

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



Evaluación geomecánica del macizo rocoso para el diseño de sostenimiento y estabilidad en la zona de explotación Hércules, Unidad Minera Huancapeti, 2023

Tesis para optar el título profesional de:
Ingeniero de Minas

Presentado por:
Bach. Ronald Garcia Auccasio

Asesor:
MSc. Ing. Roberto Juan Gutierrez Palomino

Ayacucho - Perú
2023

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis amados padres y hermanos, quienes han sido mi constante fuente de apoyo, inspiración y amor incondicional a lo largo de mi vida y de esta travesía académica. Su aliento y confianza en mí han sido el motor que me impulsó a superar desafíos y alcanzar logros. Cada paso que he dado en este camino ha sido guiado por su amor y sabiduría. ya la conexión que compartimos como familia. Gracias por ser mi roca y mi inspiración.

AGRADECIMIENTO

"Quiero expresar mi sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH) por brindarme la oportunidad de desarrollarme académicamente y por ser el lugar donde adquirí conocimientos invaluable que han contribuido a mi formación como profesional.

Asimismo, extendiendo mi gratitud a los distinguidos docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas por su dedicación y compromiso en impartir sus conocimientos y experiencias. Cada lección que he recibido ha sido fundamental para mi crecimiento académico y personal.

No puedo dejar de mencionar a mi asesor de tesis, quien ha sido una guía fundamental en este proceso. Sus valiosos consejos, orientación y apoyo constante han sido esenciales para el desarrollo y culminación de este trabajo de investigación.

RESUMEN

La investigación titulada “EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PARA EL DISEÑO DE SOSTENIMIENTO Y ESTABILIDAD EN LA ZONA DE EXPLOTACIÓN HÉRCULES, UNIDAD MINERA HUANCAPETI, 2023”, considera las bases teóricas y científicas que respaldan a las variables independiente y dependiente, sus dimensiones e indicadores, los que se estudiaron detenidamente para dar mejor sustento a la tesis. Para el desarrollo de este trabajo de investigación me he basado en el problema que existe en la empresa minera la cual requiere la actualización del estudio geomecánico. El objetivo de investigación fue conocer el impacto de una evaluación geomecánica del macizo rocoso en la mejora de la estabilidad y el sistema de sostenimiento en la zona de explotación Hércules de la Unidad Minera Huancapeti. La metodología utilizada en el desarrollo de la tesis responde a un tipo de investigación aplicada, de enfoque cuantitativo, de diseño cuasi experimental. Los resultados muestran que: La Clasificación geomecánica RMR89 de Bieniawski de la masa rocosa en la zona de explotación Hércules, se presenta en la Caja techo (RMR: 65-35), Estructura mineralizada (RMR: 55-25), Caja piso (RMR: 55-35), ver tabla 17. Habiéndose realizado la investigación en base a la evaluación geomecánica, presentamos los tipos de sostenimiento aplicables: Concreto lanzado (shotcrete), Pernos helicoidales con cartuchos de Resina y Cembolt. Malla electrosoldada de cuadrícula 10 x 10 cm (alambre N°08), Marcos metálicos (cimbras) completamente elementadas, Pernos de fricción, Pernos expansivos, Cuadros de madera, Paquetes de madera (Wood Packs).

Palabras clave: Clasificación geomecánica, sostenimiento, factor de seguridad

INTRODUCCIÓN

La industria minera, caracterizada por su complejidad operativa y las condiciones geológicas cambiantes, demanda una gestión minuciosa y precisa de la estabilidad y seguridad en las zonas de explotación. El diseño de sostenimiento y la evaluación geomecánica del macizo rocoso se han convertido en pilares fundamentales para garantizar la integridad de las operaciones mineras y salvar la vida de los trabajadores en entornos con riesgosos peligrosos.

Dentro de este contexto, la Zona de Explotación Hércules en la Unidad Minera Huancapeti se encuentra como un desafío que requiere un enfoque holístico en la comprensión y análisis de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso desarrollado. La importancia de esta área radica en su potencial productivo y en las complejidades geotécnicas que presenta, lo que demanda una estrategia robusta de evaluación y diseño para garantizar la estabilidad de la explotación.

El presente estudio se adentra en el corazón de esta necesidad crítica al abordar la "Evaluación Geomecánica del Macizo Rcoso para el Diseño de Sostenimiento y Estabilidad en la Zona de Explotación Hércules, Unidad Minera Huancapeti, 2023". Mediante un análisis riguroso que combina operaciones técnicas geológicas, ensayos de laboratorio y análisis numéricos avanzados, se busca arrojar luz sobre las características geomecánicas del macizo rocoso y sus implicaciones para el diseño de sostenimiento y la seguridad de las operaciones mineras.

En los siguientes apartados, se explorarán los objetivos centrales de este estudio, la metodología aplicada para la evaluación geomecánica, las posibilidades contribuciones al campo de la ingeniería geotécnica y las conclusiones esperadas en relación con la estabilidad y sostenibilidad de la Zona de Explotación Hércules, en el marco de la Unidad Minera Huancapeti durante el año 2023 y en el futuro.

La integración del conocimiento teórico, las mejores prácticas en ingeniería geomecánica y la adaptación a las condiciones particulares del sitio convergen en la búsqueda de una explotación minera responsable y segura, un objetivo que guía el propósito de este estudio.

Índice general

PORTADA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN	iv
INTRODUCCIÓN	v
Índice general	vii
Índice figuras.....	xi
Índice de cuadros o tablas	xii
Glosario.....	xiii
Capítulo I	15
Planteamiento del problema	15
1.1. Descripción del problema.....	15
1.1.1. Realidad problemática	15
1.2. Delimitación del problema	16
1.2.1. Espacial (geográfica).	16
1.2.2. Temporal.	17
1.3. Formulación del problema.....	18
1.3.1. Formulación del problema general	18
1.3.2. Formulación del problema específico	18
1.4. Justificación e importancia	19
Justificación teórica.....	19
Justificación práctica	19
Justificación metodológica	19
Importancia	20
1.5. Limitaciones de la investigación.....	20
1.6. Objetivo.....	20
1.6.1. Objetivos generales.....	20
1.6.2. Objetivos específicos	20
Capítulo II.....	22
Marco teórico	22
2.1. Antecedentes del problema.....	22
2.1.1. Antecedentes de investigación	22

2.2.	Bases teóricas	28
2.2.1.	Geomecánica	28
2.2.1.1.	Macizo rocoso.	29
2.2.1.2.	Caracterización Geomecánica.....	29
2.2.1.3.	Calidad del Macizo Rcoso.	30
2.2.2.	Sistema de Sostenimiento	33
2.2.2.1.	Tipos de sostenimiento.	33
2.2.2.2.	Tiempo de autosostenimiento	36
2.2.2.3.	Determinación del tipo de sostenimiento de túnel.	36
2.2.2.4.	Seguridad del personal en las labores mineras	39
2.3.	Marco conceptual	43
Capitulo III.....		45
Metodología		45
3.1.	Tipo	46
3.2.	Enfoque	46
3.3.	Alcance.....	47
3.4.	Diseño de la investigación	48
3.5.	Población y muestra	49
3.6.	Hipotesis.....	49
3.6.1.	Hipotesis general	49
3.6.2.	Hipotesis específica	50
3.7.	Operacionalización de variables, definición concepyual y operacional	51
3.8.	Técnicas e instrumentos.....	52
3.9.	Metodos de análisis de datos	53
3.10.	Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información.....	54
3.11.	Desarrollo del trabajo de tesis.....	55
CAPITULO IV.....		57
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		57
4.1.	Generalidades de la mina.....	58
4.1.1.	Ubicación.	58
4.1.2.	Accesibilidad.	58
4.2.	Geolomorfología	59
4.2.1.	Geología Regional.	60
4.2.2.	Geología Local.	64

4.3.	Caracterización Geomecánica.....	65
4.3.1.	Aspectos Litológicos.	65
4.3.2.	Aspectos estructurales.	70
4.3.3.	Clasificación de la masa rocosa	71
4.3.4.	Zonificación geomecánica	77
4.4.	Parametros de resistencia de la roca	78
4.4.1.	Resistencia de la roca intacta	78
4.4.2.	Resistencia de la masa rocosa	82
4.4.3.	Estimación del estado Tensional.....	83
4.5.	Dimensionamiento geomecanico	86
4.5.1.	Factores de seguridad	86
4.5.2.	Dimensionamiento de tajos usando el método gráfico de estabilidad	87
4.6.	Evaluacion del sostenimiento	88
4.6.1.	Establecimiento de las direcciones preferenciales del minado.....	88
4.6.2.	Tiempo de "Auto-Soporte Vs. Calidad RMR89." de la Masa Rocosa	89
4.6.3.	Efecto de la Perforación y Voladura en la Calidad "RMR89" de la Masa Rocosa	89
4.7.	Estimación del tipo de sostenimiento	95
4.8.	Prueba de hipótesis	98
	CONCLUSIONES	100
	RECOMENDACIONES	102
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
	ANEXOS	105
	Anexo 1: Matriz de consistencia	105
	Anexo 2: Guía de Observación de la Clasificación Geomecánica RMR89	107

Parámetros de clasificación

1	Resistencia de la roca intacta (MPa)	Índice de carga puntual	> 10	10 - 4	4 - 2	2 - 1	No se usa; es preferible emplear UCS		
		Resistencia a la compresión uniaxial UCS	> 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5	5 - 1	< 1
	Valuación	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD (%)	> 90	90 - 75	75 - 50	50 - 25	< 25			
	Valuación	20	17	13	8	3			
3	Espaciamiento entre discontinuidades (m)	> 2.00	2.00 - 0.60	0.60 - 0.20	0.20 - 0.06	< 0.06			
	Valuación	20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Persistencia (m)	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 20	> 20		
		Valuación	6	4	2	1	0		
		Abertura (mm)	Cerrada	< 0.1	0.1 - 10	10 - 5.0	> 5.0		
		Valuación	6	5	4	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Lustrosa		
		Valuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Sin relleno	Relleno duro (< 5 mm)	Relleno duro (> 5 mm)	Relleno blando (< 5 mm)	Relleno blando (> 5 mm)		
		Valuación	6	4	2	2	0		
		Descomposición	Fresca	Levemente descompuesta	Moder. descompuesta	Altamente descompuesta	Extrem. descompuesta		
		Valuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de excavación (lt/min)	0	0 - 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		Presión de agua / Esfuerzo principal mayor σ	0.0	0.0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Condición general	Completamente seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
		Valuación	15	10	7	4	0		

Corrección por orientación de discontinuidades (6)

Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Regulares	Desfavorables	Muy desfavorables
Valuación	Túneles y labores mineras	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Orientación de discontinuidades en un túnel

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Buzamiento 0° - 20°
Avance con el buzamiento		Avance contra el 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	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable	Regular	Desfavorable

Calificación

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Regular	Pobre	Muy pobre
Valuación	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	≤ 20

Características geotécnicas

Clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de Auto Soporte (T.A.S.) y Vano	20 años para 15 m	1 año para 10 m	1 semana para 5 m	10 horas para 2.5 m	30 minutos para 1 m
Cohesión (Kp/cm ²)	> 4	4 - 3	3 - 2	2 - 1	< 1
Ángulo de fricción interna	> 45°	45° - 35°	35° - 25°	25° - 15°	< 15°

$$RMR = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6$$

..... 107

Índice figuras

Figura 1: Ubicación geográfica	17
Figura 2 Gráfico de relación entre Q, ESR y el sostenimiento recomendado	38
Figura 3 Diagrama de factores de riesgos geomecánicos	40
Fuente: Guía sobre control geotécnico en minería subterránea	40
Fuente: Guía sobre control geotécnico en minería subterránea	41
Figura 4 Categorías de estabilidad, consecuencias y actuaciones según resultados del análisis por ancho escalado.....	42
Fuente: (Bordehore et al., 2017).....	42
Figura 5 Columna estratigráfica asociada a Mina Huancapeti.....	63
Figura 6 Sistemas de diaclasas Hércules, Coturcan y Caridad	67
Figura 7 Sistemas de diaclasas Hércules	67
Figura 8 Sistemas de diaclasas Coturcan.....	68
Figura 9 Sistemas de diaclasas Caridad.....	68
Figura 10 Sistemas de fallas Hércules	69
Figura 11 Sistemas de fallas Coturcan	69
Figura 12 Sistemas de fallas Caridad	69
Figura 13 Orientacion de esfuerzos de Hercules	84
Figura 14 Configuración de esfuerzos para el Phases, zona Hércules	85

Índice de cuadros o tablas

Tabla 1: Clasificación geomecánica RQD.....	30
Tabla 2: Clasificación geomecánica RQD.....	31
Tabla 3: Calidad del macizo rocoso según clasificación Q de Barton	32
Tabla 4: Valores del índice ESR	36
Tabla 5: Tipo de sistema de sostenimiento según índice Q de Barton.....	38
Tabla 6: Tipo de sistema de sostenimiento según índice Q RQD	39
Tabla 7: Método empírico para determinar el nivel de riesgo de cada factor técnico	41
Tabla 8: Matriz de operacionalización	51
Tabla 9: Vías de acceso a mina Huancapeti	59
Tabla 10: Principales sistemas de diaclasas.....	66
Tabla 11: Principales sistemas de fallas	68
Tabla 12: Criterio de valoración "RMR89 de Bieniawski, modificado por Romana, 2000	72
Tabla 13: Criterio de valoración "RMR89 de Bieniawski, modificado por Romana, 2000	73
Tabla 14: Resultados de ensayos estimados en campo	79
Tabla 15: Resultados de ensayos estimados en laboratorio caja techo	80
Tabla 16: Resultados de ensayos estimados en laboratorio Estructura mineralizada	81
Tabla 17: Resultados de ensayos estimados en laboratorio caja piso	82
Tabla 18: Parámetros de resistencia de la masa rocosa	83
Tabla 19: Orientación de esfuerzos	84
Tabla 20: Magnitud de Esfuerzos por niveles – Hércules.....	85
Tabla 21: Factores de seguridad - Diseño subterráneo Mina.....	87
Tabla 22: Número de estabilidad "N", según zonas de explotación	88
Tabla 23: "Aberturas máximas vs Tiempo de Auto - soporte" M.R. sin daño.....	93
Tabla 24: "Cartilla geomecánica estándar	96
Tabla 25: Prueba de normalidad.....	98
Tabla 26: Prueba T para comparar una muestra a un valor	99

Glosario

Evaluación Geomecánica: Proceso de análisis y caracterización de las propiedades mecánicas y geológicas de un macizo rocoso con el fin de comprender su comportamiento en relación con cargas y condiciones de explotación.

Macizo Rocos: Masa de roca en el subsuelo que forma el entorno geológico en el que se lleva a cabo la explotación minera, sujeto a esfuerzos y deformaciones bajo diferentes condiciones.

Sostenimiento: Conjunto de técnicas y estructuras utilizadas para mantener la estabilidad de las excavaciones subterráneas, evitando el colapso de las paredes y techos rocosos.

Estabilidad: Capacidad de un macizo rocoso para mantener su integridad estructural y resistir deformaciones o colapsos bajo las cargas y condiciones operativas previstas.

Zona de Explotación: Área específica de una mina donde se lleva a cabo la extracción de minerales, sujeta a interacciones geomecánicas y cargas debidas a la excavación y los procesos de explotación.

Propiedades Geomecánicas: Características físicas y mecánicas del macizo rocoso, como resistencia, deformabilidad, permeabilidad y orientación de fracturas, que influyen en su comportamiento ante esfuerzos.

Análisis Numéricos: Utilización de métodos matemáticos y modelos computacionales para simular el comportamiento de sistemas geomecánicos, predecir la respuesta del macizo rocoso bajo diferentes condiciones.

Geología: Estudio científico de la composición, estructura, formación y evolución de la corteza terrestre, que proporciona información sobre la génesis y las características de las formaciones rocosas.

Ensayos de Laboratorio: Pruebas realizadas en muestras de roca recolectada en el sitio para determinar sus propiedades mecánicas, físicas y químicas en un entorno controlado.

Ingeniería Geotécnica: Rama de la ingeniería que se ocupa del comportamiento de las formaciones geológicas y su interacción con las estructuras humanas, incluyendo excavaciones y cimientos.

Deformación: Cambio en la forma o el tamaño de un macizo rocoso como respuesta a las cargas y esfuerzos aplicados, que puede ser elástico, plástico o de otro tipo.

Seguridad Minera: Conjunto de medidas y prácticas destinadas a prevenir riesgos laborales y accidentes en la industria minera, incluyendo la consideración de aspectos geomecánicos para garantizar la seguridad de los trabajadores y las instalaciones.

Diseño de Sostenimiento: Proceso de selección y diseño de estructuras de soporte (como pernos, mallas, hormigón proyectado) para mantener la estabilidad de las excavaciones subterráneas y superficiales en la explotación minera.

Estudio Geomecánico: Investigación detallada que aborda la interacción entre las propiedades geológicas y geotécnicas del macizo rocoso y la planificación de la explotación minera, con el objetivo de garantizar la seguridad y la estabilidad.

Capítulo I

Planteamiento del problema

1.1. Descripción del problema

1.1.1. Realidad problemática

La explotación minera, un proceso crucial en la obtención de recursos minerales esenciales, se enfrenta a una realidad problemática marcada por la inestabilidad del macizo rocoso en la zona de explotación. La presencia de labores que fueron trabajadas sin el debido sostenimiento, un fenómeno común, ha desencadenado una serie de consecuencias que ponen en riesgo la seguridad operativa y la eficiencia del proceso minero en la Unidad Minera Huancapeti, específicamente en la Zona de Explotación Hércules.

La falta de sostenimiento adecuado en estos trabajos no solo ha generado una inestabilidad inmediata, sino que con el paso del tiempo ha provocado el deterioro progresivo de los bordes de las excavaciones. Diversos factores, como esfuerzos mecánicos, presencia de agua, vibraciones, humedad y la carencia de una ventilación adecuada, han contribuido a la degradación de la resistencia del macizo rocoso. Esta debilidad estructural pone en peligro la continuidad segura de las operaciones mineras, lo que se traduce en interrupciones inesperadas y pérdidas en el proceso productivo.

La problemática se agrava debido a la necesidad de aplicar el sostenimiento de manera improvisada, lo que afecta la planificación y el rendimiento de la explotación. Las recomendaciones basadas en experiencias previas enfatizan la importancia de una instalación oportuna del sostenimiento, independientemente de la naturaleza temporal o permanente de las excavaciones. Esto busca alcanzar un equilibrio crucial entre los esfuerzos aplicados y las deformaciones en la masa rocosa, con el fin de prevenir la descompresión y asegurar la estabilidad a largo plazo.

La evaluación geomecánica emerge como una solución clave para abordar esta realidad problemática. Al involucrar la identificación, caracterización y determinación de los parámetros del macizo rocoso, este proceso persigue reducir la ocurrencia de caídas de rocas y, por ende, minimizar los posibles daños a los equipos y al personal. Además, contribuya a la mejora de la rentabilidad al evitar interrupciones no planificadas en la producción y reduzca los costos asociados con la rehabilitación de áreas inestables.

1.2. Delimitación del problema

1.2.1. Espacial (geográfica).

El desarrollo de esta investigación se llevó a cabo en la unidad minera Huancapeti, que pertenece a la compañía minera Lincuna S.A., en el departamento de Ancash en la provincia de Recuay, distrito de Ajia.

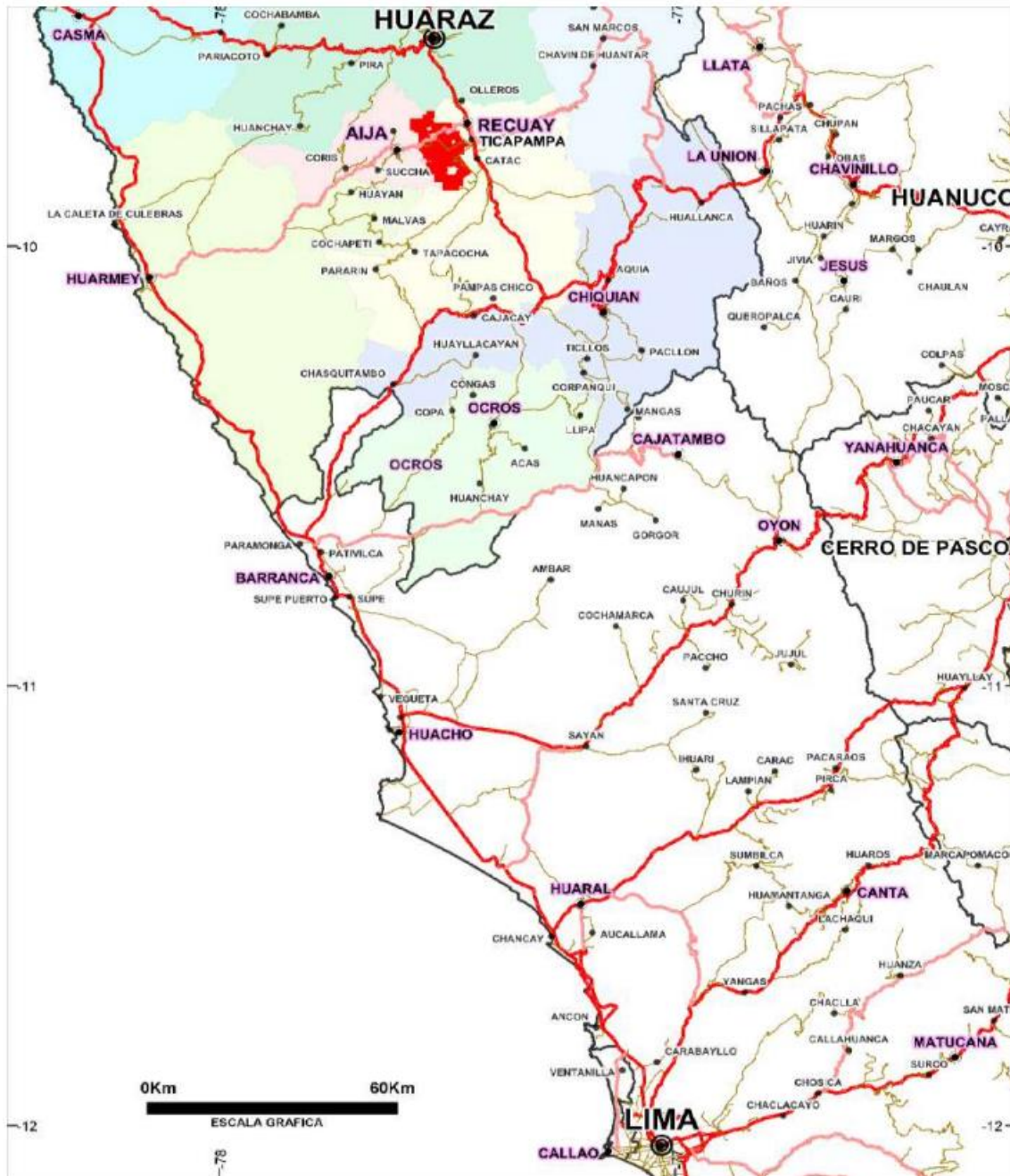


Figura 1: Ubicación geográfica

1.2.2. Temporal.

Los datos que serán considerados para la realización del trabajo de investigación propuesto serán enmarcados dentro del periodo 2023 considerando únicamente la temática de trabajo

asociadas con el diseño de sostenimiento y de esta manera garantizar la estabilidad de la masa rocosa en la U.E.A. Huancapeti.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Formulación del problema general

¿Cuál es el impacto de una evaluación geomecánica del macizo rocoso en la mejora de la estabilidad y el sistema de sostenimiento en la zona de explotación Hércules de la Unidad Minera Huancapeti?

1.3.2. Formulación del problema específico

- ❖ ¿Cómo se puede caracterizar geomecánicamente el macizo rocoso presente en la zona de explotación de la mina Hércules en la Unidad Minera Huancapeti - Aija, Ancash?
- ❖ ¿Cuáles son las propiedades geomecánicas del macizo rocoso en la Unidad Minera Huancapeti - Aija, Ancash?
- ❖ ¿Cuáles son los parámetros de resistencia de la masa rocosa en la mina Hércules de la Unidad Minera Huancapeti - Aija, Ancash?
- ❖ ¿Cómo se pueden estimar, diseñar y establecer diferentes tipos de sostenimiento para garantizar la estabilidad en las labores operacionales de la mina Hércules en la Unidad Minera Huancapeti - Aija, Ancash?

