating).
  - La Clasificación Geomecánica de Barton –“Q” (Índice de Calidad Tunelera).
- Ensayo de Laboratorio:
  - $\sigma_{ci}$  - Resistencia Compresiva de la roca Intacta.
- Cálculo de Constantes:
  - m, S, A y B.

#### Determinación de las constantes

Para determinar las constantes (m, s, A y B), se requiere realizar cálculos utilizando el cuadro incluido en la figura 45 referido a (relaciones aproximadas entre la calidad del macizo rocoso y las constantes empíricas). Estos cálculos se realizan aplicando la fórmula estadística de regresión exponencial:

$$y = Ae^{Bx}$$

$$B = \frac{n\sum(xLnY) - \sum x * \sum LnY}{n\sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$A = e^{\left(\frac{\sum LnY - B * \sum x}{n}\right)}$$

Es necesario considerar que el cálculo, es para cada una de las constantes.

Basado en la experiencia, práctica y teórica Hoek & Brown, desarrollan por medio de un proceso de aproximaciones la relación empírica entre los esfuerzos principales que intervienen en el fenómeno del debilitamiento de la roca.

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m\sigma_{ci} + S\sigma_3^2}$$

Donde:

$\sigma_1$ = Esfuerzo Principal mayor en el debilitamiento.

$\sigma_3$ = Esfuerzo Principal menor aplicado a la muestra.

$\sigma_{ci}$ = Resistencia Compresiva de la roca inalterada.

$m$  y  $S$  son constantes que dependen de las propiedades de la roca y el grado de su fracturación antes de ser sometida a los esfuerzos  $\delta_1$  y  $\delta_3$ .

Todos los parámetros indicados líneas arriba serán procesados en el programa Roclab y los resultados se presentan a continuación para su respectiva interpretación.

#### 4.1.1 Parámetros del macizo rocoso – EST 01

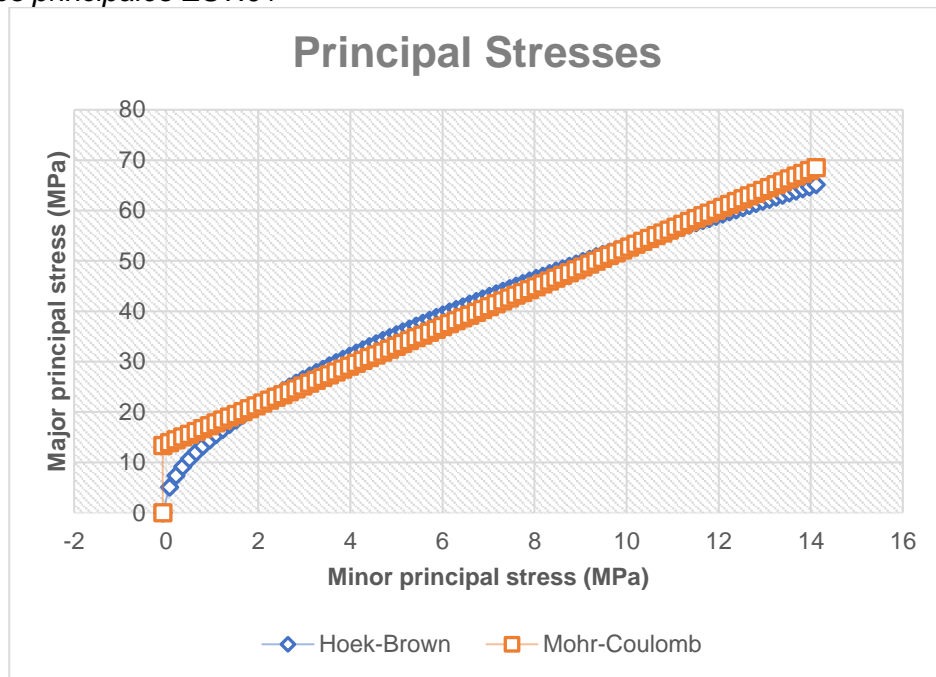
**Tabla 36**

*Parámetros del macizo rocoso – EST 01*

<b>Hoek Brown Classification</b>		
sigci	45,67	MPa
GSI	55	
mi	20	
D	0	
<b>Hoek Brown Criterion</b>		
mb	4,00919	
s	0,00673795	
a	0,504048	
<b>Failure Envelope Range</b>		
Application	Tunnels	
sig3max	14,1135	MPa
Unit Weight	0,3924	MN/m3
Tunnel Depth	81	m
<b>Mohr-Coulomb Fit</b>		
c	3,46381	MPa
phi	36,2106	degrees
<b>Rock Mass Parameters</b>		
sigt	-0,0767542	MPa
sigc	3,67371	MPa
sigcm	12,3287	MPa
Em	9011,88	MPa

