

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Análisis geomecánico del macizo rocoso para el
diseño de sostenimiento de un pique inclinado, unidad
minera Acaccluyocc**

Lincoln Urbano Mendez
Ghim Angel Tabraj Rosado

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería

DE : Julio Fredy Porras Mayta
Asesor de trabajo de investigación

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

FECHA : 25 de Octubre de 2024

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

Título:

"ANÁLISIS GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO PARA EL DISEÑO DE SOSTENIMIENTO DE UN PIQUE INCLINADO, UNIDAD MINERA ACACCLLUYOCC"

Autores:

1. LINCOLN URBANO MENDEZ – EAP. Ingeniería de Minas
2. GHIM ANGEL TABRAJ ROSADO – EAP. Ingeniería de Minas

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 17 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- | | | |
|--|--|--|
| • Filtro de exclusión de bibliografía | SI <input checked="" type="checkbox"/> | NO <input type="checkbox"/> |
| • Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): 20 | SI <input checked="" type="checkbox"/> | NO <input type="checkbox"/> |
| • Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante | SI <input type="checkbox"/> | NO <input checked="" type="checkbox"/> |

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

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

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

ASESOR

Ing. Julio Fredy Porras Mayta

DEDICATORIA

Quiero agradecer a mis padres por los consejos y tolerancia que me han brindado y ese respaldo incondicional para culminar esta etapa de mi vida. A mi esposa y a mi hija que han sido el principal apoyo en estos momentos.

Bach. Lincoln Urbano Méndez

A mi madre por su apoyo inquebrantable y por brindarme una educación de calidad. A mis familiares por su incesante apoyo moral en la búsqueda de mi crecimiento profesional.

Bach. Ghim Angel Tabraj Rosado

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, queremos agradecer a la unidad minera Acaccluyoc por facilitarnos información de las diferentes labores y por su empatía.

En segundo lugar, queremos expresar nuestra más profunda gratitud a nuestro asesor: Julio Fredy Porras Mayta, quien con su vasta experiencia y conocimiento realizó contribuciones notables para el desarrollo y culminación exitosa de este trabajo, especialmente por su paciencia, transparencia su crítica constructiva, las cuales permitieron mejorar significativamente la calidad de nuestra tesis.

De igual forma, quisiéramos agradecer a los docentes de la facultad de Ingeniería de Minas por compartir su sapiencia y experiencia profesional.

Los autores

ÍNDICE DE CONTENIDO

ASESOR	1
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	16
1.1 Planteamiento y formulación del problema	16
1.1.1 Problema general	17
1.1.2 Problemas específicos.....	17
1.2 Objetivos	17
1.2.1 Objetivo general	17
1.2.2 Objetivos específicos	17
1.3 Justificación de la investigación.....	18
1.4 Delimitación del proyecto	19
1.4.1 Delimitación espacial	19
1.4.2 Delimitación temporal	19
1.4.3 Delimitación económica	19
1.5 Hipótesis y variables	19
1.5.1 Hipótesis general	19
1.5.2 Hipótesis específicas.....	19
1.5.3 Variables.....	20
1.5.4 Matriz de operacionalización de variables.....	20
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	21
2.1 Antecedentes del problema	21
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	21
2.1.2 Antecedentes nacionales	29
2.2 Bases teóricas	36
2.2.1 Aspectos geomecánicos	36
2.2.2 El criterio RMR de Bieniawski (1989).....	36
2.2.3 Resistencia a la compresión de la roca intacta (RC).....	38

2.2.4 El RQD (Rock Quality Designation).....	38
2.2.5 Propiedades de las discontinuidades.....	38
2.2.6 Sistema Q de Barton	40
2.2.7 Clasificación según el índice de resistencia geológica (GSI)	41
2.2.8 Diseño geomecánico del método de minado:	41
2.2.9 Efectos de la voladura en el macizo rocoso.....	42
2.2.10 Tamaño y geometría de excavaciones	42
2.2.11 Desate de rocas	44
2.2.12 Tiempo de auto sostenimiento	45
2.2.13 Secuencia de explotación.....	45
2.2.14 Sostenimiento de excavaciones:	45
2.2.15 Tipos de sostenimiento de mina subterránea:	46
2.3 Definición de términos básicos	48
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	51
3.1 Métodos y alcances de la investigación	51
3.1.1 Método general	51
3.1.2 Tipo de investigación.....	51
3.1.3 Nivel de investigación	51
3.2 Diseño de investigación	51
3.3 Población y muestra	52
3.3.1 Población	52
3.3.2 Muestra	52
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	52
3.4.1 Técnicas de recolección de datos.....	52
3.4.2 Instrumentos de recolección de datos	52
3.5 Técnicas de procesamiento de datos	53
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
4.1 Evaluación de las propiedades de la roca intacta	54
4.1.1 Propiedades físicas	54
4.1.2 Propiedades mecánicas	60
4.1.3 Análisis estereográfico	61
4.1.4 Procesamiento de datos de campo	62
4.1.5 Uso del software de Geotable – evaluación geomecánica.....	66
4.1.6 Datos técnicos del sostenimiento eventual	70
4.1.7 Precio unitario de sostenimiento.....	71
4.1.8 Indicaciones para la colocación del sostenimiento	72
4.2 Discusión de resultados.....	76

CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES.....	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
ANEXOS	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables.....	20
Tabla 2. Valor de índice RMR. (13)	37
Tabla 3. Valor de índice de RQD (12).....	38
Tabla 4. Valor de índice de RQD (12).....	40
Tabla 7. Características de pernos de anclaje (15).....	46
Tabla 8. Capacidad de la malla metálica para retener rocas sueltas entre pernos (15)	47
Tabla 9. Mezcla referencial de concreto lanzado reforzado con fibra metálica y micro sílice. (15)	48
Tabla 10. Peso de la muestra N° 1	58
Tabla 11. Propiedades físicas muestra N° 1.....	58
Tabla 12. Peso de la muestra N° 2	58
Tabla 13. Propiedades físicas muestra N° 2.....	59
Tabla 14. Peso de la muestra N° 3	59
Tabla 15. Propiedades físicas muestra N° 3.....	59
Tabla 16. Valores del RQD para muestreo lineal	63
Tabla 17. Resultados de la evaluación del RQD.....	64
Tabla 18. Datos del muestro lineal	65
Tabla 19. Datos técnicos perno helicoidal	70
Tabla 20. Precio unitario perno hidrabolt	71
Tabla 21. Precio unitário shotcrete	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Testigos de perforación diamantina.....	38
Figura 2. Espaciado de una discontinuidad.....	39
Figura 3. Persistencia de discontinuidades.	39
Figura 4. Presencia de agua subterránea	39
Figura 5. La forma en arco de las excavaciones favorece la estabilidad y las formas esquinadas desfavorecen la estabilidad	43
Figura 6. Formas de las excavaciones.....	43
Figura 7 Orientación de la excavación con respecto a los rasgos estructurales (15)	44
Figura 8. A mayor tamaño de la excavación se favorece la inestabilidad. (15).....	44
Figura 9. Horno para el secado de la muestra	54
Figura 10. Balanza digital	54
Figura 11. Canastilla para inmersión de la muestra	55
Figura 12. Muestra de roca intacta.....	55
Figura 13. Diagrama de las tres fases para rocas:	56
Figura 14 Representación estereográfica de las discontinuidades	61
Figura 15 Concentración de dip y dip direction.....	61
Figura 16 Orientación dominante de las discontinuidades	62
Figura 17. Valor medio de la razón de esfuerzos.....	62
Figura 18. Software de Geotable	66
Figura 19. Clasificaciones geomecánicas	66
Figura 20. Clasificaciones geomecánicas RMR Bieniawski.....	67
Figura 21. Procesamiento de los datos de acuerdo a la clasificación geomecánicas RMR Bieniawski	68
Figura 22. Resultados del procesamiento de los datos de acuerdo a la clasificación geomecánica del RMR Bieniawski.....	68
Figura 23. Reporte de a clasificación geomecánicas del RMR Bieniawski.....	69
Figura 24. Representación del macizo rocoso de acuerdo al software Geotable	69
Figura 25. Stand – up time – roof spam.....	70

RESUMEN

La investigación se planteó como objetivo general establecer de qué manera influye el análisis geomecánico del macizo rocoso para el diseño de sostenimiento de un pique inclinado, unidad minera Acaccluyoc 2024. Se plantea como hipótesis general que el análisis geomecánico del macizo rocoso que comprende las propiedades físicas, mecánicas de la roca intacta y de las discontinuidades influye directamente en el diseño de sostenimiento de un pique inclinado, unidad minera Acaccluyoc 2024. La metodología de investigación empleada incluye como método general de investigación el científico, tipo aplicada, nivel descriptivo correlacional de diseño no experimental; la población y la muestra estuvo constituida por el pique inclinado, galería principal de la veta Lourdes, zona Cobriza 4 unidad minera Acaccluyoc. La conclusión general señala que se comprobó que la evaluación geomecánica del macizo rocoso presenta un RQD de categoría excelente, espaciamiento de juntas considerada de separadas de persistencia baja, cerradas y no alteradas secas; respecto a la resistencia a la carga puntual se estableció como muy dura; por otro lado, cabe resaltar que los cálculos de las tensiones en el eje vertical horizontal muestran valores de: $\sigma_v = 2.21$ MPa y $\sigma_h = 3.42$ MPa respectivamente. En resumen, la descripción de macizo rocoso muy bueno de clase I con un ángulo de fricción de masa rocosa $> 45^\circ$, la cohesión de la masa rocosa > 400 MPa. Respecto al autosostenimiento, los datos arrojaron que 20 años para un span influyó para el diseño de sostenimiento del pique inclinado a frente completo sin sostenimiento excepto la colocación de pernos en forma esporádica cuando sea necesario, unidad minera Acaccluyoc 2024.

Palabras claves: análisis geomecánico, macizo rocoso, diseño de sostenimiento, pique inclinado

ABSTRACT

The research was proposed as a general objective: To establish how the geomechanical analysis of the rock mass influences the support design of an inclined shaft, Acaccluyocc 2024 mining unit, the general hypothesis was: The geomechanical analysis of the rock mass through which it includes the physical and mechanical properties of the intact rock and the discontinuities that directly influences the support design of an inclined shaft, Acaccluyocc 2024 mining unit. The research methodology used was: general scientific research method, applied type, descriptive level correlational non-experimental design; The population and the sample consisted of: the inclined piqué, main gallery of the Lourdes vein, Cobriza zone 4 Acaccluyocc mining unit. The general conclusion was: It was proven that the geomechanical evaluation of the rock mass which presents an RQD of excellent category, joint spacing considered separated with low persistence, closed and not altered dry; Regarding the resistance to point load, it was established as very hard; On the other hand, it should be noted that the calculations of the stresses in the horizontal vertical axis show values of: $\sigma_v = 2.21$ MPa and $\sigma_h = 3.42$ MPa respectively. In summary, the description of a very good class I rock mass with a rock mass friction angle $> 45^\circ$, the cohesion of the rock mass > 400 MPa, with respect to self-sustaining the data gave us 20 years for a span of influence for the support design of the full face inclined shaft without support except for the placement of bolts sporadically when necessary, Acaccluyocc 2024 mining unit.

Keywords: geomechanical analysis, rock mass, support design, inclined shaft

INTRODUCCIÓN

La presente tesis titulada: «Análisis geomecánico del macizo rocoso para el diseño de sostenimiento de un pique inclinado, unidad minera Acaccluyoc» partió de la problemática de que la construcción de labores mineras subterráneas es una actividad que enfrenta numerosos desafíos debido a la complejidad geológica y geotécnica de los macizos rocosos. Sin embargo, en muchos casos, se observa una falta de evaluación geomecánica adecuada del macizo rocoso antes y durante la construcción de estas labores.

Esto puede conducir a una serie de problemas que afectan la seguridad, la eficiencia y la viabilidad económica de las operaciones mineras subterráneas, entre las que podemos citar:

Riesgos de estabilidad: la falta de evaluación geomecánica del macizo rocoso puede llevar a una subestimación de los riesgos de estabilidad. Esto puede resultar en eventos catastróficos como derrumbes, hundimientos o fallas de roca, poniendo en peligro la seguridad de los trabajadores y la integridad de la infraestructura minera.

Aumento de costos: la falta de evaluación adecuada del macizo rocoso puede dar lugar a la implementación de medidas de sostenimiento insuficientes o inadecuadas. Esto puede resultar en costos adicionales debido a reparaciones, refuerzos adicionales y detenciones de producción para abordar problemas de estabilidad imprevistos.

Impacto en la producción: la inestabilidad del macizo rocoso puede afectar la planificación y ejecución de las actividades mineras, lo que resulta en interrupciones no programadas de la producción. Estas interrupciones pueden tener un impacto significativo en la productividad y rentabilidad de la operación minera.

Amenazas a la seguridad: la falta de evaluación geomecánica adecuada del macizo rocoso puede exponer a los trabajadores a condiciones de trabajo peligrosas, como la exposición a rocas sueltas, zonas de fractura inestables o áreas propensas a colapsos repentinos.

Reputación y responsabilidad social: los incidentes relacionados con la inestabilidad del macizo rocoso pueden dañar la reputación de la empresa minera y su relación con las comunidades locales. La falta de una evaluación geomecánica adecuada puede interpretarse como negligencia en materia de seguridad y responsabilidad social empresarial.

Para una mejor comprensión, esta investigación fue desarrollada en cinco capítulos cuyos contenidos son como siguen

En el capítulo I se presenta la estructura del estudio, describiendo la formulación del problema, tanto general como específica. También se establecen los objetivos generales y específicos, se explica la justificación tanto práctica como metodológica, seguidamente se da a conocer la delimitación espacial temporal y económica; para concluir con la exposición de la hipótesis general, las hipótesis específicas y las variables de la investigación.

El capítulo II, titulado Marco teórico, incluye los antecedentes tanto nacionales como internacionales, se exponen las bases teóricas y finaliza con la definición de los términos básicos utilizados en la investigación.

El capítulo III, denominado Metodología, se centra en la metodología de la investigación, destacando el método general, el tipo, nivel y diseño del estudio, además de la población y muestra. También se describen las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de datos.

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

Finalmente, se incluyen las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

La construcción de labores mineras subterráneas es una actividad que enfrenta numerosos desafíos debido a la complejidad geológica y geotécnica de los macizos rocosos. Sin embargo, en muchos casos, se observa una falta de evaluación geomecánica adecuada del macizo rocoso antes y durante la construcción de estas labores. Esto puede conducir a una serie de problemas que afectan la seguridad, la eficiencia y la viabilidad económica de las operaciones mineras subterráneas, entre las que podemos citar:

Riesgos de estabilidad: la falta de evaluación geomecánica del macizo rocoso puede llevar a una subestimación de los riesgos de estabilidad. Esto puede resultar en eventos catastróficos como derrumbes, hundimientos o fallas de roca, poniendo en peligro la seguridad de los trabajadores y la integridad de la infraestructura minera.

Aumento de costos: la falta de evaluación adecuada del macizo rocoso puede dar lugar a la implementación de medidas de sostenimiento insuficientes o inadecuadas. Esto puede resultar en costos adicionales debido a reparaciones, refuerzos adicionales y detenciones de producción para abordar problemas de estabilidad imprevistos.

Impacto en la producción: la inestabilidad del macizo rocoso puede afectar la planificación y ejecución de las actividades mineras, lo que resulta en interrupciones no programadas de la producción. Estas interrupciones pueden tener un impacto significativo en la productividad y rentabilidad de la operación minera.

Amenazas a la seguridad: la falta de evaluación geomecánica adecuada del macizo rocoso puede exponer a los trabajadores a condiciones de trabajo peligrosas, como la exposición a rocas sueltas, zonas de fractura inestables o áreas propensas a colapsos repentinos.

Reputación y responsabilidad social: los incidentes relacionados con la inestabilidad del macizo rocoso pueden dañar la reputación de la empresa minera y su relación con las comunidades locales.

La falta de una evaluación geomecánica adecuada puede interpretarse como negligencia en materia de seguridad y responsabilidad social empresarial. Por lo tanto, es esencial realizar un análisis exhaustivo de las características geomecánicas del macizo rocoso para desarrollar sistemas de sostenimiento efectivos que mitiguen los riesgos de colapso y falla estructural.

1.1.1 Problema general

¿De qué manera influye el análisis geomecánico del macizo rocoso para el diseño de sostenimiento de un pique inclinado, unidad minera Acaccluyocc 2024?

1.1.2 Problemas específicos

- a) ¿Cuál es el resultado de la evaluación geológica y geotécnica del macizo rocoso en el área del inclinado?
- b) ¿Cuál es el resultado de evaluación de las propiedades mecánicas de las rocas presentes en el macizo?
- c) ¿Cuál es el resultado de la evaluación de la deformación y falla del macizo rocoso bajo las condiciones de carga del inclinado?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Establecer de qué manera de qué manera influye el análisis geomecánico del macizo rocoso para el diseño de sostenimiento de un pique inclinado, unidad minera Acaccluyocc 2024

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Efectuar la evaluación geológica y geotécnica del macizo rocoso en el área del inclinado.

- b) Determinar el resultado de evaluación de las propiedades mecánicas de las rocas presentes en el macizo.
- c) Establecer el resultado de la evaluación de la deformación y falla del macizo rocoso bajo las condiciones de carga del inclinado.

1.3 Justificación de la investigación

Se espera que esta investigación proporcione una comprensión detallada del comportamiento geomecánico del macizo rocoso en el área del inclinado, así como recomendaciones sólidas para el diseño y la implementación de un sistema de sostenimiento efectivo, para lo cual se considerará:

La seguridad estructural teniendo en cuenta que el análisis geomecánico permite evaluar la estabilidad del macizo rocoso y prever posibles formas de deformación y falla bajo las condiciones de carga esperadas. Esto es crucial para garantizar la seguridad de las estructuras subterráneas y prevenir accidentes catastróficos.