1.4. Justificación e importancia

Justificación teórica

La evaluación geomécanica del macizo rocoso es de vital importancia en la industria minera, especialmente en la zona de explotación Hércules de la Unidad Minera Huancapeti. Esta evaluación logró un conocimiento profundo de las características geotécnicas del macizo rocoso, logrando comprender su comportamiento y estabilidad ante las operaciones mineras. Al obtener información precisa sobre la resistencia, estructura y comportamiento de la masa rocosa, se podrán diseñar estrategias de sostenimiento adecuadas que reduzcan los riesgos de colapso y accidentes, optimizando la seguridad y la eficiencia de las labores mineras.

Justificación práctica

La aplicación de una evaluación geomécanica en la zona de explotación Hércules de la Unidad Minera Huancapeti garantizará la seguridad y estabilidad de las operaciones mineras. Al implementar medidas de sostenimiento basadas en datos geotécnicos reales, se reducirán los riesgos de deslizamientos y derrumbes, protegiendo la integridad de las infraestructuras y del personal involucrado. Además, esta evaluación permitirá optimizar los costos asociados al sostenimiento y mejorar la planificación de las actividades mineras, aumentando la productividad y eficiencia de la mina.

Justificación metodológica

El enfoque metodológico propuesto para la evaluación geomécanica del macizo rocoso en la zona de explotación Hércules se basará en técnicas de recolección de datos in situ, como la observación geomecánica, pruebas de resistencia a la compresión y medición geotécnicas. Estos datos serán procesados mediante análisis estadísticos y software especializado para obtener parámetros geomecánicos precisos. Posteriormente, se realizará un diseño de sostenimiento

adaptado a las características del macizo rocoso ya las necesidades de la operación minera, asegurando la estabilidad de las labores y minimizando los riesgos asociados. La metodología propuesta garantiza una toma de decisiones informada y efectiva para mejorar la seguridad y eficiencia en la Unidad Minera Huancapeti en el año 2023.

Importancia

Asegurar una labor estable, en donde los accidentes e incidentes generados por la misma actividad en minería, se pueden evitar aplicando métodos y técnicas de ingeniería que proporcionen mejor practica para así disminuir en los costos que conlleva al tener accidentes o incidentes que generen cualquier tipo de estancamiento en las labores de avance.

1.5. Limitaciones de la investigacion

Esta investigación se limita a establecer los efectos asociadas con el diseño de sostenimiento y estabilidad para garantizar la estabilidad en labores mineras.

1.6. Objetivo

1.6.1. Objetivos generales

Conocer el impacto de una evaluación geomecánica del macizo rocoso en la mejora de la estabilidad y el sistema de sostenimiento en la zona de explotación Hércules de la Unidad Minera Huancapeti.

1.6.2. Objetivos específicos

- ❖ Caracterizar geomecánicamente el macizo rocoso presente en la zona de explotación de la mina Hércules en la Unidad Minera Huancapeti - Aija, Ancash.

- ❖ Determinar las propiedades geomecánicas del macizo rocoso en la Unidad Minera Huancapeti - Aija, Ancash.
- ❖ Establecer los parámetros de resistencia de la masa rocosa en la mina Hércules de la Unidad Minera Huancapeti - Aija, Ancash.
- ❖ Estimar, diseñar y establecer diferentes tipos de sostenimiento para garantizar la estabilidad en las labores operacionales de la mina Hércules en la Unidad Minera Huancapeti - Aija, Ancash.

Capítulo II

Marco teórico

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes de investigación

Pantaleón & Carbajal, (2017) en su tesis “Evaluación geomecánica para el dimensionamiento, secuencia de minado y relleno de tajeos de una mina subterránea”. El propósito de la investigación se centra en el dimensionamiento de los tajeos, secuencia de minado, optimización del relleno y recuperación del pilar puente. La evaluación realizada tiene la finalidad de asegurar la estabilidad y controlar la dilución, brindar la alternativa óptima de minado que asegure la máxima recuperación de los tajeos y pilares. Para llevar a cabo dicha evaluación, ha sido necesario ejecutar una serie de investigaciones geotécnicas correspondiente al reconocimiento geológico y estructural, mapeo geomecánico, logueo geomecánico y ensayos de laboratorio, que permitieron caracterizar el macizo rocoso y establecer un modelo geomecánico; asimismo, se evaluaron y determinaron las condiciones de esfuerzos in-situ. Como resultados principales, se realizó el dimensionamiento óptimo de tajeos y el diseño de sostenimiento con cable bolting. Para ello, se recurrió a los métodos empíricos, tales como la gráfica de estabilidad modificada, que analiza la estabilidad del tajeo por medio del equivalente lineal de sobrerotura de las paredes

laterales de paredes (ELOS). Asimismo, se realizó el diseño de cable bolting mediante el análisis cinemático y método de la cuña máxima para el techo o corona de los tajeos, y el análisis empírico para la caja techo de los tajeos. Asimismo, se diseñó una secuencia de minado del tipo secuencial, ascendente, piramidal y en retirada, la cual permite asegurar la estabilidad global y mejorar la redistribución de esfuerzos. En cuanto al modelamiento numérico, se consideraron las nuevas dimensiones obtenidas a partir de la optimización de los tajeos y la secuencia de minado propuesta; así como, la evaluación de la recuperación del pilar puente. Para desarrollar el modelamiento numérico, se utilizó el software especializado Map3D, el cual utiliza método de elementos de borde y permite analizar esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad en excavaciones mineras. Además, se plantea un diseño conceptual para la recuperación del pilar puente, dicha evaluación incluyó el modelamiento numérico y secuencia de extracción de los bloques del nivel inferior a dicho pilar. Una parte importante del proceso de estabilización es el relleno, el cual permite la recuperación de los tajos secundarios, por tal motivo se realizó el análisis del relleno en pasta, su comportamiento a través del tiempo y requerimiento de resistencia del mismo. Para ello, se plantean una serie de recomendaciones y planes de ensayos de resistencia para determinar la dosificación óptima que cumpla con los requerimientos necesarios establecidos por la presente tesis.

Acosta & Barón, (2019) en su tesis **“Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7-Chongoyape-Lambayeque”**

El presente trabajo tiene como propósito realizar un análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina santa Clotilde7-Chongoyape-Lambayeque. La investigación surgió de la observación de un problema vinculado con la estabilidad de las rocas en las labores en donde se hace el estudio, para dicha investigación se buscó trabajar con una muestra que son las labores de desarrollo y producción, utilizando como tipo y diseño de

investigación, siendo cuantitativa con el diseño no experimental descriptivo transversal. Asimismo, para el recojo de información se utilizaron métodos como es; método de análisis documental y método sistémico siendo las técnicas observación y análisis documental, junto a instrumentos empleados como guía de observación, a las implicadas muestras que se hace el estudio, además, se utilizó el programa Google. Toda esta metodología le da a este informe de investigación el respaldo, sustento y seriedad respectiva. Finalmente, se obtuvo como resultados que en la labor de desarrollo su RQD de 80, con RMR 55 una valorización de 60-41, clase de roca III roca regular, teniendo un Q de Barton de 2.66 y GSI 60, en la labor de producción su RQD 75, con RMR 53 una valorización de 60-41, clase de roca III roca regular, teniendo un Q de Barton de 1.25 y GSI de 55 todos estos resultados se presentan por medio de cálculos, análisis de laboratorio y tablas geomecánicas, cada una con sus respectivos análisis que contribuyeron a comprobar la hipótesis: el análisis geomecánico permitirá determinar la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7 –Chongoyape-Lambayeque, todo este trabajo permitió concluir que el análisis geomecánico, permitió determinar, el grado de estabilidad de las labores, determinando, que las labores son inestables para los diferentes tipos de trabajos que se puedan realizar.

Cotrado & Amado, (2021) en su tesis **“Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de un sostenimiento adecuado en mina Chaparra, Caravelí, Arequipa – 2021”** propusieron como objetivo definir por el método de Q Barton, cuál será el diseño de sostenimiento más adecuado, de acuerdo al dominio geomecánico en mina Chaparra - Caravelí, Arequipa – 2021. La metodología fue de nivel explicativa, diseño no experimental transeccional y bajo enfoque cuantitativo, se aplicó a muestras no probabilísticas representadas por once tramos o progresivas a lo largo de la profundidad o excavación de la mina en sondeos de afloraciones rocosas. Se aplicaron como técnicas y métodos para la recolección de información, la observación directa,

utilización de la picota y el método Q de Barton. Con ello, se determinó la calidad del macizo rocoso, se evaluó el nivel de riesgo geomecánico que incide en la seguridad del personal, se definió el diseño de sostenimiento más adecuado y, por último, se realizó una evaluación técnica y económica de la propuesta determinada. Los resultados mostraron a lo largo del dominio de la mina, un 50% de roca con calidad buena, un 20% con calidad muy buena, un 20% con calidad muy baja y un 10% con calidad regular, resultando en promedio una calidad buena para un Q de 29. Se encontró un 29% de riesgo muy alto (por el tipo de desate de roca y método de explotación), 29% de riesgo bajo, 14% de riesgo alto (tipo de voladura de la excavación), 14% riesgo muy bajo y un 14% de representación de riesgo medio atribuido (tipo de perforación y sostenimiento de mina). Por otro lado, se determinó un sistema de sostenimiento de empernado puntual para dominios con calidad muy mala, para v calidad regular sistema de empernado sistemático con espaciado 1.5 - 2 m más shotcrete proyectado con espesor de 5 - 6 cm con fibra, B + Sfr.; en tanto para dominio con calidad buena, en su mayoría, corresponde empernado sistemático con espaciado entre 2 - 3 m más shotcrete proyectado con espesor de 5 - 6 cm con fibra, B + Sfr. Por último, para dominio con calidad muy buena, resultó sostenimiento puntual con espaciado entre 3 – 3.8 m, SB. Finalmente, se presenta un diseño de sostenimiento activo, constituido por pernos de anclaje por adhesión del tipo helicoidal, cuyo costo de implementación corresponde S/ 3,125.97 por metro lineal (mL).

Celada et al. (2014) en el artículo “Actualización y mejora del RMR”, publicada en la revista Ingeopres. Nos da cuenta que el sistema Rock Mass Rating (RMR) desde su origen en 1973 con Bieniawski se hizo una actualización en 1989, por lo que el RMR89 se convirtió en una referencia mundial para la clasificación del macizo rocoso, conocer sus propiedades de tensión y deformación, así como estimar de forma empírica el sostenimiento de las excavaciones subterráneas. La empresa Geocontrol con el objetivo de mejorar las prestaciones del RMR89 inicio el proyecto I+D, este resultado se le denomina RMR14. Concluyendo que el RMR14

presenta una modificación en la valoración de la resistencia de las discontinuidades y se incorpora la evaluación de la alterabilidad de la matriz rocosa, adicionalmente se incorporan nuevos factores de corrección por la orientación del túnel.

Cuervas et al. (2015) en el artículo “Evaluación de la estabilidad de excavaciones mineras de pequeño diámetro mediante clasificaciones geomecánicas y análisis empíricos: el caso de la mina de San Juan, Ecuador”, publicada en Trabajos de Geología de la universidad de Oviedo de España. El objetivo de esta investigación es la de validar el tipo de sostenimiento de excavaciones de una pequeña mina de oro en el Cantón de Ponce Enríquez, Ecuador. Para la evaluación se utiliza el Índice Q de Barton que trata de una aproximación empírica que permite calcular, mediante la asignación de un valor, la calidad del macizo rocoso, con el objetivo de conocer su grado de estabilidad ante una excavación subterránea. Concluyendo en que las dimensiones reducidas de excavación permiten que las labores sean autosoportadas y que el vano va de 6 a 10 m para tener una buena estabilidad, también se concluye que el Índice Q pudo justificar que no se necesita el sostenimiento por lo que queda validado el Índice Q para excavaciones mineras de pequeño diámetro.

Fernández et al. (2017) en el artículo “Correlación entre el índice RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton en formaciones sedimentarias de grano fino”, publicado en la revista Informes de la Construcción, de la editorial CSIC. Este artículo tiene como objetivo proponer una correlación entre el índice RMR y Q de Barton para formaciones sedimentarias de grano fino para la zona de Bilbao en España, esto debido a que existen numerosas relaciones entre ambos índices, pero estos tienen gran dispersión de datos, en cambio en correlaciones de litologías específicas son más precisas. En este artículo se analizan los parámetros del sistema de RMR de diferentes versiones, así como las principales correlaciones con el Q que son propuestas por 11 autores con

proveniencia de datos diferentes. Concluyendo que, dada la gran dispersión presente por los diferentes autores, como resultado de que los dos sistemas utilizan distintos parámetros, es conveniente relacionar litologías similares. De esta manera se propone esta correlación que puede ser aplicada en futuros proyectos que se realizan en la misma litología en el área del Bilbao metropolitano, donde están previstas futuras infraestructuras subterráneas.

Bonilla et al. (2016) en el artículo “Correlaciones empíricas entre las clasificaciones geomecánicas RMR y Q en macizos rocosos volcánicos”, presentado en Geo-Temas, revista no periódica editada por la Sociedad Geológica de España. Tiene como objetivo establecer una relación del RMR y Q de Barton para macizos rocosos volcánicos, al ser una litología específica ayuda a que el análisis sea más exacto. Los datos fueron obtenidos a partir de mapas geológicos, ensayos geofísicos, ensayos in situ, sondeos, estaciones geomecánicas y ensayos en laboratorio, para túnel Transcordillerano que se encuentra al sureste de Quito (Ecuador). Realizándose zonificaciones en donde se identificaron 8 unidades geotécnicas, en donde se recolectaron los datos geotécnicos. Realizando la clasificación geomecánica de RMR y Q, se agruparon los resultados en histogramas con la finalidad de obtener rangos de calidad del macizo rocoso. Concluyendo en diferentes relaciones empíricas entre RMR y Q, de manera general se logró que el coeficiente de relación este en un valor aceptable por lo que se mejora la clasificación del macizo rocoso. Pero recomienda realizar un mayor número de investigaciones ya que los datos recolectados pertenecen a la etapa de factibilidad.

Zorrilla (2015) en su tesis titulada “La seguridad en el sostenimiento con criterios geomecánicos en la excavación subterránea de la central hidroeléctrica Cerro del Águila” para optar el grado académico de Doctor en Seguridad y Control en Minería, presentada a la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de Minas – Universidad Nacional del Centro del Perú.

El objetivo de la investigación es definir estándares de seguridad para el sostenimiento, sustentados en la aplicación de criterios geomecánicos. Concluyó en que la ingeniería de minas moderna ha adoptado a la geomecánica como una herramienta tecnológica indispensable para lograr las mejores condiciones de seguridad y eficiencia en las operaciones de excavación de túneles y cavernas y otros trabajos subterráneos. Las actividades geomecánicas que se realizan en los frentes subterráneos, requieren ser conducidas en un medio ambiente organizacional que permita la integración de conceptos, información y actividad analítica de parte del personal involucrado con los trabajos ejecutados en la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila. La utilización de mapeos geomecánicos durante el proceso de excavación subterránea, permite realizar un monitoreo preciso y oportuno de la construcción, mejora el tratamiento sistemático y técnico de los problemas asociados a la misma y permite a su vez desarrollar un criterio preventivo al garantizar la estabilidad del área en proceso y el involucramiento de todos los trabajadores participantes en la actividad al incorporar a su cultura de seguridad herramientas técnicas concretas.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Geomecánica

El análisis geomecánico cubren los aspectos necesarios para la investigación y recopilación de datos in situ y laboratorio, permitiendo posteriormente clasificar al macizo rocoso, lo que sumado a las estructuras geológicas principales y al estado de esfuerzos previo al minado, permitirán establecer un modelo geomecánico (OSINERGMIN, 2017).

2.2.1.1. Macizo rocoso.

Define la forma de las rocas en su entorno natural; lo hace definiendo la roca y la estructura, que mostrarán patrones de estratificación, fallas, uniones, curvas y otras características estructurales. Así, el macizo rocoso es discontinuo y por tanto presentan heterogeneidad y/o anisotropía (Ramírez et al., 2013). Según la revista de seguridad minera, el macizo rocoso se muestra como un conglomerado soldado de bloques irregulares divididos geológicamente mediante discontinuidades como fracturas o fallas, lo que complica su clasificación porque deberá tener en cuenta las discontinuidades y propiedades de la matriz rocosa.

2.2.1.2. Caracterización Geomecánica.

La caracterización de un suelo rocoso requiere una comprensión de los parámetros fundamentales de la roca, las discontinuidades y la estructura, que incluye información sobre la cantidad de familias de discontinuidades existentes, el espacio medio de los planos de discontinuidad y las características geomecánicas fundamentales de las discontinuidades. Además, es esencial determinar el estado de la tensión en el lugar y, si es necesario, los cambios causados por las excavaciones (Ramírez et al., 2013). De esta manera, la caracterización geomecánica contempla el análisis detallado de los resultados provenientes de laboratorio y de campo in situ de afloramientos del macizo rocoso, los cuales se procesan estadísticamente de forma sencilla a fin de establecer modelos constitutivos apropiados al tipo de roca, que incluyen el conocimiento de sus parámetros resistentes y de deformación. Como se describe a continuación, la caracterización se realiza utilizando métodos de clasificación que combinan los parámetros de la matriz rocosa en un valor único representando así la calidad general de la roca (Belandria & Bongiorno, 2016).

2.2.1.3. Calidad del Macizo Rocoso.

Es un parámetro que permite la clasificación a gran escala basado en las propiedades de la roca. Los sistemas de clasificación geomecánica intentan cuantificar los parámetros de resistencia asignando un solo valor; útil para identificación del dominio geomecánico al interior mina (OSINERGMIN, 2017). Las clasificaciones Bieniawski RMR (Rock Mass Rating), Barton, Lien y Lunde (Q), y Hoek - Brown son actualmente las más utilizadas para identificar el estado del macizo rocoso (GSI). Las dos primeras hacen uso del parámetro RQD (Designation of Rock Quality), utilizado como base para la clasificación de Deere. Los siguientes son los métodos más utilizados.

- El índice de la calidad de roca RQD cuantifica el grado de fracturamiento del macizo, de las rocas de prueba de diámetro superior a 10 cm, determinado por el muestreo in situ (ecuación 1) o por la cantidad de uniones por metro cúbico (J_v) observadas durante una erupción (ecuación 2). Utilizando la definición de 1964 de Deere de RQD, se plantea la clasificación sencilla de la calidad de la roca en cinco clases en la Tabla 1 (Belandria & Bongiorno, 2016).

$$RQD = \frac{\sum \text{Trozos mayores a 10 cm}}{\text{Longitud de perforación}} \dots (\text{ecuacion 1})$$

$$RDQ = 115 - 3.3J_v \dots (\text{ecuacion 2})$$

Tabla 1: Clasificación geomecánica RQD

<i>Índice de calidad RQD (%)</i>	<i>Calidad</i>
0 – 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 - 100	Excelente

Fuente: (Belandria & Bongiorno, 2016)

- La clasificación RMR de Bieniawski, desarrollada en 1989, es un sistema de clasificación que correlaciona el grado de calidad del macizo rocoso con los criterios de diseño y mantenimiento de los túneles. El parámetro RMR indica la calidad de la capa de roca en cada dominio estructural en una escala de 0 a 100 sumando la calificación de los siguientes parámetros: la resistencia de la roca intacta a partir de la valoración de la resistencia a la compresión simple (UCS) o a las pruebas de carga puntual, el RQD, mediante el espaciamiento de discontinuidades, condiciones de discontinuidades y presencia de agua subterránea de acuerdo con el sistema RMR (Belandria & Bongiorno, 2016). ,que se detalla en la tabla 2.

Tabla 2: Clasificación geomecánica RQD

<i>Clase</i>	<i>Calidad</i>	<i>Valoración RMR</i>	<i>Cohesión</i>	<i>Angulo de rozamiento</i>
I	Muy bueno	100 – 81	4 kg/cm ²	> 45°
II	Bueno	80 – 61	3 – 4 kg/cm ²	35° - 45°
III	Medio	60 – 41	2 – 3 kg/cm ²	25° - 35°
IV	Malo	40 – 21	1 – 2 kg/cm ²	15 – 25°
V	Muy Malo	< 20	< 1 kg/cm ²	< 15°

Fuente: (Belandria & Bongiorno, 2016)

Desde su publicación, estos sistemas RMR y Q se han aplicado a una variedad de proyectos con patologías variadas como el tamaño de excavación, la calidad de roca, la profundidad, entre otros, y sus autores resguardan su validez y generalidad en una serie de artículos. Numerosos autores han propuesto correlaciones entre los índices Q y RMR basándose en las siguientes ecuaciones (Belandria & Bongiorno, 2016):

$$RMR = 13.5 \log(Q) + 43 \dots (\text{ecuación 3})$$

$$RMR = 12.5 \log(Q) + 55.2 \dots (\text{ecuación 4})$$

- La clasificación Q de Barton fue desarrollada por Barton, Lien y Lunde en 1974 como resultado de su estudio de múltiples túneles. Es un sistema que clasifica el macizo rocoso (tabla 3) permitiendo la estimación de los parámetros geotécnicos y el diseño de refugios para túneles y cuevas subterráneas a través del análisis de seis parámetros según la ecuación 5 (Belandria & Bongiorno, 2016).

Tabla 3: Calidad del macizo rocoso según clasificación Q de Barton

<i>Tipo de roca</i>	<i>Valor de Q</i>
Excepcionalmente mala	0.001 – 0.01
Extremadamente mala	0.01 – 0.1
Muy mala	0.1 – 1
Mala	1 – 4
Media	4 – 10
Buena	10 – 40
Muy buena	40 – 100
Extremadamente buena	100 – 400
Excepcionalmente buena	400 – 1000

Fuente: (Belandria & Bongiorno, 2016)

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_a}{J_n} * \frac{J_w}{SRF} \dots (\text{ecuacion 5})$$

Donde:

J_n : Numero de familias de diaclasas.

J_r : Rugosidad de las superficies de discontinuidades.

J_a : Alteracion de las diaclasas.

J_v : Coeficiente reductor de presencia de agua.

SRF : Factor de reduccion de esfuerzo.

El principal cociente denota la dimensión de bloques, el segundo denota su resistencia al corte y el tercero denota el estado tensional del macizo rocoso.

2.2.2. Sistema de Sostenimiento

El apoyo subterráneo tiene por objetivo garantizar el control y conservar la estabilidad de excavaciones para garantizar las condiciones de trabajo seguras y el acceso al trabajo subterráneo. Considere lo siguiente a la hora de diseñarlo: Propiedades de la masa rocosa, dirección de la excavación respecto a las características estructurales, efecto de esfuerzos naturales e inducidos, dimensiones y forma de excavación, deformación de la corteza de la roca y los elementos de sostenibilidad contribuyen a la vida útil esperada de la excavación. La colocación tardía del apoyo en una sección determinada promueve la relajación y la descompresión del macizo rocoso, lo que puede dar lugar a manifestaciones de inestabilidad (Suasnabar, 2019).

2.2.2.1. Tipos de sostenimiento.

Sostenimiento activo

Denominado como sostenimiento de refuerzo, que mayormente se utiliza para mejorar la estabilidad de las labores mineras o túneles y estos de acuerdo a su capacidad portante de la roca. A continuación, se detalla principales elementos de sostenimiento. (Guzmán, 2017).

- a. Pernos Helicoidales:** Son pernos que se han utilizado en los últimos años en la mina y construcciones de túneles, las cuales son por anclaje por adherencia, con resina o cemento. El más usado es el perno helicoidal o barras de hierro con sus adherentes cemento o resina de diferentes longitudes. Mayormente la resina tiene un resultado que conviene para usar en pernos sometidos a altas presiones de igual forma sirve para el pretensado de roca. En los diferentes aspectos es recomendable para el sostenimiento permanente y en algunas ocasiones para labores temporales. En el caso de perno de acero tratado se utiliza

para construcciones de ingeniería civil porque son permanentes. En estos últimos tiempos ya se emplean cemento y resina para un buen fraguado de los componentes en la roca y así fijar correctamente el perno. (Marrón, 2018)

- b. Split set:** Es una técnica de sostenimiento para la roca que trabaja por fricción a lo largo del taladro, el perno es instalado a presión del agua, esto tiene que ser presión radial cerrando parcialmente la ranura del perno. El anclaje constituye por la fricción interna y externa de la roca, logrando una tensión de carga favorable para la excavación. (Huacani, 2019) El perno Split Set son muy sensibles para taladros de diámetro menor a 39mm. Mayormente se emplea donde hay presencia de agua y para labores temporales, es un sostenimiento provisional. (Osinermin, 2017).