**Figura 45**

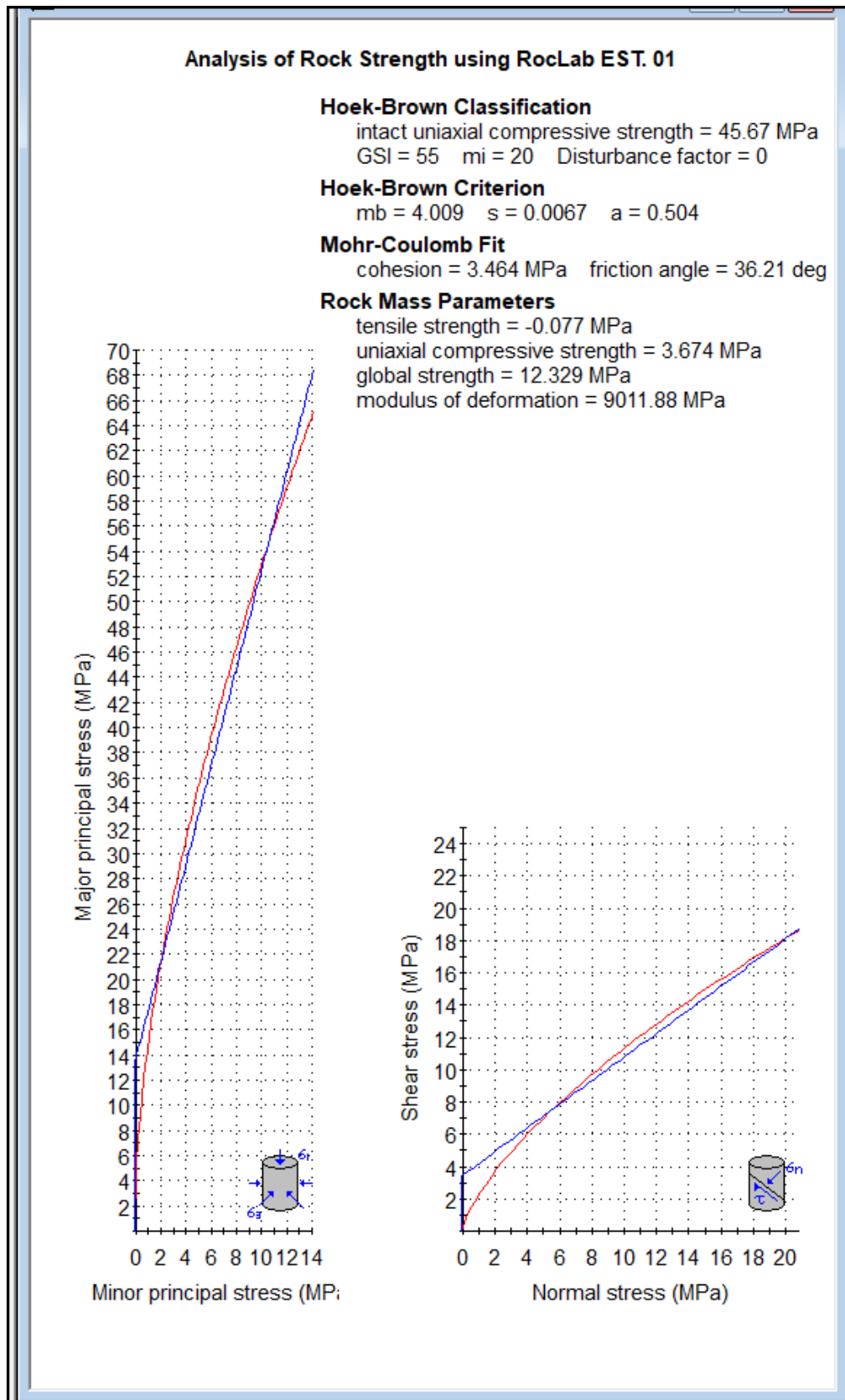
*Esfuerzos principales EST.01*



Nota: software Roclab - elaboración propia

Figura 46

Análisis de esfuerzos en EST. 01



Nota: software Roclab-elaboración propia

#### 4.1.2 Parámetros del macizo rocoso – EST 02

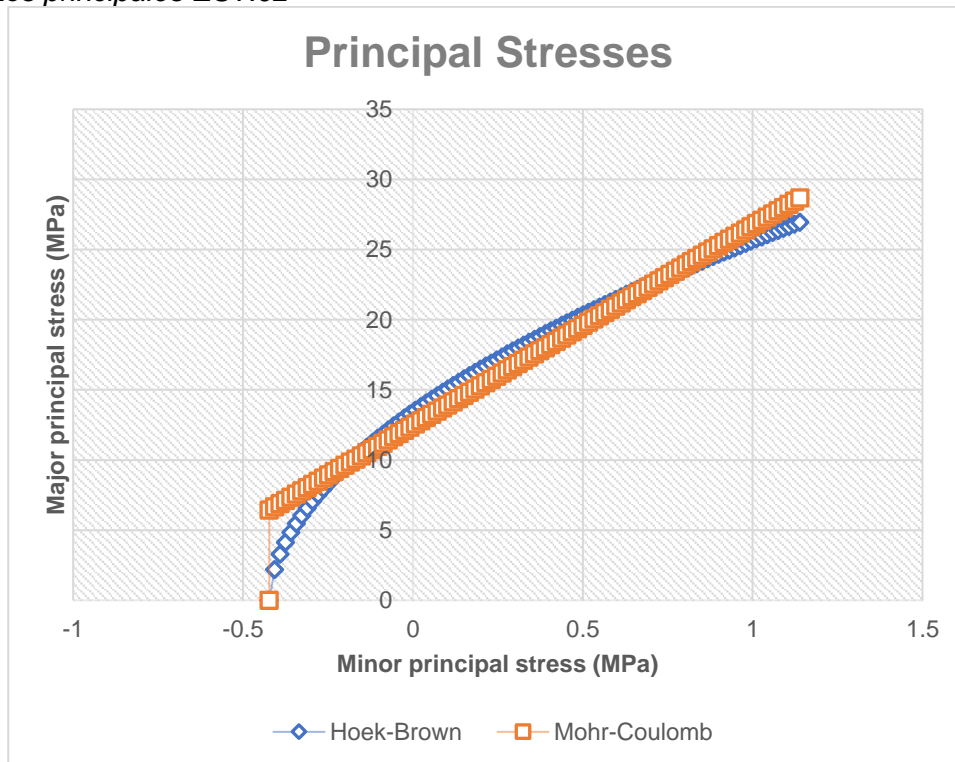
Tabla 37

Parámetros del macizo rocoso – EST 02

Hoek Brown Classification		
sigci	57,03	MPa
GSI	74	
mi	19	
D	0	
Hoek Brown Criterion		
mb	7,50724	
s	0,055638	
a	0,500988	
Failure Envelope Range		
Application	Tunnels	
sig3max	1,13878	Mpa
Unit Weight	0,0256	MN/m3
Tunnel Depth	82	m
Mohr-Coulomb Fit		
c	1,65085	Mpa
phi	60,3141	degrees
Rock Mass Parameters		
sigt	-0,422663	Mpa
sigc	13,4137	Mpa
sigcm	22,9197	Mpa
Em	30064,3	Mpa