La optimización del diseño o comprender las propiedades geomecánicas del macizo rocoso, esto permite optimizar el diseño del sistema de sostenimiento. Al adaptar el tipo y la ubicación de los elementos de sostenimiento a las características específicas del macizo, se puede mejorar la eficiencia y la economía de la estructura subterránea.

La reducción de costos y tiempos de construcción efectuando un análisis geomecánico preciso, lo que ayuda a evitar problemas de estabilidad durante la construcción, lo que puede resultar en retrasos y costos adicionales.

Al diseñar sistemas de sostenimiento adecuados desde el principio, se pueden reducir los costos y los tiempos de construcción asociados con la corrección de problemas geotécnicos.

La sostenibilidad ambiental al minimizar los riesgos de colapso y falla de las estructuras subterráneas, ya que el análisis geomecánico contribuye a la sostenibilidad ambiental al prevenir la contaminación del suelo y el agua, así como la generación de residuos asociados con reparaciones y mantenimiento.

El desarrollo de infraestructura del análisis geomecánico proporciona la base para el desarrollo seguro y sostenible de infraestructuras subterráneas, facilitando la expansión de redes

de transporte, energía y recursos naturales. Esto permitirá mitigar los riesgos asociados con la estabilidad del inclinado y garantizar su funcionamiento seguro y eficiente.

1.4 Delimitación del proyecto

1.4.1 Delimitación espacial

La investigación se llevará a cabo en la unidad minera Acaccluyocc, Zona: Cobriza 4, veta Lourdes galería principal, la labor a ejecutarse será el pique inclinado, región de Huancavelica – Churcampa, anexo San Pedro de Coris localidad de Carhuancho.

1.4.2 Delimitación temporal

La investigación se desarrollará entre los meses de marzo a junio de 2024.

1.4.3 Delimitación económica

Los gastos que genere el desarrollo de la investigación serán cubiertos por los bachilleres denominados investigadores.

1.5 Hipótesis y variables

1.5.1 Hipótesis general

El análisis geomecánico del macizo rocoso, que comprende las propiedades físicas, mecánicas de la roca intacta y de las discontinuidades, influye directamente en el diseño de sostenimiento de un pique inclinado, unidad minera Acaccluyocc 2024

1.5.2 Hipótesis específicas

- a) La evaluación geológica y geotécnica del macizo rocoso en el área influye directamente en el diseño de sostenimiento del pique inclinado
- b) La evaluación de las propiedades mecánicas de las rocas presentes en el macizo influye directamente en el diseño de sostenimiento del pique inclinado
- c) La evaluación de la deformación y falla del macizo rocoso bajo las condiciones de carga influye directamente en el diseño de sostenimiento del pique inclinado

1.5.3 Variables

a) Variable independiente

X1: Análisis geomecánico del macizo rocoso

- **Dimensiones:**

- ✓ Evaluación geológica y geotécnica del macizo rocoso.
- ✓ Evaluación de las propiedades físicas.
- ✓ Evaluación de las propiedades mecánicas.
- ✓ Evaluación de la deformación y falla del macizo rocoso

b) Variable dependiente

Y1: Diseño de sostenimiento

- **Dimensiones:**

- ✓ Tipo de sostenimiento
- ✓ Tiempo de instalación del sostenimiento
- ✓ Longitud de pase
- ✓ Dimensiones del sostenimiento

1.5.4 Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables

Variable	Concepto	Dimensión	Unidad
Independiente	El análisis geomecánica de un macizo rocoso, permite estimar su comportamiento ante los esfuerzos generados por diversas obras de ingeniería, como presas, excavaciones superficiales o subterráneas	➤ Evaluación geológica y geotécnica del macizo rocoso.	S/U
		➤ Evaluación de las propiedades físicas.	
		➤ Evaluación de las propiedades mecánicas.	MPa
Dependiente	Los sistemas de sostenimiento temporal sirven para soportar el perímetro de una abertura subterránea desde el inicio de su excavación hasta que se coloca un revestimiento permanente.	➤ Tipo de sostenimiento	S/U
		➤ Tiempo de instalación del sostenimiento	hr
		➤ Longitud de pase	m
		➤ Dimensiones del sostenimiento	m

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes internacionales

- a) Tesis titulada: “*Evaluación y caracterización del macizo rocoso para la identificación del comportamiento de los diferentes tipos de sostenimiento en la Mina El Roble, El Carmen de Atrato, Chocó, Colombia*”. El objetivo general de la investigación fue evaluar el desempeño de los diversos tipos de sostenimiento empleados en los socavones mediante la caracterización del macizo rocoso en todos los niveles explotados, así como en los niveles y frentes de explotación activos de la Mina El Roble, realizando un análisis de ciertos aspectos de la geología estructural y la geomecánica. Esto con el objetivo de aplicar los resultados a futuros proyectos de explotación (1).

Los objetivos específicos fueron:

- ✓ Determinar el *rock mass rating* (RMR) a partir de la caracterización de discontinuidades como fallas, fracturas y diaclasas.
- ✓ Calcular el *geological strength index* (GSI) utilizando el *rock mass rating*.
- ✓ Realizar la corrección de Bieniawski, considerando la orientación de las discontinuidades principales con respecto a la dirección de la labor, para obtener un "Modelo corregido de la zonificación geomecánica basado en RMR".
- ✓ Recomendar el tipo de sostenimiento adecuado según los parámetros RMR y GSI.

- ✓ Correlacionar las fallas geológicas en profundidad y en rumbo en los diferentes niveles desarrollados y en desarrollo de la mina.
- ✓ Proponer un nuevo modelo estructural y compararlo con el modelo existente.

Producto de su investigación planteo las siguientes conclusiones:

- ✓ La caracterización geomecánica basada en el RMR corregido muestra que el nivel 1692 tiene un macizo rocoso de calidad regular (tipo IVA) a moderada (tipo III B), con un RMR entre 31 y 50. Sin embargo, se observa una disminución a un macizo rocoso de mala calidad en las zonas de contacto litológico (tipo IV B), con un RMR de 24 a 31, y un leve incremento en la calidad en algunos sectores hacia el interior del nivel (tipo III A), con un RMR de 51.
- ✓ Según el sistema de clasificación GSI, el nivel 1692 tiende a ser un macizo rocoso de intensamente a moderadamente fracturado con condiciones regulares a pobres (IF-MF/R-P), y cambios repentinos donde las condiciones del macizo oscilan entre pobres a muy pobres (IF-MF/P-MP), y regulares a buenas (MF/R-B).
- ✓ En el nivel 1692, el sostenimiento más utilizado en labores subterráneas temporales y permanentes fue de tipo C y tipo D, empleando mayormente shotcrete (SH), pernos Split set (SS), pernos helicoidales (PH), y malla electrosoldada (M). En contraste, el sostenimiento tipo E, que involucra enfilajes (ENF), fue el menos utilizado. Este sostenimiento se ajustó a las condiciones y calidades encontradas en cada avance, contribuyendo a la estabilización de los frentes de trabajo y garantizando la seguridad del personal y equipos durante la explotación.
- ✓ La zonificación geomecánica del nivel 1692 basada en un RMR corregido permitió identificar las zonas con potencial riesgo de inestabilidad, influenciadas por la orientación de las discontinuidades principales. Este modelo sirve como referencia para otros niveles, esperando mejorar conforme se detallan parámetros que influyen en la calidad del macizo, como el grado y tipo de alteración dominante.
- ✓ En el nivel 1692, se identificó un potencial riesgo por formación de cuñas que generan condiciones desfavorables en los tajos con avance al W y al N, así como en la galería y ventana sur. Por el contrario, las cuñas presentan condiciones favorables en los tajos con avance hacia el E, en la galería y ventana norte.

- ✓ Los contactos litológicos del cuerpo Zeus son las zonas más críticas en términos de estabilidad. Con el modelo estructural propuesto, se podrá estimar la disposición de las fallas de contacto que delimitan el cuerpo Zeus en los niveles próximos a explotar, permitiendo una valoración previa de la calidad del macizo rocoso y del sostenimiento requerido, lo cual es clave para definir la zona de acceso más conveniente a un nuevo nivel.
 - ✓ Las fallas geológicas identificadas en el cuerpo Zeus presentan dos tendencias principales: la primera, con un buzamiento medio de 87° y una dirección de buzamiento media de 180° ($87^\circ/180^\circ$), que en notación cuadrantal se expresa como una tendencia casi E-W con altos ángulos de buzamiento hacia el E, y que se relaciona con la Falla La Mansa, de tendencia SE-NW y alto ángulo de buzamiento hacia el E. La segunda tendencia presenta un buzamiento medio de 43° y una dirección de buzamiento media de 85° ($43^\circ/85^\circ$), expresada en notación cuadrantal como una tendencia NNW-SSE, con alto ángulo de buzamiento hacia el E, y se puede relacionar con la Falla San Lorenzo, de rumbo N-S y buzamiento preferencial hacia el E.
- b) Tesis titulada: “*Diseño de excavación en la mina “El Pique”, mediante profundización inclinada, ubicada en el barrio El Tablón, Cantón Portovelo, operado por la Compañía Oroconcent S.A.*”. El objetivo general de la investigación fue diseñar la profundización de la mina "El Pique", ubicada en el barrio El Tablón, cantón Portovelo, operada por la compañía Oroconcent S.A. (2).

Sus objetivos específicos fueron:

- ✓ Recopilar información sobre las características y propiedades geológicas tanto regionales como locales del área de investigación, junto con la situación operativa actual.
- ✓ Realizar una valoración geomecánica considerando variables como la resistencia a la compresión uniaxial, propiedades específicas y calidad de la sección de profundización, aplicando la metodología de Bieniawski.
- ✓ Describir la funcionalidad y dimensiones del pique que se va a profundizar.
- ✓ Diseñar un modelo de excavación basado en los ciclos operativos: franqueo, perforación y voladura, sostenimiento, drenaje, ventilación y recursos humanos.
- ✓ Realizar un análisis de costos del diseño propuesto.

Sus conclusiones fueron:

- ✓ La recopilación de información académica ha permitido correlacionar las características y propiedades geológicas tanto regionales como locales. Geológicamente, Portovelo se encuentra en una zona de fallas, incluyendo la cizalladura de las fallas Piñas-Portovelo y Puente Busa, facilitando la formación de yacimientos minerales. El Tablón 3 está en la unidad geológica Portovelo, compuesta por andesitas porfídicas, que contactan con la unidad geológica metamórfica El Oro, compuesta principalmente por gabros andesíticos.
- ✓ En la zona de El Pique se encuentra una formación de andesitas atravesada por vetas de cuarzo y calcita, que constituyen el sistema de vetas en la unidad Portovelo. Actualmente, la mina es operativa en el nivel 3, con cuatro frentes de explotación usando el *método cut and fill*. Se extrae mineral aurífero de los diferentes frentes, transportándolo a través de galerías hasta la tolva de descarga hacia el pique, para luego ser extraído en el skip minero.
- ✓ La clasificación geomecánica según la metodología de Bieniawski (RMR) concluye que la calidad del macizo rocoso es "buena" con 71 puntos, considerando las características de las discontinuidades y la resistencia a la compresión uniaxial de la roca caja y mena.
- ✓ Tras revisar la funcionalidad y dimensiones del pique, se concluyó que esta labor permitirá llegar a las reservas en la cota 589 msnm, teniendo luego una función secundaria como labor de servicio y acceso.
- ✓ Se optó por una sección rectangular que ofrece ventajas en maniobrabilidad, confort y mayor área para transportar maquinaria, insumos y personal. La geomecánica favorable permite labores con esta sección transversal. Las dimensiones propuestas son 1.7 m de ancho y 1.6 m de altura, con una inclinación de 45° y una longitud total de excavación de 70.71 metros, determinadas por el tipo de maquinaria y elementos de izaje a utilizar.
- ✓ El diseño del ciclo de perforación y voladura se basó en la metodología de Roger Holmberg, considerando las características del explosivo y la valoración geomecánica para obtener taladros de alivio equivalentes, utilizando 3 taladros vacíos. Se definieron parámetros como la longitud efectiva de perforación y burden óptimos, resultando en una sección de corte con 4 cuadrángulos y una densidad de carga de 0.59 kg/m. Los taladros de corte emplearán Emulsen 5000x 1 1/8" X 7" y ANFO como carga de columna, con un espacio de taco de 0.38 m. Se calcularon la apertura y distanciamiento de hastiales, zapatera y techo, con un factor de carga de 0.56 kg/m y un ángulo de inclinación de perforación de 3 grados,

resultando en 30 taladros cargados. El sistema de iniciación usará detonadores no eléctricos con retardos distribuidos de 25 a 1000 ms, del centro al exterior.

- ✓ El ciclo de fortificación, basado en la clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR) con 71 puntos, sugiere una fortificación ocasional dependiendo de la magnitud de las discontinuidades. Se propone el uso de bulones combinados con malla electrosoldada y, en casos poco probables, hormigón lanzado de 50 mm de espesor.
 - ✓ Para la ventilación, siguiendo la normativa del Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo en el Ámbito Minero (Registro Oficial N° 339 – Tercer Suplemento, Art. 107), se detalló el uso de ventiladores auxiliares para labores con una sola vía de acceso y un avance superior a 60 m. Aunque la labor de profundización no requerirá ventilación adicional al tener una longitud de 58.6 m, se calcularon los requisitos de caudal considerando el número de trabajadores, temperatura, profundidad y uso de explosivos, resultando en un caudal requerido de 564.36 m³/min. El ciclo de ventilación se realizará durante el cambio de turno, evacuando los gases de la voladura en 1 a 1.5 horas.
- c) Tesis titulada: *“Análisis Geológico – Geomecánico De Pilares De Roca Mediante Perforaciones De Auscultación, En Los Sectores Productivos Mina Esmeralda Y Mina Pilar Norte, Pertenecientes A La División El Teniente, Codelco, Región Del Libertador General Bernardo O’Higgins, Chile”*. El objetivo general fue realizar la caracterización geológica-geomecánica del macizo rocoso primario que conforma siete pilares de roca, ubicados en los sectores productivos de las minas Pilar Norte y Esmeralda, pertenecientes a la División El Teniente, mediante perforaciones de auscultación. (3)

Los objetivos específicos fueron:

- ✓ Asociar los daños observados en perforaciones de auscultación en pilares con un determinado nivel de esfuerzo en las distintas litologías presentes en las minas Esmeralda y Pilar Norte.
- ✓ Utilizar el daño tipo “breakout” presente en las perforaciones como parámetro para estimar la magnitud y orientación del estado tensional en el macizo rocoso de los pilares y analizar su variación debido a la minería.
- ✓ Estimar posibles correlaciones entre las diferentes condiciones de daño, la calidad geotécnica y la litología de los pilares de roca mediante técnicas analíticas y empíricas.

- ✓ Determinar la zona “plastificada” de los pilares utilizando una cámara de perforación y aplicando el Índice de Daño de la Perforación (IDP).
- ✓ Cuantificar el efecto del daño observado en la condición de estabilidad de los pilares de roca utilizando la cámara de perforación.
- ✓ Evaluar la correlación entre el comportamiento observado en campo de los pilares de roca y los métodos de diseño semi-empíricos actualmente utilizados para estos elementos.

Producto de su investigación planteo las siguientes conclusiones:

- ✓ El análisis de pilares mediante perforaciones de auscultación con Borehole Camera establece una correlación entre el parámetro geomecánico IDP y el parámetro RQD. Altos valores de RQD se asocian con valores IDP tipo I, II y III, indicando que estas zonas, principalmente hacia la parte interna y el núcleo del pilar, aún soportan carga. Sin embargo, esta carga no es uniforme a lo largo del pilar. En contraste, los bordes del pilar muestran valores bajos de RQD asociados con un IDP tipo IV, demostrando deterioro y baja capacidad de carga según la curva esfuerzo-deformación.
- ✓ La principal condición de inestabilidad en los pilares se asocia al daño tipo IV observado en los tramos iniciales de los tiros de auscultación. Este fenómeno, conocido como “descostramiento”, se traduce en una pérdida de sección y de confinamiento del núcleo del pilar.
- ✓ Se definió una geometría efectiva del pilar que asume mayoritariamente la carga aplicada. Esta geometría se determinó mediante proyecciones del daño en el pilar. Dado que la forma de los pilares puede variar, se puede integrar esta aproximación con la técnica de tomografía sísmica para obtener una radiografía más detallada de la condición interna del macizo rocoso.
- ✓ Una observación importante en las auscultaciones de los pilares es la presencia del IDP tipo III, también conocido como daño “oreja de perro” o daño tipo breakout. Esta condición ocurre en respuesta a la anisotropía de esfuerzos generada por la perforación. Los breakouts pueden proporcionar información valiosa sobre la condición del estado tensional que rodea la perforación, permitiendo cuantificar la magnitud y la dirección de los esfuerzos principales que afectan al pilar.

- d) Tesis titulada: “*Caracterización del macizo rocoso ubicado en el sector Ingamullo II, km 11, proyecto: reconstrucción de la carretera Gualaceo-Limón Indanza, tramo: Gualaceo-Plan de Milagro*”. El objetivo general de la investigación fue caracterizar el macizo rocoso en el sector Ingamullo II - km 11, del proyecto de reconstrucción de la carretera Gualaceo-Limón Indanza, tramo Gualaceo-Plan de Milagro (4).

Los objetivos específicos fueron:

- ✓ Fundamentar teóricamente las variables de estudio a través de una revisión exhaustiva de la bibliografía, con el objetivo de analizar las implicaciones del tema de estudio.
- ✓ Realizar un análisis de campo mediante la extracción de muestras del macizo rocoso, con el propósito de identificar las propiedades físico-mecánicas del suelo.
- ✓ Determinar el estado del macizo rocoso en el proyecto de reconstrucción de la carretera Gualaceo-Limón Indanza, tramo Gualaceo-Plan de Milagro.