Sostenimiento Pasivo

Es un conjunto de elementos de sostenimiento que actúa después de que se haya deformado la roca. (Guzmán I. C., 2017) En la investigación se utilizó tres tipos de sostenimiento activo:

- a. Malla electrosoldada** Para la instalación de malla electrosoldada se tiene que desatar bien la corona y las paredes de la labor, este tipo de sostenimiento se emplea para retener fragmentos o trozos de roca, evita la caída de bancos del techo. Para el colocado de malla se emplea pernos Split Set o barra helicoidal y para el traslape los mini Split set. Respecto a la fijación de la malla es con la placa de reten. (Osinermin, 2017) La malla electrosoldada cumple con las funciones de seguridad, de soportar

pequeños trozos de roca cuando existe la presión litostática, para su utilización tiene la ventaja económica y son muy efectivas comparada a los otros sistemas de sostenimiento, esta malla funciona conjuntamente con los pernos de 10m x 4m y tiene la capacidad de 3 a 6 KJ/m². (Navarro, 2004)

b. Concreto lanzado (shocrete). “El concreto lanzado es una mezcla de materiales (hormigón fraguado) que es llevado a través de mangueras y luego para lanzar neumáticamente sobre una boquilla a la superficie de la roca, con el pasar del tiempo va endureciendo para adquirir una resistencia considerable.” (Navarro, 2004). “Para el proceso de mezclas se emplea dos métodos vía húmeda y vía seca que estos tienen sus propias ventajas y desventajas, en la actualidad se utilizan para el concreto lanzado las fibras sintéticas y metálicas.” (Osinergmin, 2017 pp. 85).

c. Cuadros de madera “Los cuadros de madera se emplean mayormente en minas convencionales y semiconvencionales para rocas de calidad mala y muy mala. Los elementos de cuadros son: sombrero, dos postes y los tirantes. Cumplen principalmente para soportar cargas verticales debido a una presión litostática en el techo de una excavación. El cuadro cojo se emplea en vetas angostas de minerales y caja techo de mala calidad. Estos cuadros empiezan a trabajar cuando la roca se deforma sobre ellas.” (Osinergmin, 2017 pp. 85).

2.2.2.2. Tiempo de autosostenimiento

“Esto depende del comportamiento de la roca y las características del macizo rocoso, con la clasificación de RMR nos proporciona datos realistas del tiempo que durara el autosostenimiento, o sea sin alguna fijación de una excavación. Mayormente los daños que causan en la excavación es la voladura, que pone en riesgo de debilidad las paredes de la excavación reduciendo el tiempo de estabilidad de soporte natural.” (Osinergmin, 2017 pp. 155-156).

2.2.2.3. Determinación del tipo de sostenimiento de túnel.

Con el objeto de determinación del tipo de sostenimiento, (Castresana, 2016) describe una serie de pasos aplicando el método del índice Q de Barton, los cuales consisten en:

- Se determina la eficacia de la excavación mediante el índice ESR en función a los valores de la tabla 4.

Tabla 4: Valores del índice ESR

<i>Tipo de excavación</i>	<i>ESR</i>
Labores mineras de carácter temporal	2 – 5
Galerías mineras permanente, túneles de centrales hidroeléctricas (excluyendo las galerías de alta presión) túneles piloto, galerías de avance en grandes excavaciones, cámaras de compensación hidroeléctrica	1.6 – 2
Cavernas de almacenamiento, plantas de tratamiento de aguas, túneles de carreteras secundarias y de ferrocarril, túneles de acceso.	1.2 – 1.3
Centrales eléctricas subterráneas, túneles de carreteras primarias y de ferrocarril, refugios subterráneos para defensa civil, emboquilles, e intersecciones de túneles.	0.9 – 1.1
Centrales nucleares subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones públicas y deportivas, fábricas, túneles para tuberías principales de gas.	0.5 – 0.8

Fuente: (Castresana, 2016)

- Se calcula el diámetro equivalente (D_e), definido como la proporción de la altura de la excavación a su grado de importancia (ecuación 6).

$$De = \frac{\text{Luz o altura (m)}}{ESR} \dots (\text{ecuacion 6})$$

- El diámetro equivalente también puede ser determinado mediante una correlación que incluye el Q de Barton (ecuación 7).

$$De = 2 * Q^{0.4} (m) \dots (\text{ecuacion 7})$$

- Obtenidos los valores de Q y De, se utiliza el ábaco gráfico de la figura 5, representado por zonas de influencia de calidad de la roca y soporte que debe tener la misma según ello, lo que posibilita establecer el tipo de sostenimiento acorde a la clasificación de la figura 6.

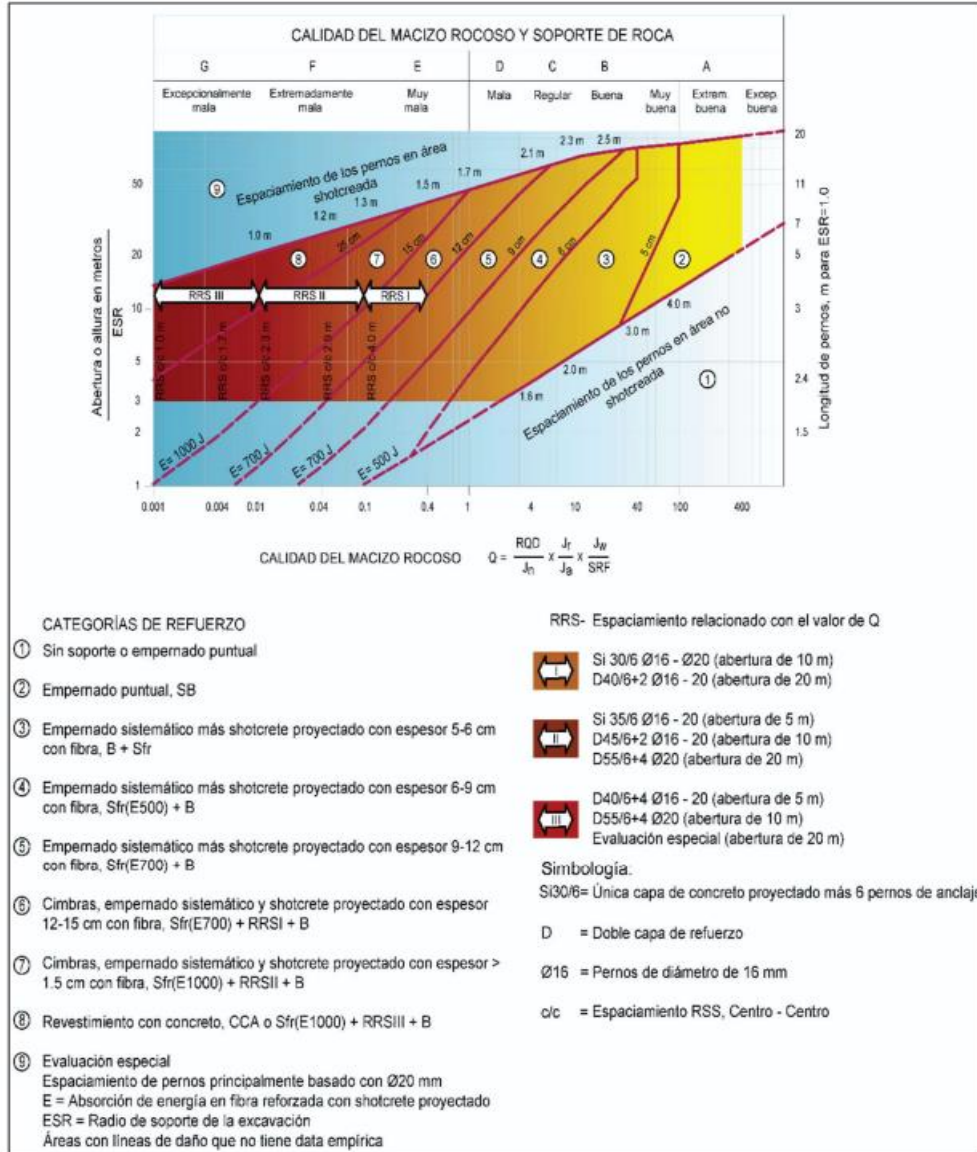


Figura 2 Gráfico de relación entre Q, ESR y el sostenimiento recomendado

Fuente: Guía sobre control geotécnico en minería subterránea

Tabla 5: Tipo de sistema de sostenimiento según índice Q de Barton

<i>Zona del grafico</i>	<i>Sostenimiento recomendado</i>
Zona A	No requiere sostenimiento
Zona B	Pernos puntuales a 1.5 – 3 m
Zona C	Pernos sistemáticos a 1 – 1.5 m
Zona D	Pernos a 1m y concreto proyectado
Zona E	Pernos a 0.5 – 1 m y concreto proyectado reforzado con fibras Cerchas de acero.
Zona F	Concreto proyectado de más de 15 cm de espesor. Pernos a 0.5 – 1 m
Zona G	Cerchas de acero y concreto reforzado

Fuente: Guía sobre control geotécnico en minería subterránea

Además del método Q para determinación de sostenimientos, otros autores han propuesto varios sistemas a partir del índice RQD, como se muestra en la tabla 6 (Madariaga, 2015).

Tabla 6: Tipo de sistema de sostenimiento según índice Q RQD

<i>Autor</i>	<i>Sin sostenimiento</i>	<i>Sostenimiento con anclajes</i>	<i>Sostenimiento con cerchas</i>
Deere et al. (1970)	RQD 75 - 100	RQD 50 – 75 Espaciados entre 1.5 – 1.8 m RQD 25 – 50 Espaciados entre 0.9 – 1.5 m	RQD 50 – 75 Cerchas ligeras espaciadas entre 1.5 a 1.8 m como alternativas a los anclajes RQD 25 – 50 Cerchas ligeras a medianas espaciadas de 0.9 a 1.5m como alternativa a los anclajes RQD 0 – 25 Cerchas medianas a circulares pesadas espaciadas de 0.6 a 0.9 m
Cecil (1970)	RQD 82 - 100	RQD – 52 – 82 Como alternativa a los anclajes, 40 -60 mm de concreto proyectado	RQD 0 – 52 Cerchas o concreto proyectado reforzado
Merrit (1972)	RQD 72 - 100	RQD 23 – 72 Espaciados entre 1.2 a 1.8 m	RQD 0 - 23

Fuente: Guía sobre control geotécnico en minería subterránea

2.2.2.4. Seguridad del personal en las labores mineras

Es responsabilidad del titular, explotador o empleador minero acogerse a los requisitos necesarios para proporcionar la seguridad en las labores subterráneas y que estas no presenten colapso ni desprendimiento de rocas que conviertan en un peligro la vida e integridad del personal,

al igual que los activos de la empresa. Por ello, desde la perspectiva geomecánica, se debe determinar, implementar y llevar a cabo un plan de sostenimiento acorde al estudio geomecánico del área de explotación y lo establecido en un programa de trabajos y obras de proyecto (Castresana, 2016) Evaluación de riesgos área geotécnica – geomecánica. La evaluación de riesgos en la especialidad geomecánica según (OSINERGMIN, 2017), comprende los factores técnicos y factores de gestión de acuerdo al diagrama de la figura 7.



Figura 3 Diagrama de factores de riesgos geomecánicos

Fuente: Guía sobre control geotécnico en minería subterránea

- Factores técnicos: corresponden a los mapeados en el esquema de la figura 7, cuya evaluación empírica se realiza mediante los criterios de la matriz de la tabla 7 (OSINERGMIN, 2017).

Tabla 7: Método empírico para determinar el nivel de riesgo de cada factor técnico

FACTORES DE RIESGO	VALORACIÓN DEL RIESGO GEOMECÁNICO				
	Muy bajo (0)	Bajo (0.25)	Medio (0.5)	Alto (0.75)	Muy alto (1)
Calidad del macizo rocoso	80 < RMR <= 100	60 < RMR <= 80	40 < RMR <= 60	20 < RMR <= 40	RMR <= 20
Tipo de voladuras de las excavaciones	-	Voladura controlada	-	Voladura convencional	-
Profundidad de las Excavaciones	P < 300m	300m <= P < 600m	600m <= P < 850m	850m <= P < 1200m	> = 1200 m
Hidrogeología	Seco (0 Litros)	Ligeramente Seco (10 L/min)	Húmedo (10 - 25 L/min)	Goteando (25 - 125 L/min)	Flujo (mayor a 125 L/min)
Perforación y Sostenimiento (mecanizado o convencional)	Mecanizado		Mecanizado convencional		Convencional
Tipo de desate de roca (mecanizado o manual)	Mecanizado		Mecanizado convencional		Convencional
Método de Explotación	Taladros largos (-) con telemandos	Corte y relleno ascendente (Breasting)	Cámaras y pilares/ corte y relleno (realce)	Taladros largos (+) / Banqueo y relleno / corte y relleno descendente	Sub-level Caving/ Corte y relleno ascendente con puntales

Fuente: Guía sobre control geotécnico en minería subterránea

- Estabilidad del pilar corona: el concepto de ancho escalado para analizar pilares corona es un método empírico desarrollado en Canadá en 1980, a causa de diversos incidentes originados por el colapso de pilares corona, basados en múltiples situaciones reales, siendo empleado durante los últimos 20 años como el más aceptado para la estimación inicial del margen de estabilidad de pilares corona en minas superficiales. Por cuanto, el factor de seguridad constituye una relación entre el ancho crítico (S_c) y ancho escalado (C_s), determinado por la ecuación 8, la estabilidad puede evaluarse considerando partiendo de este factor para incluir la posibilidad de falla del mismo, tomando en cuenta las imprecisiones por la variación de la calidad Q , el buzamiento de estratos, la geometría de la cámara, etc., aplicando la ecuación 8 (Bordehore et al., 2017).

$$C_s = S \left(\frac{\gamma}{T(1 + S_R)(1 - 0.4 \cos \theta)} \right)^{0.5} \dots (\text{ecuacion 8})$$

Donde

Cs: ancho escalonado en metros.

S: vano (ancho) real del minado en metros.

γ : densidad de la roca de la corona en g/cm^3 .

T: espesor del pilar corona en metros.

SR: relación entre el ancho y la longitud del minado (S/L)

θ : buzamiento del cuerpo mineralizado o de la foliación.

$$Pf(\%) = \frac{100}{1 + 441 * e^{(-1.7C_s/Q^{0.44})}} \dots (\text{ecuacion 9})$$

La probabilidad de falla obtenida por la ecuación 11, se evalúa posteriormente, mediante la matriz empírica de la figura 8, con la cual se puede determinar el nivel de riesgo (Bordehore et al., 2017).

Clase	Probabilidad de fallo (%)	Fiabilidad (%)	Factor de seguridad mínimo	Criterios de diseño para una probabilidad de fallo aceptable				
				Vida de servicio del pilar corona (años)	Acceso público	Actitud reguladora ante el problema	Supervisión requerida	
A	50 – 100	0 – 50	<1,0	Cero en términos efectivos	<0,5	Prohibido	Totalmente inaceptable	No es efectivo
B	20 – 50	50 – 80	1,0	Muy corto plazo - solo para propósitos mineros temporales - riesgo inaceptable en emboquille de túneles	1,0	Fuertemente evitado	No aceptable	Monitoreo continuo sofisticado
C	10 – 20	80 - 90	1,2	Muy corto plazo - pilares corona casi temporales - riesgo no deseable en trabajos temporales de ingeniería civil	2-5	Activamente evitado	Muy preocupante	Monitoreo continuo con instrumentos
D	5 – 10	90 – 95	1,5	Corto plazo - coronas semi temporales, por ejemplo debajo de infraestructuras mineras poco sensibles	5-10	Evitado	preocupante	Monitoreo continuo simple
E	1,5 – 5	95 – 98.5	1,8	Medio plazo - coronas semi permanentes posibilidad bajo infraestructuras	15-20	Disuadido	Algo preocupante	Monitoreo superficial
F	0,5 – 1.5	98,5 – 99.5	2	Largo plazo- coronas casi permanentes - portales de obra civil - túneles alcantarillado	50-100	Permitido	Preocupación limitada	Monitoreo superficial ocasional
G	Menos de 0,5	Más de 99.5	>>2	Muy largo plazo - coronas permanentes sobre túneles civiles	>100	Libre	No hay preocupación	No se requiere monitoreo

Figura 4 Categorías de estabilidad, consecuencias y actuaciones según resultados del análisis por ancho escalado

Fuente: (Bordehore et al., 2017).

2.3. Marco conceptual

Evaluación Geomecánica: Proceso de análisis y caracterización de las propiedades mecánicas y geológicas de un macizo rocoso con el fin de comprender su comportamiento en relación con cargas y condiciones de explotación.

Macizo Rocos: Masa de roca en el subsuelo que forma el entorno geológico en el que se lleva a cabo la explotación minera, sujeto a esfuerzos y deformaciones bajo diferentes condiciones.

Sostenimiento: Conjunto de técnicas y estructuras utilizadas para mantener la estabilidad de las excavaciones subterráneas, evitando el colapso de las paredes y techos rocosos.

Estabilidad: Capacidad de un macizo rocoso para mantener su integridad estructural y resistir deformaciones o colapsos bajo las cargas y condiciones operativas previstas.

Zona de Explotación: Área específica de una mina donde se lleva a cabo la extracción de minerales, sujeta a interacciones geomecánicas y cargas debidas a la excavación y los procesos de explotación.

Propiedades Geomecánicas: Características físicas y mecánicas del macizo rocoso, como resistencia, deformabilidad, permeabilidad y orientación de fracturas, que influyen en su comportamiento ante esfuerzos.

Análisis Numéricos: Utilización de métodos matemáticos y modelos computacionales para simular el comportamiento de sistemas geomecánicos, predecir la respuesta del macizo rocoso bajo diferentes condiciones.

Geología: Estudio científico de la composición, estructura, formación y evolución de la corteza terrestre, que proporciona información sobre la génesis y las características de las formaciones rocosas.

Ensayos de Laboratorio: Pruebas realizadas en muestras de roca recolectada en el sitio para determinar sus propiedades mecánicas, físicas y químicas en un entorno controlado.

Ingeniería Geotécnica: Rama de la ingeniería que se ocupa del comportamiento de las formaciones geológicas y su interacción con las estructuras humanas, incluyendo excavaciones y cimientos.

Deformación: Cambio en la forma o el tamaño de un macizo rocoso como respuesta a las cargas y esfuerzos aplicados, que puede ser elástico, plástico o de otro tipo.

Seguridad Minera: Conjunto de medidas y prácticas destinadas a prevenir riesgos laborales y accidentes en la industria minera, incluyendo la consideración de aspectos geomecánicos para garantizar la seguridad de los trabajadores y las instalaciones.

Diseño de Sostenimiento: Proceso de selección y diseño de estructuras de soporte (como pernos, mallas, hormigón proyectado) para mantener la estabilidad de las excavaciones subterráneas y superficiales en la explotación minera.

Estudio Geomecánico: Investigación detallada que aborda la interacción entre las propiedades geológicas y geotécnicas del macizo rocoso y la planificación de la explotación minera, con el objetivo de garantizar la seguridad y la estabilidad.

Capítulo III

Metodología

La evaluación geomecánica emerge como una solución clave para abordar esta realidad problemática. Al involucrar la identificación, caracterización y determinación de los parámetros del macizo rocoso, este proceso persigue reducir la ocurrencia de caídas de rocas y, por ende, minimizar los posibles daños a los equipos y al personal. Además, contribuya a la mejora de la rentabilidad al evitar interrupciones no planificadas en la producción y reduzca los costos asociados con la rehabilitación de áreas inestables.

La urgente necesidad de mejorar la estabilidad del macizo rocoso en la Zona de Explotación Hércules de la Unidad Minera Huancapeti, ubicada en Aija, Ancash, impulsa este estudio de evaluación geomecánica. A través de un análisis integral, se busca abordar los desafíos inherentes a la inestabilidad geotécnica y promover soluciones que permitan una operación minera más segura, eficiente y sostenible en el año 2023 y más allá.

3.1. Tipo

Ñaupas, et al, (2018) afirman que “el tipo de investigación se limita a dos, tales como: la investigación básica, pura o fundamental y la investigación aplicada. La investigación aplicada busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo. Esta se basa fundamentalmente en los hallazgos tecnológicos de la investigación básica, ocupándose del proceso de enlace entre la teoría y el producto. Según el sustento la presente investigación corresponde a la investigación aplicada”.

La investigación que menciona pertenece al campo de la geomecánica, que es una rama de la ingeniería geotécnica que se enfoca en el comportamiento mecánico de las rocas y su interacción con las estructuras construidas en ellas. En este caso, la investigación se centra en la "Evaluación Geomecánica del Macizo Rocosos para el Diseño de Sostenimiento y Estabilidad". Esto sugiere que la investigación tiene un enfoque aplicado y práctico en relación con la explotación minera, ya que busca determinar durante cómo el macizo rocoso responde a las fuerzas generadas la explotación y cómo garantizar su estabilidad y seguridad mediante el diseño de medidas de sostenimiento.

3.2. Enfoque

El enfoque de investigación se refiere a la naturaleza del estudio y se clasifica como cuantitativo, cualitativa o mixta. Cada enfoque tiene características particulares con respecto a diversos aspectos de la investigación. Algunos aspectos clave para comprender la comparación de los enfoques cuantitativos y cualitativos de investigación científica incluyen el tipo de realidad que estudia, las metas de la investigación, entre otros (Mata, 2019).

Los enfoques, métodos generales y estrategias de investigación pueden clasificarse en dos modelos con diferentes características según su propósito: *modelos cualitativos* y *modelos cuantitativos*. (Thomas Kuhn 1962), cada uno de estos modelos se basa en un paradigma, es decir, en el conjunto de supuestos, postulados, concepciones de la realidad y juicios de valor que sirven de referencia a la investigación y que determinan qué investigar, qué datos coleccionar, cómo coleccionarlos, cómo analizarlos y cómo interpretarlos.

Conforme a la naturaleza y propósitos de la investigación; el estudio posee un enfoque de investigación cuantitativo debido fundamentalmente a que es posible probar las hipótesis de investigación con la data recopilada en los sujetos de estudio y que posteriormente podrán ser generalizados en la población.

3.3. Alcance

Hernandez, (2014). Los alcances del estudio dependen de la estrategia de investigación. Así, el diseño, los procedimientos y otros componentes del proceso serán distintos en estudios con alcance exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo. Pero en la práctica, cualquier investigación puede incluir elementos de más de uno de estos cuatro alcances. Los estudios exploratorios sirven para preparar el terreno y, por lo común, anteceden a investigaciones con alcances descriptivos, correlacionales o explicativos. Por lo general, los estudios descriptivos son la base de las investigaciones correlacionales, las cuales a su vez proporcionan información para llevar a cabo estudios explicativos que generan un sentido de entendimiento y están muy estructurados.

La presente investigación tuvo presenta un alcance de tipo explicativo – correlacional , ya que se desarrolla en el contexto de una unidad específica minera (Unidad Minera Huancapeti) y se centra en la evaluación geomecánica de un macizo rocoso particular (Zona de Explotación

Hércules). Esto implica un conocimiento profundo de la geología, la mecánica de rocas, la minería y la ingeniería geotécnica. Además, dado que la investigación se lleva a cabo en el año 2023, es probable que se basen en avances y tecnologías recientes en el campo de la geomecánica y la minería.

3.4. Diseño de la investigación

El diseño de investigación es el plan y estructura del estudio de investigación. Responde al tipo de método que se ha seleccionado y conduce a una planeación cuidadosa de la obtención y procesamiento de los resultados de la investigación (Carrasco, 2005).

En esta investigación se utilizó un diseño cuasiexperimental, el cual se fundamenta en estudios que no asignan al azar los sujetos que forman parte del grupo control y experimental, sino son emparejados puesto que los grupos de trabajo ya están tomados, es decir ya existen previo al experimento. (Hernandez, 2014 pp. 70)

La metodología de esta actividad consistirá en la evaluación de las operaciones mineras en la Unidad Minera Huancapeti, desde su etapa inicial y posteriormente se seleccionará un nuevo diseño de sostenimiento, considerando los siguientes parámetros: caracterización geomecánica, tipos de sostenimiento convencional.

Su esquema es el siguiente.

GE: 01 X 02

Dónde:

G.E. Grupo Experimental.

01: Pre test.

02: Post test.

X: Manipulación o desarrollo de la variable independiente

3.5. Población y muestra

Población

Según Hernández et al. (2014), una población es “El conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones.”

En el caso de nuestra investigación, la población estará conformada por la Unidad Minera Huancapeti.

Muestra

Según Hernández et al. (2014), una muestra no probabilística o dirigida “Es el subgrupo de la población en la que la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de las características de la investigación”

La muestra estuvo conformada por la zona de explotación Hércules.

3.6. Hipotesis

3.6.1. Hipotesis general

La evaluación geomecánica del macizo rocoso tiene un impacto significativo en la mejora de la estabilidad y el sistema de sostenimiento en la zona de explotación Hércules de la Unidad Minera Huancapeti.