Figura 47

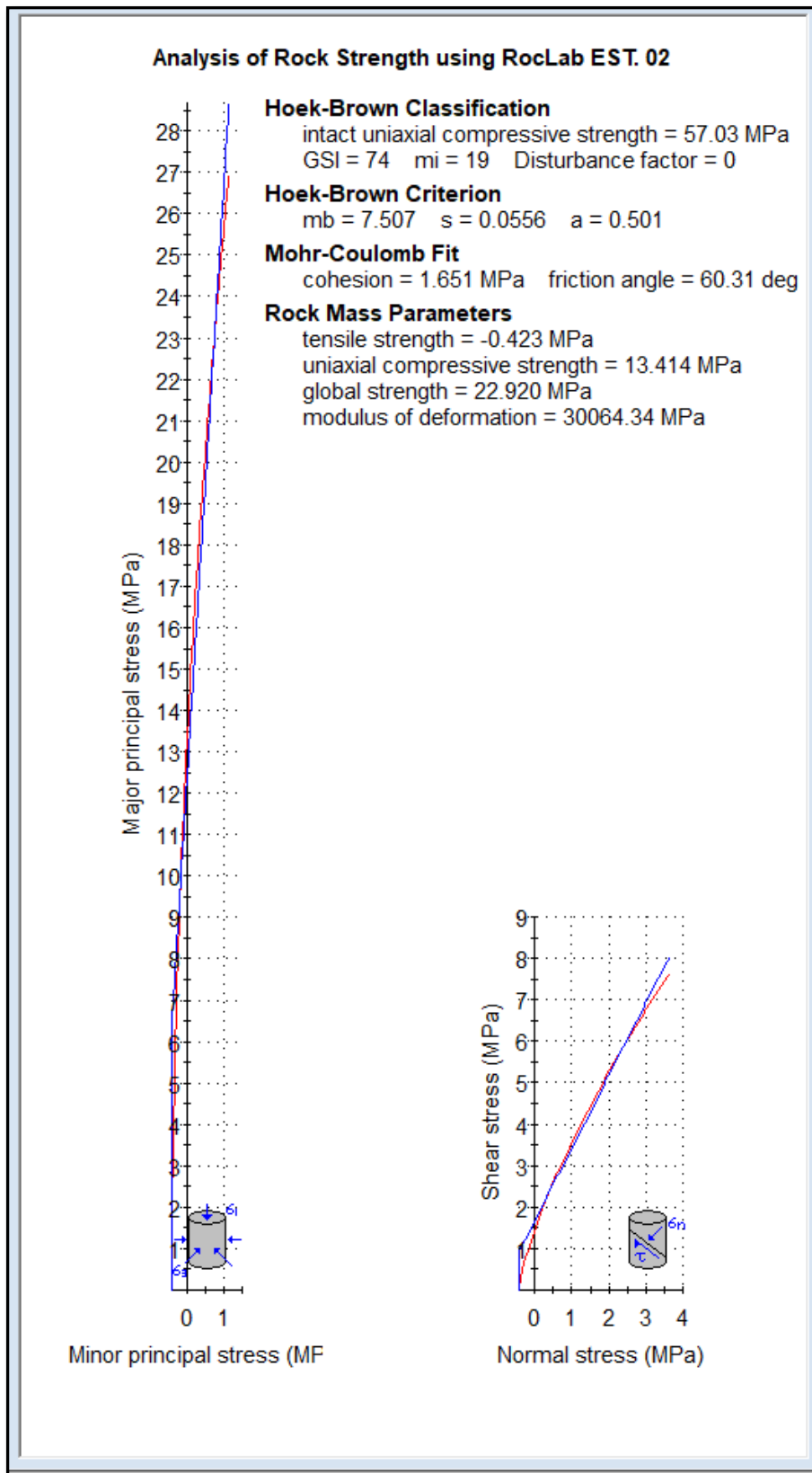
Esfuerzos principales EST.02



Nota: software Roclab-elaboración propia

Figura 48

Análisis de esfuerzos en EST. 02



Nota: software Roclab-elaboración propia

### 4.1.3 Parámetros del macizo rocoso – EST 03

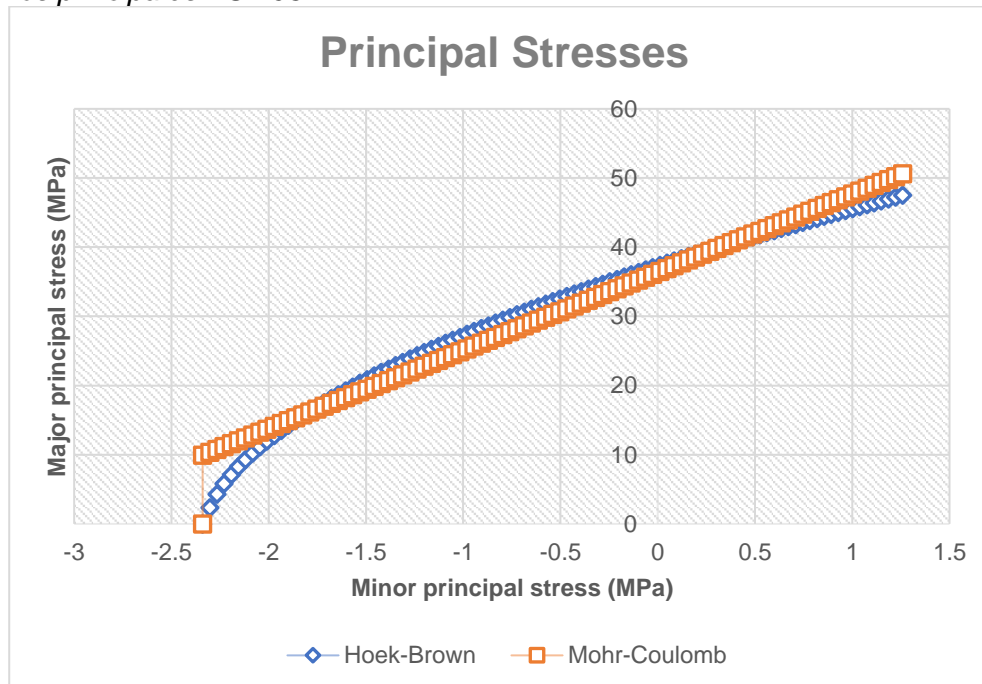
Tabla 38

Parámetros del macizo rocoso – EST 03

Hoek Brown Classification		
Sigci	187,48	MPa
GSI	71	
Mi	9	
D	0	
Hoek Brown Criterion		
mb	3,19475	
s	0,0398664	
a	0,501254	
Failure Envelope Range		
Application	Tunnels	
sig3max	1,25921	MPa
Unit Weight	0,02639	MN/m3
Tunnel Depth	84	m
Mohr-Coulomb Fit		
c	5,41185	MPa
phi	56,8619	degrees
Rock Mass Parameters		
sigt	-2,33951	MPa
sigc	37,2824	MPa
sigcm	52,1313	MPa
Em	33496,5	MPa

Figura 49

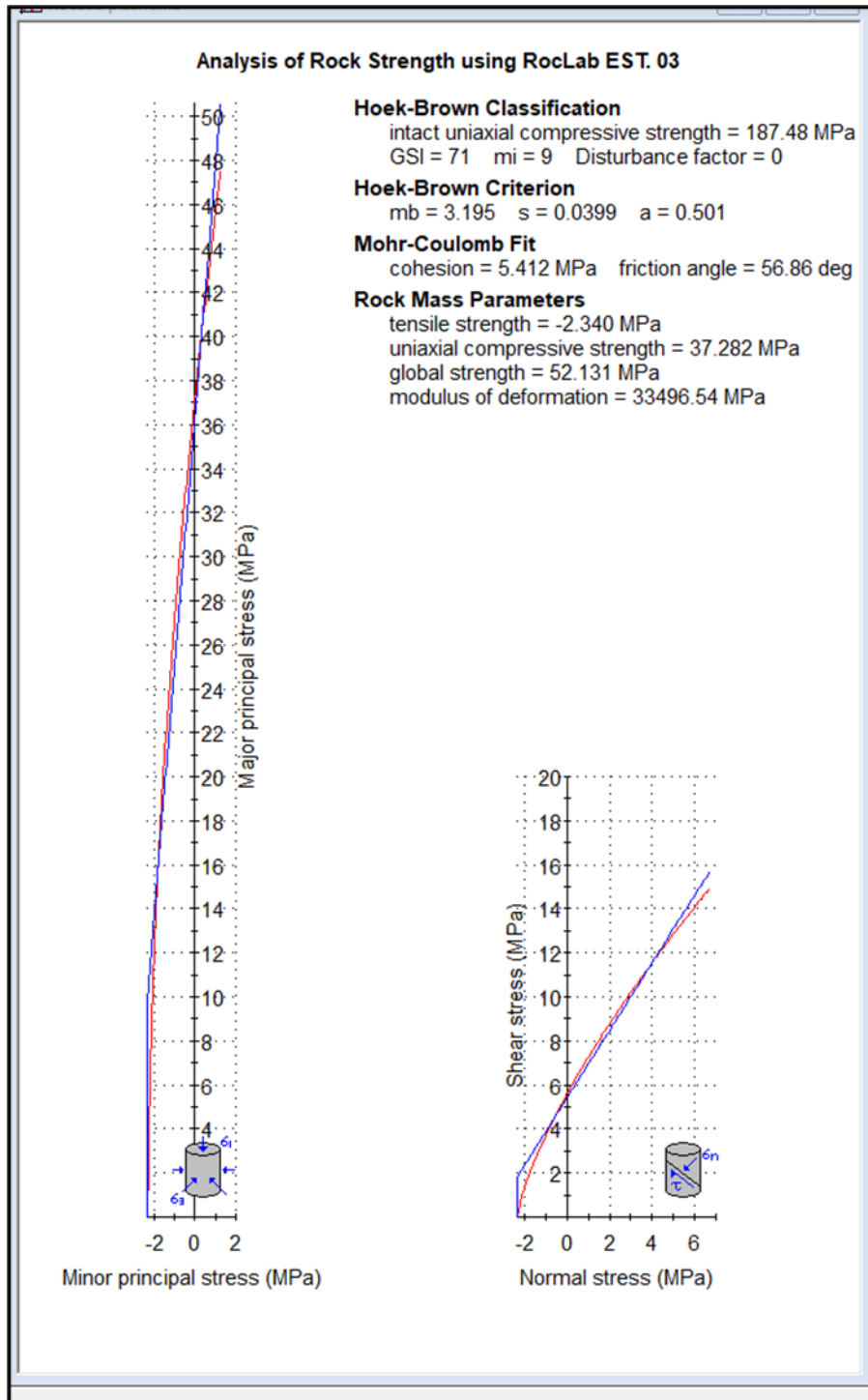
Esfuerzos principales EST.03



Nota: software Roclab-elaboración propia

**Figura 50**

*Análisis de esfuerzos en EST. 03*



*Nota:* software Roclab-elaboración propia

#### **4.2 Presentación de resultados**

De los resultados obtenidos en la investigación, podemos concluir que si se ha cumplido el objetivo general que es realizar la caracterización geomecánica para la



determinación del sostenimiento en labores mineras subterráneas, de la UEA Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C. mediante el conocimiento de sus propiedades geomecánicas y la determinación de sus propiedades físico-mecánicas debemos tener en cuenta que la roca tiene un comportamiento mecánico diferente ante la presencia de diferentes esfuerzos y que está en función de la litología de la misma y otros factores, lo cual hace que la roca pueda almacenar energía y luego liberarla abruptamente generando eventos no deseados.

La tabla 24 muestra los Datos litológicos de las estaciones, los cuales son la base de nuestro estudio.