Las conclusiones fueron:

- ✓ La fundamentación teórica de todas las variables de estudio fue una parte crucial de esta investigación. A partir de esta base, se abordó el macizo rocoso dentro del área de la mecánica de las rocas, detallando características como la resistencia a la compresión simple, la resistividad y la matriz rocosa.
- ✓ El análisis de campo se llevó a cabo mediante trabajo in situ, ya que fue necesario extraer muestras para la toma de datos y la caracterización rocosa. Este trabajo permitió realizar una serie de ensayos, como la clasificación geomecánica, la resistencia a la compresión simple, la determinación del índice de calidad de la roca (RQD) y el análisis de discontinuidades dentro del macizo rocoso. Además, se determinó el tipo de soporte adecuado basado en las características físicas del macizo.
- ✓ El estado del macizo rocoso mostró que está mayormente compuesto por roca metamórfica sólida, con una resistencia a la compresión promedio de 31,74 MPa, clasificándose como R3 (moderadamente resistente). El índice RQD varió entre el 80% y el 90%, indicando una calidad de roca buena. Las discontinuidades presentaron separaciones entre 1 y 5 mm, con caras duras y resbalosas; la mayoría de las diaclasas eran continuas, clasificándose como tipo pobre Clase IV. Para su soporte, se recomendó el uso de pernos sistemáticos de 4 a 5 m de largo, con un espaciamiento de 1 a 1.5 a 2 m en el techo y las paredes, complementado con malla.

- e) Tesis titulada: “*Modelo geomecánico preliminar del macizo rocoso de cantera normal de mina Jilguero, región de Atacama, Chile*”. El objetivo general de la investigación fue desarrollar un modelo geomecánico inicial del macizo rocoso de la Cantera Normal de Mina Jilguero (5).

Los objetivos específicos fueron:

- ✓ Establecer la distribución espacial y describir las diversas unidades geológico-estructurales presentes en Cantera Normal.
- ✓ Identificar el comportamiento geomecánico de las unidades de roca en Cantera Normal.
- ✓ Elaborar la zonificación de las calidades geotécnicas del macizo rocoso.

Producto de su investigación planteo las siguientes conclusiones:

- ✓ A partir de las 97 estaciones de mapeo ubicadas en la faena, se identifican 4 dominios estructurales (denominados A, B, C y D), según se detalla en la tabla 6.1. Además, se realizan evaluaciones de la calidad geotécnica del macizo rocoso, revelando que en general, cantera normal posee una calidad geotécnica media, según la clasificación de Bieniawski (1989), con una calificación promedio de RMR89 de 53, y un promedio de GSI de Marinos y Hoek (2000) de 48.
- ✓ Se observan diferencias en el comportamiento geomecánico entre las unidades geológicas. La volcarenita muestra una calidad geotécnica superior en comparación con las unidades calcáreas caliza inferior, media y superior. Sin embargo, esto se ve mitigado por las discontinuidades asociadas a esta unidad, caracterizadas por rugosidades bajas, rellenos blandos y aberturas significativas. La caliza superior, por su parte, presenta una calidad geotécnica influenciada por la presencia de más discontinuidades debido a su naturaleza de bloques tabulares con espaciados menores y planos de fisibilidad. Las estructuras mayores también influyen en la calidad geotécnica, siendo las zonas de mala calidad asociadas a la presencia de diques de guijarros y áreas de alteración ferruginosa con texturas brechosas.
- ✓ A pesar de las diferencias entre las unidades vulcano sedimentarias y calcáreas, las discontinuidades del macizo rocoso son el principal factor que condiciona su comportamiento geomecánico. Es crucial controlar las estructuras con rellenos blandos, rugosidades bajas y aberturas considerables, especialmente si son estructuras mayores con inclinaciones a favor del frente de explotación, como se observa en el dominio estructural D.

- ✓ Dado que las estimaciones cualitativas de la resistencia de la roca intacta son limitadas, se sugiere realizar ensayos de laboratorio uniaxiales, carga puntual y de velocidades de propagación de ondas en muestras obtenidas in situ para determinar los parámetros resistentes y las propiedades índices de las diferentes unidades geológicas. Se propone además ajustar el proceso de voladura, disminuyendo el factor de carga en áreas afectadas por diques de gujarros para prevenir daños en el macizo rocoso de baja calidad geotécnica. Se recomienda realizar campañas de sondajes para obtener una mejor comprensión de las unidades basales estratigráficas, así como muestras no perturbadas para evitar daños durante la fragmentación del macizo rocoso. Se sugiere también realizar análisis de estabilidad de taludes, con énfasis en la posible ocurrencia de deslizamientos planares. Por último, a pesar de la aparente sequedad del macizo rocoso, se aconseja llevar a cabo estudios hidrogeológicos para evaluar el impacto de las precipitaciones en la cantera.

2.1.2 Antecedentes nacionales

- a) Tesis titulada: “*Análisis geomecánico para determinar la estabilidad del pique central y pique mascota en la mina Yauricocha, 2022*”. El objetivo general de la investigación fue: describir cómo afecta la implementación del análisis geomecánico en la evaluación de la estabilidad del pique central y pique mascota en la mina Yauricocha en 2022 (6).

Los objetivos específicos fueron:

- ✓ Identificar las características de los cuadros del pique central en la mina Yauricocha.
- ✓ Evaluar los resultados del análisis del inclinómetro 01 en la excavación del pique mascota en la mina Yauricocha.
- ✓ Evaluar los resultados del análisis del inclinómetro 02 en la excavación del pique central en la mina Yauricocha.
- ✓ Analizar la deformación y el rango de criticidad del pique central y el pique mascota en la mina Yauricocha.

Producto de su investigación planteo las siguientes conclusiones:

- ✓ El pique central atraviesa una zona de contacto con brecha alterada desde -155 m (Nivel 410) hasta -230 m (Nivel 500), abarcando un tramo crítico de 75 m. El pique mascota también atraviesa una zona de contacto con brecha alterada desde -110 m (Nivel 410) hasta -138 m (Nivel 400), cubriendo un tramo crítico de 28 m.

- ✓ El castillo del pique central muestra deformación, observable en el alineamiento de los cables cuando la jaula está en superficie. Durante la inspección, se evidenció la falta de mantenimiento adecuado en los cuadros del pique central, siendo más críticos los cuadros por debajo del Nivel 465, donde la madera está reseca y llena de material fino acumulado y compactado.

- ✓ Entre los niveles 410 y 465, la solera del cuadro N° 089 choca con los lados de la jaula, por lo que en una reunión multidisciplinaria se acordó su intervención inmediata para raspar hasta obtener una luz de 1". Los cuadros desde el N° 090 hasta el N° 100 presentan deformaciones significativas y anillos de concreto reventados debido a las presiones del terreno (contacto – brecha alterada), como se muestra en las imágenes N° 009, 010 y 011. En el Nivel 520, los cables de las jaulas y el Skip se adhieren completamente a la solera y la guía de la estructura del pique debido a la deformación de la excavación y del castillo en la parte superior.

- ✓ El análisis del inclinómetro 01 indica que la excavación del pique mascota se deformó 5.21 cm en 599 días (0.087 mm/día) en dirección al flanco NW (paralelo al cono de subsidencia). La deformación para los piques no debe superar 1" (2.5 cm) para mantener una luz adecuada entre la madera y la jaula o Skip. Reparando todos los cuadros del pique mascota hasta el Nivel 520, se podría extender su vida útil a 9.5 meses, siempre y cuando se reubique la casa de winche hacia el cerro. Añadiendo bloques de concreto estructural cada 8.5 m en los primeros -50 m o utilizando cables bolting de 10 m pretensados a 5 toneladas hasta el Nivel 420, se podría admitir una deformación de hasta 10 cm, lo que equivaldría a 3.1 años de vida útil.

- ✓ El análisis del inclinómetro 02 revela que la excavación del pique central se deformó 7.21 cm en 599 días (0.12 mm/día) en dirección NE (hacia el tajo - cono de subsidencia), como se observa en las imágenes N° 026 y 040. Manteniendo una luz mínima de 1" después de reparar todos los cuadros del pique central hasta el Nivel 520, su vida útil sería de 6.9 meses. Con el soporte adicional de bloques de concreto estructural cada 8.5 m o cables bolting de 10 m pretensados a 5 toneladas hasta el Nivel 410, y bloques de concreto entre cuadros hasta el Nivel 465 (área de contacto – brecha), se podría admitir una deformación de hasta 12 cm, lo que extendería su vida útil a 2.7 años.

- ✓ El monitoreo con el robot Leica TM50 (hitos EM1, EM2, EM3, EM4, EM7 y EM8 adyacentes a los piques mascota y central) mostró un desplazamiento total de 22.30 cm en

697 días (del 3 de septiembre de 2017 al 30 de julio de 2019), con una velocidad de desplazamiento promedio de 10.22 cm/año ($0.028 \text{ cm/día} = 0.28 \text{ mm/día}$). Se observó que la deformación y el rango de criticidad disminuyeron cuando el tajo se rellenó hasta la cota 4586 msnm.

- b) Tesis titulada: “*Análisis geomecánico del macizo rocoso para el dimensionamiento y estabilidad de un pilar protección en la zona de extracción de una veta, en una mina subterránea en Ayacucho 2020*”. El objetivo general de la investigación fue llevar a cabo el análisis geomecánico del macizo rocoso para dimensionar y estabilizar un pilar de protección en la zona de extracción de una veta en una mina subterránea en Ayacucho, 2020 (7).

Los objetivos específicos fueron:

- f) Describir la litología y las estructuras presentes en los niveles Nv. 4370 y Nv. 4386.
- g) Caracterizar geomecánicamente el macizo rocoso en la zona de extracción de la veta.
- h) Analizar el tamaño de los bloques y la generación de cuñas.
- i) Determinar el comportamiento del estado tensional del macizo rocoso en la zona influenciada por fallas mayores, utilizando métodos numéricos.
- j) Calcular el Factor de seguridad mediante el análisis de la resistencia y el esfuerzo sobre el pilar para evaluar su estabilidad.
- k) Determinar las dimensiones del pilar de protección en la zona de excavación de la veta según el criterio de Lunder y Pakalnis.
- l) Establecer la relación entre la longitud del pilar y el índice de esfuerzo sobre el pilar en relación con la resistencia de la roca intacta.

Las conclusiones fueron:

- m) El macizo rocoso de los niveles 4370 y 4386 está compuesto litológicamente por material andesítico, lavas riódacíticas, piroclastos andesítico, material piroclástico dacítico y riolítico, zonas con *stockwork* y material subvolcánico riódacíticas, además de la veta. La zona evaluada específicamente contiene una brecha hidrotermal y brecha miento tectónico, junto con material subvolcánico Riódacíticas.

- n) El modelado numérico de una sección transversal representativa del pilar de protección entre los niveles 4370 y 4386, realizado con el software de equilibrio límite RS2, muestra una ligera criticidad en el techo de la excavación, lo cual impide el minado mecanizado.
- o) Los datos de perforación de explotación Query 1, 2, 3 y 4 indican que el comportamiento del techo de la excavación sufre fallas por desconfiamiento y/o tracción debido a la influencia de las fallas alledañas. Para evitar esta inestabilidad, debe dejarse un escudo que mantenga la estabilidad durante el minado.
- p) Para evaluar la estabilidad y dimensionamiento del escudo, se utilizó el criterio de Lunder y Pakalnis (1997). Para mantener la estabilidad y continuidad del minado mediante *sub level stoping*, considerando la influencia de las fallas mayores, debe dejarse un pilar vertical continuo de 6.0 m de ancho desde el límite de los niveles BA 3709 y BA 3809 hacia el BA 3708 y BA 3808, respectivamente. Este pilar de protección debe ser recuperado durante el proceso de minado de los niveles BA 3709 y BA 3809 mediante el método de corte y relleno.
- c) Tesis titulada: “*Determinación de las condiciones del macizo rocoso en la profundización del avance en la zona Esperanza del nivel 23 mediante un análisis geomecánico en la unidad minera Americana de Cía. Minera Casapalca*”. El objetivo general de la investigación fue establecer las características del terreno rocoso en la región de Esperanza en el nivel 23 con el fin de implementar el respaldo necesario a través de un estudio geomecánico en la unidad minera Americana de la Compañía Minera Casapalca (8).

Los objetivos específicos fueron:

- ✓ Realizar el análisis geomecánico utilizando el enfoque empírico de clasificaciones geomecánicas y la aplicación de software de elementos finitos en la unidad minera Americana de la Compañía Minera Casapalca.
- ✓ Establecer las características del terreno rocoso en la región de Esperanza en el nivel 23 a través de un análisis geomecánico en la unidad minera Americana de la Compañía Minera Casapalca.
- ✓ Identificar el tipo de soporte necesario mediante un análisis geomecánico utilizando el método empírico y la utilización de software de elementos finitos en la unidad minera Americana de la Compañía Minera Casapalca.

Las conclusiones fueron:

- ✓ Se evaluaron las condiciones del macizo rocoso mediante la aplicación de clasificaciones geomecánicas RMR, Q y GSI, junto con el uso del software Phase2. Los resultados del análisis indicaron que el crucero 212 del nivel 23 presenta condiciones estables en el macizo rocoso, y según el sostenimiento recomendado, no se esperan problemas de caída de rocas.
 - ✓ Se llevó a cabo un mapeo geomecánico del crucero 212 del nivel 23 en la zona de Esperanza, donde se aplicaron diversas clasificaciones geomecánicas para obtener un análisis detallado. Los resultados mostraron un RMR de 59.4, un Q de Barton de 11.47 y un índice de GSI de 53.4, lo que indica una buena calidad del macizo rocoso en esa área. Además, el uso del software Phase2 y Dips reveló un factor de seguridad de 1.58 con sostenimiento y 1.11 sin sostenimiento, confirmando que es una zona de trabajo segura en ambos casos.
 - ✓ Para determinar las condiciones de estabilidad en el crucero 212, se aplicó el método de Lang, obteniendo un RMR de 52 para la progresiva 3 y un RMR de 42 para la progresiva 5. Con un ancho de avance de 3.5 m, el análisis con el gráfico de Lang indicó que las progresivas 3 y 5 son inestables debido a factores influyentes en la roca.
 - ✓ Se decidió aplicar sostenimiento en el crucero 212 mediante la instalación de mallas y pernos. Esto se debe a que las clasificaciones geomecánicas, como el RMR, Q y GSI, indican una buena calidad de la roca, y el análisis con Phase2 arrojó un factor de seguridad de 1.58 con sostenimiento. Estos resultados sugieren que, a pesar de los factores influyentes, el macizo rocoso del crucero 212 es de buena calidad.
- d) Tesis titulada: “*Evaluación geomecánica para el diseño de sostenimiento en la galería de acceso y rampa 430-E de la Empresa Minera S.M. Power S.A.C.*”. El objetivo general de la investigación fue realizar un análisis geomecánico del terreno rocoso con el propósito de determinar el tipo de sostenimiento adecuado para la galería de acceso y la rampa 430-E de la Empresa Minera S.M. POWER S.A.C. (9).

Los objetivos específicos fueron:

- ✓ Identificar las propiedades geomecánicas del terreno rocoso en la galería de acceso y rampa 430-E de la Empresa Minera S.M. POWER S.A.C.
- ✓ Desarrollar un plan para el tipo de soporte más apropiado para la galería de acceso y rampa 430-E de la Empresa Minera S.M. POWER S.A.C.

Las conclusiones fueron:

- ✓ Tras la evaluación geomecánica realizada en la galería de acceso y la rampa 430-E, se han obtenido los siguientes valores de RMR: IIb para la estación A-1; IIIa para las estaciones A-2, A-3 y R-1; y IIIb para las estaciones A-4, R-2, R-3 y R-4, indicando una calidad del macizo rocoso mayormente de Regular IIIb. Respecto a la clasificación Q, se observaron calidades de Regular (A-1 y A-3), Mala (A-2, R1, R-2 y R-4) y Muy mala (A-4 y R-3), siendo la calidad del macizo rocoso mayormente Regular para la mayoría de las estaciones.

 - ✓ El tipo de sostenimiento determinado por el índice Q de Barton para las estaciones ubicadas en la galería de acceso es perno sistemático de 2 m con separación de 1.8m para A-1 y A-3, y perno sistemático de 1.5m con separación de 1.3 m para A-2 y A-4. Para la Rampa 430-E, se determina perno sistemático de 1.8m con malla y separación de 1.3 m. Estas recomendaciones fueron ajustadas mediante el uso del software Unwedge v.3, estableciendo pernos helicoidales de 1.5 m con espaciado de 1.5 m en la corona y cada 3m en los hastiales para la galería de acceso en zonas de cuñas probables. En cuanto a la rampa 430-E, se recomienda pernos helicoidales de 1.5 m con separación de 1.5 m en la corona y cada 3 metros en los hastiales, con refuerzo de malla electrosoldada desde la media altura del hastial.
- e) Tesis titulada: “*Evaluación geomecánica del macizo rocoso de la mina 9-10 de Shougang Hierro Perú*”. El objetivo general de la investigación fue evaluar las propiedades geomecánicas tanto a nivel de bancos individuales como a escala global en la mina 9-10 de Shougang (10).

Los objetivos específicos fueron:

- ✓ Confirmar las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos tanto a nivel de bancos individuales como a nivel global en la mina 9-10 de Shougang.

- ✓ Identificar las características litológicas presentes en los taludes de la mina 9-10 de Shougang.