3.6.2. Hipotesis específica

- ❖ La caracterización geomecánica del macizo rocoso en la zona de explotación de la mina Hércules permitirá identificar las propiedades mecánicas y estructurales clave, lo que facilitará la implementación de un diseño de sostenimiento adecuado y mejorará la estabilidad de las labores mineras.
- ❖ Al determinar las propiedades geomecánicas del macizo rocoso en la Unidad Minera Huancapeti, se obtendrá información esencial sobre la resistencia, deformabilidad y comportamiento de la roca, lo que permitirá implementar medidas de sostenimiento eficientes y mejorar la estabilidad de la mina.
- ❖ Identificar y conocer los parámetros de resistencia de la masa rocosa en la mina Hércules proporcionará información valiosa para determinar la capacidad de carga del macizo rocoso, lo que permitirá diseñar sistemas de sostenimiento adecuados para garantizar la estabilidad y seguridad en las operaciones mineras.
- ❖ Mediante una evaluación geomecánica, se podrá estimar y diseñar diferentes tipos de sostenimiento específicos detallados para las condiciones geológicas del macizo rocoso en la mina Hércules. La implementación de estos sistemas de sostenimiento mejorará la estabilidad y seguridad de las labores operativas en la Unidad Minera Huancapeti.

3.7. Operacionalización de variables, definición conceptual y operacional

Tabla 8: Matriz de operacionalización

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
<u>Variable Independiente:</u>	La Evaluación Geomecánica del Macizo Rocosó se refiere al proceso de análisis y comprensión profunda de las propiedades mecánicas y de comportamiento de las formaciones rocosas presentes en un área específica.	La Evaluación Geomecánica del Macizo Rocosó implica una serie de pasos y actividades específicas para comprender y cuantificar las características del macizo rocosó en cuestión.	Evaluación Geomecánica	* Clasificación geomecánica * Propiedades geotécnicas del macizo rocosó
Evaluación geomecánica del macizo rocosó			Estabilidad de labores	* F.S..
<u>Variable Dependiente:</u>	El diseño de sostenimiento se refiere a la selección y diseño de sistemas y elementos de soporte para mantener la estabilidad de las excavaciones subterráneas, como túneles, minas y cavernas. El objetivo principal del diseño de sostenimiento es prevenir el colapso de las paredes y techos de la excavación y garantizar la seguridad de las personas y los equipos que trabajan en el área.	Es la forma de soporte del techo y los hastiales de una labor subterránea a partir su caracterización geomecánica, utilizando máquinas y equipos emperadores de roca, con el fin delogar la estabilidad del macizo rocosó	Aplicación del sostenimiento	* Sostenimiento Convencional. Sostenimiento Mecanizado.
Diseño de sostenimiento y estabilidad				

3.8. Técnicas e instrumentos

Técnicas de recolección de datos

Las técnicas de investigación representan el conjunto de pasos, cuyo objetivo es operativizar el proceso investigativo. (Hernández , Fernández, & Baptista, 2010).

- ❖ Es indispensable determinar las técnicas que se van aplicar, como datos de campo, observaciones y mediciones, tesis bibliográficas, trabajos inéditos para determinar los resultados de sostenimiento aplicado en la unidad minera Huancapeti, para garantizar la estabilidad del macizo rocoso.

Las técnicas utilizadas en la recopilación de datos del estudio, bajo el método de la estadística descriptiva, fueron:

- ❖ La observación (Campo)
- ❖ Apunte de datos (Campo)
- ❖ La clasificación de la información
- ❖ Análisis de los datos
- ❖ Medición (Gabinete)

Instrumento

Se utilizaron los siguientes instrumentos de recolección de datos:

- ❖ Guías de observación

Guía de Observación de la Clasificación Geomecánica Estas guías se utilizan para realizar la investigación sistemática del tipo de roca, estado de alteración y las discontinuidades que perjudican al macizo, tomando datos suficientes del buzamiento y dirección de buzamiento de ellas,

para que se haga un análisis estadístico que pueda discriminar qué “familias” de discontinuidades afectan a la roca, y cuál es su orientación preferente.

Guía de Observación en Laboratorio. Esta guía de observación en laboratorio de métodos experimentales se hizo para determinar la resistencia y la deformabilidad de las rocas, con la finalidad de establecer las relaciones entre los esfuerzos y las deformaciones durante el proceso de carga y rotura, los esfuerzos a que está sometida la roca en el momento de la rotura y sus parámetros resistentes. Estos métodos son los ensayos de laboratorio de compresión uniaxial, cargar puntual y cálculo de densidades.

❖ Guías de análisis documental

Guía de Análisis Documental de Sostenimiento en Minería Subterránea. (Ver Anexo 5)- La siguiente guía de análisis documental se realizó para mencionar y describir la normativa por la cual se rige el procedimiento de sostenimiento en minería subterránea.

3.9. Metodos de análisis de datos

Investigaciones Básicas

La investigación se desarrollará, en base a la caracterización geomecánica, estimación de las propiedades de la roca intacta, y macizo rocoso.

- Ejecutar el análisis de estabilidad: Aberturas máximas, tiempo de autosoporte, estabilidad estructuralmente controlada y controlada por esfuerzos.
- Uso de data e interpretación de resultados de los Software

- Uso de métodos de clasificación geomecánica y formulas empíricas, que permitan caracterizar el macizo rocoso.
- Determinar el buzamiento y dirección de los sistemas de fallas o estructuras mayores, así como el buzamiento y dirección de la mineralización.
- Elegir el tipo de sostenimiento adecuado para cada condición del macizo rocoso.
- Conocimiento del macizo rocoso de las labores de minado subterráneo en la zona de explotación Hércules.
- Determinación de las condiciones de seguridad y salud ocupacional de las personas que trabajan en la Unidad Minera Huancapeti – Aija. Ancash

3.10. Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información.

Los datos acopiados, medidos y monitoreados se procesarán por medio de estadísticas, promedios y se calculará el promedio general de la medición del factor de seguridad en el sistema de pernos de sostenimiento empleado, cuadros comparativos de los resultados entre el diseño anterior y el diseño implementado como estandar de trabajo

Después de confirmar la normalización de los datos, se realiza una prueba t de Student para evaluar la homogeneidad de la varianza entre los tratamientos estándar. Si es similar, se rechaza la hipótesis nula de que no hay diferencia en las varianzas de ambos grupos si el valor p de la prueba t es menor que 0.05.

3.11. Desarrollo del trabajo de tesis

En el presente estudio, se han realizado investigaciones en campo, laboratorio y gabinete, las cuales se resumen en los siguientes párrafos.

Para cumplir con el objetivo y los alcances, se ha sub dividido el estudio en cinco fases, los mismos que se resumen líneas abajo.

Fase 1.- Orientado a ejecución de investigaciones básicas (mapeo litológico estructural y geomecánico de afloramientos rocosos en superficie e interior mina, mediante aplicaciones del método Celdas de Detalle. En esta fase también se han realizado ensayos de campo y laboratorio para obtener información de interés que permita evaluar con mayores elementos de juicio los principales factores que controlan la estabilidad de la masa rocosa a nivel de dominios geomecánicos.

Fase 2.- Integración de información obtenida de investigaciones básicas con la finalidad de establecer el modelo geomecánico conceptual, asignar parámetros de resistencia a los dominios geomecánicos, estimar el estado tensional, evaluar los probables modos de falla asociados a discontinuidades estructurales.

Fase 3.- Se realiza el dimensionamiento geomecánico de las unidades de explotación (tajos, pilares y puentes) empleado la técnica grafica desarrollada por Mathews, posteriormente se analiza la estabilidad de estas unidades de explotación empleando los métodos de equilibrio limite y elementos finitos para ajustar y calibrar el diseño final.

Fase 4.- En esta se evalúa los requerimientos de sostenimiento, la cartilla Geomecánica se estima y redimensiona los tipos de sostenimiento basados en resultados de 81 caracterización

geomecánica y análisis de estabilidad estructuralmente controlada; además se definen las especificaciones técnicas del sostenimiento.

Fase 5.- Se evalúa la instrumentación geomecánica aplicable a las necesidades de la mina, se sugiere la implementación de controles que permitan una gestión adecuada de recursos asignados para auscultar-medir-monitorear los fenómenos naturales e inducidos que ocurren en la masa rocosa como herramientas de control de estabilidad del terreno. Finalmente, como corolario del estudio se establecen recomendaciones sobre el secucialmente de minado, mejoras en la gestión de los aspectos inherentes a la geomecánica con la finalidad de que la empresa minera realice operaciones en condiciones de seguridad y eficiencia.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo, se lleva a cabo la realización de los "análisis de diseño" para examinar las condiciones de estabilidad y sostenimiento en la zona de explotación Hércules. Este proceso implica la integración de toda la información previamente desarrollada en el modelo geomecánico presentado, así como la consideración de la geometría de las excavaciones. Los análisis de estabilidad comprendieron una investigación exhaustiva de los mecanismos potenciales de colapso en la masa rocosa que rodea las excavaciones, tomando en consideración tanto la configuración geométrica de estas últimas como las propiedades de resistencia inherentes a la roca, así como la influencia ejercida por los esfuerzos presentes.

4.1. Generalidades de la mina

4.1.1. Ubicación.

La Unidad Minera Huancapeti es una mina polimetálica, la cual se ubica geopolíticamente:

La zona de operación, tiene la siguiente ubicación:

Distrito : Recuay

Provincias : Recuay

Departamento : Ancash

En el flanco occidental de la Cordillera Negra, el campamento de Hércules tiene las siguientes coordenadas:

Coordenadas Geográficas Coordenadas UTM

Longitud Oeste : 77° 33´ Este: 219565

Latitud Sur : 90° 46´ Norte: 8919502

Altitud : 4,160 m

4.1.2. Accesibilidad.

El acceso a las instalaciones de la UM. Huancapeti se realiza vía terrestre desde la ciudad de Lima, iniciando el recorrido por la carretera Panamericana Norte hasta la localidad de Pativilca, y de allí en dirección noroeste hasta Recuay, lugar donde inicia una carretera afirmada de 42 km en dirección a Aija, que en su paso da acceso a la UM. Huancapeti. El detalle de las vías de acceso al proyecto se presenta a continuación.

Tabla 9: Vías de acceso a mina Huancapeti

Tramo	Longitud (Km)	Carretera
Lima – Pativilca	195	Asfaltada
Pativilca – Recuay	183	Asfaltada
Recuay – U.M. Huancapeti/Área de planta	23.8	Afirmada
Recuay – U. M Huancapeti/Área de Mina	32.2	Afirmada
 Total	434	

4.2. Geomorfología

La geomorfología en esta región, corresponde al sector Occidental de la Cordillera de los Andes, del Perú formado como resultado de la interacción de factores asociados a "geodinámica interna y externa" entre ellos fundamentalmente "el vulcanismo asociado a la tectónica andina, la litología y la interacción de los agentes meteóricos"

La unidad geomorfológica predominante en esta región es la "Cordillera de los Andes", donde el agente geológico responsable del modelado actual es la acción de los glaciares. Las morfologías más características en el área de estudio corresponden a depósitos de morrenas laterales asociados a antiguas lenguas glaciares. En general la zona de interés se caracteriza por presentar un típico modelado glaciar con valles de sección transversal en forma de "U", tapizados ligeramente por "depósitos morrénicos, fluvio-aluviales y suelos residuales".

4.2.1. Geología Regional.

La geología regional en este sector está definida por la "Cordillera de los Andes", en esta unidad se reconocen los intrusivos terciarios correspondientes a cuerpos porfiríticos compuestos por dacitas y riodacitas, también se presentan rocas volcánicas del grupo Calipuy el cual se encuentra distribuido a lo largo de la "Cordillera Negra" conformando la parte más elevada emplazada como una franja de rumbo "NW-SE" con un ancho variable entre los "25 - 40 Kilómetros". Debido a la profundidad de los valles transversales correspondientes a los principales ríos como el "Pativilca, Fortaleza, Aija y Pira", su límite oriental en gran parte lo constituye el río Santa; sin embargo es importante mencionar que también existen afloramientos de éste volcánico en el extremo sur de la "Cordillera Blanca y Cordillera de Huayhuash", la potencia del volcánico Calipuy según escritos (INGEMMET) es aproximadamente 2000 metros y en algunos lugares hasta 3000 metros de estratos volcánicos variados, los cuales principalmente se constituyen de rocas piroclásticas gruesas de composición andesítica; también es necesario precisar que son abundantes las lavas andesíticas e ignimbritas dacíticas. La secuencia es extremadamente variable, de manera que una sección medida en cualquier localidad tiene poca semejanza a otra medida en otro lugar.

Estratigrafía en el contexto regional

A nivel regional estratigráficamente el grupo Calipuy descansa con gran discordancia angular sobre todas las formaciones mesozoicas. Siendo la unidad más joven la "formación Casapalca" y la "formación Chicama más antigua". Se presume que el grupo Calipuy fue emplazado después de los periodos de "plegamiento, erosión y levantamiento" que afectaron a las unidades anteriores y que culminaron con una amplia superficie de erosión.

Unidades estratigráficas

Formación Chicama. La mayor parte de los afloramientos de la Formación Chicama dentro de la Cordillera Negra fue asignada al Grupo Goyllarisquizga, pero Romero y Quispe (2008) redefinieron la estratigrafía mesozoica de la Cordillera Negra. Ellos consideran que dentro de la Cordillera Negra existe la Formación Chicama, la cual está compuesta, en la base, por areniscas cuarzosas y lutitas; y al techo por lutitas negras. Al contacto con plutones muestra una nítida estructura metamórfica formando pizarras y esquistos. Las características litológicas y de alteración en zonas cercanas a los intrusivos, sugiere que esta unidad sea considerada como un metalotecto prospectable por yacimientos de Au-Ag (Enríquez, 1999). En esta unidad se encuentra vetas de relleno de fracturas con mineralización de Ar-Pb-Zn y como subproducto Au (Enriquez, 1999).

Formación Oyón. La Formación Oyón es considerada como el paso progresivo de la Formación Chicama a la Formación Chimú del Grupo Goyllarisquizga. La litología está conformada por una secuencia de areniscas finas a medias carbonosas con intercalaciones de lutitas. Esta unidad es la principal fuente de carbón. La mineralización está compuesta por vetas de cuarzo (distrito minero de Pueblo Libre) con contenidos de Ag-Pb-Zn y subproductos de Au-Cu (Enriquez, 1999). También existen vetas con contenidos de molibdeno sobre esta zona (Tumialan, 1982).

Formación Chimú. La Formación Chimú está compuesta por areniscas cuarzosas blanquecinas a grises, en la base presenta intercalaciones de lutitas negras y niveles de carbón. Los estratos son gruesos y resistentes a la erosión. La parte inferior de la Formación Chimú, conjuntamente con el techo de la Formación Oyón, conforman un importante metalotecto para la exploración de yacimientos auríferos como el caso de Alto Chicama, La Arena, entre otros.

Formación Santa. Está compuesta por limo arcillitas gris oscuras, en estratos gruesos con intercalaciones de calizas, calcarenitas, calizas bioclásticas y algunos niveles de calizas oolíticas. Es común encontrar nódulos calcáreos. La Formación Santa es un metalotecto importante que alberga yacimientos polimetálicos (Pb-Zn-Ag) en diversos tipos: skarn (Huanzalá, Piedra Imán, el extraño), vetas y estratiformes sin sedimentarios e hidrotermal distal (Enriquez, 1999).

Formación Carhuaz. Está compuesta por limolitas rojas intercaladas con areniscas de grano fino de estratificación paralela y delgada. Se pueden encontrar niveles volcánicos intercalados dentro de la secuencia de limolitas y areniscas (Enriquez, 1999).** No se conocen yacimientos importantes, solamente se conocen mantos con valores de Ag-Zn-Pb- Cu relacionados a niveles dolomíticos que se describen en la mina El Extraño.

Grupo Casma. Aflora en la parte occidental de la Cordillera Negra y se prolonga hasta la Costa. La secuencia está compuesta por niveles de pillow lavas basálticas y piroclastos de origen submarino, intercalados con calizas, aglomerados y brechas. El Grupo Casma es un metalotecto de yacimientos del tipo IOCG. La parte superior es considerada como una unidad distinta al Grupo Casma denominada Formación Congón y es un metalotecto por sulfuros masivos volcanogénicos como Cerro Blanco y Maria Teresa (Romero, 2007).

Grupo Calipuy. Se encuentra en discordancia angular sobre los depósitos mesozoicos, está compuesto por depósitos volcánicos del Eoceno superior al Mioceno inferior emitidos por diferentes centros volcánicos. Hacia el NE, aflora la Formación Yungay compuesta por una gruesa secuencia piroclástica, de edad Mioceno superior (Cobbing, 1981). En base al estudio estratigráfico, cartografiado geológico e interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales, se ha determinado 9 centros volcánicos, que han dado lugar a las secuencias volcánicas del Grupo Calipuy en la Cordillera Negra. En la parte norte, los centros volcánicos corresponden a tres etapas

eruptivas comprendidas entre el Eoceno superior al Mioceno inferior. La actividad volcánica de estos centros fue generada a partir de arcos volcánicos que probablemente migraron de oeste a este, desde el Eoceno superior al Mioceno inferior (Chávez et al., 2010).

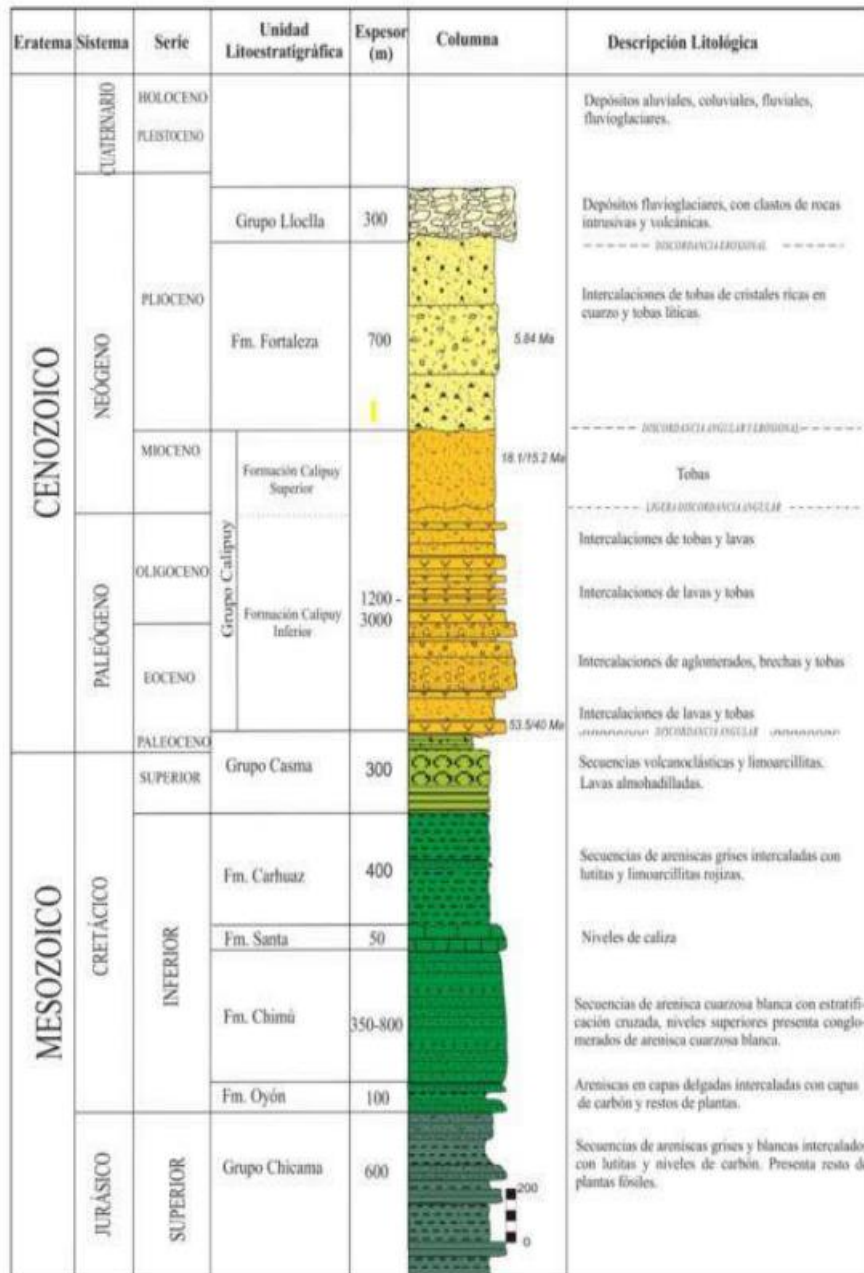


Figura 5 Columna estratigráfica asociada a Mina Huancapeti

4.2.2. Geología Local.

La presente información está referida al cartografiado "litológicoestructural" correspondiente a los alrededores de la Quebrada Hércules, donde principalmente se emplaza la mineralización de las estructuras "Hércules y Coturcan", las cuales están asociadas a fases mineralizantes de los volcánicos del grupo Calipuy de edad Oligoceno - Mioceno (Paleógeno), típicamente representadas por flujos lávicos de composición andesítica y en menor proporción flujos piroclásticos. También es necesario precisar en el área evaluada la ocurrencia de pequeñas apófisis de cuerpos porfiríticos de composición dacítica. La columna estratigráfica conceptual en el contexto local, está representada por las siguientes unidades litológicas.

Estratigrafía en el contexto local

A. Cenozoico

- Piroclastos andesíticos: Corresponden a flujos piroclásticos de composición andesítica, el cual presenta una textura porfirítica con abundante presencia de plagioclasas desarrolladas en una matriz microfanerítica de coloración gris violácea
- verduzca. Las morfologías de los cristales de plagioclasas son mayormente sub-hedrales debido al fracturamiento de los mismos, y heterométricos. El afloramiento se observa como una ventana, restringida al área de las lagunas al sur de la quebrada Hércules, enmarcado y delimitado por el volcánico andesítico suprayacente. Su afloramiento es de morfologías prominentes y masivas, debido al alto grado de cementación n de la roca. Presenta marcado fracturamiento vertical.
- Volcánico andesítico inferior: Corresponde a flujos lávicos de texturas mayormente porfiríticas en una matriz andesítica afanítica, de coloraciones verdosas a grisáceas. Las rocas están conformadas en su mayoría por cristales de plagioclasas euhedrales.

Presenta morfologías agrestes con sectores escarpados, sin embargo, sus superficies de afloramiento tienden a ser algo redondeadas. Se reconoce en todo el afloramiento la pseudo - estratificación, con ángulos bajos y con direcciones variadas. Aflora en el sector occidental.

- Volcánico andesítico superior: Corresponde a flujos lávicos andesíticos intercalados en menor proporción con niveles piroclásticos andesíticos y dacíticos bien consolidados. Estas rocas se caracterizan por presentar matriz de coloración violácea a grisácea, en muchos casos presenta coloraciones claras (leucócrata), con clastos angulosos- subredondeados andesíticos de texturas porfiríticas. A la base de esta unidad se presentan niveles gruesos de brechas piroclásticas de soporte de clastos, heterométricas, y con tamaño máximo de clastos de 25 cm de diámetro. Presentan pseudo-estratificación marcada, con ángulos variados según topografía. Además, el fracturamiento le otorga una morfología abrupta y escarpada, con ciertos sectores más suaves. Se reconoce en el sector oriental del área de estudio con contacto marcado sobre la unidad anterior descrita.

4.3. Caracterización Geomecánica.

4.3.1. Aspectos Litológicos.

Los dominios "lito-estructurales" conceptuados en los trabajos de investigación geomecánica de campo, evidencian a nivel local (Hércules,) la presencia de un tipo de litología predominante constituida por niveles intercalados de "flujos de lava, tufos, brechas y piroclastos" de composición típicamente andesítica y en sectores de composición dacítica pertenecientes al "grupo Calipuy".

a. Distribución de discontinuidades.

Para establecer las características de la distribución espacial de las discontinuidades estructurales (diaclasas) durante el mapeo geomecánico se tomaron registros del "tipo de discontinuidad, la orientación (d - dip// dip) de las discontinuidades", como se puede apreciar en los registros del mapeo geomecánico. Estos datos orientacionales se han procesado estadísticamente empleando la técnica de proyección estereográfica equiangular, utilizando como herramienta el software "DIPS, versión 6.013 de Rocscience Inc.2013". Los resultados del análisis estereográfico de discontinuidades estructurales (diaclasas y fallas) en las zonas de interés se muestran en las "tablas: (10 y 11) y las "figuras: 7- 12".

En la tabla 10, se aprecian resultados de la distribución espacial promedio de los principales sistemas de diaclasas presentes en cada "dominio lito- estructural" (caja techo, estructura mineralizada y caja piso) de las zonas de interés.