La tabla 25 indica las coordenadas topográficas de las estaciones geomecánicas

La tabla 26 muestra la determinación del RQD del Mineral: 69.7%, Andesita: 91.6% y Pizarra: 95.9%

La tabla 27 muestra la calidad de roca de acuerdo a Deere and Miller: Mineral: Regular, Andesita y pizarra: Muy Buena

Las propiedades físicas obtenidas en el laboratorio se muestran en la tabla 28.

El rebote promedio según ISRM se muestra en la tabla 30 donde hallamos resistencias compresivas de 44.89 Mpa para el mineral, 59.7 Mpa para la andesita y 133,26 Mpa para la pizarra.

La Tabla 31 y la figura 23 muestran la comparación de las resistencias compresivas obtenidas en campo y laboratorio, donde observamos la correlación es simétrica en los tres casos y permite su aplicación en la valoración del macizo rocoso.

En las figuras 24, 27 y 30 se muestran los reportes geomecánicos realizados en las estaciones (valoración del macizo rocoso, pruebas de rebote con el martillo Schmidt, así como los buzamientos y dirección de buzamiento de las familias de discontinuidades.

En la Figura 25, se observa que, mediante el análisis estereográfico de la excavación, se determinó un rumbo de N 45° W. Asimismo, se identificó que la familia de planos representativa se encuentra en concordancia con la excavación, presentando un buzamiento de 75°.

Por otro lado, en la Figura 26 se puede apreciar, a través del uso de la roseta, que la excavación exhibe condiciones de estabilidad, la excavación presenta condiciones favorables y no muestra riesgos de desestabilización o colapso

En la Figura 28, se observa a través del análisis estereográfico de la excavación que su rumbo es N 35° W, mientras que la familia representativa tiene un buzamiento de 63° a favor de la excavación.

En la Figura 29, podemos apreciar mediante la roseta que la excavación es estable. El resultado indica que la excavación está en condiciones favorables y no presenta riesgos de desestabilización o colapso

En la Figura 31, se puede observar el análisis estereográfico de la excavación, indicando que tiene un rumbo de S 32° E. Además, se observa que la familia representativa se encuentra en contra de la excavación con un buzamiento de 61°.

En la Figura 32, se puede apreciar mediante la roseta que la excavación es estable. Este resultado es de suma importancia, ya que indica que la excavación está en condiciones favorables y no presenta riesgos de desestabilización o colapso

En las figuras 34, 36 y 38 se presentan el plano de ubicación de las estaciones donde se realizó el mapeo.

Las figuras 33, 35 y 37, muestran el mapeo geomecánico realizado en las estaciones, donde valoramos al macizo rocoso y determinamos el RMR: mineral: 60, andesita:79 y pizarra silicificada: 76

La tabla 34 nos muestra la Calidad del Macizo Rocoso según RMR (BIENIAWSKI): Mineral tipo III-A de calidad Regular, Andesita: tipo II-A de calidad Buena y Pizarra: tipo II-A de calidad Buena

En la figura 39 observamos los tiempos de autoaporte de la excavación, donde se infiere en el ábaco de autoaporte, que no se requiere sostenimiento en las estaciones estudiadas (debido a las dimensiones de la sección).

La figura 43 muestra la cartilla geomecánica elaborada en base a la caracterización del macizo rocoso para estimar su resistencia, teniendo en cuenta su condición estructural y superficial.

La figura 44 muestra el diseño de sostenimiento para labores temporales y permanentes, realizado en base a los ábacos modificados en las figuras 40, 41 y 42.

Las tablas 36, 37 y 38 muestran los valores de las propiedades físico-mecánicas determinadas para las rocas predominantes.

## Conclusiones

Para el caso de nuestra mina, la correlación simétrica obtenida de los valores de la resistencia compresiva  $\sigma_c$ , hallados, en campo a través del martillo schmidt y en el laboratorio de mecánica de rocas, permite utilizar los datos obtenidos en el campo de manera confiable, en caso no se puedan realizar ensayos adicionales en el laboratorio, lo que resulta en un ahorro de tiempo y recursos.

Se cumplió con el objetivo de caracterizar el macizo rocoso de la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C., de acuerdo al análisis de los datos de campo, laboratorio y gabinete, basados en el ISRM (Society Internacional For Rock Mechanic's), se determinó que el RMR Básico y el corregido para el Mineral varía entre 60 - 60 (Tipo IIIA), en el caso de la Andesita varía entre 79 - 79 (Tipo IIA), en el caso de la pizarra silicificada varía entre 81 - 76 (Tipo IIA). Determinándose un promedio de roca regular y mineral de calidad regular.

Las propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso fueron determinadas a partir de las clasificaciones geomecánicas, ensayos de laboratorio y cálculo de constantes, que fueron procesadas en el programa RocLab de libre uso y que arrojaron los siguientes valores:

Hoek Brown Classification			MINERAL	Hoek Brown Classification			ANDESITA	Hoek Brown Classification			PIZARRA
sigci	45.67		MPa	sigci	57.03		MPa	sigci	187.48		MPa
GSI	55			GSI	74			GSI	71		
mi	9			mi	9			mi	4		
D	0			D	0			D	0		
Hoek Brown Criterion				Hoek Brown Criterion				Hoek Brown Criterion			
mb	180.414			mb	355.606			mb	141.989		
s	0.00673795			s	0.055638			s	0.0398664		
a	0.504048			a	0.500988			a	0.501254		
Failure Envelope Range				Failure Envelope Range				Failure Envelope Range			
Application	General			Application	General			Application	General		
sig3max	114.175		MPa	sig3max	142.575		MPa	sig3max	46.87		MPa
Mohr-Coulomb Fit				Mohr-Coulomb Fit				Mohr-Coulomb Fit			
c	239.387		MPa	c	437.611		MPa	c	121.666		MPa
phi	310.818		degrees	phi	364.615		degrees	phi	283.433		degrees
Rock Mass Parameters				Rock Mass Parameters				Rock Mass Parameters			
sigt	-0.170565		MPa	sigt	-0.89229		MPa	sigt	-526.389		MPa
sigc	367.371		MPa	sigc	134.137		MPa	sigc	372.824		MPa
sigcm	847.642		MPa	sigcm	173.496		MPa	sigcm	407.734		MPa
Em	9011.88		MPa	Em	30064.3		MPa	Em	33496.5		MPa

De acuerdo a la cartilla a implementar (basada en las experiencias exitosas en la realización de sostenimiento de labores subterráneas de otras minas), el sostenimiento a instalar en nuestros macizos del Tipo IIA es: Perno puntual u ocasional Split sets de 4' para

secciones de 1.50 a 2.10 m, Split sets sistemático de 5' para secciones de 2.10 a 3.00 m. Para el Tipo IIIA es: Perno sistemático Split set de 4' para secciones de 1.50 a 2.10 m espaciado de 2.00 a 2.50 m, Split sets sistemático de 5' para secciones de 2.10 a 3.00 m espaciado de 2.00 a 2.50 m, Split sets sistemático de 7' para secciones mayores a 3m espaciado de 1.50 a 1.80 m. Esto conlleva a analizar todas las ventajas de esta recomendación, en comparación con el uso de cuadros de madera que se viene instalando actualmente, bajo criterios de la antigua operación.

En la cartilla GSI, a través del mapeo, se puede determinar el valor del RMR para cada dominio geomecánico y además se considera el sostenimiento diferenciado en cuanto a las labores temporales y las labores permanentes.

## Recomendaciones

En el aspecto de Seguridad, se debe hacer cumplir las recomendaciones de sostenimiento de manera estricta con el personal, la experiencia nos demuestra que el incumplimiento ha generado muchos accidentes con consecuencias lamentables, a lo largo del tiempo.

Al tener nuestra primera caracterización del macizo rocoso de la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C., se recomienda continuar con el estudio en más estaciones de monitoreo, para determinar los diferentes tipos de roca que aún no han sido investigados y que están sometidos a parámetros estructurales diferentes.

Como oportunidad de mejora se recomienda implementar el departamento de geomecánica la U.E.A. Admirada Atila, de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.,

Implementar a la brevedad la cartilla geomecánica en su primera versión y programar el monitoreo sistemático de los nuevos elementos de sostenimiento que serán instalados, con el fin de ajustar las recomendaciones de sostenimiento, de acuerdo a las condiciones geo estructurales propias de nuestra mina en estudio.

Capacitar al personal sobre la importancia y el uso de la cartilla geomecánica, sobre el uso e instalación de nuevos elementos de sostenimiento y sobre todo supervisar y verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas a implementar, todo con el fin de evitar acontecimientos no deseados, de esta manera se podrá tener control sobre los índices de seguridad que se manejan en mina.

Aprovechar las herramientas informáticas y modelos numéricos con los que se cuenta actualmente para simular y analizar el comportamiento del macizo rocoso y el sostenimiento bajo diferentes condiciones de carga, geometría y operación. A través de estas herramientas podemos desarrollar métodos o sistemas de trabajo adecuado, de menor costo y elegir elementos de sostenimiento adecuado, los cuales se aplican en base al conocimiento de las propiedades físicas y mecánicas de nuestra roca.

Documentar y registrar toda la información relevante sobre la caracterización geomecánica y el sostenimiento, tales como los datos de campo, los resultados de laboratorio, los informes de diseño, los reportes de ejecución, los planos, las fotografías, etc.; así mismo elaborar y difundir informes y reportes que contengan los resultados y las recomendaciones de la evaluación geomecánica y el sostenimiento, así como las acciones correctivas y preventivas que se deben implementar.

## Referencias bibliográficas

- Ayala Carcedo F.J., Celada Tamales B., Hidalgo Bayo E. (1972). Diseño y utilización de sostenimiento activos en la minería española. Instituto Geológico minero de España.
- Bengt Stillborg.(1986). "Professional Users Handbook For Rock Bolting" TransS Tech Publications.
- BHG Brady, ET Brown, 1985 "Rock Mechanics for Underground Mining, George Allen and Unwin – USA.
- Bieniawski Z.T., (1989) "Engineering Rock Mass Clasification" Wiley Interscience Publication.
- Bieniawski, Z. (1976). Rock Mass Classification in Rock Engineering. Symposium Proceedings of Exploration for Rock Engineering, 1, 97-106.
- Cartaya Pire, Maday (2001) Caracterizacion Geomecanica de Macizos Rocosos en Obras Subterranas de la Region Oriental del Pais. (Resumen de tesis dictoral) Holguín, Cuba.
- Colan Rodriguez, Aurelio Fred(2021) Evaluación geomecánica del macizo rocoso y diseño de sostenimiento para la explotación segura por corte y relleno ascendente de las estructuras mineralizadas de la mina Caridad - Compañía Minera Lincuna-Tesis de Grado
- Córdova, D. (2006) Geomecánica Aplicada al Minado Subterráneo. Lima, Colegio de Ingenieros del Perú - CIP.
- E. Hoek E.T. Brown. 1985 Excavaciones Subterranas en Roca, Edición México.
- Flores, G. J. (2021). Caracterización geomecánica del macizo rocoso para determinar el tipo de sostenimiento en la concesión minera subterránea Zenit 1, distrito San Luis (Tesis de licenciatura). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11537/27124>
- Gonzáles de Vallejo, (2006), Ingenieria Geologica, edición española.





- Goodman, Richard E(1989), Introduction to rock mechanics, second edition.
- Gonzales de vallejo, Luís I. (202) Ingeniería geológica. Pearson Prentice Hall, Madrid
- Gustavo Roberto Bojorquez Huerta (2019). Implementacion de un Sistema de Informacion Geomecánica en la Estabilidad Subterranea en la Mina Huanzala Periodo 2010-2011 - Tesis para optar el grado de Doctor en Ciencia e Ingeniería de la Computación, Huaraz, Ancash, Perú 2019.
- Hoek, E. A. (1988). The Hoek-Brown Failure criterion- a 1988 Update. Toronto.
- Hoeck, E; Kaiser, FK, (1995) Support of underground excavations in hard rock. Informes y estudios de la Empresa Minera Amapola 5 S.A.C.
- Luis Alberto Torres Yupanqui (2004) Propiedades Fisico- Mecánicas de las Rocas y monitoreo de la masa rocosa, UNASAM, Ancash.
- Luis Alberto Torres Yupanqui, Arna Ido Alejandro Ruiz Castro, José Daga Huaricanha, Jesús Gerardo Vizcarra Aran'(2009). Geomecánica aplicada al control de las labores mineras para la minimización de caída de rocas en la mina Madrugada Cía. Minera Huinac SAC, Ancash, articulo original.
- Nick Barton, Reidar Lien, Johny Lunde. (2004) Estimation of support requiriments for underground excavations.
- PHILLIPS (1975) La proyección estereográfica en geología estructural.
- R. Ramírez Oyanguren, et, al.(1982). Mecanica de Rocas aplicada a la Minería Subterránea.
- Sociedad Nacional de Minería, Petroleo y Energía. (2004), Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea.
- Villota Titistar, O. (2023). Evaluación y caracterización del macizo rocoso para la identificación del comportamiento de los diferentes tipos de sostenimiento en la mina El Roble, El Carmen de Atrato, Chocó, Colombia. [Trabajo de grado, Universidad de Caldas]. Repositorio Digital.

## Anexos

	Pág.
Anexo 1: Reporte Laboratorio Mecánica de Rocas UNASAM .....	1
Anexo 2: Reporte Laboratorio Mecánica de Rocas UNASAM .....	2
Anexo 3: Reporte Laboratorio Mecánica de Rocas UNASAM .....	3
Anexo 4: Reporte Laboratorio Mecánica de Rocas .....	4
Anexo 5: Reporte Laboratorio Mecánica de Rocas .....	5
Anexo 6: Reporte Laboratorio Mecánica de Rocas .....	6
Anexo 7: Reporte Laboratorio Mecánica de Rocas .....	7
Anexo 8: Reporte Laboratorio Mecánica de Rocas UNASAM- FIMGM .....	8

# Anexo 1: Reporte Laboratorio Mecánica de Rocas UNASAM

UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO"  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y METALURGIA

 UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO"  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y METALURGIA 

---

SOLICITADO POR: AMAPOLA S.S.A.C.

ASOCIADA: ESTUDIO GEOMECÁNICO DE TRABAJOS MINERAS SUBTERRÁNEAS

MUESTRA: **DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DE MUESTRAS ROCOSAS**

FECHA: HUARAZ, 01 DE OCTUBRE DE 2022

1. PROPIEDADES FÍSICAS

Solicitado por:  
**AMAPOLA 5 S.A.C.**

**INFORME N°014/22-LTP**

---

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS**  
**(RECONOCIDO POR INDECOPI)**  
Huaraz, Octubre de 2022

## Anexo 2: Reporte Laboratorio Mecánica de Rocas UNASAM



UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y METALURGIA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS



### DETERMINACION DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS

**SOLICITADO POR:** AMAPOLA 5 S.A.C.

**ASOCIADO A:** ESTUDIO GEOMECANICO DE LABORES MINERAS  
SUBTERRANEAS

**MUESTRAS:** M – 1 – MINERAL  
M – 2 – ANDESITA  
M – 3 – PIZARRA

**FECHA:** HUARAZ, 01 DE OCTUBRE DE 2022.

#### 1. PROPIEDADES FISICAS

Su determinación se basó en el establecimiento del peso seco, peso saturado, y el volumen externo de las muestras rocosas.

Para secar las muestras, se colocaron éstas dentro de un horno ventilado a una temperatura de 105°C; para saturarlas, se sumergieron en agua destilada.

Llevando un registro diario de los pesos con una precisión de 0.01 gr., los pesos seco y saturado se obtuvieron cuando la diferencia entre dos pesadas sucesivas no excedía de 0.1 gr., lo cual fue logrado en aproximadamente 48 horas.

Las relaciones matemáticas que definen las propiedades físicas solicitadas son:

- **Densidad** =  $\frac{\text{Peso Seco}}{\text{Volumen}}$  (gr/cm<sup>3</sup>)
- **Peso Especifico Aparente (P.E.a)** =  $\frac{\text{Peso Seco} \times 9.81}{\text{Volumen}}$  (KN/m<sup>3</sup>)
- **Porosidad Aparente (P.a)** =  $\frac{\text{Peso Saturado} - \text{Peso Seco}}{\gamma_w \times \text{Volumen}} \times 100$  (%)

## Anexo 3: Reporte Laboratorio Mecánica de Rocas UNASAM



UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y METALURGIA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS



$$\text{Absorción (en peso)} = \frac{\text{Peso Saturado} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} \times 100 \quad (\%)$$

Siendo:

$$\gamma_w = \text{Densidad del agua (gr/cm}^3\text{)}$$

### 2. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA CARGA PUNTUAL

El ensayo de carga puntual denominado también "Diametral" se ejecuta sobre muestras de roca y/o mineral por lo general sobre testigos de perforaciones de raise boring, además para la ejecución del ensayo se considero el estándar del ISRM.

#### 2.1. RELACIÓN DE ESBELTEZ

La probeta a ser ensayada debe tener la siguiente relación:

$$L/D = 1.4$$

Donde:

L = Longitud de la probeta (cm.)

D = Diámetro de la probeta (cm.)

#### 2.2. FORMULA MATEMÁTICA

$$I_s = P/D^2$$

Donde:

$I_s$  = Índice de Carga Puntual Franklin (Kg/cm<sup>2</sup>)

P = Carga última de rotura (Kg)

D = Diámetro de la probeta (cm)

Para la determinación de la " $\sigma_c$ ", en relación a la Carga Puntual, se tiene la siguiente fórmula:

$$\sigma_c = (14 + 0.175 D) I_s$$

Donde:

$\sigma_c$  = Resistencia Compresiva de la Roca en (Kg/cm<sup>2</sup>)

D = Diámetro de la probeta en mm.



## Anexo 4: Reporte Laboratorio Mecánica de Rocas



UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y METALURGIA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS



### 3. CONDICIONES DE ENSAYO

Las propiedades físicas fueron determinadas en base a 03 muestras (andesita pizarra y mineral). El ensayo de propiedad mecánica realizado, corresponde a condiciones de humedad natural, basado en 01 muestra de cada uno de las rocas y mineral.

### 4. EQUIPO UTILIZADO

La determinación de los pesos se realizó en una balanza de electrónica portátil, con capacidad de 3000g. x 0.01 g. de resolución; utilizando para secar la muestra un horno digital marca CONTROLS, con capacidad de 100 litros y una temperatura ambiente hasta +200° C.

El ensayo de carga puntual se realizó utilizando el equipo de carga puntual, con un rango de carga de 0 – 60 KN (máximo tope solo para calibración 50 KN) y una precisión de +/- 1%; para un máximo diámetro o tamaño de muestra de 100 mm.

### 5. RESULTADOS

En el cuadro N° 01 se da un resumen de los resultados de los ensayos realizados, anexándose en hojas separadas el detalle de los mismos.

### 6. PARTICIPACION

- MSc. Luis Torres Yupanqui – Responsable
- Sr. Fritz Mejía Paucar – Asistente
- Srta. Liliana León Guillen – Apoyo Secretarial

## Anexo 5: Reporte Laboratorio Mecánica de Rocas



UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y METALURGIA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS



### CUADRO N° 01


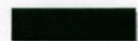

#### DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FISICAS - MECÁNICA

#### RESUMEN DE RESULTADOS

**SOLICITADO POR:** AMAPOLA 5 S.A.C.  
**ASOCIADO A:** ESTUDIO GEOMECANICO DE LABORES MINERAS  
SUBTERRANEAS

MUESTRA ROCOSA	PROPIEDADES FISICAS				PROPIEDAD MECANICA
	Densidad gr/cm <sup>3</sup>	P.E.A. KN/m <sup>3</sup>	P.A. %	Absorción %	Resistencia Compresiva $\sigma_c$ MPa *
M - 1	4.00	39.24	4.07	1.02	45.67
M - 2	2.61	25.60	3.33	1.28	57.03
M - 3	2.69	26.39	1.09	0.41	187.48

#### LEYENDA:

	Mineral
	Andesita
	Pizarra

\*) De acuerdo a la clasificación de la Resistencia de Deere and Miller.

- ❖ M - 1 : Resistencia Baja
- ❖ M - 2 : Resistencia Media
- ❖ M - 3 : Resistencia Alta



*Msc Ing° Luis Torres Yupanqui*  
JEFE  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS  
FIMGM - UNASAM

Ciudad Universitaria – Shancayan  
Correo: latorresy@gmail.com

Contactos: Telf. 043 – 426414  
Cel: 969189173

## Anexo 6: Reporte Laboratorio Mecánica de Rocas



UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y METALURGIA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS



### CUADRO N° 02 RESULTADOS ENSAYOS DE PROPIEDADES FISICAS

MUESTRA: M - 1 - MINERAL  
M - 2 - ANDESITA  
M - 3 - PIZARRA

MUESTRA ROCOSA	Peso Natural (gr)	Peso Seco (gr)	Peso Saturado (gr)	Volumen (cm <sup>3</sup> )
M - 1	237.6	236.2	238.6	59
M - 2	153.3	148.7	150.6	57
M - 3	148.6	148.1	148.7	55

### CUADRO N° 03 DATOS PARA CARGA PUNTUAL

MUESTRA ROCOSA	DIAMETRO (cm)	LONGITUD * (cm)	CARGA (Kg)
M - 1	2.50	4.20	242.20
M - 2	4.50	6.90	571.60
M - 3	3.60	6.00	1944.00

\*) Promedio de "W" de probeta irregular.



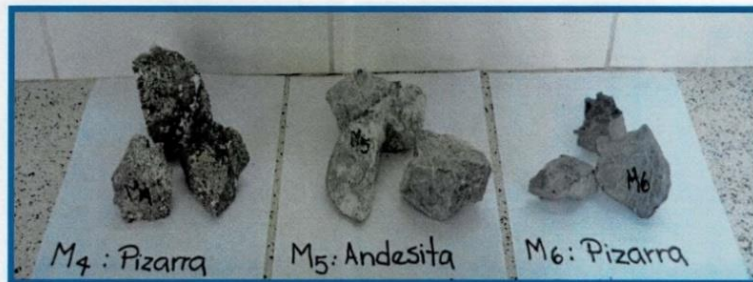
## Anexo 7: Reporte Laboratorio Mecánica de Rocas



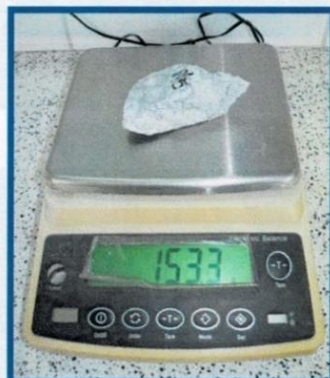
UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y METALURGIA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS



### ANEXO N° 01: PROPIEDADES FISICAS



Muestras a ser ensayadas.



Peso Natural de la Andesita.



Peso saturado del Mineral.



Saturación de las muestras.

Ciudad Universitaria – Shancayan  
Correo: [latorresy@gmail.com](mailto:latorresy@gmail.com)

Contactos: Telf. 043 – 426414  
Cel: 969189173

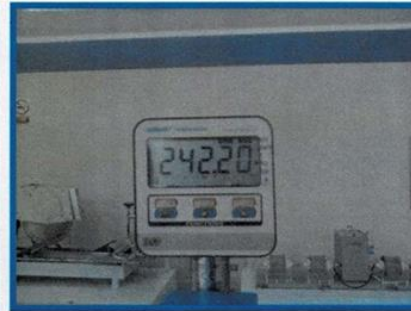
## Anexo 8: Reporte Laboratorio Mecánica de Rocas UNASAM- FIMGM



UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y METALURGIA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS



### ANEXO N° 02: PROPIEDAD MECÁNICA



Muestra de Mineral.



Muestra de Pizarra.