Las conclusiones fueron:

- ✓ A nivel regional, se encuentran diversas unidades litológicas que abarcan desde sedimentarias, metamórficas e ígneas, con edades que varían desde precámbricas hasta recientes. Entre estas unidades se incluyen el complejo Basal de la Costa, formación San Juan, formación Marcona, formación Rio Grande, formación Jahuay, formación Pisco,

volcánico Sencca, depósitos Cuaternarios (terrazas marinas, depósitos aluviales, depósitos eólicos) y rocas intrusivas. Los aspectos litológicos locales están influenciados por la geología específica del área de estudio, con afloramientos meta-sedimentarios conocidos como hornfels que conforman la roca encajonante, así como un conjunto de diques andesíticos que forman predominantemente estructuras tipo *sills*.

- ✓ Se llevó a cabo la caracterización geomecánica del basamento rocoso utilizando la clasificación RMR, revelando diferentes calidades del macizo rocoso en diversas zonas de la mina 9-10. En la zona norte, se encontraron rocas de buena calidad (RMR=63-70) y de calidad regular (RMR=52-60). La Zona Sur también presenta rocas de buena calidad (RMR=61-67) y de calidad regular (RMR=57-60). La zona este exhibe rocas de buena calidad (RMR=62-70) y de calidad regular (RMR=57-59), mientras que la zona oeste muestra principalmente rocas de calidad regular (RMR=46-59).
- ✓ Además, se estimó la resistencia y dureza de la matriz rocosa, clasificándola según su resistencia. La mayor parte de la zona norte está compuesta por roca dura y muy dura (R4 – R5), con excepción de algunas áreas con roca media (R3).
- ✓ La zona sur está mayormente conformada por roca dura y muy dura (R4 – R5), aunque se encontró roca extremadamente dura (R6) en ciertas secciones. En la zona este, predomina la roca muy dura (R5), con algunas áreas de roca media (R3), mientras que en la zona oeste se encuentra principalmente roca dura y muy dura (R4 – R5), con algunas áreas de roca media (R3) y roca débil (R2).
- ✓ Los valores de GSI para el macizo rocoso oscilan entre 41 y 65, indicando una calidad que va desde mala hasta buena. Las discontinuidades principales muestran una orientación regular en relación con los taludes de corte, aunque se identificó una condición desfavorable en ciertas áreas.
- ✓ Se identificaron deslizamientos tipo planar y tipo cuña con factores de seguridad pseudoestáticas menores que 1.0 en algunas zonas, recomendando la eliminación selectiva de bloques de roca suelta para evitar posibles deslizamientos. No se observaron vuelcos de estratos inestables.
- ✓ El análisis de estabilidad global demostró que los factores de seguridad son mayores que los mínimos requeridos, indicando la estabilidad de los taludes del tajo. Los resultados obtenidos con métodos numéricos y de equilibrio límite indicaron que los taludes son

estables, aunque los obtenidos con Phase2 fueron ligeramente menores que los obtenidos con *slide*.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Aspectos geomecánicos

Rock strengthening systems reconoce que los factores que influyen en la estabilidad de las excavaciones mineras subterráneas se pueden clasificar en dos categorías: factores anteriores a la excavación (previos a la minería) y factores posteriores a la excavación (posteriores a la minería) (11). Los factores previos incluyen las características del macizo rocoso, el depósito mineral (contexto geológico), el comportamiento mecánico del macizo rocoso y el campo de tensión in situ. Los factores posteriores a la extracción abarcan la tensión de extracción, la forma, tamaño y dirección de las excavaciones, los cuales son dinámicos debido al avance de los trabajos mineros. (11)

Las consecuencias de las perturbaciones mineras incluyen la formación de estructuras rocosas y alteraciones mecánicas en el entorno rocoso. En caso de vacíos, se pueden emplear elementos de soporte naturales y/o artificiales y minerales residuales (11). Las alteraciones mecánicas del macizo rocoso pueden manifestarse como desplazamientos del macizo y tensiones en los vacíos resultantes, generando un nuevo estado de tensión y deformación acumulada. (11)

Para determinar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso en obras subterráneas, se desarrollaron mapas estructurales que permiten identificar cuñas potenciales. El tamaño y la forma de estas cuñas potenciales dependen principalmente del tamaño, forma y orientación de la apertura, así como de la dirección principal del sistema continuo (11).

Debido a su amplia aplicabilidad en este campo, se presenta aquí la correlación entre el criterio de evaluación de macizos rocosos (RMR) de Bieniawski (1989) y el RMR de Hook y Marinos (2000), el índice Q de Barton y el GSI (índice de fuerza geológica), utilizando valores obtenidos a partir de datos de mapeo geomecánico realizados en las paredes de la mina (11).

2.2.2 El criterio RMR de Bieniawski (1989)

La clasificación geomecánica RMR (rock mass rating) permite categorizar las rocas *in situ* en clases y/o grupos con características comunes y de determinada calidad. Esta clasificación se utiliza habitualmente en la construcción de túneles, taludes y cimentaciones. El sistema incluye un índice de calidad RMR independiente de la estructura y un factor de corrección (7).

El macizo rocoso se compone de interacciones entre el material rocoso, las fracturas presentes y el agua. Para comprender su comportamiento, es necesario conocer el origen, la textura, la mineralogía y la naturaleza geotécnica del material rocoso, así como el tipo y las características descriptivas de las fracturas (orientación, espaciamiento, persistencia, rugosidad, relleno, etc.) (12).

En este contexto, es relevante la propuesta de Bieniawski, que sugiere que una clasificación de rocas debería:

- ✓ Dividir los macizos en grupos con comportamientos similares.
- ✓ Proporcionar una base sólida para comprender las características de las rocas.
- ✓ Facilitar la planificación y el diseño de estructuras en roca mediante los datos de campo necesarios para resolver problemas de ingeniería.
- ✓ Ofrecer una base común para una comunicación efectiva entre las personas relacionadas con un problema geomecánico.

Para cumplir con estos requerimientos, Bieniawski, basándose en experiencias prácticas, propuso que su clasificación debería incluir los siguientes cinco parámetros:

Así, el índice RMR es:

$$RMR = (RC + RQD + A + B + C)$$

Dónde:

RCU: Valoración según la resistencia a la compresión del martillo de Smith.

RQD: Valoración según la calidad RQD.

- ✓ A: Espaciamiento de discontinuidades.
- ✓ B: Condición de discontinuidades.
- ✓ C: Agua subterránea.

Tabla 2. Valor de índice RMR. (13)

RMR	Calidad del macizo rocoso	Clase
0 – 20	Roca muy mala	V
21 – 40	Roca mala	IV
41 – 60	Roca regular	III
61 – 80	Roca Buena	II
81 – 100	Roca muy Buena	I

2.2.3 Resistencia a la compresión de la roca intacta (RC)

Puede ser determinado mediante golpes de picota o martillo de geólogo, martillo de Schmidt, o a través de otros procedimientos como ensayos de laboratorio.

2.2.4 El RQD (Rock Quality Designation)

El índice de calidad de la roca (RQD) se refiere al porcentaje de segmentos de testigos recuperados de perforaciones diamantinas que tienen más de 10 cm de longitud, en relación con la longitud total del taladro.



Figura 1. Testigos de perforación diamantina

El RQD se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$RQD = \frac{\sum \text{Longitud} \geq 10\text{cm}}{\text{Longitud total}} * 100\%$$

Tabla 3. Valor de índice de RQD (12)

RQD %	Calidad del macizo rocoso
< 25	Roca muy mala
25 – 50	Roca mala
50 – 75	Roca regular
75 – 90	Roca Buena
90 – 100	Roca muy Buena

2.2.5 Propiedades de las discontinuidades

➤ Espaciamiento de las discontinuidades

El espaciamiento de las discontinuidades se refiere a la distancia perpendicular que existe entre discontinuidades adyacentes.



Figura 2. Espaciado de una discontinuidad

➤ **La condición de las discontinuidades**

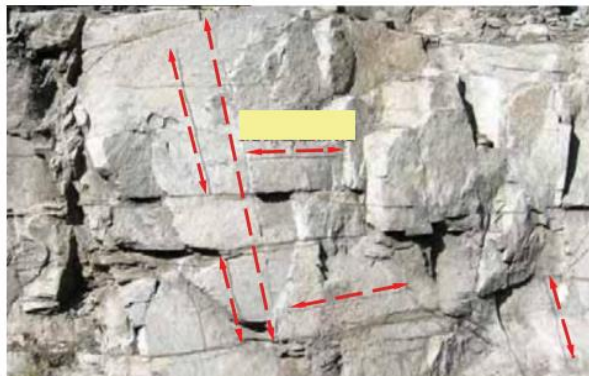


Figura 3. Persistencia de discontinuidades.

➤ **Presencia de agua**

La presencia de agua subterránea no tiene una influencia significativa en rocas poco o levemente fracturadas. Sin embargo, en rocas fracturadas o estratificadas, es importante considerar la influencia del agua en las fisuras, ya que ejerce presión, actúa como lubricante y puede lavar el relleno débil de las fracturas, complicando la situación de la excavación. Por otro lado, en rocas intensamente fracturadas, la presencia de agua acelera el proceso de aflojamiento, especialmente en ambientes con altos esfuerzos donde el aflojamiento de la roca ocurre rápidamente.



Figura 4. Presencia de agua subterránea

2.2.6 Sistema Q de Barton

El *tunnelling quality index*, o sistema Q, fue desarrollado por Barton y sus colaboradores en 1974. Junto a Lien y Lunde, Barton propuso un método práctico conocido como sistema "Q" para cuantificar el patrón geomecánico de un macizo rocoso.

Este método se basa en una recopilación de datos de numerosas obras de excavaciones subterráneas y de testigos de sondaje.

Utiliza los siguientes factores para determinar la calidad del macizo rocoso:

- ✓ RQD (Rock Quality Design).
- ✓ Número de familias de discontinuidades o juntas (J_n).
- ✓ Rugosidad de las juntas (J_r).
- ✓ Grado de alteración de las discontinuidades (J_a).
- ✓ Presencia de agua subterránea (J_w).
- ✓ Estado tensional de la roca, Stress Reduction Factor (SRF).

El valor de Q se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q = (RQD / J_n) \times (J_r / J_a) \times (J_w / SRF)$$

El valor de Q varía entre 0.001 para terrenos de muy mala calidad y 1000 para terrenos de muy buena calidad.

Tabla 4. Valor de índice de RQD. (12)

Q (Rock mass quality)	Valoración
0.001 - 0.01	Excepcionalmente mala
0.01 - 0.1	Extremadamente mala
0.1 - 1.0	Muy mala
1.0 - 4	Mala
4 - 10	Regular
10 - 40	Buena
40 - 100	Muy buena
100 - 400	Extremadamente buena
400 - 1000	Excepcionalmente buena

La correlación entre los sistemas de clasificación (índice RMR de Bieniawski, índice Q y GSI de Hoek y Marinos) fue propuesta por Bieniawski en 1976 mediante una regresión lineal, como se muestra a continuación: (13)

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

2.2.7 Clasificación según el índice de resistencia geológica (GSI)

Las observaciones se basan en la apariencia del macizo en términos de la condición de la superficie y la estructura.

La correlación entre los sistemas de clasificación (Índice RMR de Bieniawski y el GSI de Hoek y Marinos), para casos donde $RMR > 23$ y considerando condiciones secas, se expresa de la siguiente manera: (12)

$$GSI = RMR'89 - 5$$

2.2.8 Diseño geomecánico del método de minado:

✓ Factores característicos del diseño geomecánico

Los yacimientos pueden explotarse utilizando una variedad de métodos, por lo que el tipo y el diseño del método de minería subterránea deben adaptarse a las características del yacimiento.

Estas características incluyen:

- a) Geometría (tamaño y forma),
- b) Ubicación y orientación (profundidad, buzamiento y rumbo),
- c) Tamaño (masivo, en lámina o veta),
- d) Propiedades geomecánicas (minerales y roca madre),
- e) Distribución de leyes (uniforme, variable, irregular)
- f) Aspectos ambientales.

Además, las propiedades geomecánicas de los minerales y rocas circundantes están influenciadas por:

- a) Selección del método de extracción
- b) Dimensiones de las aberturas y soportes
- c) Mecanización de las operaciones de extracción
- d) Sistemas de soporte
- e) Diseño de la estructura de la mina,
- f) Alcance de las tareas de desarrollo, preparación y producción
- g) Capacidad de producción
- h) Selección de equipos adecuados
- i) Control y manejo del balance de masas rocosas después de la extracción.

2.2.9 Efectos de la voladura en el macizo rocoso

Si el proceso de perforación y voladura no se realiza correctamente, puede dañar la roca y afectar negativamente la estabilidad del macizo rocoso. A continuación, se presentan algunas sugerencias para minimizar el daño causado por la voladura del macizo rocoso: (14)

- a) Es recomendable determinar el índice de volabilidad y el factor de potencia (FP, kg/m^3) del macizo rocoso para un explosivo específico mediante la evaluación de parámetros geomecánicos.
- b) Si por razones operativas se requiere un factor de potencia mayor, se deben tomar medidas para minimizar el posible daño en el macizo remanente.
- c) Conocer las propiedades del macizo rocoso, como la resistencia a compresión de la roca, el espaciamiento y persistencia de los sistemas de discontinuidades, y tener en cuenta que la presencia de agua subterránea puede limitar el rendimiento de la voladura.
- d) En excavaciones mayores, es recomendable utilizar equipos de perforación asistidos con programas de control automático del paralelismo, inclinación y desviación de los taladros.
- e) Considerar el cálculo adecuado de la carga lineal (kg/m) y el espaciamiento de los taladros perimetrales para emplear técnicas de voladuras amortiguadas, como el recorte y precorte.

2.2.10 Tamaño y geometría de excavaciones

La configuración, orientación y carga perimetral de la excavación tienen un impacto significativo en su estabilidad subterránea. A continuación, se ofrecen algunas recomendaciones para dar forma a las excavaciones: (14)

- a) Las formas con esquinas agudas son desfavorables para la estabilidad, ya que las esquinas angulares son puntos de alta concentración de esfuerzos.
- b) La formación de un arco contribuye a lograr estabilidad en las excavaciones.
- c) Para garantizar la estabilidad de las excavaciones, la forma de estas debe adaptarse a las características estructurales del macizo rocoso.
- d) En rocas sólidas y frágiles, la estabilidad depende principalmente de la configuración de la excavación.

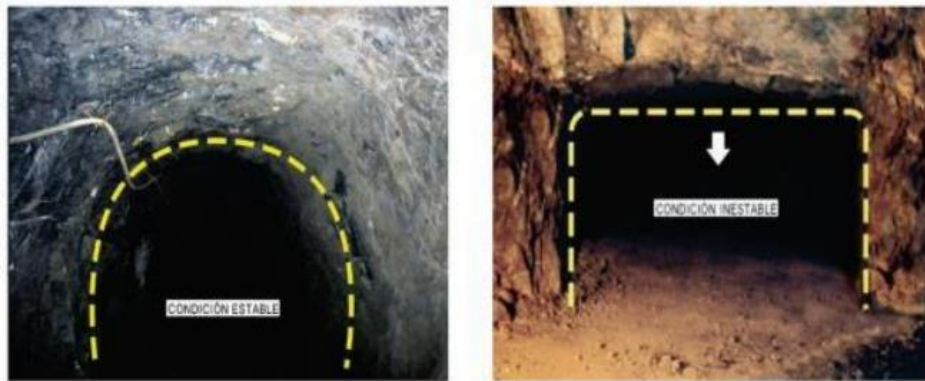


Figura 5. La forma en arco de las excavaciones favorece la estabilidad y las formas esquinadas desfavorecen la estabilidad

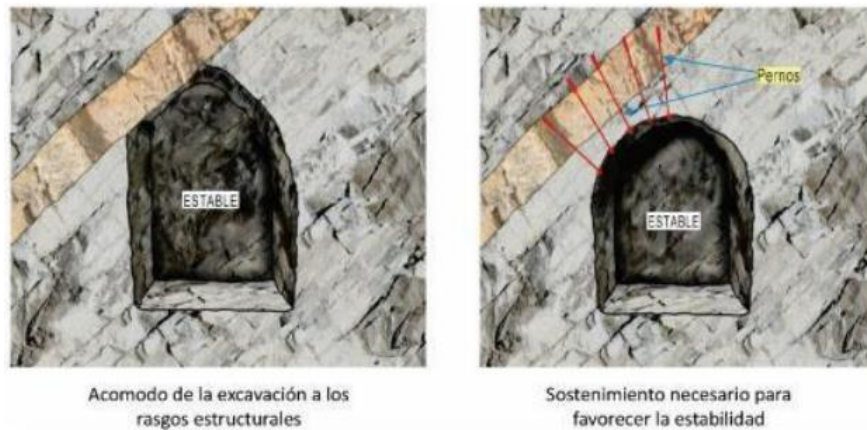


Figura 6. Formas de las excavaciones

También se ofrecen recomendaciones sobre la orientación de las excavaciones:

- ✓ La orientación de la excavación con respecto a características estructurales como fallas o diaclasas puede influir en la estabilidad. Por lo tanto, es preferible avanzar perpendicularmente a la discontinuidad o a las zonas de corte.
- ✓ En entornos con altos niveles de esfuerzo, no es recomendable avanzar cerca de fallas geológicas, ya que los esfuerzos se concentran entre la falla y la excavación.
- ✓ En condiciones de alto estrés, incluso en rocas competentes, pueden ocurrir reventones e incluso el estallido de rocas.
- ✓ En situaciones de alto estrés, es apropiado avanzar o minar siguiendo la dirección del mayor esfuerzo principal horizontal. Las mismas consideraciones se aplican para la excavación de estructuras permanentes como cámaras y talleres.



Figura 7 Orientación de la excavación con respecto a los rasgos estructurales (15)

Además, se ofrecen recomendaciones sobre el tamaño de las excavaciones:

- ✓ En rocas de baja calidad, no se recomienda ampliar las excavaciones, ya que esto puede generar inestabilidad, siendo necesario implementar medidas de control adecuadas.
- ✓ Es importante tener en cuenta que aumentar el tamaño de la excavación incrementa el riesgo y expone las rocas encajonantes a características estructurales.
- ✓ Se debe tener precaución con las rocas altamente fracturadas y débiles, ya que el aumento en el tamaño de la excavación puede provocar su colapso.