Tabla 10: Principales sistemas de diaclasas

ZONA	DOMINIO ESTRUCTURAL	SISTEMA DE DISCONTINUIDAD ESTRUCTURAL		
		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
HERCULES	Caja techo, caja piso y estructura.	96/41	183/79	-
CORTURCAN	Caja techo, caja piso y estructura.	255/79	245/33	349/84
CARIDAD	Caja techo, caja piso y estructura.	329/69	179/67	-
Nota: El sistema de discontinuidad estructural se denota como "Dirección de Buzamiento/Buzamiento				

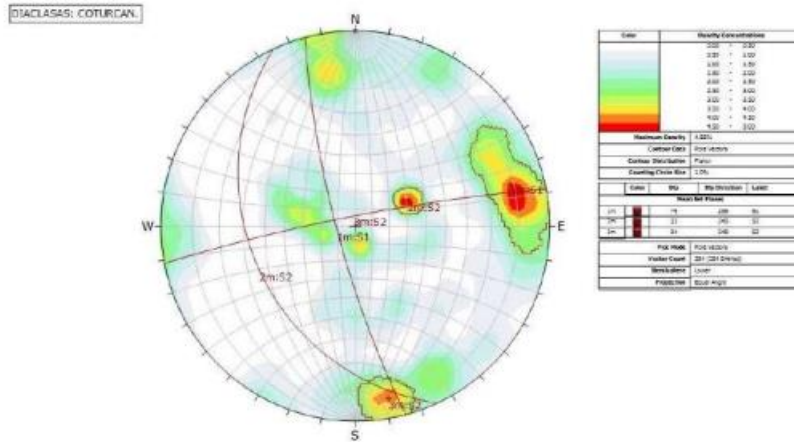


Figura 8 Sistemas de diaclasas Coturcan

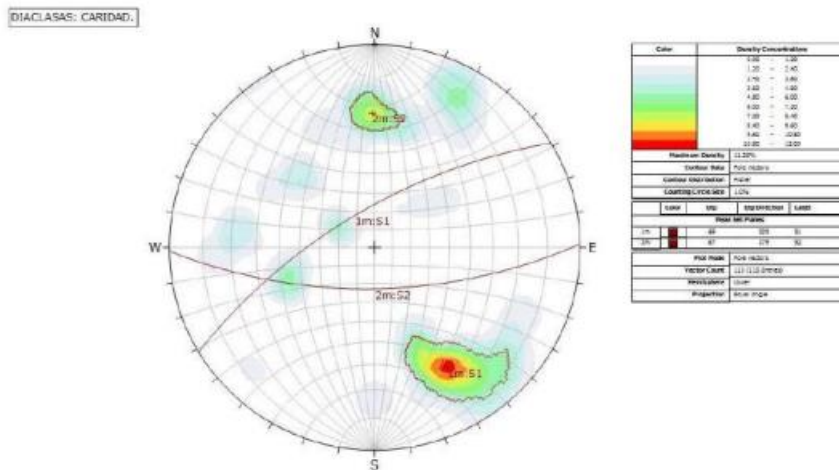


Figura 9 Sistemas de diaclasas Caridad

En la siguiente tabla 11, se aprecian resultados de la distribución espacial promedio de los principales sistemas de fallas presentes en cada uno de los dominios "lito - estructural" conceptuados en el Estudio.

Tabla 11: Principales sistemas de fallas

ZONA	SISTEMA DE DISCONTINUIDAD ESTRUCTURAL	
	F1	F2
HERCULES	164/77	341/79
COTURCAN	155/80	340/68
CARIDAD	136/68	345/62

Nota: "El sistema de discontinuidad estructural se denota como "Dirección de Buzamiento/Buzamiento"

4.3.2. Aspectos estructurales.

Las características estructurales promedias de fallas (estructuras mayores) y diaclasas (estructuras menores) se describen de la siguiente manera.

A. Fallas.

Las características de fallas presentes en el área de interés "Hércules " presenta espaciamientos variables por lo general mayores a >2 metros, con una persistencia que va desde unas decenas de metros a cientos de metros, con aperturas muy abiertas "abiertas > 5mm", paredes de discontinuidad "lisas, ocasionalmente exponen espejos de falla y ligeras ondulaciones". Estas fallas por lo general presentan rellenos del "tipo milonitas completamente disturbadas y alteradas, comúnmente se les denomina "rellenos panizados" de espesor variable entre "0.05 metros hasta 1.2 metros", la influencia de estas fallas en el comportamiento de la roca varía desde unos centímetros hasta una decena de metros.

Es necesario precisar que en la estructura mineralizada "Hércules" las fallas "paralelas y sub - paralelas al rumbo de las estructuras" están situadas en los "contacto caja piso falla del mineral y falla-contacto caja techo del mineral", se exponen en toda la extensión de la estructura mineralizada (representan un control estructural importante de la mineralización en el rumbo). Una característica más a resaltar de estas fallas, es que tanto en las cajas como en la estructura mineralizada se han generado dominios geo mecánicos de baja calidad mostrándose a modo de milonitas y/o debilitamiento de los parámetros de resistencia de discontinuidades e incremento del grado de fracturamiento, con zonas de alteración que van desde "moderada a intensa", presencia de humedad moderada a intensa que complican la estabilidad de las excavaciones. Las fallas transversales al rumbo de las estructuras mineralizadas en los sectores evaluados se caracterizan

por presentar "zonas de corte" potencialmente inestables a modo de cuñas de gran volumen formados con los ejes de excavación.

B. Discontinuidades (Diaclasas).

La características geomecánicas de las discontinuidades observadas en los dominios lito-estructurales "caja piso, estructura mineralizada y caja techo" en las zona "Hércules" presentan espaciamiento en las cajas que varían entre los "20-60 centímetros a 60-200 centímetros" puntualmente en ciertos sectores también se aprecian espaciamientos entre los "6-20 centímetros", la persistencia es variable entre "1-3 metros, 3-10 metros, 10-20 metros y >20 metros", el grado de apertura en las cajas varía desde "angostas, muy angostas a cerradas" y en la estructura mineralizada varía desde "abiertas, angostas a muy angostas", la rugosidad de las paredes de discontinuidades varía desde "rugosas en las cajas", "rugosas a ligeramente rugosas" en la estructura mineralizada con ciertas ondulaciones", en cuanto al relleno de las discontinuidades en las cajas se aprecian limpias y no se aprecia relleno, en la estructura mineralizada se aprecian rellenos "duro < 5mm, duro > 5mm" en ocasiones las cajas exponen superficies de discontinuidad con rellenos arcillosos y carbonatos producto de la disolución de minerales por el agua de infiltración; el grado de alteración se aprecia con mayor intensidad hacia el contacto falla-caja piso con la estructura mineralizada y en la proximidad a las fallas transversales.

4.3.3. Clasificación de la masa rocosa

El proceso de clasificación geomecánica de la masa rocosa para los propósitos de este estudio implica "analizar e interpretar" la información desarrollada en la etapa de "investigación geomecánica", el cual fue obtenido durante los trabajos de campo usando el sistema de "Clasificación geomecánica RMR89 de Bieniawski, Modificado por Romana, 2000".

Los valores de resistencia a compresión uniaxial de la roca fueron estimados usando "el martillo de rebote y la picota de geólogo", los valores del índice de calidad de roca "RQD" fueron determinados mediante el registro volumétrico de discontinuidades utilizando la relación propuesta por "Palmstrom", adicionalmente con fines del estudio se realizaron estimaciones del coeficiente de rugosidad de juntas y la resistencia a compresión uniaxial de las paredes de la discontinuidad, como datos para los análisis de estabilidad estructuralmente controlada.

Tabla 12: Criterio de valoración "RMR89 de Bieniawski, modificado por Romana, 2000

TIPO DE ROCA	RANGO DE VALORACIÓN "RMR"	CLASIFICACIÓN "RMR" DE LA MASA ROCOSA
II A	71 – 80	BUENA A
II B	61 – 70	BUENA B
III A	51 – 60	REGULAR A
III B	41 – 50	REGULAR B
IV A	31 – 40	MALA A
IV B	21 – 30	MALA B
V	< 20	MUY MALA
Nota: Clasificación "RMR", modificada según la Romana 2000.		

La clasificación geomecánica de la masa rocosa en las minas "Hércules, Coturcan, Caridad y su entorno físico" se ha obtenido a partir del "proceso, análisis e interpretación" de información proporcionada como resultado del cartografiado litológico-estructural en afloramientos de superficie y registros del mapeo geomecánico realizado en interior mina.

Empleando el criterio mostrado de valoración mostrado en la tabla 12 y el tratamiento de la información obtenida en campo se ha CLASIFICADO LA MASA ROCOSA en las distintas zonas de interés. En la tabla 13, se presenta el resumen de la "Clasificación geomecánica" de la masa rocosa que conforman los distintos "dominios geo mecánicos" en los sectores evaluados utilizando el "Sistema de clasificación geomecánica RMR 89 de Bieniawski; modificado por Romana, 2000".

Tabla 13: Criterio de valoración "RMR89 de Bieniawski, modificado por Romana, 2000

MINA	LITOLOGÍA	DOMINIO	DESCRIPCIÓN DE LA CONDICIÓN LITO-ESTRUCTURAL DE LA MASA ROCOSA	CALIDAD DE LA MASA ROCOSA		
				RMR	GSI	CLASIFICACIÓN
HERCULES	Lavas-tufos volcánicos	Techo 1	Dominio lito estructural caracterizado por la presencia de flujos lávicos de composición andesítica, con textura afaníticas a porfíricas, de coloraciones verdosas o grisáceas, moderadamente fracturadas, con marcadas alteraciones hacia el contacto con la "falla caja techo" de la estructura mineralizada. El dominio se muestra muy fracturado en sectores puntuales hacia el contacto caja techo de la estructura mineralizada	65	60	BUENA B
		Techo 2		55	50	REGULAR A
		Techo 3		45	40	REGULAR B
		Techo 4		35	30	MALA A
	Brecha mineralizada	Estructura 1	Dominio lito-estructural caracterizado por la presencia de flujos lávicos de composición andesítica, reemplazados por flujos mineralizados constituidos de "sulfuros primarios, sulfuros secundarios, óxidos, carbonatos y cuarzos". Es de suponer que el emplazamiento de mineralización tuvo varios eventos como se puede apreciar en el ensamble mineralógico variado y las alteraciones que son más intensas hacia el contacto con las rocas de las cajas piso y techo (principalmente al piso de la veta hércules). El alcance a la alteración disminuye conforme se dista de los contactos con las fallas "piso y techo" de la estructura mineralizada.	55	50	REGULAR A
		Estructura 2		45	40	REGULAR B
		Estructura 3		35	30	MALA A
		Estructura 4		25	20	MALA B
	Lavas-tufos volcánicos	Piso 1	Dominio lito-estructural caracterizado por la presencia de flujos lávicos de composición andesítica, con textura afanítica a porfírica, de coloraciones verdosas a grisáceas, moderadamente fracturadas, con marcadas alteraciones hacia el contacto "falla caja piso" de la estructura mineralizada. Estas alteraciones disminuyen conforme distan del contacto falla hacia las cajas.	55	50	REGULAR A
		Piso 2		45	40	REGULAR B
		Piso 3		35	30	MALA A
	Falla	Falla piso	Dominio lito-estructural se expone completamente alterado mineralógica y estructuralmente. Se emplaza en el contacto "falla caja piso- estructura mineralizada" y se presenta a lo largo del contacto piso con la estructura mineralizada en toda su extensión.	15	10	MUY MALA
COTURCAN	Lavas-tufos volcánicos	Techo 1	Dominio lito-estructural caracterizado por la presencia de flujos lávicos de composición andesítica, interclados en menor proporción con niveles piroclásticos andesíticos y dasíticos bien consolidados. Los niveles piroclásticos en este sector presentan una matriz de coloración violácea-grisácea, con clastos angulosos a subredondeados de texturas porfíricas, además de clastos angulosos a subredondeados de texturas porfíricas, además de clastos angulosos de tobas. Hacia el " falla-caja techo de la estructura mineralizada" disminuye la calidad de masa rocosa e incrementa el grado de fracturamiento.	65	60	BUENA B
		Techo 2		55	50	REGULAR A
		Techo 3		45	40	REGULAR B
		Techo 4		35	30	MALA A
	Brecha mineralizada	Estructura 1	Dominio lito-estructural caracterizado por la presencia de flujos lávicos de composición andesítica, reemplazados por flujos mineralizados constituidos de "sulfuros primarios, sulfuros secundarios, óxidos, carbonatos y cuarzos". Es de suponer que en el emplazamiento la mineralización tuvo varios eventos por el ensamble mineralógico variado y las alteraciones fuertes hacia el contacto con las rocas de las cajas piso y techo de la estructura de Coturcan. El alcance a la alteración disminuye conforme se dista de los contactos con las fallas "piso y techo" de la estructura mineralizada.	55	50	REGULAR A
		Estructura 2		45	40	REGULAR B
		Estructura 3		35	30	MALA A
	Lavas-tufos volcánicos	Piso 1	Dominio lito-estructural caracterizado por la presencia de flujos lávicos de composición andesítica, con texturas afaníticas a porfíricas de coloraciones verdosas a grisáceas, moderadamente fracturadas, con marcadas alteraciones hacia el contacto "falla piso" de la estructura mineralizada. El grado de fracturamiento de la masa rocosa incrementa hacia el contacto falla piso de la estructura mineralizada.	65	60	BUENA B
		Piso 2		55	50	REGULAR A
		Piso 3		45	40	REGULAR B
		Piso 4		35	30	MALA A

	Falla	Falla piso	Dominio lito-estructural caracterizado por presentar un relleno suave de espesor variable hasta los 0.3 metros, la presencia de este dominio altera moderadamente la masa rocosa hacia el contacto con la estructura mineralizada y se expone en toda la extensión de la estructura mineralizada.	15	10	MUY MALA
CARIDAD	Lavas-tufos volcánicos	Techo 1	Dominio lito-estructural caracterizado por la presencia de flujos lávicos de composición andesítica, intercalados en menor proporción con niveles piroclásticos "andesíticos y dacíticos" bien consolidados. Los niveles piroclásticos en este sector presentan una matriz de coloración violácea a grisácea con clastos angulosos a subredondeados de textura porfírica, además de clastos angulosos de tobas. Se expone en toda la extensión del contacto "falla - caja techo de la estructura mineralizada" disminuye la calidad de masa rocosa e incrementa el grado de fracturamiento.	75	70	BUENA A
		Techo 2		65	60	BUENA B
		Techo 3		55	50	REGULAR A
		Techo 4		45	40	REGULAR B
		Techo 5		35	30	MALA A
	Brecha mineralizada	Estructura 1	Dominio lito-estructural caracterizado por el emplazamiento de flujos mineralizantes constituidos por "sulfuros primarios, sulfuros secundarios, óxidos, carbonatos y cuarzo". Con marcada presencia de alteraciones en su estructura mineralizada, visiblemente asociado a procesos hidrotermales especialmente hacia el contacto "falla" con las rocas de la caja piso, donde también se incrementa el grado de fracturamiento.	65	60	BUENA B
		Estructura 2		55	50	REGULAR A
		Estructura 3		45	40	REGULAR B
		Estructura 4		35	30	MALA A
	Lavas-tufos volcánicos	Piso 1	Dominio lito-estructural caracterizado por la presencia de flujos lávicos de composición andesítica, intercalados en menor proporción con niveles piroclásticos andesíticos y dacíticos bien consolidados. Los niveles piroclásticos en este sector presentan una matriz de coloración violácea grisácea, con clastos angulosos a subredondeados andesíticos de textura porfírica, además de clastos angulosos de tobas.	65	60	BUENA B
		Piso 2		55	50	REGULAR A
		Piso 3		45	40	REGULAR B
	Falla	Falla piso	Dominio lito-estructural caracterizado por presentar un relleno suave de espesor variable hasta los 0.3 metros, la presencia de este dominio altera moderadamente la masa rocosa hacia el contacto con la estructura mineralizada y se expone en toda la extensión de la estructura mineralizada.	15	10	MUY MALA
Nota: * Estimaciones realizadas según criterios empíricos como resultados de apreciaciones cualitativas_cuantitativas durante los trabajos de mapeo geomecánico.						

Del resumen mostrado en la tabla 13, se tiene la presencia de tres dominios lito- estructurales (caja piso, estructura mineralizada, caja techo) en cada una de las minas "Hércules, Coturcan y Caridad" También se puede apreciar que los dominios litológicos como "dominios geo mecánicos" caracterizados por presentar una valoración "RMR89, Modificada por Romana, 2000". Esta clasificación geomecánica "RMR89 de Bieniawski modificada por Romana el 2000" que presenta la masa rocosa en los distintos dominios geo mecánicos encontrados en resumen se definen de la siguiente manera:

Mina Hércules

- **Caja techo** (RMR: 65-35): Este dominio se constituye litológicamente por "lavas y tufos volcánicos" de composición andesítica con texturas afaníticas a porfiríticas, de tonalidades que van desde "verdosas a grisáceas". Estructuralmente se tipifica como un material fracturado (RQD: 50-75), en sectores puntuales hacia el contacto "falla - caja techo" se muestra muy fracturado (RQD: 30-45); presenta una resistencia a la compresión simple variable entre los "90-40: Mpa"; las características de las discontinuidades estructurales en promedio presentan un espaciamiento que varía entre los "0.6-0.2 metros y 0.2-0.06 metros", una persistencia variable entre los rangos ">20 metros, 20-10 metros, 3-10 metros", aperturas entre las paredes opuestas de las discontinuidades son variables en las diaclasas va entre los "5.0 -1.0 mm, 1.0- 0.1 mm.
- **Estructura mineralizada** (RMR: 55-25): Este dominio se constituye litológicamente por una asociación de minerales constituidos de "sulfuros primarios, sulfuros secundarios, óxidos, carbonatos y cuarzo" emplazados en una matriz volcánica. Estructuralmente se tipifican como un material fracturado (RQD 50 -75) y en sectores muy fracturado (RQD: 30-45) a intensamente fracturado (RQD:<20 presentan una resistencia a la compresión simple variable entre los "50-100 Mpa" para roca buena, entre los "35-50 Mpa" para roca regular, 1.0 Mpa" para roca muy mala. Las características de las discontinuidades estructurales en promedio presentan un espaciamiento que varía entre los "0.2-0.6 metros, 0.06-0.20 metros y

puntualmente menor a 0.06 metros", una persistencia variable entre los "10-20 metros, 3-10 metros, 1-3 metros y puntualmente < 1.0 metro"; las aperturas entre las paredes de las discontinuidades varían entre los ">5mm, 1-5mm, 0.1-1.0 mm y <1.0 mm"; las superficies de las discontinuidades varían desde "muy rugosas, rugosas, ligeramente rugosas a lisas"; en cuanto al material presente entre las paredes de las discontinuidades se puede precisar que estas se encuentran rellenas con material blando (carbonatos, óxidos y material argilizado) y rellenos duros (cuarzo, sulfuros primarios); muestra superficies de discontinuidades "ligeramente alteradas, alteradas a muy alteradas"; superficialmente se muestran "húmedas a mojadas" y en sectores muy puntuales se observan la presencia de "goteo moderado a intenso" presumiblemente asociado a infiltración de aguas superficiales.

- **Caja piso** (RMR: 55-35): Este dominio se constituye litológicamente por lavas y tufos volcánicos de composición andesítica con texturas afaníticas a porfiríticas, de tonalidades que van desde "verdosas a grisáceas". Estructuralmente se tipifica como un material fracturado (RQD: 50-75) y en sectores muy puntuales hacia el contacto caja piso-falla, se muestra muy fracturado (RQD: 30-40) e intensamente fracturado (RQD:<25 presenta una resistencia a la compresión simple variable entre los "100 - 35 Mpa", en el contacto falla-caja piso la resistencia es "< 0.06 metros"; una persistencia variable entre los ">20 metros, 20 - 10 metros, 3-10 metros 1-3 metros y < 0.1 mm"; las superficies de discontinuidades van desde "rugosas, ligeramente rugosas a lisas"; en cuanto al material presente entre las paredes

de las discontinuidades éstas se muestran "limpias o en su defecto presentan rellenos suaves de espesor menor a

4.3.4. Zonificación geomecánica

Según evaluaciones realizadas "topográfica, geológica, análisis estereográfico de discontinuidades estructurales, clasificación geomecánica RMR89 de Bieniawski de la masa rocosa modificada por Romana 2000" el área de interés se ha dividido en tres zonas explotación como "Mina Hércules, Mina Coturcan y Mina Caridad" en cada uno de los cuales se han identificado tres dominios "Lito - estructurales" los cuales en función a su posición espacial visto en un corte transversal al rumbo de las estructuras mineralizadas se han tipificado como "Caja piso, Estructura mineralizada y Caja techo". En estos dominios lito-estructurales se ha realizado el "mapeo geológico- geomecánico" usando el método de "Celdas de detalle" y a modo de resumen en la "tabla 13", donde se ha logrado clasificar la masa rocosa con un índice numérico cuantitativo que divide a la masa rocosa en "Dominios geo mecánicos" que se caracterizan por presentar rangos de valoración diferentes. El proceso de zonificación geomecánica de la masa rocosa implica plasmar los resultados obtenidos de la valoración RMR89 (tabla 9) sobre "los planos de planta en los distintos niveles evaluados y cortes transversales al rumbo de las estructuras mineralizadas" de cada zona. La interpretación y correlación de estos dominios usando criterios de interpolación e información de datos estructurales permite elaborar el "modelo geomecánico conceptual" de la masa rocosa presente en cada una de las zonas. Los resultados del proceso de zonificación geomecánica (Planos en planta y perfiles del modelo geomecánico conceptual) . Una característica "particular e importante" de resaltar en estas minas es que la calidad de masa rocosa en los dominios lito-estructurales "Caja piso y Caja techo" en las Minas "Hércules, Coturcan y Caridad" mejora conforme distan del contacto con las estructuras mineralizadas, esta característica es un indicador

que las "alteraciones" asociadas a los procesos hidrotermales y la tectónica del sector" han influenciado significativamente en el deterioro de las propiedades resistentes de la masa rocosa en la "Caja piso y Caja techo" de la estructura mineralizada. Otra característica importante es que las estructuras mineralizadas vistas en un corte transversal están definidas y delimitadas por fallas en los contactos "Caja piso y Caja techo". Estas fallas se extienden en el rumbo de las estructuras mineralizadas desde el punto de vista geológico representan un control estructural importante de la mineralización, desde el punto de vista geomecánico representan un problema para "la estabilidad estructuralmente controlada" ya que en los contactos se exponen dominios geo mecánicos de menor calidad los cuales estructuralmente se encuentran muy disturbados con presencia del agua y materiales blandos (rellenos arcillosos) de baja o nula resistencia a los esfuerzos de corte. Es necesario precisar que las "fallas piso" en las tres minas, muestran las condiciones más desfavorables, especialmente en mina Hércules, en las minas "Coturcan y Caridad" también presentan alteraciones, pero exponen un mejor comportamiento en comparación a la mina Hércules.

4.4. Parametros de resistencia de la roca

4.4.1. Resistencia de la roca intacta

Para estimar la resistencia de la roca, se realizaron una serie de ensayos en campo (resistencia a compresión simple usando el martillo de rebote y la picota de geólogo y ensayos de Mecánica de Rocas en Laboratorio (propiedades físicas, compresión simple, compresión triaxial, constantes elásticas) como se aprecian en la tabla 14 (Resultados de ensayos de Mecánica de Rocas).

Tabla 14: Resultados de ensayos estimados en campo

MINA	DOMINIO LITO - ESTRUCTURAL		PESO ESPECÍFICO (KN/m ³)	ESISTENCIA COMPRESIÓN SIMPLE EN ROCA (Mpa)	
	LITOLÓGIA	DOMINIO		σ _c (Picota de Geólogo)	σ _c (Martillo de schmidt)
HERCULES	Lavas-tufos volcánicos	Techo 1	28 - 29	> 100	10
		Techo 2	28	50 - 100	85
		Techo 3	26 - 27	50 - 100	65
		Techo 4	25	25 - 50	45
	Brecha mineralizada	Estructura 1	29 - 31	50 - 100	90
		Estructura 2	29	50 - 100	70
		Estructura 3	27 - 28	25 - 50	45
		Estructura 4	26	25 - 50	30
	Lavas-tufos volcánicos	Piso 1	28 - 29	50 - 100	85
		Piso 2	28	50 - 100	65
		Piso 3	26 - 27	25 - 50	45
	Falla	Falla piso	17	<25	1
	COTURCAN	Lavas-tufos volcánicos	Techo 1	28 - 30	> 100
Techo 2			28	50 - 100	85
Techo 3			26 - 27	50 - 100	65
Techo 4			25	25 - 50	45
Brecha mineralizada		Estructura 1	29 - 31	50 - 100	70
		Estructura 2	29	50 - 100	45
		Estructura 3	27 - 28	25 - 50	30
Lavas-tufos volcánicos		Piso 1	28 - 30	> 100	110
		Piso 2	28	50 - 100	85
		Piso 3	26 - 27	50 - 100	65
		Piso 4	25	25 - 50	40
Falla		Falla piso	17	<25	1
CARIDAD		Lavas-tufos volcánicos	Techo 1	29 - 31	> 100
	Techo 2		28 - 29	> 100	120
	Techo 3		28	50 - 100	85
	Techo 4		26 - 27	50 - 100	65
	Techo 5		25	25 - 50	45
	Brecha mineralizada	Estructura 1	29 - 31	> 100	110
		Estructura 2	28 - 29	50 - 100	85
		Estructura 3	26 - 27	50 - 100	65
		Estructura 4	25	25 - 50	45
	Lavas-tufos volcánicos	Piso 1	28 - 29	> 100	120
		Piso 2	28	50 - 100	85
		Piso 3	26 - 27	50 - 100	65
	Falla	Falla piso	17	<25	1

Nota: *Estimaciones realizadas según criterios empíricos como resultados de apreciaciones cualitativas y estimaciones directas durante los trabajos de mapeo geo mecánico.