Figura 8. A mayor tamaño de la excavación se favorece la inestabilidad. (15)

2.2.11 Desate de rocas

La mayoría de los accidentes en las minas subterráneas ocurren cuando las rocas se desprenden del techo debido a la fractura inducida por esfuerzos. Por lo tanto, para garantizar la seguridad de los trabajadores, es necesario eliminar estas rocas de forma controlada.

- A continuación, se presentan algunas recomendaciones para el desprendimiento de rocas:
- a) Durante este proceso, es crucial prestar atención a la identificación de discontinuidades en la masa rocosa, así como a los procedimientos tanto mecanizados como manuales para el desprendimiento, incluyendo el manejo de grandes bloques de roca.
 - b) Se sugiere que los trabajadores utilicen el método "ROCA", que implica razonar, organizar, clasificar y actuar, para llevar a cabo el desprendimiento de manera efectiva y segura.
 - c) En caso de encontrar rocas débiles, se debe aplicar el principio de "labor avanzada, labor sostenida" para garantizar una operación segura y continua.

2.2.12 Tiempo de auto sostenimiento

La clasificación de Bieniawski ofrece una evaluación precisa sobre la duración que una excavación puede permanecer autoportante sin necesidad de soporte adicional.

En este sentido, el sistema desarrollado por Bieniawski establece una relación entre el ancho de la excavación y el tiempo de autoestabilidad (13).

2.2.13 Secuencia de explotación

La secuencia de explotación se define como "el orden en el que se lleva a cabo la extracción de las diferentes áreas planificadas y diseñadas".

Además, esta secuencia ejerce una influencia significativa en la estabilidad general de la mina, ya que afecta la redistribución de los esfuerzos en cada área minada.

Por otro lado, la determinación de la secuencia de explotación se basa en los requisitos de ley del mineral, las características del depósito mineralizado y las consideraciones relacionadas con los esfuerzos inducidos (15).

2.2.14 Sostenimiento de excavaciones:

✓ Diseño de sostenimiento

En el proceso de diseño de sostenimiento se toman en cuenta varios aspectos: las propiedades del macizo rocoso, la influencia tanto de los esfuerzos naturales como de los inducidos, la orientación de la excavación en relación con las características estructurales, las dimensiones y la forma de la excavación, así como la capacidad de deformación tanto del macizo rocoso como de los elementos de sostenimiento.

Además, los sistemas de sostenimiento pueden clasificarse en pasivos y activos. Los sistemas pasivos operan en la superficie o dentro de la excavación y requieren que la roca se desplace o deforme para que puedan ser efectivos.

Por otro lado, los sistemas activos se instalan dentro del macizo rocoso y pueden brindar refuerzo inmediato a la roca desde el momento de su colocación.

2.2.15 Tipos de sostenimiento de mina subterránea:

✓ Pernos de anclaje

Los pernos suministran fuerzas a la roca inmediatamente después de ser instalados, lo que contribuye a su sostenimiento activo (15).

Además, hay una variedad de tipos de pernos que se distinguen por sus métodos de anclaje o por su capacidad de deformación. Por lo tanto, la elección del tipo de perno a utilizar se basará en las particularidades del macizo rocoso (15).

Tabla 5. Características de pernos de anclaje (15)

Propiedades de los pernos de anclaje		
Tipo de perno	Resistencia del límite elástico (ton)	Resistencia a la ruptura (ton)
5/8" perno mecánico	6.1	10.2 (grado 690MPa)
Split set (ss-33)	8.5	10.6
Split set (ss-39)	12.7	14
Swellex estándar	N/A	11
Swellex deformable	N/A	9.5
Super Swellex	N/A	22
20mm barra (#6)	12.4	18.5
22mm barra (#6)	16	23
25mm barra (#6)	20.5	30.8
#6 Dywidag	11.9	18
#7 Dywidag	16.3	24.5
#8 Dywidag	21.5	32.3
#9 Dywidag	27.2	40.9
#10 Dywidag	34.6	52
1/2" Cable bolt	15.9	18.8
5/8" Cable bolt	21.6	25.5
1/4"x4" Strap(MS)	25	39

#6 relacionado a 6/8", #7 relacionado a 7/8" de diámetro

✓ Malla metálica

La malla metálica se considera como un sistema de sostenimiento crucial para la seguridad, ya que debe tener la capacidad de contener los pequeños fragmentos de roca que puedan desprenderse entre un perno y otro (15).

Este sistema se destaca por su eficacia y su relación costo-beneficio favorable en comparación con otras formas de retener rocas sueltas (15).

Además, existen tres variantes de mallas: la malla no metálica, la malla de alambre tejido, que es altamente flexible y se utiliza para prevenir la caída de rocas del techo de la mina, y la malla electro soldada, que es más rígida en su estructura (15).

Tabla 6. Capacidad de la malla metálica para retener rocas sueltas entre pernos (15)

MALLA – RESISTENCIA AL ABULTAMIENTO DISTRIBUCIÓN 1.2 m x 1.2 m	
4x4 "Malla Electro soldada (Calibre 4)	Resistencia Abultamiento = 3.6 toneladas
4x4 "Malla Electro soldada (Calibre 6)	Resistencia Abultamiento = 3.3 toneladas
4x4 "Malla Electro soldada (Calibre 9)	Resistencia Abultamiento = 1.9 toneladas
4x4 "Malla Electro soldada (Calibre 12)	Resistencia Abultamiento = 1.4 toneladas
2" Malla de Eslabones (Calibre 11 metal desnudo)	Resistencia Abultamiento = 2.9 toneladas
2" Malla de Eslabones (Calibre 11 galvanizado)	Resistencia Abultamiento = 1.7 toneladas
2" Malla de Eslabones (Calibre 9 metal desnudo)	Resistencia Abultamiento = 3.7 toneladas
2" Malla de Eslabones (Calibre 9 metal desnudo)	Resistencia Abultamiento = 3.2 toneladas
Calibre 4 =0.23" diámetro. Calibre 6=0.20" diámetro. Calibre 9=0.16" diámetro. Calibre 11=0.125" diámetro. Calibre 12=0.11" diámetro. Resistencia al Corte del Shotcrete = 2 MPa=200 toneladas/m ²	

✓ Concreto lanzado

El concreto lanzado se refiere a un mortero que se transporta a través de mangueras y se proyecta neumáticamente sobre la superficie que se va a recubrir. Con el tiempo, este material fragua, se endurece y adquiere una resistencia considerable (15).

Además, el concreto lanzado tiene dos efectos significativos en la roca: por un lado, sella la superficie de la roca al cerrar las fracturas y, por otro lado, previene la descompresión y la alteración de la roca. En la actualidad, es común utilizar concreto reforzado con fibras de acero y sintéticas en este proceso (15).

Tabla 7. Mezcla referencial de concreto lanzado reforzado con fibra metálica y micro sílice. (15)

Componentes	Mezcla seca		Mezcla húmeda	
	kg/m ³	% materiales secos	kg/m ³	% materiales Húmedos
Cemento	420	19	420	18.2
Aditivo de sílice	50	2.2	40	1.7
Mezcla de agregados	1670	75.8	1600	69.2
Fibras de acero	50	2.2	50	2.2
Acelerante	13	0.6	13	0.6
Superplastificante	-	-	6 litros	0.2
Reductor de agua	-	-	2 litros	0.08
Incorporador de aire	-	-	si requiere	
Agua	controlado a la boquilla		180	7.8
Total	2203	100	2311	100

✓ **Cable bolting**

Los cables bolting son componentes de fortalecimiento, típicamente elaborados con alambres de acero trenzados, los cuales se anclan con cemento dentro de perforaciones realizadas en la roca. Además, hay varios tipos de cables bolting, incluyendo el tipo de jaula simple, bulbo simple y jaula tuerca (16).

2.3 Definición de términos básicos

➤ **Mecánica de rocas**

Se refiere al campo de la geotecnia que se centra en los estudios teóricos y experimentales destinados a comprender el comportamiento mecánico e hidromecánico de las rocas cuando se someten a cambios en sus estados tensionales y condiciones hidráulicas (17).

➤ **El macizo rocoso**

Es la formación rocosa masiva o "in situ" que está atravesada por fracturas, litoclasas y otras discontinuidades, generalmente dispuestas en familias paralelas a diversas superficies casi planas, las cuales se intersecan entre sí, definiendo bloques de material original (18).

➤ **Roca intacta**

Se refiere al bloque ubicado entre las discontinuidades y puede ser representada por una muestra de mano o un trozo de testigo utilizado en ensayos de laboratorio (19).

➤ **Discontinuidad**

Es cualquier plano, de origen mecánico o sedimentario, en un macizo rocoso, generalmente con una resistencia a la tracción muy baja o nula. Su presencia indica un comportamiento no continuo del macizo rocoso (20).

➤ **Orientación**

De una discontinuidad se describe por su rumbo y buzamiento, y cuando varias discontinuidades tienen una orientación similar, se dice que forman un sistema o familia de discontinuidades (19).

➤ **Espaciado**

Entre discontinuidades adyacentes determina el tamaño de los bloques de roca. Un espaciado pequeño implica una baja cohesión del macizo rocoso, mientras que un espaciado grande genera bloques de gran tamaño (18).

➤ **Persistencia**

Se refiere a la extensión en área o tamaño de una discontinuidad. A menor persistencia, mayor estabilidad del macizo rocoso (19).

➤ **Rugosidad**

De una discontinuidad es un factor importante en su resistencia al corte, aunque su importancia disminuye con la apertura, el espesor de relleno o cualquier desplazamiento previo (18).

➤ **Apertura**

Es la separación entre las paredes de una discontinuidad. Una menor apertura indica mejores condiciones del macizo rocoso, mientras que una mayor apertura indica condiciones menos favorables (19).

➤ **Relleno**

De las discontinuidades puede provenir de la descomposición de la roca o de la desintegración (18).

➤ **Alteración**

La hidrotermal de la roca se produce por la ascensión de fluidos o gases magmáticos a través de fracturas o fallas, afectando los rellenos y modificando las condiciones del macizo rocoso (19).

➤ **Dominio estructural**

Es la masa de roca delimitada por discontinuidades geológicas donde la estructura es prácticamente homogénea.

➤ **Estructura del macizo rocoso**

Abarca fallas, diaclasas, pliegues y otras características geológicas que definen una región específica, con diferentes dominios estructurales claramente diferenciados (18).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Métodos y alcances de la investigación

3.1.1 Método general

Este estudio seguirá el método científico, llevando a cabo procedimientos de forma sistemática que comenzarán con la identificación del problema, seguida de su presentación y la formulación de hipótesis. Posteriormente, se llevará a cabo la experimentación y, finalmente, se elaborarán conclusiones basadas en los resultados de la investigación.

3.1.2 Tipo de investigación

El enfoque de este estudio es de naturaleza aplicada, ya que se utilizarán los conocimientos adquiridos en investigaciones fundamentales para abordar y solucionar el problema propuesto.

3.1.3 Nivel de investigación

La categorización de este estudio se define como descriptiva-correlacional, con el objetivo principal de establecer la relación entre los resultados obtenidos de la caracterización geomecánica y la evaluación del diseño del sostenimiento.

3.2 Diseño de investigación

El diseño de esta investigación es no experimental y de tipo transversal, basándose en la premisa de que la variable independiente no será manipulada para determinar su relación con la variable dependiente.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

La población está conformada por:

- ✓ Unidad minera Acacelluyoc
- ✓ Zona: Cobriza 4
- ✓ Veta: Lourdes
- ✓ Galería: Principal
- ✓ Labor a ejecutarse: Piqué inclinado
- ✓ Ubicación: Huancavelica – Churcampa
- ✓ Anexo: San Pedro de coris
- ✓ Localidad: Carhuancho.

3.3.2 Muestra

La muestra censal está conformada por:

- ✓ Unidad minera Acacelluyoc
- ✓ Zona: Cobriza 4
- ✓ Veta: Lourdes
- ✓ Galería: Principal
- ✓ Labor por ejecutarse: Piqué inclinado
- ✓ Ubicación: Huancavelica – Churcampa
- ✓ Anexo: San Pedro de coris
- ✓ Localidad: Carhuancho.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas de recolección de datos

- ✓ Observación insitu
- ✓ Entrevista
- ✓ Encuesta
- ✓ Revisión bibliográfica

3.4.2 Instrumentos de recolección de datos

- ✓ Ficha de observación insitu
- ✓ Entrevistas tipo online
- ✓ Encuestas personalizadas
- ✓ Revisión de manuales, normas, decretos supremos, revistas indexadas, libros tesis, otros.

3.5 Técnicas de procesamiento de datos

- ✓ Excel
- ✓ Word
- ✓ Autocad civil 3D

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Evaluación de las propiedades de la roca intacta

4.1.1 Propiedades físicas

a) Equipo empleado en el trabajo

➤ Horno



Figura 9. Horno para el secado de la muestra

➤ Balanza digital



Figura 10. Balanza digital

➤ **Canastilla para la inmersión de la muestra**



Figura 11. Canastilla para inmersión de la muestra

➤ **Muestra de roca intacta**



Figura 12. Muestra de roca intacta

b) Procedimiento de trabajo en laboratorio

➤ **Procedimiento**

- ✓ Selección de una muestra representativa
- ✓ Limpieza de la muestra para liberarlo de impurezas que rodeaba la roca.
- ✓ Pesaje de la muestra (1309.89 gr)
- ✓ Se procedió a dividir la muestra en 3 partes
- ✓ Luego a pesar cada una de ellas donde la
 - Primera muestra es de 417.74 gr
 - Segunda muestra arrojo un peso de 679.07 gr
 - Tercera muestra es de 217.08 gr
- ✓ Luego se procedió al secado de la roca durante 24 horas a una temperatura de 110°C en el horno
- ✓ Pesó de la roca seca con un valor de 413.74gr
- ✓ Peso de la muestra sumergida en la canasta de inversión donde la masa fue de 437.74 gr.

- ✓ Se saturó la muestra durante 1 hora en el recipiente de agua.
- ✓ Transcurrido una hora se volvió a pesar la roca con los siguientes resultados 415.23 gr y sumergiendo a la canasta de inmersión se obtuvo 413.62 gr.

c) Cálculos

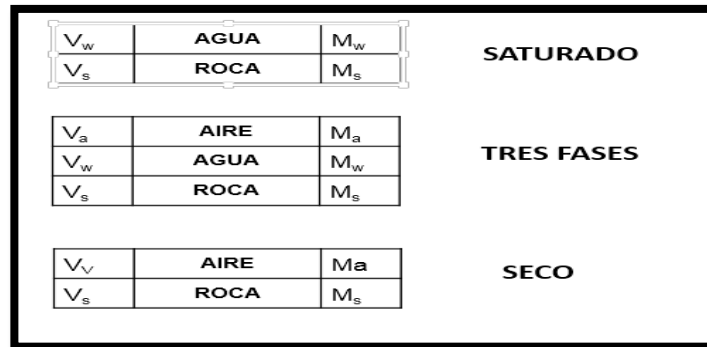


Figura 13. Diagrama de las tres fases para rocas:

Dónde:

- ✓ M_w = masa de agua
- ✓ M_s = masa del suelo
- ✓ M = masa de la muestra
- ✓ V_w = volumen de agua
- ✓ V_s = volumen de suelo
- ✓ V_v = volumen de vacíos
- ✓ V = volumen de la muestra

➤ **Contenido de agua o humedad:**

$$\omega = \frac{M_w}{M_s} \times 100 (\%)$$

Donde:

- ✓ ω = Contenido de agua o humedad
- ✓ M_w = Masa de agua
- ✓ M_s = Masa del suelo

➤ **Grado de saturación:**

$$s_r = \frac{v_w}{V_v} \times 100 (\%)$$

Donde:

- ✓ S_r = Grado de saturación

- ✓ V_w = Volumen de agua
- ✓ V_v = Volumen Vacío

➤ **Porosidad**

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100 (\%)$$

Donde:

- ✓ n = Porosidad
- ✓ V_v = Volumen de vacíos
- ✓ V = Volumen de la muestra

➤ **Relación de vacíos**

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Donde:

- ✓ e = Relación de vacíos
- ✓ V_v = Volumen de vacíos
- ✓ V_s = Volumen del suelo

➤ **Densidad “bulk” (másica)**

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M_s + M_w}{V}$$

Donde:

- ✓ ρ = Densidad
- ✓ M = Masa de la muestra
- ✓ V = Volumen de la muestra
- ✓ M_s = Masa seca
- ✓ M_w = Masa de agua

➤ **Densidad seca**

$$\rho_d = \frac{M_s}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Donde:

- ✓ ρ_d = Densidad seca
- ✓ M_s = Masa seca
- ✓ V = Volumen de la muestra

➤ **Resultados**

✓ **Muestra N° 1**

Tabla 8. Peso de la muestra N° 1

Peso muestra	Ms	412.64 gr
Peso seco	M	413.62 gr
Peso húmedo	Msat	415.23 gr
Peso sumergido húmedo	Msub	437.72 gr

Tabla 9. Propiedades físicas muestra N° 1

Contenido de humedad									
Muestra	1	Mw	1.61	Ms	413.62	%	100	w	0.38924617
Grado de saturación									
Muestra	1	Vw	0	Vv	0.0015	%	100	Sr	37.5
Porosidad									
Muestra	1	Vv	0	V	0.0007	%		n	2.31884058
Relación de vacíos									
Muestra	1	Vv	0	Vs	0.0009	%		e	1.77777778
Densidad bulk masica									
Muestra	1	Ms	0	Mv	1.61	V	7E - 04	ρ	601782.609
Densidad seca									
Muestra	21	Ms	0	Mv	0.0007	V		ρd	599449.275

✓ **Muestra N° 2**

Tabla 10. Peso de la muestra N° 2

Peso muestra	Ms	679.07 gr
Peso seco	M	677.60 gr
peso húmedo	Msat	679.48 gr
Peso sumergido húmedo	Msub	749.16 gr

Tabla 11. Propiedades físicas muestra N° 2

Contenido de humedad									
Muestra	2	Mw	21.2	Ms	677.6	%	100	w	3.13164109
Grado de saturación									
Muestra	2	Vw	0	Vv	0.0019	%	100	Sr	31.9148936
Porosidad									
Muestra	2	Vv	0	V	0.0007	%		n	2.68571429
Relación de vacíos									
Muestra	2	Vv	0	Vs	0.0001	%		e	18.4313725
Densidad bulk masica									
Muestra	2	Ms	0	Mv	21.2	V	7E - 04	ρ	995441.595
Densidad seca									
Muestra	2	Ms	0	Mv	0.0007	V		ρd	965071.225

✓ **Muestra N° 3****Tabla 12. Peso de la muestra N° 3**

Peso muestra	Ms	215.4 gr
Peso seco	M	217.13 gr
peso húmedo	Msat	217.77gr
Peso sumergido húmedo	Msub	270.10 gr

Tabla 13. Propiedades físicas muestra N° 3

Contenido de humedad									
Muestra	3	Mw	0.59	Ms	271.72	%	100	w	0.27099026
Grado de saturación									
Muestra	3	Vw	0	Vv	0.0006	%	100	Sr	3.5507E-05
Porosidad									
Muestra	3	Vv	0	V	0.0007	%		n	0.86391241
Relación de vacíos									
Muestra	3	Vv	0	Vs	0.0009	%		e	0.69621176
Densidad bulk masica									
Muestra	3	Ms	0	Mv	0.59	V	7E - 04	ρ	317839.416
Densidad seca									
Muestra	3	Ms	0	Mv	0.0007	V		ρd	316978.102

4.1.2 Propiedades mecánicas

- **Carga puntual**

- **Fórmulas**

El índice de carga puntual sin corrección se calcula de la siguiente manera:

$$l_s = \frac{P}{D^2} MPa$$

Donde:

- ✓ P = carga de falla, N, (Debido a que la presión se realiza a través de puntas cónicas, es necesario realizar una corrección, la cual es:
- ✓ P = valor medido en la máquina * (14.426 cm)
- ✓ D= Para muestra diametrales unidades (mm).

- **Muestra N° 1:**

$$l_{s1} = \frac{P}{D^2} MPa$$

Datos

- ✓ P1 = 2.6 MPa
- ✓ D1 = 350 mm

$$Is(50) = \frac{2.6 \times 14.426cm}{(350 \times 10^{-3})^2} Pa$$

$$Is(50) = 3.062MPa$$

- **Muestra N° 2:**

Datos:

- ✓ P1 = 2.57 MPa
- ✓ D1 = 350 mm

$$Is(50) = \frac{2.57 \times 14.426cm}{(350 \times 10^{-3})^2} MPa$$

$$Is(50) = 3.026MPa$$

- **Muestra N° 3:**

Datos:

- ✓ P1 = 2.57 MPa
- ✓ D1 = 350 mm

$$Is(50) = \frac{2.57 \times 14.426cm}{(350 \times 10^{-3})^2} MPa$$

$$Is(50) = 3.026MPa$$

4.1.3 Análisis estereográfico

- Evaluación de las discontinuidades

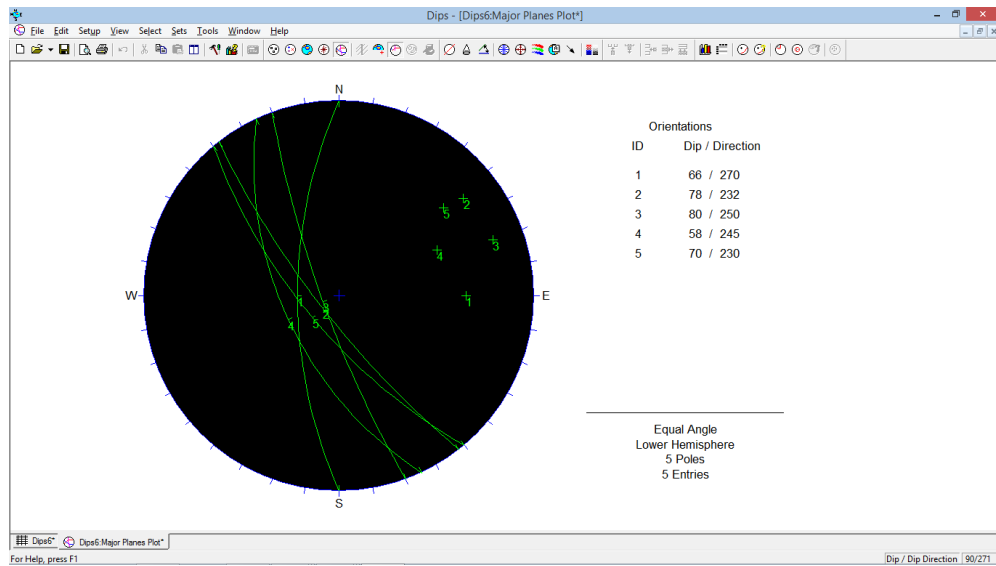


Figura 14 Representación estereográfica de las discontinuidades

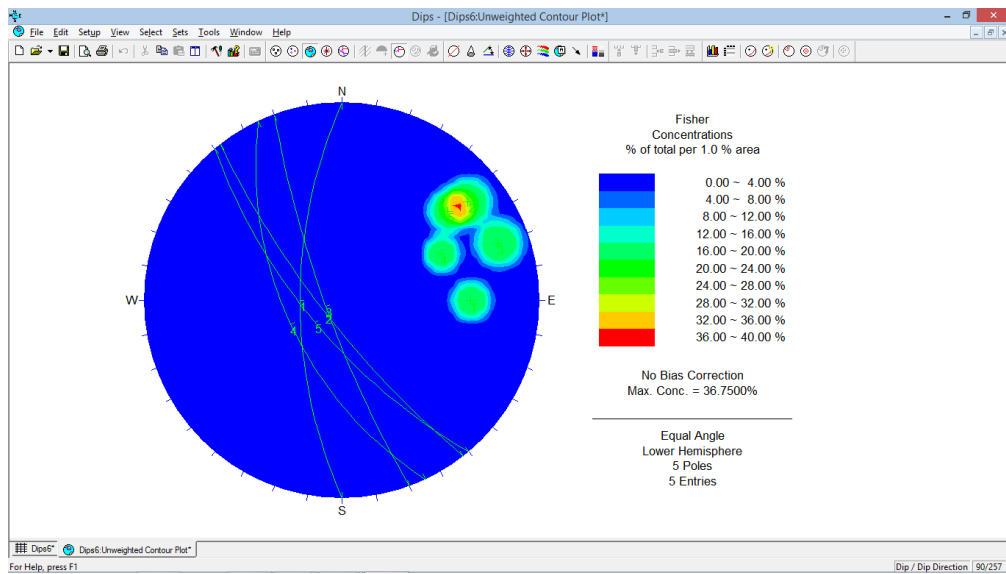


Figura 15 Concentración de dip y dip direction.

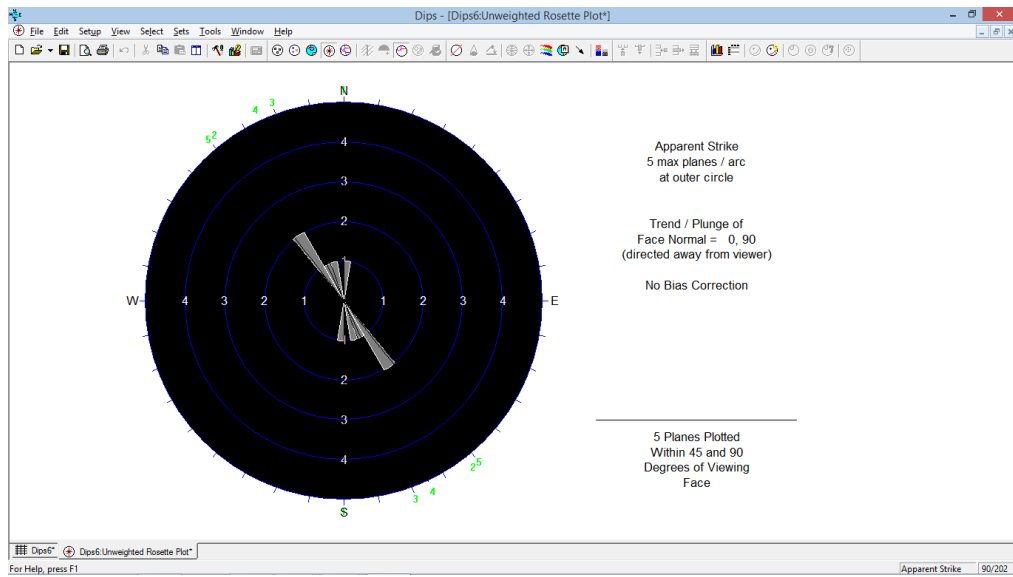


Figura 16 Orientación dominante de las discontinuidades

4.1.4 Procesamiento de datos de campo

a) Valor medio de la razón de esfuerzos

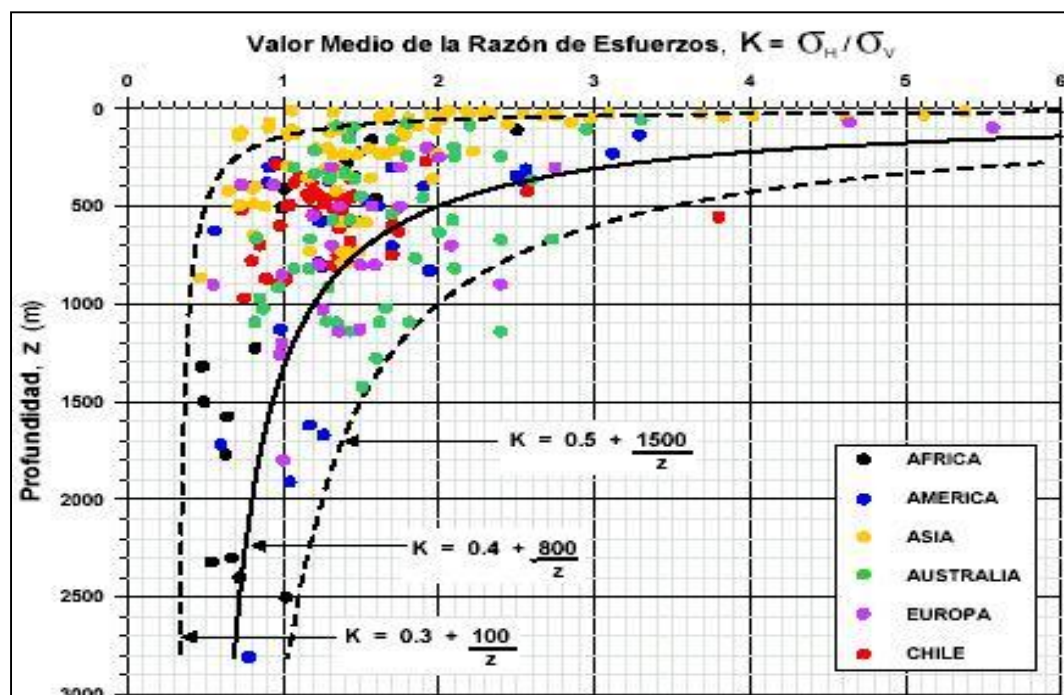


Figura 17. Valor medio de la razón de esfuerzos

- **Datos:**

- ✓ Densidad de la roca intacta = 2.77 t/m³
- ✓ Profundidad para el diseño del inclinado 80 m

- **Esfuerzo vertical**

$$\sigma_v = \rho * Z$$

$$\sigma_v = 2.77 * 80$$

$$\sigma_v = 221.6 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_v = 2.21 \text{ MPa}$$

- **Esfuerzo horizontal**

$$k = 0.3 + \frac{100}{z}$$

$$k = 0.3 + \frac{100}{80}$$

$$k = 0.3 + 1.25$$

$$k = 1.55$$

$$\sigma_h = k * \rho * Z$$

$$\sigma_h = 1.55 * 2.77 * 80$$

$$\sigma_h = 343.48 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_h = 3.42 \text{ MPa}$$

- **Valor medio de la razón de esfuerzos**

$$k = \sigma_h / \sigma_v$$

$$k = 3.42 / 2.21$$

$$k = 1.55$$

b) Evaluación del RQD

- **Muestra N° 1**

Tabla 14 . Valores del RQD para muestreo lineal

# Juntas/ml	RQD	# Juntas/ml	RQD
1	99.5	28	23.1
2	98.3	29	21.5
3	96.3	30	19.9
4	93.9	31	18.5
5	91.0	32	17.1
6	87.8	33	15.9

7	84.4	34	14.7
8	80.9	35	13.6
9	77.3	36	12.6
10	73.6	37	11.6
11	69.9	38	10.8
12	66.3	39	9.9
13	62.7	40	9.2
14	59.2	41	8.5
15	55.8	42	7.8
16	52.5	43	7.2
17	49.4	44	6.6
18	46.3	45	6.1
19	43.4	46	5.6
20	40.6	47	5.2
21	38.0	48	4.8
22	35.5	49	4.4
23	33.1	50	4.1
24	30.9	51	3.7
25	28.8	52	3.4
26	26.8	53	3.2
27	24.9	54	2.9

- **Resultados de la evaluación del RQD**

Tabla 15. Resultados de la evaluación del RQD

Muestra N°	Juntas/ml	RQD (%)
1	5	91
2	3	91
3	4	91
Promedio		91

• **Datos del muestro lineal**

Tabla 16. Datos del muestro lineal

Registro lineal											
Unidad minera: ACACLLUYOCC						Área geomecánica					
Nivel = - 80						RQD = 91.00%					
Ubicación:						Fecha: abril 2024					
Dimensión del dominio estructural:			6 m								
Tipo de roca:			Caliza								
N° Junta	Distancia a la intersección de la junta (m)	Discontinuidad F: Falla J: Junta CL: Cont. Litol. D: Dique	Orientación		Espaciado (m)	Persistencia (m)	Abertura (mm)	Rugosidad	Relleno (mm)	Agua	
			Dip	Dip direction							
					1. > 2	1. < 1	1. cerrada	1. Muy rug.	1. Limpio	1. Seco	
					2. 0.6 - 2	2. 1 - 3	2. < 0.1	2. Rugosa	2. Duro < 5	2. Húmedo	
					3. 0.2 - 0.6	3. 3 - 10	3. 0.1- 1	3. Med. Rug.	3. Duro > 5	3. Mojado	
					4. 0.06 - 0.2	4. 10 - 20	4. 1 - 5	4. Lig. Rug.	4. Suave < 5	4. Goteo	
					5. < 0.06	5. > 20	5. > 5	5. Lisa	5. Suave > 5	5. Flujo	
1	0		150°	66° NE	2	2	3	2	2	1	
2	0.6	J: junta	17°	75° SW	2	2	3	2	2	1	
3	1.2	J: junta	250°	55° NE	2	2	3	2	2	1	
4	2	J: junta	280°	78° SE	2	2	3	2	2	1	
5	2.4	J: junta	255°	20° SW	2	2	3	2	2	1	
6	3.1	J: junta	5°	55° NE	2	2	3	2	2	1	
7	3.7	J: junta	260°	72° NE	2	2	3	2	2	1	
8	4.2	J: junta	247°	25° SW	2	2	3	2	2	1	
9	5.8	J: junta	125°	84° NW	2	2	3	2	2	1	
10	6.5	J: junta	235°	48° NE	2	2	3	2	3	1	

4.1.5 Uso del software de Geotable – evaluación geomecánica



Figura 18. Software de Geotable



Figura 19. Clasificaciones geomecánicas

➤ Datos para el procesamiento

- ✓ Datos de campo
- ✓ Rumbo = S 65° W
- ✓ Buzamiento = 65° W
- ✓ Dirección de avance de la labor = Perpendicular con el buzamiento

- ✓ Resistencia carga puntual = 3 - 4 MPa (50 a 100 MPa RCU)
- ✓ RQD = 91 %
- ✓ Espaciamiento = 0.6 - 2 m
- ✓ Persistencia = 1 - 3 m
- ✓ Apertura = 0.1 - 1 mm
- ✓ Rugosidad = Rugosa
- ✓ Relleno = Duro > 5
- ✓ Alteración = Sana
- ✓ Agua = Seco

➤ **Clasificaciones geomecánicas RMR Bieniawski**

Figura 20. Clasificaciones geomecánicas RMR Bieniawski

Clasificaciones Geomecánicas

Regresar Convertidor Salir

Correlaciones y Conceptos Generales **MRMR** Q de Barton GSI SMR

Rock Mass Rating (Calidad del Macizo Rocoso)

Resistencia de la Roca Inalterada

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

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

Rating

RQD (Indice de calidad de la roca)

90-100 %

Rating

Espaciamiento de discontinuidades

0.6-2m Ver Gráfico

Rating

Condición de discontinuidades

Persistencia 1-3m Apertura 0.1-1mm Rugosidad Rugoso

Relleno Relleno duro <5mm Meteorización inalterado

Ver general Rating

Corrección por orientación de las discontinuidades

Rumbo perpendicular al eje

A favor del Buzamiento 45-90

En contra del Buzamiento

Rumbo paralelo al eje del túnel

Túnel o minas Cimentaciones Taludes

Rating Ver gráfica

Presencia de agua

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

Estado Seco

Rating

Calcular

RMR Ver reporte

Figura 21. Procesamiento de los datos de acuerdo a la clasificación geomecánica RMR Bieniawski

Clasificaciones Geomecánicas

Regresar Convertidor Salir

Correlaciones y Conceptos Generales **MRMR** Q de Barton GSI SMR

Rock Mass Rating (Calidad del Macizo Rocoso)

Resistencia de la Roca Inalterada

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

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

Rating 12

RQD (Indice de calidad de la roca)

90-100 %

Rating 20

Espaciamiento de discontinuidades

0.6-2m Ver Gráfico

Rating 15

Condición de discontinuidades

Persistencia 1-3m Apertura 0.1-1mm Rugosidad Rugoso

Relleno Relleno duro <5mm Meteorización inalterado

Ver general Rating 23

Corrección por orientación de las discontinuidades

Rumbo perpendicular al eje

A favor del Buzamiento 45-90

En contra del Buzamiento

Rumbo paralelo al eje del túnel

Túnel o minas Cimentaciones Taludes

Rating 0

Ver gráfica

Presencia de agua

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

Estado Seco

Rating 15

Calcular

RMR 85 Ver reporte

Figura 22. Resultados del procesamiento de los datos de acuerdo a la clasificación geomecánica del RMR Bieniawski

Clasificaciones Geomecánicas

Regn Reporte

Reporte RMR

RMR **85**

Clase de masa rocosa determinadas por las valoraciones totales

Valoración	100 - 81
Número de clase	I
Descripción	Roca muy buena

Significado de las clases de rocas

Número de clase	I
Tiempo de auto sostenimiento	20 años span 15 m
Cohesión de la masa rocosa KPa	> 400
Ángulo de fricción de masa rocosa	> 45°

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

CLASE DE MASA ROCOSA	EXCAVACION	PERNOS DE ROCA (20 MM DE DIAMETRO, COMPLETAMENTE INYECTADOS)	SHOTCRETE	CIMBRAS
I - Roca muy buena RMR: 81 - 100	Frente completo 3 m de avance	Generalmente no se requiere ningún sostenimiento excepto pernos esporádicos		

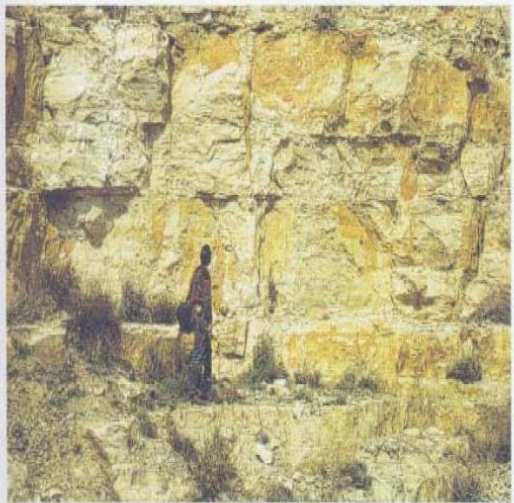
es

Windows Search: Buscar | 5°C | ESP | 01:42 5/06/2024

Figura 23. Reporte de a clasificación geomecánicas del RMR Bieniawski

Clasificaciones Geomecánicas

Regn Ejemplo RMR



Dolomías cretácicas. Calidad muy buena.
Dos familias de discontinuidades principales.

es

Windows Search: Buscar | 5°C | ESP | 01:42 5/06/2024

Figura 24. Representación del macizo rocoso de acuerdo al software Geotable

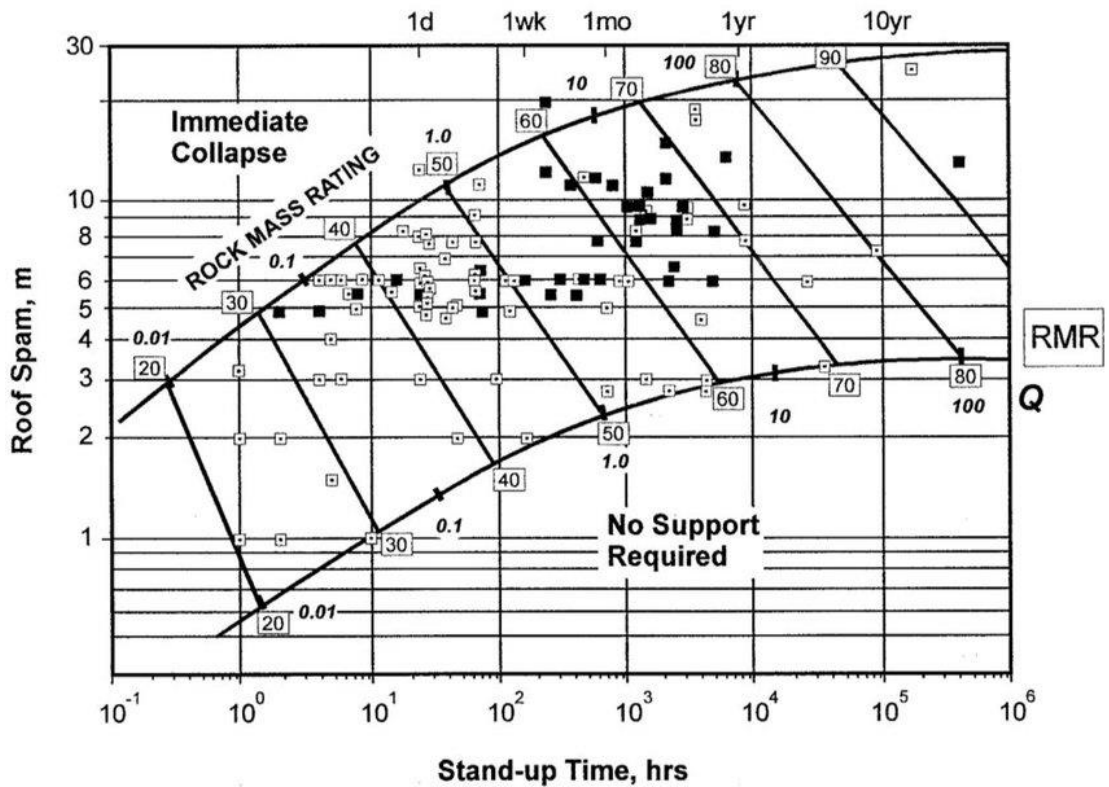


Figura 25. Stand - up time - roof spam

4.1.6 Datos técnicos del sostenimiento eventual

➤ Perno helicoidal (para labores permanentes)

Tabla 17. Datos técnicos perno helicoidal

Datos técnicos perno helicoidal	
Diámetro del perno	19-25 mm
Capacidad de carga	2.5-3 t/ pie
Peso del perno	2,98 kg
Longitud	7 pies
Diámetro del taladro	32 - 35 mm
Platina	4x200x200 mm

4.1.7 Precio unitario de sostenimiento

➤ Instalación de perno helicoidal

Tabla 18. Precio unitario perno hidrabolt

ESTRUCTURA DE PRECIOS UNITARIOS								
HYDRABOLT SET DE 7'								
Rendimiento	70.00	Pza		Dias trabajados	20			
	3.00	min/perno		Horas por dia	10			
Longitud de Perforacion	8.00	pies		<u>Equipos de Perforacion</u>				
Longitud de Efectiva	7.20	pies		Empernador				
				Consumo de Combustible	1.50	Gal/hr		
Item	Descripcion	Unidad	Cantidad	Cantidad	Costo Unitario	Vida Util	Costo Parcial	Costo Total
			(Personas)		US\$/Unidad		US\$	US\$/Pza
1.00	SOSTENIMIENTO						753.14	10.76
1.01	Mano de Obra						231.48	
	Operador de Jumbo	Gdia	1.29	1.00	61.98		79.64	
	Ayudante Operador de Jumbo	Gdia	1.29	1.00	34.09		43.80	
	Bodeguero	Gdia	1.29	0.20	34.09		8.76	
	Capataz	Gdia	1.29	0.10	257.51		33.09	
	Jefe de guardia	Gdia	1.29	0.10	515.02		66.18	
1.02	Aceros de Perforacion						115.69	
	Barras de perforacion 14'	p.p		560.00	0.08		44.47	
	Brocas de 42 mm	p.p		560.00	0.07		40.73	
	Shank Adapter	p.p		560.00	0.03		19.29	
	Coopling	p.p		560.00	0.02		11.20	
1.03	Materiales e insumos						0.67	
	Hydrabolt de 7' (inc Placa + tuerca)	Pza		70.00	0.00		0.00	
	Manguera de 1" (50 m)	Und		0.20	3.33		0.67	
1.03	Equipos						389.83	
	Jumbo	hr		3.50	105.20		368.20	
	Combustible	Gal		5.25	4.29		19.29	
	Bomba hydrabolt	Pza		70.00	0.10		1.51	
	Luminaria	Gdia		1.00	0.83		0.83	
1.04	Herramientas y EPP						18.13	
	Implementos de seguridad	Gdia	1.00	2.40	2.28		5.48	
	Herramientas	Gdia	1.00	2.20	5.18		11.40	
	Lamparas Mineras	Gdia	1.00	2.40	0.52		1.25	
TOTAL COSTO DIRECTO (US\$/und)							10.76	
	Utilidad Costo Directo					10%		1.08
	Gastos Generales					13%		1.40
COSTO TOTAL (US\$/un)							13.23	

➤ Instalación de shotcrete

Tabla 19. Precio unitario shotcrete

ESTRUCTURA DE PRECIOS UNITARIOS								
SHOTCRETE VIA HUMEDA DE 2"								
Rendimiento por guardia	250.00 m2				Dias trabajados			20.00
m3 de shotcrete	1150 m3				Horas por día			10.50
m2 de shotrete	14286 m2							
Cemento	10.00 Bolsa							
Cemento	425.00 Kg.				Avance mensual	m		1,031.16
Hiperplastificante	3.30 Kg.				Factor (m3 shotcrete / 1 m lineal)			1.11
Fibra metalica	30.00 Kg.				m3 cubico de shotcrete mes			1,149.53
Arena	1,620.00 Kg.				m2 lanzado / m3 shotcrete			12.43
	224.26 m2/m							

Item	Descripcion	Unidad	Cantidad	Cantidad	Costo Unitario	Vida Util	Costo Parcial	Costo Total
			(Personas)		US\$/Unidad		US\$	US\$/m2
1.00	SOSTENIMIENTO						5,352.39	21.41
1.01	Mano de Obra						601.14	
	Operador alpha	Gdia	1.29	1.00	61.98		79.64	
	Ayudante alpha	Gdia	1.29	1.00	34.09		43.80	
	Maestro Planta Concreto	Gdia	1.29	1.00	37.19		47.79	
	Técnico / Laboratorista	Gdia	1.29	1.00	61.98		79.64	
	Operador tornado	Gdia	1.29	2.00	49.58		127.43	
	Bodeguero	Gdia	1.29	0.30	34.09		13.14	
	Electricista	Gdia	1.29	0.20	43.39		11.15	
	Capataz	Gdia	1.29	0.20	257.51		66.18	
	Jefe de guardia	Gdia	1.29	0.20	515.02		132.36	
1.02	Materiales e insumos						2,073.09	
	Aditivo acelerante	Kg		270.34	1.27		343.34	
	Cemento Andino Portland Tipo I	Bolsa		135.17	6.55		885.61	3.54
	Arena para shotcrete	m3		13.52	16.00		216.27	0.87
	Fibra metalica wirand F53N	Kg		337.93	1.80		608.95	
	Calibrador	Unidad		135.17	0.14		18.92	0.08
1.03	Equipos						2,643.35	
	Planta de Dosificacion	Hr	1.00	8.00	150.83		1,206.67	
	Alpha	Hr	1.00	8.00	114.03		912.25	
	Carmix	Hr	2.00	8.00	32.78		524.44	
1.04	Herramientas y EPP						53.56	
	Implementos de seguridad	Gdia	1.00	6.90	2.36		16.29	
	Herramientas	Gdia	1.00	6.50	5.18		33.67	
	Lamparas Mineras	Gdia	1.00	6.90	0.52		3.60	
TOTAL COSTO DIRECTO (US\$/m2)							25.89	
	Utilidad Costo Directo				10%		2.59	
	Gastos Generales				13%		3.37	
COSTO TOTAL (US\$/m2)							31.85	

*Los precios unitarios no incluyen IGV

4.1.8 Indicaciones para la colocación del sostenimiento

➤ Pernos helicoidales

- ✓ El trabajador deberá verificar sus EPP's antes de ingresar al turno de trabajo.
- ✓ Inspeccionar el área de trabajo, sus equipos y conexiones y registrar en el formato de IPERC continuo.
- ✓ Verificar la ventilación, regar la carga, los hastiales, techo y frente de la labor.
- ✓ Desatar todas las rocas sueltas antes, durante y después de la tarea, de acuerdo al PETS de desatado de Rocas.
- ✓ Perforista y ayudante deben acondicionar el área de trabajo de acuerdo a las condiciones de la labor y marcar la malla del empernado.

- ✓ En las zonas críticas el supervisor de geomecánica debe entregar la malla y permanecer en la labor para supervisar el trabajo hasta controlar el riesgo.
- ✓ Contar con todos los servicios requeridos y verificar todos los materiales, herramientas y equipo antes de iniciar el trabajo.
- ✓ Perforar de acuerdo al PETS de perforación con máquina Jack-Leg.
- ✓ Realizar la perforación respetando taladro perforado taladro inyectado, según el estándar operativo

➤ **Sostenimiento con pernos helicoidales y malla**

- ✓ Hidratar los cartuchos de cemento durante 5 a 10 minutos. En el mezclador portátil (batea o carretilla), depositar 5 cenco por el espacio de 4 minutos y luego inyectarlo en el taladro perforado.
- ✓ Colocar el perno helicoidal en el taladro inyectado con resina y cenco, de manera manual dejando de 10 a 15 centímetros como máximo fuera de la roca.
- ✓ Colocar el adaptador en la máquina perforadora empuje haciendo percutar para que mescle los cartuchos de resina y cenco dentro del taladro,
- ✓ Cuando este colocado el perno se debe de fijar la tuerca con la platina del perno y ajustar.
- ✓ En labores elevadas hacer uso de los gradines de perforación.
- ✓ Para casos de roca de calidad D, E Y F presentar la malla electrosoldada como guardacabeza, esta se realizará desde el último perno helicoidal del traslape en avanzada hacia el tope de la labor para ello se utilizará horquillas para adherir a las paredes y techo dándole uniformidad a la malla electrosoldada en toda la sección de la labor.
- ✓ Terminada la operación de sostenimiento, ordenar los materiales, herramientas y equipos utilizados, para proseguir con otros trabajos asignados.
- ✓ Concluida la perforación, retirar el barreno de la perforadora y cerrar las válvulas de agua y aire.
- ✓ Desempatar y enrollar las mangueras colgándolas en sus respectivas alcayatas, colocándolas en lugar seguro.
- ✓ Lavar y colocar la capucha a la máquina perforadora y deja en un lugar seguro y ubicado en una plataforma horizontal junto a sus accesorios.
- ✓ Concluida su tarea el trabajador reportar al supervisor de operaciones mina y registra en la hoja de reporte diario de operaciones mina.
- ✓ Colocación de malla electrosoldada
- ✓ Sacar la medida de la malla a utilizar en el contorno de la labor.
- ✓ Cortar la malla electrosoldada haciendo uso de la cizalla entre 2 personas (Maestro y Ayudante) uno sujetando y controlando la malla y el otro cortando, el corte debe ser pegado a la última fila minimizando las sobresalientes del corte.

- ✓ Realizar el traslado entre dos personas hasta el área a colocar.
- ✓ Presentar la malla por el lado inverso del enrollado, con la ayuda de la horquilla y barra tensadora.
- ✓ Encajar la malla electrosoldada hacia los pernos previamente instalados cumpliendo con el estándar.

➤ **Indicaciones para el lanzamiento de shotcrete**

El lanzamiento de shotcrete (hormigón proyectado) en minería subterránea es una técnica esencial para reforzar y estabilizar túneles y galerías. A continuación, se describen las indicaciones generales para su aplicación:

• **Preparación del área**

- Inspección y limpieza
- ✓ Asegúrate de que la superficie a tratar esté limpia, libre de polvo, suciedad, aceites, grasas, y partículas sueltas.
- ✓ Elimina las rocas sueltas y cualquier material que pueda interferir con la adherencia del shotcrete.

• **Humedecimiento:**

- ✓ Humedece la superficie de la roca antes de la aplicación del shotcrete para mejorar la adherencia y reducir el rebote.

• **Equipos y materiales**

- Mezcla de shotcrete
- ✓ Prepara una mezcla adecuada de cemento, agregados, agua y aditivos (como aceleradores de fraguado) según las especificaciones del proyecto.

• **Equipos de proyección**

- ✓ Utiliza equipos especializados para el lanzamiento de shotcrete, que pueden ser de vía seca o vía húmeda. Asegúrate de que los equipos estén en buen estado de funcionamiento.

• **Aplicación del Shotcrete**

- Procedimiento de lanzamiento
- ✓ Comienza a proyectar el shotcrete desde la parte inferior de la superficie y avanza hacia arriba. Esto ayuda a evitar la acumulación de material y el desprendimiento.

- ✓ Mantén la boquilla del equipo de proyección a una distancia constante de la superficie (aproximadamente 1-2 metros) y perpendicular a la misma para asegurar una aplicación uniforme.

- Capas
- ✓ Aplica el shotcrete en capas sucesivas. La primera capa debe ser delgada para asegurar una buena adherencia. Las capas adicionales se aplican hasta alcanzar el espesor deseado.

- Control del rebote
- ✓ Minimiza el rebote del material ajustando la mezcla y la técnica de proyección. Un alto contenido de rebote indica una mezcla incorrecta o una técnica de aplicación inadecuada.

- **Control de calidad y seguridad**
- Monitoreo y pruebas:
- ✓ Realiza pruebas regulares de la calidad del shotcrete, incluyendo la resistencia a la compresión, la adherencia y el contenido de fibras (si se usan).

- Condiciones de seguridad:
- ✓ Asegúrate de que los operadores y el personal cercano usen equipo de protección personal adecuado, como cascos, gafas, guantes y ropa de alta visibilidad.
- ✓ Implementa procedimientos de ventilación adecuados para controlar el polvo y los vapores.

- **Posaplicación**
- Curado:
- ✓ Proporciona un curado adecuado al shotcrete recién aplicado para evitar el secado rápido y las grietas. Esto puede incluir el rociado con agua o el uso de compuestos de curado.

- Inspección:
- ✓ Inspecciona la superficie después de la aplicación para identificar y reparar posibles defectos, como áreas con baja adherencia o formación de grietas.

- **Mantenimiento y reparación**
- Monitoreo continuo:
- ✓ Realiza inspecciones regulares de las áreas tratadas con shotcrete para detectar signos de deterioro o daño.

- ✓ Realiza reparaciones de mantenimiento según sea necesario para asegurar la estabilidad y seguridad continua de las estructuras subterráneas.

Siguiendo estas indicaciones, se puede asegurar una aplicación efectiva y segura del shotcrete en minería subterránea, contribuyendo a la estabilidad y seguridad de las operaciones mineras.

4.2 Discusión de resultados

H1: La evaluación geológica y geotécnica del macizo rocoso en el área influye directamente en el diseño de sostenimiento del pique inclinado.

En relación a esta hipótesis, la investigación concluye que se verificó mediante la evaluación geológica que el macizo rocoso se encuentra conformado por una roca tipo caliza considerada de tipo básica dura cuya estructura geológica se presenta en forma masiva, el RQD de categoría excelente, con un espaciamiento considerada de separadas, con una persistencia baja, las discontinuidades se encuentran cerradas no alteradas sin la presencia de agua, respecto a la evaluación geotécnica la construcción del inclinado se presenta perpendicular al rumbo de las discontinuidades principales y avanza a favor del buzamiento lo que permite tener las mejores condiciones de avance, finalmente respecto al buzamiento de las discontinuidades estas se encuentran catalogadas como muy favorables.

Villorta (1) en su tesis titulada: “Evaluación y caracterización del macizo rocoso para la identificación del comportamiento de los diferentes tipos de sostenimiento en la Mina El Roble, El Carmen de Atrato, Chocó, Colombia” concluye que la caracterización geomecánica basada en el RMR corregido muestra que el nivel 1692 tiene un macizo rocoso de calidad regular (tipo IVA) a moderada (tipo III B), con un RMR entre 31 y 50. Sin embargo, se observa una disminución a un macizo rocoso de mala calidad en las zonas de contacto litológico (tipo IV B), con un RMR de 24 a 31, y un leve incremento en la calidad en algunos sectores hacia el interior del nivel (tipo III A), con un RMR de 51.

De ambas investigaciones se puede afirmar que comparten opinión respecto a la importancia de la evaluación geomecánica para determinar el sistema de sostenimiento.

H2: La evaluación de las propiedades mecánicas de las rocas presentes en el macizo influye directamente en el diseño de sostenimiento del pique inclinado

Con respecto a esta hipótesis, la investigación concluyó que se comprobó mediante la prueba de carga puntual que la roca intacta se califica como muy dura con una puntuación de un $I_s(50)$ de 3 a 4 MPa y en su equivalente para el análisis de carga uniaxial entre 75 a 100 MPa; por otro lado cabe resaltar que el cálculo de las tensiones en el eje vertical horizontal muestran valores de: $\sigma_v = 2.21$ MPa y $\sigma_h = 3.42$ MPa respectivamente y por último el valor medio de la razón de esfuerzos fue de $k = 1.55$

Perlacios (6) en su tesis titulada: “Análisis geomecánico para determinar la estabilidad del pique central y pique mascota en la mina Yauricocha, 2022” concluye que el análisis del inclinómetro 01 indica que la excavación del pique mascota se deformó 5.21 cm en 599 días (0.087 mm/día) en dirección al flanco NW (paralelo al cono de subsidencia). La deformación para los piques no debe superar 1” (2.5 cm) para mantener una luz adecuada entre la madera y la jaula o Skip. Reparando todos los cuadros del pique mascota hasta el Nivel 520, se podría extender su vida útil a 9.5 meses, siempre y cuando se reubique la casa de winche hacia el cerro. Añadiendo bloques de concreto estructural cada 8.5 m en los primeros -50 m o utilizando cables bolting de 10 m pretensados a 5 toneladas hasta el Nivel 420, se podría admitir una deformación de hasta 10 cm, lo que equivaldría a 3.1 años de vida útil.

Se puede afirmar que ambas investigaciones comparten opinión respecto a la importancia de la evaluación geomecánica para determinar el sistema de sostenimiento.

H3: La evaluación de la deformación y falla del macizo rocoso bajo las condiciones de carga influye directamente en el diseño de sostenimiento del pique inclinado

Sobre esta hipótesis, la investigación concluyó que se comprobó mediante la evaluación geomecánica del macizo rocoso aplicando la cartilla de Bieniawski que el RMR fue de 85 puntos la cual lo clasifica con una descripción de macizo rocoso muy bueno de clase I con un ángulo de fricción de masa rocosa $> 45^\circ$, la cohesión de la masa rocosa > 400 MPa, respecto al autosostenimiento los datos nos arrojaron de 20 años para un spam de 15 m, estos resultados nos permite avanzar a frente completo que generalmente no requiere ningún sostenimiento excepto la colocación de pernos en forma esporádica cuando sea necesario.

Cuenca (2) en su tesis titulada: “Diseño de excavación en la mina El Pique, mediante profundización inclinada, ubicada en el barrio El Tablón, cantón Portovelo, Operado por la Compañía Oroconcent S.A.” afirma que se optó por una sección rectangular que ofrece ventajas en maniobrabilidad, confort y mayor área para transportar maquinaria, insumos y personal. La geomecánica favorable permite labores con esta sección transversal. Las dimensiones

propuestas son 1.7 m de ancho y 1.6 m de altura, con una inclinación de 45° y una longitud total de excavación de 70.71 metros, determinadas por el tipo de maquinaria y elementos de izaje a utilizar.

Se puede afirmar que ambas investigaciones comparten opinión respecto a la importancia de la evaluación geomecánica para determinar el sistema de sostenimiento.

CONCLUSIONES

1. Se comprobó que la evaluación geomecánica del macizo rocoso presenta un RQD de categoría excelente, espaciamiento de juntas considerada de separadas de persistencia baja, cerradas y no alteradas secas. Respecto a la resistencia a la carga puntual, se estableció como muy dura; por otro lado, cabe resaltar que los cálculos de las tensiones en el eje vertical horizontal muestran valores de: $\sigma_v = 2.21$ MPa y $\sigma_h = 3.42$ MPa respectivamente. En resumen, la descripción de macizo rocoso muy bueno de clase I con un ángulo de fricción de masa rocosa $> 45^\circ$, la cohesión de la masa rocosa > 400 MPa, respecto al autosostenimiento los datos nos arrojaron de 20 años para un spam influyo para el diseño de sostenimiento del pique inclinado a frente completo sin sostenimiento excepto la colocación de pernos en forma esporádica cuando sea necesario, unidad minera Acaccluyoc 2024.
2. Se verificó mediante la evaluación geológica que el macizo rocoso se encuentra conformado por una roca tipo caliza considerada de tipo básica dura cuya estructura geológica se presenta en forma masiva, el RQD de categoría excelente, con un espaciamiento considerada de separadas, con una persistencia baja, las discontinuidades se encuentran cerradas no alteradas sin la presencia de agua, respecto a la evaluación geotécnica la construcción del inclinado se presenta perpendicular al rumbo de las discontinuidades principales y avanza a favor del buzamiento lo que permite tener las mejores condiciones de avance, finalmente respecto al buzamiento de las discontinuidades estas se encuentran catalogadas como muy favorables.
3. Se comprobó mediante la prueba de carga puntual que la roca intacta se califica como muy dura con una puntuación de un $I_s(50)$ de 3 a 4 MPa y en su equivalente para el análisis de carga uniaxial entre 75 a 100 MPa; por otro lado cabe resaltar que el cálculo de las tensiones en el eje vertical horizontal muestran valores de: $\sigma_v = 2.21$ MPa y $\sigma_h = 3.42$ MPa respectivamente y por último el valor medio de la razón de esfuerzos fue de $k = 1.55$
4. Se comprobó mediante la evaluación geomecánica del macizo rocoso aplicando la cartilla de Bieniawski que el RMR fue de 85 puntos la cual lo clasifica con una descripción de macizo rocoso muy bueno de clase I con un ángulo de fricción de masa rocosa $> 45^\circ$, la cohesión de la masa rocosa > 400 MPa, respecto al autosostenimiento los datos nos arrojaron de 20 años para un spam de 15 m, estos resultados nos permite avanzar a frente completo que generalmente no requiere ningún sostenimiento excepto la colocación de pernos en forma esporádica cuando sea necesario.

RECOMENDACIONES

1. Luego de haber comprobado que la evaluación geomecánica del macizo rocoso influyó para determinar el sistema de sostenimiento, se recomienda su aplicación, asegurarse de que el uso de cartillas geomecánicas y las soluciones de sostenimiento propuestas cumplan con las normativas y estándares nacionales e internacionales aplicables. Esto garantiza la conformidad legal y la seguridad del proyecto
2. Luego de haber comprobado que la evaluación geomecánica del macizo rocoso influyó para determinar el sistema de sostenimiento, se recomienda elegir la cartilla geomecánica más adecuada para las condiciones geológicas específicas del sitio de trabajo. Las características del terreno y las propiedades mecánicas de las rocas deben ser compatibles con las especificaciones de la cartilla utilizada.
3. Luego de haber comprobado que la evaluación geomecánica del macizo rocoso influyó para determinar el sistema de sostenimiento, se recomienda mantener una actualización constante de las condiciones geológicas y geomecánicas del área de trabajo. Las cartillas deben revisarse y ajustarse periódicamente en función de los nuevos datos recolectados durante el desarrollo del proyecto.
4. Luego de haber comprobado que la evaluación geomecánica del macizo rocoso influyó para determinar el sistema de sostenimiento, se recomienda incluir en el análisis los factores externos que puedan afectar la estabilidad del terreno, como la presencia de agua, vibraciones por maquinaria o actividades sísmicas. Estos factores pueden influir significativamente en la elección del sistema de sostenimiento.
5. Establecer un sistema de retroalimentación continua donde las experiencias y resultados obtenidos en el uso de las cartillas geomecánicas sean analizados y utilizados para mejorar futuras aplicaciones y desarrollos de estas herramientas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. VILLOTA, Oscar. Evaluación y caracterización del macizo rocoso para la identificación del comportamiento de los diferentes tipos de sostenimiento en la Mina El Roble, El Carmen de Atrato, Chocó, Colombia. Tesis (Título de Geólogo). Colombia : Universidad de Caldas, 2022, 175 pp.
2. CUENCA, Walter. Diseño de excavación en la mina “el pique”, mediante profundización inclinada, ubicada en el barrio El Tablón, Cantón Portovelo, operado por la compañía Oroconcent S.A. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Ecuador : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2022, 166 pp.
3. VARELA, Juan. Análisis geológico-geomecánico de pilares de roca mediante perforaciones de auscultación, en los sectores productivos mina Esmeralda y mina Pilar Norte, Pertenecientes a la división El Teniente, Codelco, Región Del Libertador General Bernardo O'higgins. Tesis (Título de Geólogo). Chile : Universidad de Concepción, 2019, 132 pp.
4. JIMÉNEZ, Michael. Caracterización del macizo rocoso ubicado en el sector Ingamullo II, km 11, proyecto: reconstrucción de la carretera Gualaceo-Limón Indanza, tramo: Gualaceo-Plan de Milagro. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Ecuador : Universidad del Azuay, 2022,76 pp.
5. RIVERA, Renato. Modelo geomecánico preliminar del macizo rocoso de cantera normal de mina Jilguero, región de Atacama, Chile. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Chile : Universidad de Atacama, 2022.
6. PERLACIOS, Jesús. Análisis geomecánico para determinar la estabilidad del pique central y pique mascota en la mina Yauricocha, 2022. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Ayacucho - Perú : Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, 2022, 112 pp.
7. TORRES, Eduardo. Análisis geomecánico del macizo rocoso para el dimensionamiento y estabilidad de un pilar protección en la zona de extracción de una veta, en una mina subterránea en Ayacucho 2020. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Cajamarca, Perú : Universidad Privada del Norte, 2020, 63 pp.
8. CAÑAPATAÑA, Alvaro. Determinación de las condiciones del macizo rocoso en la profundización del avance en la zona Esperanza del nivel 23 mediante un análisis

- geomecánico en la unidad minera Americana de Cía. Minera Casapalca. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Puno, Peru : Universidad Nacional del Altiplano, 2019.
9. GERONIMO, Josec. Evaluación geomecánica para el diseño de sostenimiento en la galería de acceso y rampa 430-e de la Empresa Minera S.M. Power S.A.C. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Puno, Perú : Universidad Nacional del Altiplano, 2019, 139 pp.
 10. MAMANI, Yury. Evaluación geomecánica del macizo rocoso de la mina 9-10 de Shougang Hierro Perú. Tesis (Título de Ingeniero Geólogo). Peru : Universidad Nacional del Altiplano, 2023, 320 pp.
 11. HIZO, Jhordy. Evaluación geomecánica para la elección del tipo de sostenimiento en la rampa principal de la mina “Flor de Lirio” - Sociedad Comercial Importadora y Exportadora Dicave Limitada. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Peru : Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 2020, 103 pp.
 12. STAGG, K. G., ZIENKIEWICZ, O. C., & ORTÍZ, J. M. R. *Mecánica de rocas en la ingeniería práctica*. s.l. : Blume, 1970.
 13. BIENIAWSKI, Z. T. *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. s.l. : John Wiley & Sons., 1989.
 14. CHUQUICONDO, C. A. *Influencia de la estabilidad del macizo rocoso y efecto de la voladura en el dimensionamiento de tajeo en una mina subterránea*. 2021.
 15. ORGANISMO SUPERVISOR DE LA INVERSIÓN EN ENERGÍA Y MINERÍA. . *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas*. s.l. : Osinergmin., 2017.
 16. CONDE, Yarica. Análisis del macizo rocoso y su aplicación de cables Bolting en la ejecución de echaderos de relleno detrítico en la mina San Rafael Melgar - Puno. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Peru : Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 2019.
 17. ITGME. *Manual de ingeniería geológica*. Madrid : s.n., 1992.

18. RAMÍREZ, P., De la Cuadra, L., R, L., & E, G. *Mecánica de rocas aplicada a la minería metálica subterránea* . Madrid : (1era ed.) IGME, 1991.
19. SNMPE. *Manual de geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea*. Lima : s.n., 2004.
20. GONZALES DE VALLEJO, L., & FERRER, M. *Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos* . Madrid : (2da ed.), 2007.

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia

	Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable
General	¿De qué manera influye el análisis geomecánico del macizo rocoso para el diseño de sostenimiento de un pique inclinado, unidad minera Acaccluyocc 2024?	Establecer de qué manera de qué manera influye el análisis geomecánico del macizo rocoso para el diseño de sostenimiento de un pique inclinado, unidad minera Acaccluyocc 2024	El análisis geomecánico del macizo rocoso mediante que comprende las propiedades físicas, mecánicas de la roca intacta y de las discontinuidades influye directamente en el diseño de sostenimiento de un pique inclinado, unidad minera Acaccluyocc 2024	Independiente Análisis geomecánico del macizo rocoso
				Dependiente Diseño de sostenimiento
Específicos	a) ¿Cuál es el resultado de la evaluación geológica y geotécnica del macizo rocoso en el área del inclinado?	a) Efectuar la evaluación geológica y geotécnica del macizo rocoso en el área del inclinado.	a) La evaluación geológica y geotécnica del macizo rocoso en el área influye directamente en el diseño de sostenimiento del pique inclinado	
	b) ¿Cuál es el resultado de evaluación de las propiedades mecánicas de las rocas presentes en el macizo?	b) Determinar el resultado de evaluación de las propiedades mecánicas de las rocas presentes en el macizo.	b) La evaluación de las propiedades mecánicas de las rocas presentes en el macizo influye directamente en el diseño de sostenimiento del pique inclinado	
	c) ¿Cuál es el resultado de la evaluación de la deformación y falla del macizo rocoso bajo las condiciones de carga del inclinado?	c) Establecer el resultado de la evaluación de la deformación y falla del macizo rocoso bajo las condiciones de carga del inclinado.	c) La evaluación de la deformación y falla del macizo rocoso bajo las condiciones de carga influye directamente en el diseño de sostenimiento del pique inclinado	

Anexo 2

Matriz de operacionalización de variables

Variable	Concepto	Dimensión	Unidad
Independiente	El análisis geomecánica de un macizo rocoso, permite	➤ Evaluación geológica y geotécnica del macizo rocoso.	S/U
Análisis geomecánico del macizo rocoso	estimar su comportamiento ante los esfuerzos generados por diversas obras de ingeniería, como presas, excavaciones superficiales o subterráneas	➤ Evaluación de las propiedades físicas. ➤ Evaluación de las propiedades mecánicas. ➤ Evaluación de la deformación y falla del macizo rocoso	MPa S/U S/U
Dependiente	Los sistemas de sostenimiento temporal	➤ Tipo de sostenimiento	S/U
Diseño de sostenimiento	sirven para soportar el perímetro de una abertura subterránea desde el inicio de su excavación hasta que se coloca un revestimiento permanente.	➤ Tiempo de instalación del sostenimiento ➤ Longitud de pase ➤ Dimensiones del sostenimiento	hr m m