Tabla 15: Resultados de ensayos estimados en laboratorio caja techo

RESULTADOS DE ENSAYOS ESTIMADOS EN LABORATORIO - CAJA TECHO					
CODIGO DE MUESTRA	UBICACIÓN	TIPO DE ENSAYO	NORMA	PARÁMETRO EVALUADO	RESULTADOS
HT	CAJA TECHO HERCULES	Propiedades físicas	ASTM C97 / ISRM	Densidad (Kg/cm ³)	2.88
				Porosidad (%)	1.43
				Absorción (%)	0.49
		Compresión simple	ASTM D7012-14e1 /ASTM D2938 / ISRM	Resistencia a la compresión (Mpa)	86
		Corte directo	ASTM D5607 / ISRM	Angulo de fricción interna (°) Cohesión (Mpa)	37.94 0.085
		Compresión triaxial	ASTM D7012-14e1 /ASTM D2664 / ISRM	Angulo de fricción interna (°) Cohesión (Mpa) Mi	52.03 8.6 26.97
		Carga Puntual	ASTM D5731 / ISRM	Resistencia a la compresión (Mpa)	94
		Tracción indirecta	ASTM D3967	Resistencia a la tracción (Mpa)	9.58
Constantes elasticas	ASTM D3148/ISRM	Módulo de elasticidad (Mpa)	14050		
		Módulo de Poisson	0.23		
CT	CAJA TECHO COTURCAN	Propiedades físicas	ASTM C97 / ISRM	Densidad (Kg/cm ³)	2.80
				Porosidad (%)	2.33
				Absorción (%)	0.91
		Compresión simple	ASTM D7012-14e1 /ASTM D2938 / ISRM	Resistencia a la compresión (Mpa)	101
		Corte directo	ASTM D5607 / ISRM	Angulo de fricción interna (°) Cohesión (Mpa)	35.44 0.071
		Compresión triaxial	ASTM D7012-14e1 /ASTM D2664 / ISRM	Angulo de fricción interna (°) Cohesión (Mpa) Mi	50.00 7.9 26.07
		Carga Puntual	ASTM D5731 / ISRM	Resistencia a la compresión (Mpa)	98
		Tracción indirecta	ASTM D3967	Resistencia a la tracción (Mpa)	8
Constantes elasticas	ASTM D3148/ISRM	Módulo de elasticidad (Mpa)	30200		
		Módulo de Poisson	0.20		
CAT	CAJA TECHO CARIDAD	Propiedades físicas	ASTM C97 / ISRM	Densidad (Kg/cm ³)	3.00
				Porosidad (%)	2.23
				Absorción (%)	0.67
		Compresión simple	ASTM D7012-14e1 /ASTM D2938 / ISRM	Resistencia a la compresión (Mpa)	140
		Corte directo	ASTM D5607 / ISRM	Angulo de fricción interna (°) Cohesión (Mpa)	36.00 0.082
		Compresión triaxial	ASTM D7012-14e1 /ASTM D2664 / ISRM	Angulo de fricción interna (°) Cohesión (Mpa) Mi	45.00 8.0 23.00
		Carga Puntual	ASTM D5731 / ISRM	Resistencia a la compresión (Mpa)	120
		Tracción indirecta	ASTM D3967	Resistencia a la tracción (Mpa)	10.23
Constantes elasticas	ASTM D3148/ISRM	Módulo de elasticidad (Mpa)	35123		
		Módulo de Poisson	0.21		

Nota: La descripción de las muestras es el siguiente: HT: Caja techo Hércules, CT: Caja techo Coturcan, CAT: Caja techo Caridad, HM: Mineral de Hércules, CM: Mineral de Coturcan, CAM: Mineral de Caridad, HP: Caja piso Hércules, CP: Caja piso Coturcan, CAP: Caja piso Caridad.

Tabla 16: Resultados de ensayos estimados en laboratorio Estructura mineralizada

RESULTADOS DE ENSAYOS ESTIMADOS EN LABORATORIO - ESTRUCTURA MINERALIZADA					
CODIGO DE	UBICACIÓN	TIPO DE ENSAYO	NORMA	PARÁMETRO EVALUADO	RESULTADOS
HM	ESTRUCTURA MINERALIZADA HERCULES	Propiedades físicas	ASTM C97 / ISRM	Densidad (Kg/cm ³)	3.01
				Porosidad (%)	1.40
				Absorción (%)	0.53
		Compresión simple	ASTM D7012-14e 1 /ASTM D2938 / ISRM	Resistencia a la compresión (Mpa)	80
		Corte directo	ASTM D5607 / ISRM	Angulo de fricción interna (°)	37.94
				Cohesión (Mpa)	0.085
		Compresión triaxial	ASTM D7012-14e 1 /ASTM D2664 / ISRM	Angulo de fricción interna (°)	52.03
				Cohesión (Mpa)	8.6
Mi	26.97				
Carga Puntual	ASTM D5731 / ISRM	Resistencia a la compresión (Mpa)	90		
Tracción indirecta	ASTM D3967	Resistencia a la tracción (Mpa)	9		
Constantes elasticas	ASTM D3148/ISRM	Módulo de elasticidad (Mpa)	14000		
		Módulo de Poisson	0.23		
CM	ESTRUCTURA MINERALIZADA COTURCAN	Propiedades físicas	ASTM C97 / ISRM	Densidad (Kg/cm ³)	2.99
				Porosidad (%)	2.30
				Absorción (%)	0.90
		Compresión simple	ASTM D7012-14e 1 /ASTM D2938 / ISRM	Resistencia a la compresión (Mpa)	100
		Corte directo	ASTM D5607 / ISRM	Angulo de fricción interna (°)	34.00
				Cohesión (Mpa)	0.082
		Compresión triaxial	ASTM D7012-14e 1 /ASTM D2664 / ISRM	Angulo de fricción interna (°)	47.00
				Cohesión (Mpa)	8.2
Mi	24.00				
Carga Puntual	ASTM D5731 / ISRM	Resistencia a la compresión (Mpa)	98		
Tracción indirecta	ASTM D3967	Resistencia a la tracción (Mpa)	8		
Constantes elasticas	ASTM D3148/ISRM	Módulo de elasticidad (Mpa)	22010		
		Módulo de Poisson	0.25		
CAM	ESTRUCTURA MINERALIZADA CARIDAD	Propiedades físicas	ASTM C97 / ISRM	Densidad (Kg/cm ³)	2.85
				Porosidad (%)	2.22
				Absorción (%)	0.70
		Compresión simple	ASTM D7012-14e 1 /ASTM D2938 / ISRM	Resistencia a la compresión (Mpa)	130
		Corte directo	ASTM D5607 / ISRM	Angulo de fricción interna (°)	35.00
				Cohesión (Mpa)	0.077
		Compresión triaxial	ASTM D7012-14e 1 /ASTM D2664 / ISRM	Angulo de fricción interna (°)	48.00
				Cohesión (Mpa)	8.0
Mi	24.00				
Carga Puntual	ASTM D5731 / ISRM	Resistencia a la compresión (Mpa)	110		
Tracción indirecta	ASTM D3967	Resistencia a la tracción (Mpa)	11		
Constantes elasticas	ASTM D3148/ISRM	Módulo de elasticidad (Mpa)	26550		
		Módulo de Poisson	0.21		

Nota: La descripción de las muestras es el siguiente: HT: Caja techo Hércules, CT: Caja techo Coturcan, CAT: Caja techo Caridad, HM: Mineral de Hércules, CM: Mineral de Coturcan, CAM: Mineral de Caridad, HP: Caja piso Hércules, CP: Caja piso Coturcan, CAP: Caja piso Caridad.

Tabla 17: Resultados de ensayos estimados en laboratorio caja piso

RESULTADOS DE ENSAYOS ESTIMADOS EN LABORATORIO - CAJA PISO					
CODIGO DE MUESTRAS	UBICACIÓN	TIPO DE ENSAYO	NORMA	PARÁMETRO EVALUADO	RESULTADOS
HP	CAJA PISO HERCULES	Propiedades físicas	ASTM C97 / ISRM	Densidad (Kg/cm3) Porosidad (%) Absorción (%)	2.8 1.50 0.60
		Compresión simple	ASTM D7012-14e1 /ASTM D2938 / ISRM	Resistencia a la compresión (Mpa)	80
		Corte directo	ASTM D5607 / ISRM	Angulo de fricción interna (°) Cohesión (Mpa)	35.00 0.080
		Compresión triaxial	ASTM D7012-14e1 /ASTM D2664 / ISRM	Angulo de fricción interna (°) Cohesión (Mpa) Mi	49.03 8.2 25
		Carga Puntual	ASTM D5731 / ISRM	Resistencia a la compresión (Mpa)	90
		Tracción indirecta	ASTM D3967	Resistencia a la tracción (Mpa)	8.72
		Constantes elasticas	ASTM D3148/ISRM	Módulo de elasticidad (Mpa) Módulo de Poisson	19000 0.24
		CP	CAJA PISO COTURCAN	Propiedades físicas	ASTM C97 / ISRM
Compresión simple	ASTM D7012-14e1 /ASTM D2938 / ISRM			Resistencia a la compresión (Mpa)	101
Corte directo	ASTM D5607 / ISRM			Angulo de fricción interna (°) Cohesión (Mpa)	35.44 0.071
Compresión triaxial	ASTM D7012-14e1 /ASTM D2664 / ISRM			Angulo de fricción interna (°) Cohesión (Mpa) Mi	50.00 7.9 26.07
Carga Puntual	ASTM D5731 / ISRM			Resistencia a la compresión (Mpa)	90
Tracción indirecta	ASTM D3967			Resistencia a la tracción (Mpa)	10
Constantes elasticas	ASTM D3148/ISRM			Módulo de elasticidad (Mpa) Módulo de Poisson	19300 0.20
CAP	CAJA PISO CARIDAD			Propiedades físicas	ASTM C97 / ISRM
		Compresión simple	ASTM D7012-14e1 /ASTM D2938 / ISRM	Resistencia a la compresión (Mpa)	120
		Corte directo	ASTM D5607 / ISRM	Angulo de fricción interna (°) Cohesión (Mpa)	36.00 0.082
		Compresión triaxial	ASTM D7012-14e1 /ASTM D2664 / ISRM	Angulo de fricción interna (°) Cohesión (Mpa) Mi	45.00 8.0 23.00
		Carga Puntual	ASTM D5731 / ISRM	Resistencia a la compresión (Mpa)	100
		Tracción indirecta	ASTM D3967	Resistencia a la tracción (Mpa)	11
		Constantes elasticas	ASTM D3148/ISRM	Módulo de elasticidad (Mpa) Módulo de Poisson	20000 0.22

Nota: La descripción de las muestras es el siguiente: HT: Caja techo Hércules, CT: Caja techo Coturcan, CAT: Caja techo Caridad, HM: Mineral de Hércules, CM: Mineral de Coturcan, CAM: Mineral de Caridad, HP: Caja piso Hercules, CP: Caja piso Coturcan, CAP: Caja piso Caridad.

4.4.2. Resistencia de la masa rocosa

La tabla 18, muestra el resumen de los parámetros "estimados" a nivel de masa rocosa, utilizando los criterios de "Criterio de H & B; 2002" y "Serafín-Pereira; 1983" basados en parámetros obtenidos de "clasificación geomecánica, ensayos de campo - laboratorio" según sugieren las normas de la "Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas".

Tabla 18: Parametros de resistencia de la masa rocosa

DOMINIO	CALIDAD DE LA MASA ROCOSA			PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE LA MASA ROCOSA*									
	LITOLÓGIA	RMR	QSI	Peso específico (KN/m ³)	σ _c (MPa)	m _i	m _b	s	a	E (MPa)	ν	φ (°)	C (MPa)
HERCULES	Lavas - tufos volcánicos	55	60	30.0	95.0	27	6.47	0.0217	0.5	14604	0.23	46	4.73
		55	50	28.0	85.0	25	4.19	0.0039	0.500	8032	0.25	48	2.60
		45	40	26.0	60.0	23	2.11	0.0013	0.500	4405	0.28	40	0.70
		35	30	20.0	20.0	18	1.20	0.0007	0.575	881	0.34	33	0.20
		55	50	28.0	95.0	23	3.86	0.0039	0.500	8158	0.25	45	1.50
	Brecha mineralizada	45	40	27.0	65.0	22	3.09	0.0022	0.500	5871	0.26	43	0.40
		35	30	25.0	45.0	12	0.99	0.0004	0.500	2450	0.30	34	0.80
		25	20	20.0	5.0	25	1.20	0.0000	0.575	881	0.34	33	0.70
		55	50	26.0	70.0	18	3.61	0.0067	0.500	10355	0.24	44	0.90
		45	40	25.0	40.0	16	1.57	0.0022	0.500	3182	0.29	38	0.60
	Lavas - tufos volcánicos	35	30	20.0	20.0	18	1.20	0.0007	0.575	881	0.34	33	0.20
		35	30	20.0	20.0	18	1.20	0.0007	0.575	881	0.34	33	0.20
		15	10	17.0	1.0	6	0.20	0.0000	0.625	468	0.38	16	0.30
		65	60	27.0	95.0	23	5.51	0.0217	0.500	14262	0.23	47	2.80
		Falla	15	10	17.0	1.0	6	0.20	0.0000	0.625	468	0.38	16
COTURCAN	Lavas - tufos volcánicos	55	50	26.0	70.0	19	2.66	0.0022	0.500	10027	0.26	41	0.00
		45	40	25.0	50.0	16	1.57	0.0017	0.500	8158	0.29	38	0.60
		35	30	24.0	40.0	15	1.20	0.0007	0.575	881	0.34	33	0.20
		55	50	28.0	90.0	23	4.61	0.0067	0.500	10699	0.24	46	1.90
		45	40	27.0	75.0	19	2.66	0.0022	0.500	5982	0.26	42	0.30
	Brecha mineralizada	35	30	25.0	50.0	17	1.67	0.0007	0.500	3267	0.29	38	0.50
		65	60	26.0	75.0	22	4.41	0.0067	0.500	10445	0.24	46	1.40
		55	50	25.0	55.0	20	2.81	0.0022	0.500	5751	0.26	43	0.20
		45	40	25.0	50.0	16	1.57	0.0017	0.500	3182	0.29	38	0.60
		35	30	24.0	40.0	15	1.20	0.0007	0.575	881	0.34	33	0.20
	Lavas - tufos volcánicos	15	10	17.0	5.0	9	0.36	0.0000	0.600	667	0.36	21	0.50
		75	70	28.0	115.0	26	10.65	0.0622	0.500	34032	0.21	52	7.50
		55	60	27.0	80.0	24	5.75	0.0217	0.500	13942	0.23	48	2.30
		55	50	26.0	65.0	23	3.86	0.0039	0.500	7681	0.25	45	0.60
		45	40	25.0	50.0	21	2.95	0.0022	0.500	5871	0.26	43	0.30
CARIDAD	Lavas - tufos volcánicos	35	30	24.0	25.0	19	1.86	0.0007	0.500	3182	0.29	39	0.50
		55	50	28.0	85.0	24	5.75	0.0217	0.500	14052	0.23	48	2.50
		45	40	27.0	65.0	21	2.95	0.0022	0.500	5871	0.26	43	0.30
		35	30	25.0	40.0	19	1.86	0.0007	0.500	3182	0.29	39	0.50
		65	60	27.0	115.0	26	7.45	0.0205	0.500	19344	0.22	50	4.90
	Brecha mineralizada	55	50	27.0	70.0	23	4.61	0.0067	0.500	10355	0.24	46	1.30
		45	40	25.0	50.0	21	2.95	0.0022	0.500	5871	0.26	43	0.30
		35	30	26.0	45.0	21	2.46	0.0013	0.500	4254	0.28	41	0.20
		15	10	17.0	5.0	9	0.30	0.0000	0.625	506	0.38	19	0.50
		Falla	15	10	17.0	5.0	9	0.30	0.0000	0.625	506	0.38	19

Nota: *Estimaciones realizadas como resultados de la aplicación de los criterios de "H&B 2002, S&Pereyra 1983, Karulovic, 1999", resultados de los ensayos in campo y los ensayos de mecánica de rocas realizados en el laboratorio de la Pontificia Universidad Católica del Perú

4.4.3. Estimación del estado Tensional

Dirección de esfuerzos

Del análisis estereográfico de datos estructurales (fallas y diaclasas), se obtiene en cada zona los siguientes sistemas conjugados: Hércules (F1 77/165; F2 79/341), Coturcan (F1:81/150; F2: 67/338), Caridad (F1 75/135; F2 63/346); mediante la proyección estereográfica equiangular a los sistemas de fallas y empleando el criterio de ocurrencia de “fallas conjugadas” se obtiene los planos máximos del tensor de esfuerzos naturales (preminado) “σ₁, σ₂ y σ₃” cuya interpretación finalmente permite estimar la orientación de los esfuerzos principales. En la tabla 19, se muestra los resultados de la estimación de orientación de esfuerzos principales en cada una de las zonas de interés.

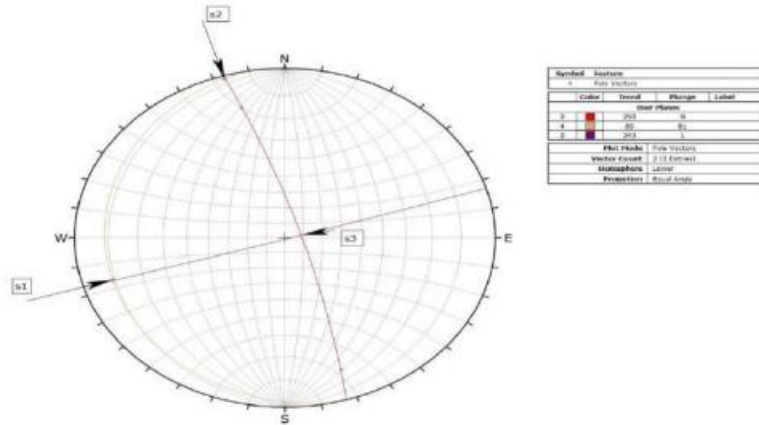


Figura 13 Orientacion de esfuerzos de Hercules

Tabla 19: Orientacion de esfuerzos

MINA	ORIENTACIÓN DE ESFUERZOS		
	ID	TREND	PLUNGE
Hércules	s1	253	9
	s2	343	1
	s3	80	81
Coturcan	s1	62	13
	s2	154	7
	s3	273	75
Caridad	s1	56	34
	s2	150	7
	s3	250	55

Magnitud de esfuerzos

Estas aproximaciones matemáticas han sido la base para los cálculos referidos a magnitud de esfuerzos principales en Mina, válidos única y exclusivamente para fines de este estudio, los resultados de estas estimaciones se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20: Magnitud de Esfuerzos por niveles – Hércules

Magnitud de Esfuerzos, Hércules			
Nivel	Z1	Z2	Z3
4375	0	0	0
4275	13	7	1
4225	14	8	2
4175	14	8	3
4125	14	9	4
4075	14	9	4
4025	15	10	5
3975	15	11	6
3925	15	11	7
3875	16	12	7
3825	16	12	8
3775	16	13	9
3725	17	13	10

* Es fuerza en Mpa.

A continuación, se generan los perfiles para el modelamiento numérico en el software Phases2.

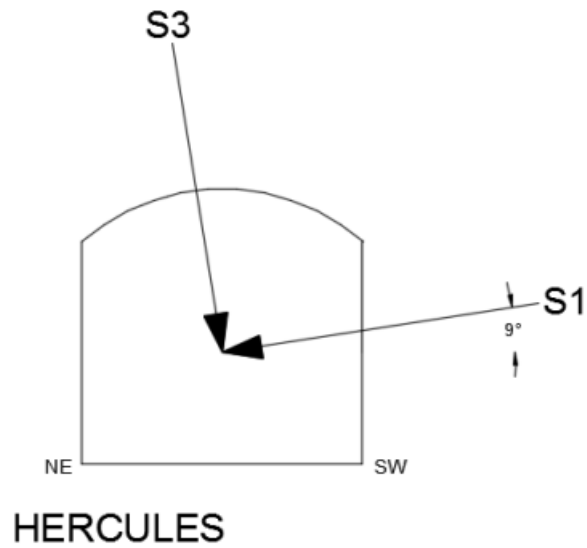


Figura 14 Configuración de esfuerzos para el Phases, zona Hércules

Identificación de los mecanismos de falla

En base a información obtenida del análisis estereográfico de discontinuidades estructurales (fallas y diaclasas) como se muestra en las en el área de interés se prevé que los modos más probables de falla a desarrollarse desde "caja techo, corona y caja piso" de las excavaciones subterráneas serán los desprendimientos del tipo "Cuña" cuyo desprendimiento dependiendo de su ubicación espacial en los frentes de excavación será por "gravedad o deslizamiento". Es necesario precisar que éstos serán los modos de falla que potencialmente puedan desarrollarse en las áreas de interés "Hércules, Coturcan y Caridad"; en este contexto los "Análisis de estabilidad estructuralmente controlada" a realizarse en acápites posteriores, se orientarán a determinar el "F.S." para el mecanismo de fallas del tipo "Cuña" independientemente de donde provienen, (paredes o techo de la excavación).

4.5. Dimensionamiento geomecanico

4.5.1. Factores de seguridad

Los factores de seguridad mínimos para los análisis de estabilidad en el Estudio se han establecido en función a los tipos de análisis (métodos empíricos. modelamiento numérico bidimensional usando software Phases2 y análisis de estabilidad estructuralmente controlada mediante software Unwedge), estableciéndose los factores de seguridad (criterios de estabilidad) mostrados en la tabla 21.

Tabla 21: Factores de seguridad - Diseño subterráneo Mina

MÉTODO DE ANÁLISIS	CRITERIO DE
Método gráfico de estabilidad	F.S > 1.5
Método de elementos finitos (M.G.F)	F.S > 1.1
Método de equilibrio límite (M.E.L)	F.S > 1.5
Nota: Factor de seguridad del diseño.	

Los valores mostrados en la tabla 21, son valores mínimos referenciales del "Factor de seguridad" obtenidos en los análisis de estabilidad considerados en la práctica ingenieril y con aceptación en el medio local

4.5.2. Dimensionamiento de tajos usando el método gráfico de estabilidad

El procedimiento de diseño con la aplicación del "M.G.E.", se fundamenta en la determinación del número de estabilidad "N" y el radio hidráulico de la superficie del Tajo "S". En este estudio se emplea el M.G.E, para el Dimensionamiento de Tajos en las Zonas Hércules-Coturcan-Caridad.

Tabla 22: Número de estabilidad “N”, según zonas de explotación

ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE ESTABILIDAD N'										
ZONA	LITOLOGÍA	RMR	Q'	σ	σ_{ci}	σ_{max}	A	B	C	N'
HERCULES	CAJA TECHO	65	11.21	12.9	95.0	17.0	0.9	0.2	6.7	13.5
		55	3.55	5.9	85.0	17.0	0.9	0.2	6.7	4.3
		45	1.12	3.1	60.0	17.0	0.6	0.2	6.7	0.9
		35	0.35	0.6	20.0	17.0	0.4	0.2	6.7	0.2
	ESTRUCTURA HÉRCULES	55	3.55	1.9	95.0	17.0	1	0.2	6.7	4.8
		45	1.12	1.1	65.0	17.0	0.6	0.2	6.7	0.9
		35	0.35	0.2	45.0	17.0	0.4	0.2	6.7	0.2
		25	0.11	0.04	5.0	17.0	0.1	0.2	6.7	0.015
	Umero de estaildCAJA PISO	55	3.55	10.3	70.0	17.0	1.1	0.2	6.7	5.2
		45	1.12	3.4	40.0	17.0	0.7	0.2	6.7	1.1
	FALLA	35	0.35	0.4	20.0	17.0	0.4	0.2	6.7	0.2
	FALLA	15	0.04	0.01	1.0	17.0	0.1	0.2	6.7	0.0
COTURCAN	CAJA TECHO	65	11.21	31.3	95.0	15.0	1	0.2	7.3	16.4
		55	3.55	12.9	70.0	15.0	1	0.2	7.3	5.2
		45	1.12	5.9	50.0	15.0	0.7	0.2	7.3	1.1
		35	0.35	1.1	40.0	15.0	0.7	0.2	7.3	0.4
	ESTRUCTURA HÉRCULES	55	3.55	3.4	90.0	15.0	0.9	0.2	7.3	4.7
		45	1.12	1.1	75.0	15.0	0.7	0.2	7.3	1.1
		35	0.35	0.4	50.0	15.0	0.4	0.2	7.3	0.2
	CAJA PISO	65	11.21	10.3	75.0	15.0	1	0.2	7.3	16.4
		55	3.55	3.4	55.0	15.0	1	0.2	7.3	5.2
		45	1.12	1.1	50.0	15.0	0.7	0.2	7.3	1.1
		35	0.35	0.4	40.0	15.0	0.5	0.2	7.3	0.3
	FALLA	15	0.04	0.02	5.0	15.0	0.2	0.2	7.3	0.010
CARIDAD	CAJA TECHO	75	35.43	31.3	115.0	16.0	1	0.2	4.9	34.7
		65	11.21	12.9	80.0	16.0	0.9	0.2	4.9	9.9
		55	3.55	5.9	65.0	16.0	0.9	0.2	4.9	3.1
		45	1.12	3.1	50.0	16.0	0.7	0.2	4.9	0.8
		35	0.35	1.1	25.0	16.0	0.4	0.2	4.9	0.1
	ESTRUCTURA HÉRCULES	55	3.55	5.9	85.0	16.0	0.9	0.2	4.9	3.1
		45	1.12	1.1	65.0	16.0	0.7	0.2	4.9	0.8
		35	0.35	0.4	40.0	16.0	0.4	0.2	4.9	0.1
	CAJA PISO	65	11.21	31.3	115.0	16.0	1	0.2	4.9	11.0
		55	3.55	10.3	70.0	16.0	0.9	0.2	4.9	3.1
		45	1.12	3.4	50.0	16.0	0.7	0.2	4.9	0.8
		35	0.35	0.6	45.0	16.0	0.4	0.2	4.9	0.1
FALLA	15	0.04	0.01	5.0	16.0	0.1	0.2	4.9	0.003	

4.6. Evaluacion del sostenimiento

4.6.1. Establecimiento de las direcciones preferenciales del minado

Del análisis estereográfico desarrollado, la información mostrada en los planos de "zonificación geomecánica de la zona de explotación "Hércules, la estimación de la magnitud y dirección de los esfuerzos principales", se estima que las direcciones preferenciales del minado deberían tener una configuración "transversal al rumbo de las estructurales mineralizadas" desde

el punto de vista geomecánico, aun cuando esta orientación se configure paralelo a uno de los sistemas de discontinuidades estructurales en los dominios "Caja techo, Estructura mineralizada y Caja piso" de las zonas.

4.6.2. Tiempo de "Auto-Soporte Vs. Calidad RMR89." de la Masa Rocosa

De la investigación geomecánica desarrollada, se obtiene que la masa rocosa en las áreas de interés (estructuras mineralizadas y su entorno físico) se caracterizan por la presencia de varios dominios geo mecánicos (tabla 9), donde las dimensiones de las excavaciones para "Desarrollos, Preparación y Explotación" en la Mina han sido establecidos sobre la base de criterios operacionales utilizando las dimensiones de los equipos (Perforadoras, Camiones, Scooptram, etc.) y estándares de diseño promedio para aplicación de Minería trackless. Si bien es cierto el dimensionamiento de accesos escapa a criterios técnicos porque se asocia a parámetros operacionales de los equipos y el desempeño de los mismos. La excavación de rocas mediante el uso de técnicas tradicionales (perforación y voladura) genera un nivel de daño considerable en la masa rocosa disminuyendo significativamente sus parámetros de resistencia, a diferencia de las técnicas de excavación recientes (minado continuo usando equipos tipo TBM) con un nivel de daño mínimo a la masa rocosa. Cuantificar el nivel de daño asociado a procesos de voladura implica realizar una valoración "cualitativa y cuantitativa" de los impactos generados. En el alcance del Estudio, sólo se establecen algunas directrices que permitan evaluar el nivel de daño generado por voladura como se describe.

4.6.3. Efecto de la Perforación y Voladura en la Calidad "RMR89" de la Masa Rocosa

La voladura definida como "un proceso de rotura de rocas mediante el uso de energía explosiva", genera daños en la masa rocosa, con efectos muy negativos para la estabilidad. La no aplicación de técnicas adecuadas como "pre corte y recorte" durante el proceso de voladura en

minas frecuentemente está asociado al "desconocimiento de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso". Estas malas prácticas de voladura generan niveles de daños considerables que influyen en la inestabilidad de las excavaciones realizadas en la masa rocosa; algunos de los daños inducidos a la roca durante el proceso de voladura son:

- Apertura de discontinuidades pre - existentes (disminución de la resistencia al esfuerzo de corte entre las paredes de las discontinuidades).
- Creación de grietas (incrementa el grado de fracturamiento).
- Reducción de los módulos elásticos.
- Propagación de fracturas pre - existentes.
- En términos generales representa una reducción significativa de los parámetros de resistencia (módulos elásticos, cohesión y fricción) de la masa rocosa.
- Degrada de la calidad geomecánica del macizo rocoso

Para ajustar el valor del RMR (después del proceso de voladura), es necesario el uso de aproximaciones empíricas que permitan valorar cuantitativamente el nivel de daño. En la figura 31, se muestran las curvas de aproximaciones empíricas que ayudan a predecir la valoración RMR89 después de realizada la voladura. Estas curvas aproximadas para evaluar la reducción de la calidad geomecánica "RMR" de la masa rocosa permiten estimar el nivel de daño (CB) en función a la velocidad pico de partícula del explosivo empleado para romper la roca cuya valoración RMR inicial será disminuido por el daño.

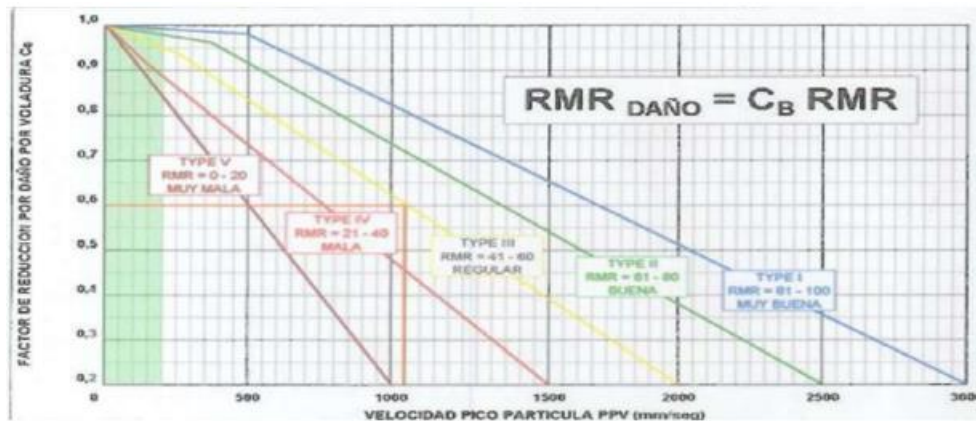


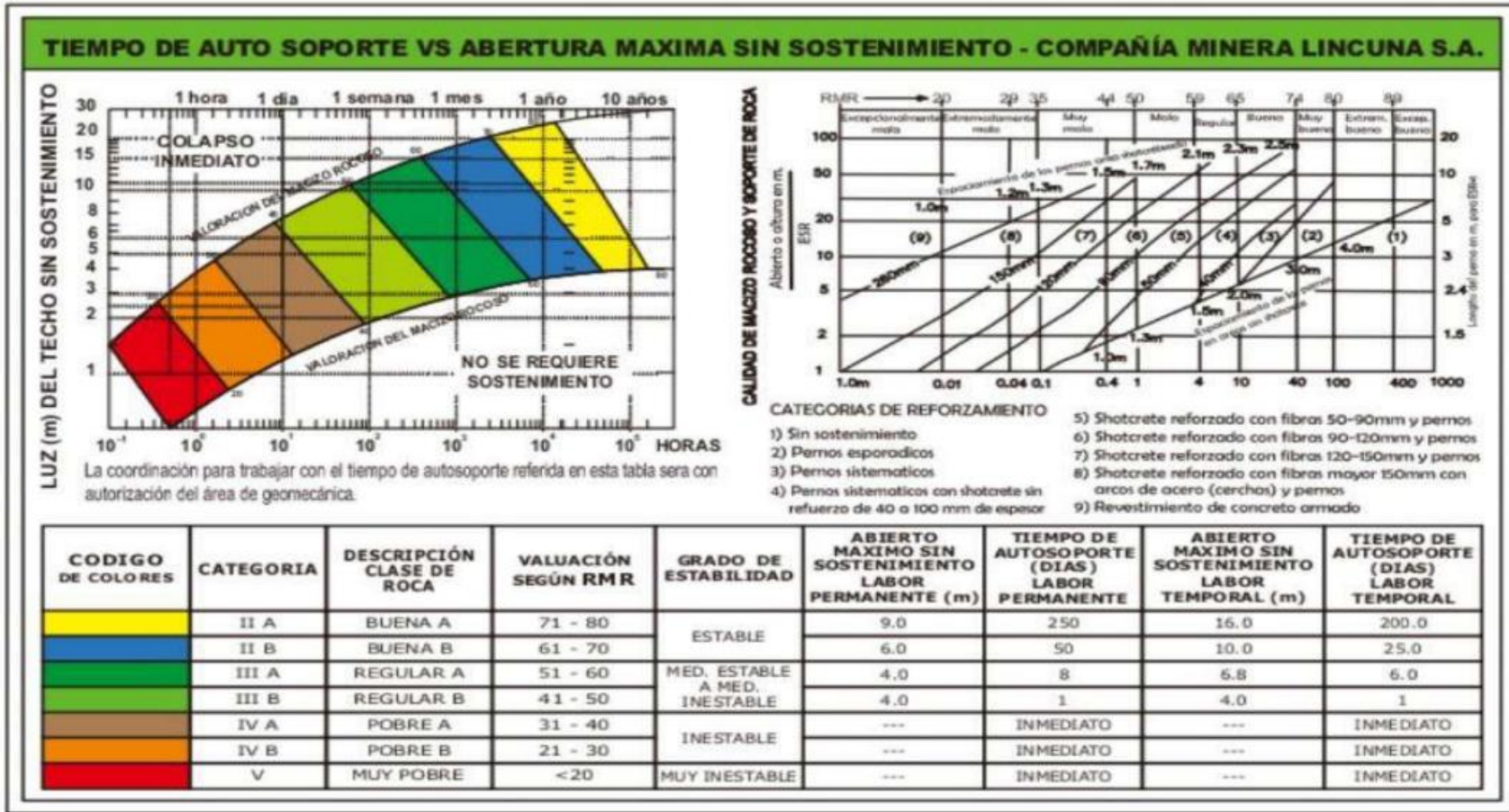
Figura 15 Aproximaciones empíricas del nivel de daño en la roca (C_B) en función al tipo de explosivo.

Para determinar de las "Aberturas máximas y el Tiempo de Autosoporte" de las excavaciones en la Mina, es necesario realizar ajustes a la calidad de masa rocosa usando las aproximaciones empíricas mostradas en la tabla 23, que permitan determinar el factor de ajuste por daño de voladura (C_B), con este factor finalmente se debe obtener el "RMR ajustado" ($RMR_{ajustado} = C_B * RMR$ antes de voladura) para cuyo valor se deberá estimar la "Abertura máxima y el Tiempo de Auto -soporte". Esta práctica debe ser realizada operacionalmente por personal encargado del departamento de geomecánica en forma conjunta con el personal de operaciones para finalmente establecer las "Aberturas máximas y el Tiempo de Auto-soporte para el RMR ajustado. A modo didáctico, en este párrafo se realiza la estimación de "Abertura máxima y el Tiempo de Autosoporte" para valores de RMR89 sin voladura; Es necesario precisar que esto solo representa una metodología, operativamente el personal técnico de la empresa deberá determinar el nivel de daño, ajustar el "RMR" y finalmente establecer las "Aberturas máximas y los Tiempos de Auto* soporte" para el RMR ajustado por daños de voladura. Del análisis estereográfico sobre las discontinuidades estructurales (fallas y diaclasas) presentes en la masa rocosa y la evaluación conceptual de los modos de falla, se prevé la ocurrencia de zonas potencialmente inestables desde el punto de vista estructuralmente controlada. Para los propósitos del Estudio es necesario

establecer cuáles serán los tipos de sostenimiento (soporte o refuerzo de rocas) a aplicarse según sea el carácter "temporal o permanente" de las excavaciones. Para este propósito resulta fundamental definir "El Tiempo de Autosoyorte vs Abierto Máximo el cual se fundamenta en el ábaco de Bieniawski; este ábaco asocia las "Abertura máximas y el tiempo de Auto- soporte" asociados a una calidad de roca, con el valor de "Abertura máxima" se ingresa a "Abaco de Bieniawski" (tabla 23) para obtener el "Tiempo de Auto-soporte" en los rangos de "Calidad RMR89 de Bieniawski, modificada por Romana 2000" que expone la masa rocosa en el área de interés, como se aprecia en la margen izquierda de la tabla 23.

En la tabla 23, se muestran las "Aberturas máximas y los Tiempos de Auto -soporte" en función a la calidad de masa rocosa para excavaciones "temporales y permanentes"

Tabla 23: “Aberturas máximas vs Tiempo de Auto - soporte” M.R. sin daño.



Es necesario acotar que las "Aberturas máximas" y el "Tiempo de auto -soporte" no necesariamente cumplen los requisitos de aberturas propias del minado, referente a las labores de los desarrollos (Rampa: 4.0m x 4.0m, Crucero:4.0m x 4.0m, By Pass: 4.0m x 4.0m, 4.0m x 3.5m), labores de preparación para explotación (Sub-niveles:4.0m x 4.0m) y labores de explotación (Tajos: 3.0-10.0m de ancho x 4.0-7.0m de altura), estas dimensiones en algunos casos son menores y en otros mayores a las dimensiones estimadas con el ábaco de Bieniawski.

Por otro lado, desde el punto de vista de la Seguridad, una operación minera eficiente debe contemplar el "avance estandarizado". En muchas ocasiones operacionalmente se mal interpreta el "Tiempo de Auto - soporte", dejando labores abiertas sin sostenimiento; estas labores conforme transcurren el tiempo en los bordes de las excavaciones se comienzan a deteriorar disminuyendo significativamente sus parámetros de resistencia, debido a causas múltiples "esfuerzos, agua, vibraciones, humedad, carencia de ventilación entre otros". Esta situación de inestabilidad finalmente hace que la Operación Minera, tenga que programar de manera imprevista la colocación del SOSTENIMIENTO, generando pérdidas en el proceso minero.

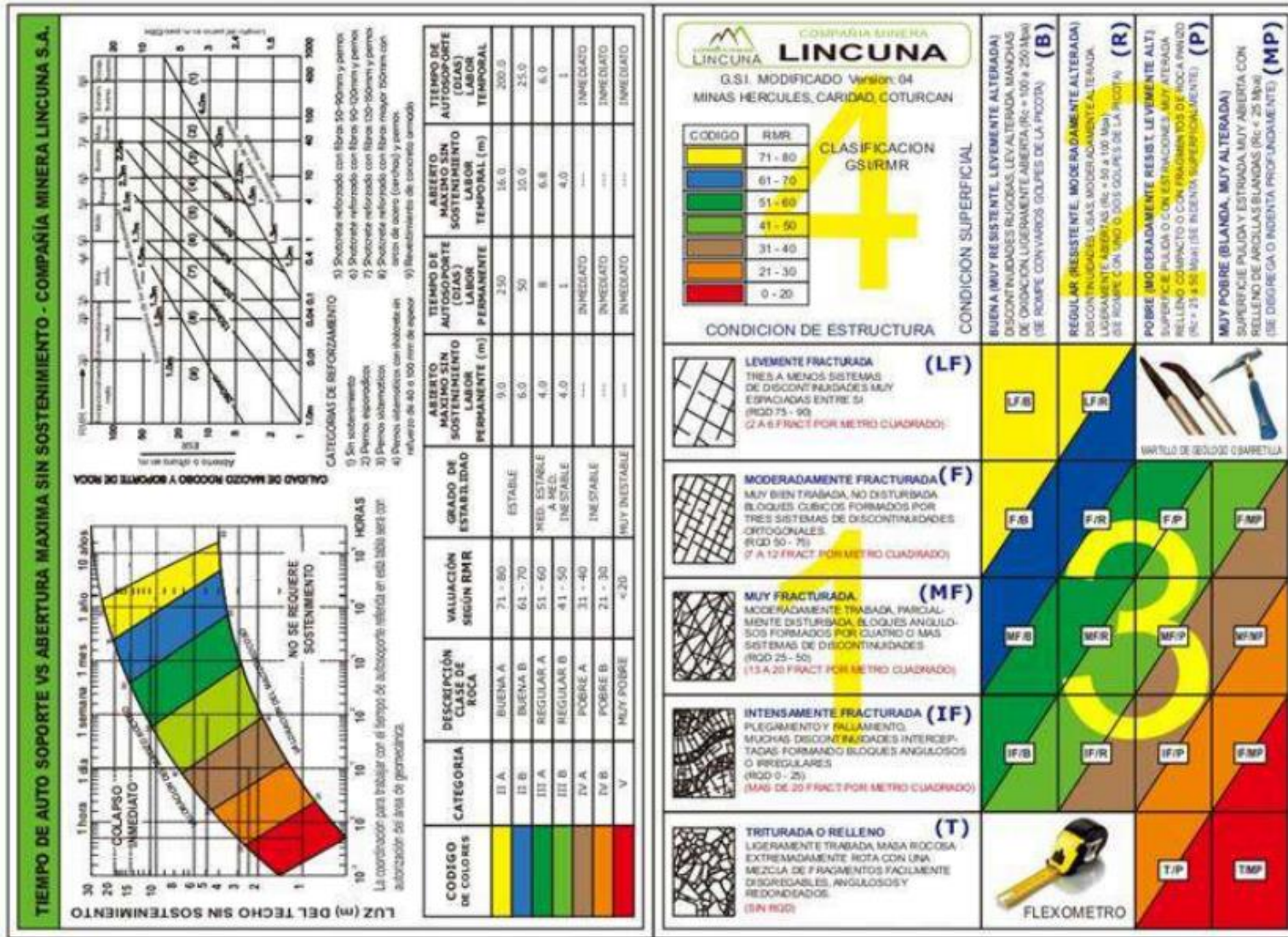
En base a la experiencia se puede acotar "desde el punto vista "técnico-económico" es favorable instalar el sostenimiento en forma "oportuna", indistintamente cual sea el carácter "temporal o permanente de la excavación", con la finalidad de buscar el equilibrio "tenso - deformacional" en la masa rocosa y evitar su descompresión (buscar el restablecer el equilibrio de inmediato). Finalmente de la tabla 23, es necesario precisar que "LAS ABERTURAS MÁXIMAS Y EL TIEMPO DE AUTOSOPORTE" estimado en función al ábaco de Bieniawski, corresponden a una masa rocosa sin niveles de daño generados por voladura; para estimar las "Aberturas y Tiempos de Autosoporte" basados en el criterio de daño al macizo rocoso deberán realizarse "auscultaciones e investigaciones del nivel de daño" que finalmente permitan estimar el factor de

daño, ajustar el "RMR" y finalmente establecer "Aberturas máximas y Tiempos de Auto - soporte" considerando los efectos de la voladura.

4.7. Estimación del tipo de sostenimiento

En base a las características geológicas, el arreglo estructural, la caracterización geomecánica, la estimación de los parámetros de resistencia a nivel de roca intacta, discontinuidades y masa rocosa, la evaluación de estado tensional, la condición de agua subterránea que presenta la masa rocosa que presenta la Mina y considerando la experiencia con resultados favorables en Minas con similares condiciones a las expuestas en la Mina, se tiene que los TIPOS DE SOSTENIMIENTO A APLICARSE PARA EL CONTROL DEL TERRENO EN MINA serán aquellos que se encuentran precisados en la "CARTILLA GEOMECÁNICA". Es necesario precisar que las dimensiones de las excavaciones sean de "accesos y/o labores de explotación". El diseño del sostenimiento sea el caso de labores "permanentes y/o temporales", se muestran en la Cartilla geomecánica (tabla 20) y las especificaciones técnicas. En la tabla se muestra los tipos de sostenimiento a aplicarse en función al carácter temporal o permanente de las excavaciones subterráneas.

Tabla 24: “Cartilla geomecanica estandar



LINCUNA

G.S.I. MODIFICADO Version: 04

MINAS HERCULES, CARIDAD, COTURCAN

CLASIFICACION GSIRMR

CODIGO	RMR
71 - 80	
61 - 70	
51 - 60	
41 - 50	
31 - 40	
21 - 30	
0 - 20	

CONDICION DE ESTRUCTURA







CONDICION DE ESTRUCTURA	CONDICION SUPERFICIAL	(B)	(R)	(P)	(MP)
LEVEMENTE FRACTURADA (LF) <p>TRES A MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI (RQD 75 - 90) 2 A 6 FRACT POR METRO CUADRADO</p>	CONDICION SUPERFICIAL BUENA (MUY RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES RIGIDAS, LEV. ALTERADA, MANCHAS DE OXIDACION LEVEMENTE ABIERTA (Rc + 100 + 200 N/m ²) (SE ROMPE CON VARIOS GOLPES DE LA PICKUP)	LF/B	LF/R		
MODERADAMENTE FRACTURADA (F) <p>MUY BIEN TRABAJADA, NO DISTURBADA BLOQUES CUBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES. (RQD 50 - 75) 7 A 12 FRACT POR METRO CUADRADO</p>	CONDICION SUPERFICIAL REGULAR (RESISTENTE, MODERADAMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE AL TERCA, LEVEMENTE ABIERTAS (Rc + 50 A 100 N/m ²) (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE LA PICKUP)	F/B	F/R	F/P	F/MP
MUY FRACTURADA (MF) <p>MODERADAMENTE TRABAJADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MAS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES (RQD 25 - 50) (15 A 20 FRACT POR METRO CUADRADO)</p>	CONDICION SUPERFICIAL POBRE (MODERADAMENTE RESIST. LEVEMENTE ALT.) SUPERFICIE PULIDA O CON EST. AVANZADAS, MUY ALTERADA (Rc + 25 N/m ²) (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE LA PICKUP)	MF/B	MF/R	MF/P	MF/MP
INTENSAMENTE FRACTURADA (IF) <p>PLEGAMIENTO Y PALLAMENTO, MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES (RQD 0 - 25) (MAS DE 20 FRACT POR METRO CUADRADO)</p>	CONDICION SUPERFICIAL MUY POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA Y ESTRADA, MUY ABIERTA CON RELLENO DE ARCILLAS BLANCAS (Rc + 25 N/m ²) (SE DESPEGGA O ROMENTA PROFUNDAMENTE)	IF/B	IF/R	IF/P	IF/MP
TERTURADA O RELLENO (T) <p>LEGERAMENTE TRABAJADA, MASA ROCOSA EXTREMADAMENTE BOTA CON UNA MEZCLA DE FRAGMENTOS FACILMENTE DESGREGABLES, ANGULOSOS Y REDONDEADOS. (SEN RQD)</p>	CONDICION SUPERFICIAL MUY POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA Y ESTRADA, MUY ABIERTA CON RELLENO DE ARCILLAS BLANCAS (Rc + 25 N/m ²) (SE DESPEGGA O ROMENTA PROFUNDAMENTE)			T/P	T/MP

WARTLO DE GEOLOGO O BARRETTA

FLEXOMETRO

TABLA GEOMECANICA RMR						TIPO DE SOSTENIMIENTO			
RIESGO DE ESTABILIDAD	CODIGO DE COLORES	CATEGORIA	DESCRIPCION CLASE DE ROKA	VALORES SEGUN RMR	GSI	GRADO DE ESTABILIDAD	AVANCES (PREPARACIONES Y EXPLORACION Y DESARROLLO)		EXPLOTACION (TAJEOS)
							TEMPORALES <= 1 año	PERMANENTES > 1 año	
RIESGO BAJO	[Yellow]	II A	BUENA A	71 - 80	LF/R, F/B	ESTABLE	Perno de fricción ocasional o puntual	Perno helicoidal ocasional o puntual	Perno de fricción ocasional o puntual
		II B	BUENA B	61 - 70	F/R		Perno de fricción espaciados a 1.75m x 1.75m en forma de rombo	Perno helicoidal espaciados a 1.75m x 1.75m en forma de rombo	Perno de fricción espaciados a 1.75m x 1.75m en forma de rombo
RIESGO MEDIO	[Green]	III A	REGULAR A	51 - 60	F/P, MF/R	MED. ESTABLE A MED. INESTABLE	Perno de fricción espaciados a 1.50m x 1.50m en forma de rombo	Perno helicoidal espaciados a 1.50m x 1.50m en forma de rombo	Perno de fricción espaciados a 1.50m x 1.50m en forma de rombo
		III B	REGULAR B	41 - 50	MF/P, F/R		Perno de fricción espaciados a 1.50m x 0.85m en forma de rombo mas malla electrosoldada	Perno helicoidal espaciados a 1.50m x 0.85m en forma de rombo mas malla electrosoldada	Perno de fricción espaciados a 1.50m x 0.85m en forma de rombo mas malla electrosoldada
RIESGO ALTO	[Red]	IV A	POBRE A	31 - 40	MF/MF, F/P	INESTABLE	Shotcrete de 2" con fibra mas perno expansivo ó perno de fricción espaciados a 1.50m x 1.50m en forma de rombo	Shotcrete de 2" con fibra mas perno helicoidal espaciados a 1.50m x 1.50m en forma de rombo	Shotcrete de 2" con fibra mas perno expansivo o de fricción espaciados a 1.50m x 1.50m en forma de rombo
		IV B	POBRE B	21 - 30	IF/MF		Shotcrete de 3" con fibra mas perno expansivo espaciados a 1.25m x 1.25m en forma de rombo	Shotcrete de 3" con fibra mas perno helicoidal espaciados a 1.00m x 1.00m en forma de rombo	Shotcrete de 3" con fibra mas perno expansivo espaciados a 1.25m x 1.25m en forma de rombo
		V	MUY POBRE	< 20	T/MF	MUY INESTABLE	Shotcrete de 4" con fibra mas perno expansivo espaciados a 1.0m x 1.0m en forma de rombo y/o cimbras de perfil H tipo 6W20	Shotcrete de 4" con fibra mas perno helicoidal a 1.0m x 1.0m en forma de rombo y/o cimbras de perfil H tipo 6W20	Shotcrete de 4" con fibra mas perno expansivo espaciados a 1.0m x 1.0m en forma de rombo y/o cimbras de perfil H tipo 6W20

<p>IMPORTANTE: Cualquier modificación o combinación del sostenimiento se realizara bajo evaluación y recomendación del Área de Geomecánica.</p>	<p>NOTA: En zonas de intersecciones aplicar estándar de sostenimiento en intersecciones.</p>
--	---

METODOLOGIA DE APLICACIÓN - TABLA GSI	TIPO DE SOSTENIMIENTO
<p>APLICACIÓN SIN CONSIDERAR FACTORES INFLUYENTES Para aplicar la Tabla se deben tener los siguientes, el tiempo y el tipo de la labor y determinar los 2 parámetros del INDICE GSI</p> <ol style="list-style-type: none"> Condición de Estructura se determina contando el número de fracturas por metro lineal. Condición Superficial, se determina mediante golpes de picota o peroteo. <p>CORRECCIÓN CONSIDERANDO FACTORES INFLUYENTES Los factores influyentes condicionan un mayor reforzamiento del área evaluada, por lo tanto deberá "causarse" con un menor INDICE GSI se instalará el siguiente tipo de sostenimiento, considerando una sola corrección para OCURRENCIA de:</p> <ol style="list-style-type: none"> Esfuerzos in situ, por profundidades mayores a 500 m. Esfuerzos inducidos, por labores cercanas entre si. Esfuerzos inducidos, por labores Antiguas, Pilares-Puentes. Presencia de agua de filtración como galerías ó Suces. Presencia de Fallas, zonas de corte ó áreas perforadas. Falta de sostenimiento ó sostenimiento no oportuno. Orientación de las fracturas. 	<p>SOSTENIMIENTO ACTIVO (Trabajan inmediatamente después de instalarlos en la roca)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>PERNO HELICOIDAL Capacidad de Carga 2.0 a 2.5 Ton/pal Ø perforación: 38mm</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>PERNO DE FRICCIÓN Capacidad de Carga 0.85 - 1.00 Ton/pie Ø perforación: 38 mm</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>PERNO EXPANSIVO Capacidad de Carga 10.0 - 14.0 Ton Ø perforación: 38 mm</p> </div> </div> <p>CONSIDERACIONES PARA EL SOSTENIMIENTO (Longitud del perno a usar): Sección de excavación > 3m usar 7 pies Sección de excavación < 3m usar 5 pies</p> <p>SOSTENIMIENTO PASIVO (Trabajan después de que la roca se acomoda al sostenimiento)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>CIMBRA DE ALACA H6 Capacidad de Carga 31 Ton/m2</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>SHOTCRETE Capacidad de Carga 12 a 210kg/m2</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>MALLA ELECTROSOLDADA Capacidad de Carga 0.8 - 1.0 Ton/m2</p> </div> </div>

FACTORES INFLUYENTES
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>SIN FACTORES INFLUYENTES</p> <p style="text-align: center;">MF/R</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>CON FACTORES INFLUYENTES</p> <ul style="list-style-type: none"> - FLUJO DE AGUA - RELAJAMIENTOS DE ROKA - VOLADURA DEFICIENTE - PRESENCIA DE FALLAS - ZONA DE INTERSECCIONES </div> </div>

Nota: Tabla Geomecánica elaborado por el Área de Geomecánica

4.8. Prueba de hipótesis

Para las pruebas de normalidad se tomaron los datos estadísticos de acuerdo con la hipótesis formulada (hipótesis general y específicas), se detalla la prueba de normalidad para cada una de ellas, habiendo optado la prueba de normalidad de Shapiro Wilk.

Hipótesis General.

Se muestra en la Tabla 25, los 03 datos correspondientes al promedio del factor de seguridad establecido según parámetros de simulación numerica, las cuales fueron sometidas a cálculos con el SPSS Statistics 25.

Tabla 25: Prueba de normalidad.

Shapiro-Wilk		
Estadístico	gl	Sig.
0,964	3	0,637
0,750	3	0,500
0,964	3	0,637
1,000	3	1,000

Conclusión: se acepta la hipótesis nula, los niveles de significación asintótica bilateral (0.637, 0.500 y 0.637 y 1.00) obtenidos son mayores que el nivel de significación ($\alpha = 0.050$). por lo tanto: La distribución de la variable factor de seguridad no se desvía de la distribución normal, por lo que se debe utilizar una prueba paramétrica para probar la hipótesis.

Para nuestro análisis en base a 03 registros de datos de las labores subterráneas de la Mina Andaychagua, se muestra la prueba de normalidad en base a Shapiro-Wilk, hallada con el SPSS Statistics 25, obteniéndose un valor superior a 1 como factor de seguridad que garantiza la estabilidad del macizo rocoso.

Tabla 26: Prueba T para comparar una muestra a un valor

Valor de prueba FS = 1.	t	gl	Sig. (bilateral)
Pre test	-19,053	2	0,003
Seccion 1	-8,693	2	0,013
Seccion 2	-17,321	2	0,003
Seccion 3	-17,000	2	0,003

Para un 95% de nivel de confianza se rechaza la H_0 , es decir se asevera que: El factor de seguridad global según propuesta de sostenimiento es mayor a la presente en la evaluación en etapa previa al sostenimiento.

CONCLUSIONES

- La investigación geomecánica del macizo rocoso en la U.M Huancapeti, hace una propuesta de los tipos de sostenimiento a utilizar en las labores mineras, de acuerdo a la calidad de la roca y economía.
- La caracterización del macizo rocoso, Lo constituyen los dominios lito – estructurales principales de sistemas de diaclasas y fallas, caja techo – estructura mineralizada – caja piso, resaltando flujos de lava, tufos, brechas y piroclastos" de composición típicamente andesítica y en sectores de composición dacítica pertenecientes al "Grupo Calipuy".
- Los parámetros de resistencia encontrados a las rocas para la caja techo, estructura mineralizada y caja piso se presentan en las tablas
- La Clasificación geomecánica RMR89 de Bieniawski de la masa rocosa en la zona de explotación Hércules, se presenta en la Caja techo (RMR: 65-35), Estructura mineralizada (RMR: 55-25), Caja piso (RMR: 55-35), ver tabla 17.
- Los métodos de explotación recomendados a la mina Hércules son: corte y relleno ascendente mecanizado, así como también el sub level stoping con relleno detrítico y variantes de estos según la geometría.
- Son muchos los daños inducidos por factores operacionales que se tienen que analizar: calidad de la roca, la estimación de la magnitud y dirección de los esfuerzos principales, efecto de la perforación y voladura, profundización, tiempo de auto – soporte de la roca, presencia de agua, etc.
- Habiéndose realizado la investigación en base a la evaluación geomecánica, presentamos los tipos de sostenimiento aplicables: Concreto lanzado (shotcrete), Pernos helicoidales con cartuchos de Resina y Cembolt. Malla electrosoldada de cuadrícula 10 x 10 cm (alambre N°08),

Marcos metálicos (cimbras) completamente elementadas, Pernos de fricción, Pernos expansivos, Cuadros de madera, Paquetes de madera (Wood Packs).

RECOMENDACIONES

- Se debe hacer una evaluación geomecánica del macizo rocoso de modo constante, con el fin de conocer su comportamiento y establecer zonas críticas.
- Se debe capacitar y entrenar al personal en el uso y manejo de tablas de calidad de roca, tablas GSI, tiempo de sostenimiento y en la correcta instalación de los elementos de sostenimiento.
- El supervisor y personal de labor deben cumplir con la instalación del tipo de sostenimiento y tiempo de autoporte indicado en la recomendación geomecánica a fin de evitar condiciones de inestabilidad en la roca.
- Se debe informar al área de seguridad de situaciones de riesgo relacionados a inestabilidad, con el fin de prevenir accidentes.
- Exigir al personal cumplir con los procedimientos de trabajo, uso de EPP e IPERC, en todas las labores operacionales de la mina Huancapeti.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta Medina, I., & Barón Condr, H. (2019). *Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7-Chongoyape-Lambayeque*. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/38854/Acosta_MIE-Bar%C3%B3n_CHE.pdf?sequence=1
- Barton Hoek Brown Romana, B. Y., & Norly Belandria Dra Profesor Francisco Bongiorno, P. (2016). *CLASIFICACIONES GEOMECÁNICA DE DE LOS MACIZOS ROCOSOS SEGÚN: GEOTECNIA APLICADA*.
- Belizario Calsin, M., & Condori Cardenas, R. (2021). *Aplicación del método gráfico de estabilidad demathews en vetas angostas para determinarla dimensión geométrica óptima del tajeo n°1 y controlar su inestabilidad en la U.M. Debra Luz*. <http://hdl.handle.net/10757/659079>
- Castresana González, L. (2016). *Análisis comparativo de metodología de sostenimiento*. <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/38203>
- Cotrado Laura, M., & Amado Romero, D. (2021). *Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de un sostenimiento adecuado en mina Chaparra, Caravelí, Arequipa - 2021*. 1–90. https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/5732/M.Cotrado_D.Amado_Tesis_Titulo_Profesional_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Jordá-Bordehore, L., Jordá-Bordehore, R., Durán Valsero, J. J., & Romero-Crespo, P. L. (2017). Evaluación de la estabilidad de las labores y pilar corona en las minas abandonadas de S'Argentera (Ibiza, España) combinando clasificaciones geomecánicas, métodos empíricos y análisis numérico-enfocado a su posible aprovechamiento turístico. *Boletín Geológico y Minero*, 128(1), 3–24. <https://doi.org/10.21701/bolgeomin.128.1.001>
- Loarte Trujillo, O. (2018). *GEOMECANICA PARA EL DISEÑO DEL SOSTENIMIENTO DE LAS LABORES MINERAS EN LA CORPORACIÓN MINERA TOMA LA MANO – CORMITOMA S.A. – AÑO 2018*.

http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2383/T033_45462469_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Madariaga, J. M. (2015). *CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE LA SECRETARÍA DE ESTADO DE ENERGÍA DEL MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO Y LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID (LABORATORIO OFICIAL J.M. MADARIAGA – LOM)*.

OSINERGMIN. (2017). *GUÍA DE CRITERIOS GEOMECÁNICOS PARA DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, SUPERVISIÓN Y CIERRE DE LABORES SUBTERRÁNEAS* Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas Gerencia de Supervisión Minera.

Pantaleón Junco, J., & Carbajal Isidro, H. (2017). “*EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DIMENSIONAMIENTO, SECUENCIA DE MINADO Y RELLENO DE TAJEOS DE UNA MINA SUBTERRÁNEA.*” <http://hdl.handle.net/20.500.12404/8689>

Ramírez, P., Leandro, O., & Monge, A. (2013). *Mecánica d Fundamentos e Ing de Rocas: eniería de Taludes.*

Suasnabar Ortega, P. (2019). *Análisis técnico para la optimización del sostenimiento en los frentes de la compañía Minera Casapalca S.A.*

http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1564/1/T026_47344236_T.pdf

Zorrilla Altuna, L. (2015). *La seguridad en el sostenimiento con criterios geomecánicos en la excavación subterránea de la central hidroeléctrica cerro del Aguila.*

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

TITULO: “EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PARA EL DISEÑO DE SOSTENIMIENTO Y ESTABILIDAD EN LA ZONA DE EXPLOTACIÓN HÉRCULES, UNIDAD MINERA HUANCAPETI, 2023”

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA
<p>Problema general ¿Cuál es el impacto de una evaluación geomecánica del macizo rocoso en la mejora de la estabilidad y el sistema de sostenimiento en la zona de explotación Hércules de la Unidad Minera Huancapeti?</p>	<p>Objetivo general Conocer el impacto de una evaluación geomecánica del macizo rocoso en la mejora de la estabilidad y el sistema de sostenimiento en la zona de explotación Hércules de la Unidad Minera Huancapeti.</p>	<p>Hipótesis general La evaluación geomecánica del macizo rocoso tiene un impacto significativo en la mejora de la estabilidad y el sistema de sostenimiento en la zona de explotación Hércules de la Unidad Minera Huancapeti.</p>	<p>Ámbito: – Temporal : 2023 Espacial : Unidad Minera Huancapeti</p> <p>Tipo de investigación Aplicada</p> <p>Nivel de investigación Explicativo</p>
<p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> – ¿Cómo se puede caracterizar geomecánicamente el macizo rocoso presente en la zona de explotación de la mina Hércules en la Unidad Minera Huancapeti - Aija, Ancash? – ¿Cuáles son las propiedades geomecánicas del macizo rocoso en la Unidad Minera Huancapeti - Aija, Ancash? – ¿Cuáles son los parámetros de resistencia de la masa rocosa en la mina Hércules de la Unidad Minera Huancapeti - Aija, Ancash? – ¿Cómo se pueden estimar, diseñar y establecer diferentes tipos de sostenimiento para garantizar la estabilidad en las labores operacionales de la mina Hércules en la Unidad Minera Huancapeti - Aija, Ancash? 	<p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> – Caracterizar geomecánicamente el macizo rocoso presente en la zona de explotación de la mina Hércules en la Unidad Minera Huancapeti - Aija, Ancash. – Determinar las propiedades geomecánicas del macizo rocoso en la Unidad Minera Huancapeti - Aija, Ancash. – Establecer los parámetros de resistencia de la masa rocosa en la mina Hércules de la Unidad Minera Huancapeti - Aija, Ancash. – Estimar, diseñar y establecer diferentes tipos de sostenimiento para garantizar la estabilidad en las labores operacionales de la mina Hércules en la Unidad Minera Huancapeti - Aija, Ancash. 	<p>Hipótesis específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> – La caracterización geomecánica del macizo rocoso en la zona de explotación de la mina Hércules permitirá identificar las propiedades mecánicas y estructurales clave, lo que facilitará la implementación de un diseño de sostenimiento adecuado y mejorará la estabilidad de las labores mineras. – Al determinar las propiedades geomecánicas del macizo rocoso en la Unidad Minera Huancapeti, se obtendrá información esencial sobre la resistencia, deformabilidad y comportamiento de la roca, lo que permitirá implementar medidas de sostenimiento eficientes y mejorar la estabilidad de la mina. – Identificar y conocer los parámetros de resistencia de la masa rocosa en la mina Hércules proporcionará información valiosa para determinar la capacidad de carga del macizo rocoso, lo que permitirá diseñar sistemas de sostenimiento 	<p>Método de investigación General: Científico Específico: Inductivo–deductivo</p> <p>Diseño de estudio Cuasi Experimental</p> <p>Instrumento y técnica ficha de mapeo geomecanico Observación</p> <p>Procesamiento Presentación descriptiva con tablas de frecuencia, gráficos y estadística inferencial.</p>

		<p>adecuados para garantizar la estabilidad y seguridad en las operaciones mineras.</p> <ul style="list-style-type: none">– Mediante una evaluación geomecánica, se podrá estimar y diseñar diferentes tipos de sostenimiento específicos detallados para las condiciones geológicas del macizo rocoso en la mina Hércules. La implementación de estos sistemas de sostenimiento mejorará la estabilidad y seguridad de las labores operativas en la Unidad Minera Huancapeti.	
--	--	--	--

Anexo 2: Guía de Observación de la Clasificación Geomecánica RMR89

Parámetros de clasificación

1	Resistencia de la roca Intacta (MPa)	Índice de carga puntual	> 10	10 - 4	4 - 2	2 - 1	No se usa; es preferible emplear UCS		
		Resistencia a la compresión uniaxial UCS	> 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5	5 - 1	< 1
	Valuación	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD (%)	> 90	90 - 75	75 - 50	50 - 25	< 25			
	Valuación	20	17	13	8	3			
3	Espaciamiento entre discontinuidades (m)	> 2.00	2.00 - 0.60	0.60 - 0.20	0.20 - 0.06	< 0.06			
	Valuación	20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Persistencia (m)	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 20	> 20		
		Valuación	6	4	2	1	0		
		Abertura (mm)	Cerrada	< 0.1	0.1 - 10	10 - 5.0	> 5.0		
		Valuación	6	5	4	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Lustrosa		
		Valuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Sin relleno	Relleno duro (< 5 mm)	Relleno duro (> 5 mm)	Relleno blando (< 5 mm)	Relleno blando (> 5 mm)		
		Valuación	6	4	2	2	0		
		Descomposición	Fresca	Levemente descompuesta	Moder. descompuesta	Altamente descompuesta	Extrem. descompuesta		
		Valuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de excavación (lt/min)	0	0 - 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		Presión de agua / Esfuerzo principal mayor σ	0.0	0.0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Condición general	Completamente seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
	Valuación	15	10	7	4	0			

Corrección por orientación de discontinuidades (6)

Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Regulares	Desfavorables	Muy desfavorables
Valuación	Túneles y labores mineras	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Orientación de discontinuidades en un túnel

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Buzamiento 0° - 20°
Avance con el buzamiento		Avance contra el 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	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable	Regular	Desfavorable

Calificación

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Regular	Pobre	Muy pobre
Valuación	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	≤ 20

Características geotécnicas

Clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de Auto Soporte (T.A. S.) y Vano	20 años para 15 m	1 año para 10 m	1 semana para 5 m	10 horas para 2.5 m	30 minutos para 1 m
Cohesión (Kp/cm ²)	> 4	4 - 3	3 - 2	2 - 1	< 1
Ángulo de fricción interna	> 45°	45° - 35°	35° - 25°	25° - 15°	< 15°

$$RMR = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6$$



UNSCH

FACULTAD DE
INGENIERÍA
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 074-2023-FIMGC

En la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 352-2023-FIMGC-D**, siendo siete días del mes de setiembre del 2023, a horas 11:00 am.; se reunieron los jurados del acto de sustentación, en el Auditorium virtual google meet del Campus Universitario de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Siendo el Jurado de la sustentación de tesis compuesto por el presidente el **Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES**, Jurado el **Dr. Ing. Johnny Henry CCATAMAYO BARRIOS**, Jurado el **MSc. Ing. José Agustín ESPARTA SANCHEZ**, Jurado - Asesor el **MSc. Ing. Roberto Juan GUTIERREZ PALOMINO** y secretario del proceso el **Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**, con el objetivo de recepcionar la sustentación de la tesis denominada titulado: “**EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PARA EL DISEÑO DE SOSTENIMIENTO Y ESTABILIDAD EN LA ZONA DE EXPLOTACIÓN HÉRCULES, UNIDAD MINERA HUANCAPETI, 2023**”, presentado por el/la Sr./Srta., **RONALD GARCIA AUCCASIO**, Bachiller en **Ciencias de la Ingeniería Minas**.

El Jurado luego de haber recepcionado la sustentación de la tesis y realizado las preguntas, el sustentante al haber dado respuesta a las preguntas, y el Jurado haber deliberado; califica con la nota aprobatoria de **16 (dieciséis)**.

En fe de lo cual, se firma la presente acta, por los miembros integrantes del proceso de sustentación.



Firmado digitalmente por
Dr. Ing. Efraín Elías Porras
Flores
Fecha: 2023.09.08 19:16:06
-05'00'

Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES
Presidente



Firmado
digitalmente por
Dr. Ing. Johnny H.
Ccatamayo Barrios
Fecha: 2023.09.08
11:12:18 -05'00'

Dr. Ing. Johnny Henry CCATAMAYO BARRIOS
Jurado



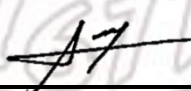
Firmado digitalmente
por Mg. Ing. Roberto
J. Gutierrez Palomino

MSc. Ing. Roberto Juan GUTIERREZ PALOMINO
Jurado Asesor



Firmado digitalmente por
Mg. Ing. José Agustín
Esparta Sánchez
Fecha: 2023.09.07
14:43:37 -05'00'

MSc. Ing. José Agustín ESPARTA SANCHEZ
Jurado


Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR
Secretario del Proceso
Departamento Académico de Matemática y Física



C.c.:
Bach. RONALD GARCIA AUCCASIO
Jurados (4)
Archivo



UNSCH

FACULTAD DE
INGENIERÍA
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA N° 070-2023-FIMGC

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, en segunda instancia para las **Escuelas Profesionales** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 288-2023-FIMGC- UNSCH-D**, deja constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

Apellidos y Nombres : GARCIA AUCCASIO, Ronald
Escuela Profesional : INGENIERÍA DE MINAS
Título de la Tesis : “EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PARA EL DISEÑO DE SOSTENIMIENTO Y ESTABILIDAD EN LA ZONA DE EXPLOTACIÓN HÉRCULES, UNIDAD MINERA HUANCAPETI, 2023”
Evaluación de la Originalidad : 14 % Índice de Similitud
Identificador de la entrega : 2156354946

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 02 de setiembre del 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado
Departamento Académicos de Matemática y Física



Con depósito para Sustentación y Tramites
Cc. Archivo

“EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PARA EL DISEÑO DE SOSTENIMIENTO Y ESTABILIDAD EN LA ZONA DE EXPLOTACIÓN HÉRCULES, UNIDAD MINERA HUANCAPETI, 2023”

por Ronald Garcia Auccasio

Fecha de entrega: 02-sep-2023 11:35a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2156354946

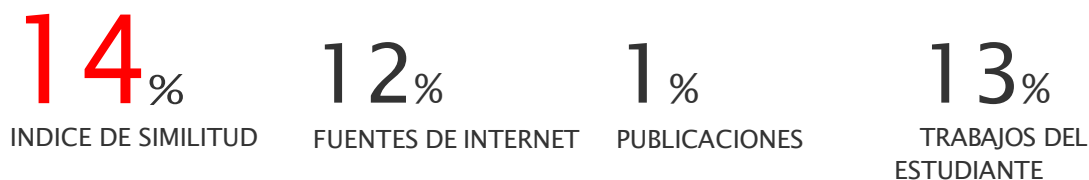
Nombre del archivo: Tesis_GARCIA_AUCCASIO RONALD_EPIM.pdf (2.75M)

Total de palabras: 18240

Total de caracteres: 114099

“EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PARA EL DISEÑO DE SOSTENIMIENTO Y ESTABILIDAD EN LA ZONA DE EXPLOTACIÓN HÉRCULES, UNIDAD MINERA HUANCAPETI, 2023”

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	8%
	Trabajo del estudiante	
2	repositorio.unsch.edu.pe	4%
	Fuente de Internet	
3	repositorio.unasam.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
4	cybertesis.uni.edu.pe	< 1%
	Fuente de Internet	
5	repositorio.undac.edu.pe	< 1%
	Fuente de Internet	

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo