

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**“DISEÑO DE LA CONSTRUCCIÓN SUBTERRANEA DE LA MINA
ESCUELA CAROLINA CON FINES ACADÉMICOS Y DE
INVESTIGACIÓN”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. NELSON ALEXIS MAMANI ROJAS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

“DISEÑO DE LA CONSTRUCCIÓN SUBTERRANEA DE LA MINA ESCUELA CAROLINA CON FINES ACADÉMICOS Y DE INVESTIGACIÓN”

TESIS PRESENTADA POR:

NELSON ALEXIS MAMANI ROJAS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:

M.Sc. Ing. EUGENIO ARAUCANO DOMINGUEZ

PRIMER MIEMBRO:

M.Sc. Ing. MARIO SERAFIN CUENTAS ALVARADO

SEGUNDO MIEMBRO:

Mg. FELIPE MAMANI OVIEDO

DIRECTOR / ASESOR:

M.Sc. Ing. AMERICO ARIZACA AVALOS

Área : Ingeniería de Minas

Tema : Diseño y planeamiento de minas

Fecha de sustentación: 17 de Julio del 2019

DEDICATORIA

Con profundo amor y agradecimiento

Dedico esta tesis a mis padres:

Ubaldo Mamani Coaquira y Mauricia Rojas Yucra

Por el apoyo incondicional, constante y desmedido en el transcurso de mi existencia.

A mis hermanos:

Yony Franclin, Fredy Rossel, Edith Irene, Henry Jhoel y Jhon Erik

Mi hermano Luis Ángel que en paz descanse

A toda mi familia por el apoyo moral

Por ser mi mayor motivación en mi desarrollo profesional.

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater Universidad Nacional del Altiplano, que me ha acogido durante todos los años de mi formación académica profesional y, por haberme brindado la oportunidad de formarme como Ingeniero de Minas.

A la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, a sus autoridades y docentes, que nos han impartido sus conocimientos, experiencias y, que estuvieron siempre dispuestos a aclarar mis dudas, especialmente a los, Ing. Américo Arizaca Ávalos, Ing. Mario Serafín Cuentas Alvarado, Ing. Alfredo Cámac Torres, quienes guiaron con éxito en mi formación profesional y ayudaron a apreciar el ser Ingeniero Minero, que hoy constituye el fundamento de mi vida profesional.

A todos mis compañeros, con los que formé una gran amistad y fraternidad durante toda mi carrera universitaria, gracias por ser excelentes amigos.

A mis padres y hermanos que siempre estuvieron ahí para apoyarme y darme fortalezas para seguir adelante.

También expresar mis agradecimientos a todas aquellas personas que directa o indirectamente han contribuido con su apoyo en el desarrollo de esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	14
ABSTRACT	15

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1	Planteamiento del problema	16
1.2	Formulación del problema.....	17
1.2.1	Problema general	17
1.2.2	Problemas específicos.....	17
1.3	Hipótesis de la investigación.....	18
1.3.1	Hipótesis general.....	18
1.3.2	Hipótesis específicas	18
1.4	Justificación.....	18
1.5	Objetivos de la investigación	19
1.5.1	Objetivo general	19
1.5.2	Objetivos específicos.....	19

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1	Marco Teórico	20
2.1.1	Mina escuela experimental Edgar de colorado school of mines.....	24

2.1.2	Northern centre for advanced technology (NORCAT).....	27
2.1.3	International centre for geotechnics and underground construction.	27
2.1.4	Mina escuela la Boreal	28
2.1.5	Mina didáctica del centro minero Sena.....	29
2.1.6	Fundación santa bárbara mina escuela el Bierzo	30
2.1.7	Mina escuela el Brillador	32
2.1.8	Mina experimental Marcelo Jorissen	33
2.1.9	Centro de formación tecnológica minera (CETEMIN)	34
2.1.10	Diseño de excavaciones subterráneas	39
2.1.11	Planteamiento del diseño de excavaciones subterráneas	42
2.1.12	Estabilidad de excavaciones en medios elásticos continuos	45
2.1.13	Diseño y modelización.....	46
2.1.14	Modelización	47
2.1.15	Aspectos de diseño	48
2.1.16	Inestabilidad en las excavaciones	54
2.1.17	Dimensionamiento de aberturas (cámaras)	55
2.1.18	Energía y estabilidad	55
2.1.19	Aspectos de riesgo y digresión en el diseño de labores subterráneas.	55
2.1.20	Tipos de riesgos	56
2.2	Marco conceptual.....	56
2.2.1	Mina.....	56
2.2.2	Escuela	57
2.2.3	Mina escuela.....	57
2.2.4	Patrimonio minero	58
2.2.5	Patrimonio geológico	58
2.2.6	Macizo rocoso	58
2.2.7	Caracterización.....	59

2.2.8	Discontinuidades.....	59
2.2.9	Sostenimiento	59
2.2.10	Cámara o salón minero.....	59
2.2.11	Consideraciones geomecánicas.....	59
2.2.12	Condición y parámetros de las discontinuidades.....	66
2.2.13	Propiedades físicos mecánicas del macizo rocoso	69
2.2.14	Diseño de sostenimiento	71
2.2.15	Elementos de sostenimiento activos y estáticos	72

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	Ubicación geográfica del estudio.....	74
3.1.1	Delimitación del área de investigación.....	75
3.1.2	Accesibilidad.....	75
3.1.3	Clima	75
3.1.4	Precipitación	76
3.2	Periodo de duración del estudio.....	76
3.3	Procedencia del material utilizado.....	77
3.4	Descripción Geología.....	78
3.5	Población y muestra del estudio	79
3.5.1	Población.....	79
3.5.2	Muestra.....	79
3.6	Diseño estadístico	79
3.7	Análisis metodológico.....	89
3.8	Procedimiento.....	89
3.9	Variables	90
3.10	Operacionalización de las variables	92
3.11	Análisis de los resultados.....	92

3.12	Técnicas de recolección de datos.....	95
3.12.1	Técnica	95
3.12.2	Instrumento	95
3.12.3	Materiales.....	95

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Resultados.....	96
4.1.1	Propiedades físico mecánicas de la roca.....	96
4.2	Caracterización del macizo rocoso	101
4.2.1	Caracterización geomecánica.....	101
4.3	Clasificación geomecánica	106
4.3.1	Designación de la calidad de la roca (RQD)	106
4.3.2	Valoración del macizo rocoso RMR	106
4.3.3	Índice Q.....	108
4.3.4	Índice de resistencia geológica.....	109
4.4	Modelamiento estructural del macizo rocoso.....	109
4.5	Interrelación entre el índice RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton .	114
4.6	Sostenimiento	115
4.6.1	Parámetro geomecánico	119
4.6.2	Parámetro operativo.....	124
4.7	Nuevas excavaciones subterráneas en la mina escuela carolina.....	124
4.7.1	Área de perforación y voladura.....	124
4.7.2	Área de mecánica de rocas	126
4.7.3	Área de rescate minero.....	128
4.7.4	Área de maquinaria minera.....	130
4.8	Ventilación.....	132
4.9	Aire comprimido.....	133

4.10	Iluminación	133
4.11	Costo total de la mina.....	133
4.12	Población beneficiada.....	135
4.13	Programas de formación	136
4.14	Actividades a desarrollar.....	137
4.15	Actividades desarrolladas campamento de la mina (superficial)	137
4.16	Actividades desarrolladas en interior mina	137
4.17	Factor social.....	138
4.18	Contrastación de la hipótesis	139
4.19	Discusiones	140
	CONCLUSIONES	142
	RECOMENDACIONES.....	143
	REFERENCIAS	144
	ANEXOS	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología de diseño de excavaciones subterráneas	40
Figura 2. Metodología de diseño de excavaciones medios estratificados.....	41
Figura 3. Tipos de rotura en diferentes macizos rocoso bajo diferentes niveles de tensión.....	44
Figura 4. Continuidad o discontinuidad relativa de macizos rocosos frente a excavaciones.	46
Figura 5. Curvas de span crítico.	49
Figura 6. Distribución de los casos en función del RMR	50
Figura 7. Gráfico para la categoría A de sostenimiento	51
Figura 8. Gráfico para la categoría B de sostenimiento.....	52
Figura 9. Gráfico para la categoría C de sostenimiento.....	53
Figura 10. Gráfico para la categoría D de sostenimiento	54
Figura 11. Gráfico para el sistema de sostenimiento del sistema Q	64
Figura 12. Histograma de la resistencia a la compresión simple de roca en MPa, por tramos.....	81
Figura 13. Variación del RMR para cada estación de la galería principal	82
Figura 14. Histograma de valores de RMR que presenta el macizo rocoso de la mina escuela Carolina.....	82
Figura 15. Histograma de los valores de RQD que presenta el macizo rocoso de la mina escuela Carolina.....	85
Figura 16. Histograma de valores de Persistencia de las estructuras de la mina escuela Carolina.....	86
Figura 17. Histograma de valores de apertura de las estructuras de la mina escuela Carolina.....	86
Figura 18. Histograma de valores de rugosidad de las estructuras de la mina escuela Carolina.....	87
Figura 19. Histograma de valores de relleno de las estructuras de la mina escuela Carolina.....	88
Figura 20. Histograma de valores de Alteracion de las estructuras de la mina escuela Carolina.....	88
Figura 21. Comportamiento del macizo rocoso en términos de esfuerzos principales... 99	
Figura 22. Comportamiento del macizo rocoso en términos de esfuerzos totales.....	100
Figura 23. Familia de diaclasas presentes en la caracterización del macizo rocoso, para la apertura N°1 ubicada a 15 m de la bocamina.	110
Figura 24. Familia de diaclasas presentes en la caracterización del macizo rocoso, para la apertura N°2 ubicada a 25 m de la bocamina.	111
Figura 25. Familia de diaclasas presentes en la caracterización del macizo rocoso, para la apertura N°3 ubicada a 55 m de la bocamina.	112
Figura 26. Familia de diaclasas presentes en la caracterización del macizo rocoso, para la apertura N°4 ubicada a 65 m de la bocamina.	113
Figura 27. Tipo de sostenimiento, excavación N° 1	115
Figura 28. Tipo de sostenimiento, excavación N° 2	116
Figura 29. Tipo de sostenimiento, excavación N° 3	116
Figura 30. Tipo de sostenimiento, excavación N° 4	117
Figura 32. Análisis del factor de seguridad de la zona de excavación N°1, estable.....	120

Figura 33. Análisis del factor de seguridad de la zona de excavación N°2, estable.....	121
Figura 34. Análisis del factor de seguridad de la zona de excavación N°3, estable.....	122
Figura 35. Análisis del factor de seguridad de la zona de excavación N°4, estable.....	123
Figura 36. Área de perforación y voladura de rocas, ancho máximo de 10 m interior mina	126
Figura 37. Área de mecánica de rocas, ancho de excavación de 5 a 7 m, interior mina	127
Figura 38. Área de rescate minero, ancho máximo de excavación entre 0 a 6 m, interior mina	130
Figura 39. Área de maquinaria minera, ancho máximo de excavación 0 a 6 m, interior mina	132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Guía para la excavación y sostenimiento de túneles de roca de acuerdo al RMR	61
Tabla 2. Valores de ESR para el tipo y descripción de una excavación.	63
Tabla 3. Categorías de reforzamiento del sistema Q	65
Tabla 4. Correlaciones de RMR y Q.....	65
Tabla 5. Periodo de duración del proyecto de investigación	77
Tabla 6. Resumen de resistencia a la compresión simple de la roca	80
Tabla 7. Resumen de resistencia por carga puntual de las muestras irregulares	80
Tabla 8. Valores estadísticos para el análisis del RMR.....	83
Tabla 9. Valores de RQD para las 17 progresivas de la galería principal	83
Tabla 10. Valores estadísticos para el RQD de la galería principal	84
Tabla 11. Índice de calidad de la roca RQD para la galería principal	84
Tabla 12. Valores para los parámetros del estado de las juntas en la mina escuela Carolina.....	85
Tabla 13. Operacionalización de variables de la presente investigación.....	92
Tabla 14. Resumen de RMR por estaciones de mapeo geomecánico	93
Tabla 15. Relación peso específico y porosidad.....	96
Tabla 16. Contenido de humedad de la roca andesita.....	97
Tabla 17. Densidad de la roca andesita.....	97
Tabla 18. Ensayo de resistencia a la compresión Uniaxial de la roca	101
Tabla 19. Mapeo geomecánico del macizo rocoso para la excavación N°1, ubicada a 15 metros de la bocamina.	102
Tabla 20. Mapeo geomecánico del macizo rocoso para la excavación N°2, ubicada a 25 metros de la bocamina.	103
Tabla 21. Mapeo geomecánico del macizo rocoso para la excavación N°3, ubicada a 55 metros de la bocamina.	104
Tabla 22. Mapeo geomecánico del macizo rocoso para la excavación N°4, ubicada a 65 metros de la bocamina.	105
Tabla 23. Designación de la calidad de la Roca para la galería Mina Escuela Carolina	106
Tabla 24. RMR Promedio para la galería de la Mina Escuela Carolina.....	108
Tabla 25. Muestra del índice Q promedio del macizo rocoso de la mina escuela carolina	108
Tabla 26. Índice de resistencia geológica (GSI) promedio de la Mina Escuela Carolina	109
Tabla 27. Valores de índice Q de Barton.....	114
Tabla 28. Dimensión equivalente	114
Tabla 29. Tipo de sostenimiento según Q de Barton.....	117
Tabla 30. Tipo de sostenimiento para la excavación N°1.....	118
Tabla 31. Tipo de sostenimiento para la excavación N°2, 3 y 4.....	118
Tabla 32. Parámetros mecánicos de la roca.....	119
Tabla 33. Costo de sostenimiento de la excavación mina escuela carolina.....	135
Tabla 34. Contrastación de Hipótesis de la investigación	139

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RMR	: Rock Mass Rating
GSI	: Índice de resistencia geológica
ISRM	: International Society for Rock Mechanics
Mpa	: Mega pascal
msnm	: Metros sobre el nivel del mar
ρ	: Densidad
RQD	: Índice de calidad de la roca (Rock Quality Designation)
Q	: Índice de calidad de roca de Barton
SRF	: Factor de reducción por esfuerzos
Jv	: Numero de juntas
Jr	: Índice de rugosidad de las juntas
Jw	: Factor de reducción por presencia de agua en las juntas
Ja	: Índice de Alteracion de las juntas
Jn	: Numero de familia de juntas
De	: Diámetro equivalente
ESR	: Excavation Support ratio
FS	: Factor de seguridad
m	: Masa
V	: Volumen
A	: Área
INGEMMET	: Instituto nacional geológico minero metalúrgico
UTM	: Universal Transversal Mercator
Nv	: Nivel
SENAMHI	: Servicio nacional de meteorología e hidrología
FIM	: Facultad de Ingeniería de Minas
UNAP	: Universidad Nacional del Altiplano Puno

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tiene por finalidad realizar el diseño de la construcción subterránea para la Mina Escuela Carolina, los cuales tendrán fines académicos y de investigación sin considerar las reservas minerales. Se encuentra ubicada a ocho kilómetros de la ciudad de Puno, carretera a Moquegua, antigua mina explotada por la colonia española entre los años 1600 a 1668 y por Minero Puno Empresa de Propiedad Social entre 1975 a 1977. El estudio es de tipo descriptivo, desarrollando la caracterización geomecánica de la galería principal de la Mina escuela Carolina se diseñan cavernas subterráneas que servirá para los estudiantes de ingeniería de minas de la UNA Puno, adquirir conocimiento científico y tecnológico para fortalecer sus conocimientos teóricos para formar profesionales más competentes para la industria minera y, de la misma manera fomentar la investigación corporativa y el trabajo en equipo. A través de la caracterización geomecánica se logra cumplir con los objetivos teniendo como resultado las zonas de estabilidad en las progresivas 3, 6, 12 y 16 con un valor de RMR de Bieniawski de 63 (buena), 55 (regular), 51 (regular) y 50 (regular), y teniendo como tipo de sostenimiento, empernado sistemático con espaciamiento de 2.8m, empernado puntual, empernado sistemático con espaciamiento de 1.5m y, empernado sistemático con espaciamiento de 1.5m, respectivamente, así mismo las dimensiones de diseño de las cuatro cavernas subterráneas propuestas para las áreas de perforación y voladura, mecánica de rocas, rescate minero y maquinaria minera, serán 2m x 2m x 1.8m como entrada inicial seguida de una abertura de 6m x 6m x 2.5m con una gradiente de (+) 0.5%. Que tendrán un costo general de 51 064.44 dólares para su construcción.

Palabras clave: Diseño, Construcción, Mina escuela, centro de investigación.

ABSTRACT

The purpose of this research project is to design the underground construction for the Carolina School Mine, which will have academic and research purposes without considering the mineral reserves. It is located eight kilometers from the city of Puno, on the road to Moquegua, an old mine exploited by the Spanish colony between 1600 and 1668 and by Minero Puno Empresa de Propiedad Social between 1975 and 1977. The study is of descriptive type, developing the geomechanical characterization of the main gallery of the Mina Carolina school are designed underground caverns that will serve for the students of engineering of mines of UNA Puno, to acquire scientific and technological knowledge to strengthen their theoretical knowledge to form more competent professionals for the mining industry and, in the same way to foment the corporate investigation and the work in team. By means of geomechanical characterization, the objectives are met, resulting in stability zones in progressive 3, 6, 12 and 16 with a Bieniawski RMR value of 63 (good), 55 (regular), 51 (regular) and 50 (regular), and having as support type, systematic bolting with 2.8m spacing, punctual bolting, systematic bolting with 1.5m spacing and, systematic bolting with spacing of 1.5m, respectively, as well as the design dimensions of the four underground caverns proposed for the areas of drilling and blasting, rock mechanics, mining rescue and mining machinery, will be 2m x 2m x 1.8m as initial entry followed by an opening of 6m x 6m x 2.5m with a gradient of (+) 0.5%. That will have a general cost of 51 064.44 dollars for its construction.

Keywords: Design, Construction, Mine school, research center.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

El desarrollo de la presente tesis está enfocado en la antigua mina Carolina, se trata de una mina subterránea, explotada por la colonia española entre los años 1600 a 1668 y por Minero Puno Empresa de responsabilidad Social entre 1975 a 1977, ubicada en la zona sur del Perú.

En la antigua mina carolina existe una galería principal de aproximadamente 84 metros de distancia desde la bocamina hasta el tope de la labor, debido a que la labor se encuentra abandonada y que presenta un alto grado de inestabilidad de las cajas y el techo de las rocas, estos son aspectos que limitan su acceso de manera permanente, e impiden realizar prácticas de campo a los estudiantes de la facultad de ingeniería de minas de una manera segura y adecuada.

No obstante, para poder realizar prácticas de campo en el interior de la mina de una forma segura, se tiene este diseño de la construcción de la mina escuela como una alternativa, con el propósito de controlar las cajas y el techo de la labor y así los estudiantes tengan un lugar adecuado donde puedan experimentar los casos prácticos de los cursos que estén cursando esto en un periodo a corto plazo y paulatinamente construir de forma solida conocimiento práctico en los estudiantes en un periodo a largo plazo cuando el funcionamiento de la Mina Escuela este en su máxima implementación. Se plantea construir conocimiento práctico experimental en los estudiantes de la facultad de ingeniería de minas, aprovechando que se cuenta con un área propia para realizar prácticas como lo es la Mina Escuela Carolina.

Para realizar el siguiente proyecto se toma en cuenta diversos factores como la parte geomecánica y geología del yacimiento.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo el diseño de la construcción subterránea de la Mina Escuela Carolina sirve para los fines académicos y de investigación de la facultad de Ingeniería de Minas de la UNA Puno?

1.2.2 Problemas específicos

- a) ¿Con la caracterización geomecánica del macizo rocoso será posible la ubicación de zonas de estabilidad en la galería principal de la mina escuela Carolina?
- b) ¿Con la caracterización geomecánica será posible diseñar cámaras subterráneas con fines académicos y de investigación?

1.3 Hipótesis de la investigación

1.3.1 Hipótesis general

El diseño de la construcción subterránea de la Mina Escuela Carolina sirve para fines académicos y de investigación de la facultad de Ingeniería de Minas UNA Puno.

1.3.2 Hipótesis específicas

- a) La caracterización geomecánica del macizo rocoso sirve para la ubicación de zonas de estabilidad en la galería principal de la Mina Escuela Carolina.
- b) La caracterización geomecánica de macizo rocoso sirve para diseñar cámaras subterráneas con fines académicos y de investigación.

1.4 Justificación

El proyecto a desarrollarse permitirá construir nuevos y diversos conocimientos con respecto a las diferentes actividades que se realiza en la minería subterránea, según la Universidad Politécnica de Madrid (2007), “Cuando se diseña una nueva estructura en roca o se evalúa la estabilidad de una ya existente se debe tomar en cuenta factores de tensiones y deformaciones”, los cuales son muy importantes a considerar ya que el terreno es muy meteorizado y presenta labores antiguas. Esto ayudará a diseñar la construcción de la Mina Escuela Carolina, considerando que estos serán con fines totalmente académicos y no se consideraran las reservas minerales, a su vez permitirá su Geoconservación. Según, Sharples (2002) “son estrategias, acciones y políticas para una eficaz conservación de la geodiversidad y la protección del patrimonio geológico”.

El diseño de la construcción Mina Escuela Carolina permitirá brindar un espacio práctico académico al estudiante de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano y a todas aquellas personas que estén interesadas en conocer el mundo minero por lo que este proyecto debe llevarse a cabo. A nivel Regional y Nacional este proyecto de Mina Escuela será la innovación, tendrá mucha relevancia porque permitirá preparar en forma práctica a futuros Ingenieros de mina brindándoles así la competencia necesaria que requiere el sector minero.

1.5 Objetivos de la investigación

1.5.1 Objetivo general

Diseñar la construcción subterránea de la Mina Escuela Carolina para los fines académicos y de investigación de la facultad de Ingeniería de Minas UNA Puno.

1.5.2 Objetivos específicos

- a) Realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso para ubicar zonas de estabilidad en la galería principal de la Mina Escuela Carolina.

- b) Diseñar cámaras subterráneas mediante la caracterización geomecánica, con fines académicos y de investigación.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Marco Teórico

Barber (2018), en su tesis titulado “Restauración y adaptación de la mina experimental Marcelo Jorissen”, para optar por el título de ingeniero en tecnología minera, presentado a la escuela técnica superior de ingenieros de minas y energía; se concluye que la Mina escuela Marcelo Jorissen es un espacio donde se desarrolla prácticas en una mina de carbón para que los alumnos de las especialidades de laboreo se familiarizaran con los elementos de entibación y métodos de explotación, pero evitando largos desplazamientos hasta las minas de Asturias, la mina es una fiel representación de la minería de carbón en España en la década de los 60.

Villar & Fernández (1973), en su artículo de título “La academia de minas Almadén doscientos veinticinco años de historia”, concluye que la academia de minas Almadén, es un caso del máximo interés que ha sido seguido por una gran cantidad de autores a lo largo de los últimos años, centrados principalmente en su evolución como centro de enseñanza y germen de la minería.

El patrimonio minero-industrial: el patrimonio minero y metalúrgico de las Minas de Almadén constituye un magnífico ejemplo de la evolución técnica de la minería y de la metalurgia del mercurio a través de los siglos. Con el fin de preservarlas se han transformado en un espacio socio-cultural el Parque Minero de Almadén.

Manteca, García & Berrocal (1893), en el artículo de título “Anotaciones sobre el patrimonio geológico y minero de la sierra de Cartagena la Unión-bierzo”, indica que es importante beneficiar a la sociedad brindándoles conocimientos explícitos sobre una minería moderna y responsable medio ambientalmente y la conservación del mismo. La importancia de las reservas minerales aún existentes, este distrito constituye un conjunto de gran valor, tanto desde el punto de vista geológico-minero, como desde el punto de vista histórico educacional. La sierra de Cartagena presenta mineralizaciones de manto de silicatos únicos en el mundo lo cual lo hace un objeto de interés científico y académico, su importancia como recurso didáctico es enorme, como viene avalado por el interés que han demostrado por esta zona, universidades españolas y extranjeras, una zona de viajes y visitas de estudio que en los últimos años se impulsa el plan global para impulsar el proyecto de un parque temático minero.

Ortiz (2014), en su tesis titulada “Actualización del programa de trabajo e inversiones de la mina didáctica del centro nacional minero Sena – Regional Boyacá”, Para optar el título profesional de ingeniero en minas, presentado a la Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, escuela de ingeniería de minas, concluye que la mina didáctica del centro minero Sena, está dedicada a la formación teórica – practica de aprendices en el sector minero y por ser la única en el país tiene que cumplir con todas las exigencias para garantizar la formación profesional e integral del educando.

Cárdenas & Restrepo (2006), en su artículo de título “Patrimonio geológico y patrimonio minero de la cuenca carbonífera del suroeste Antioqueño, Colombia”, concluye que a nivel mundial el Patrimonio Geológico y Patrimonio Minero es una corriente de estudio y sensibilización del, que mediante su divulgación busca tanto su preservación y conservación, como proponer otras formas de aprovechamiento ya sea turístico, científico o académico. Mediante la implementación estratégica de tres etapas donde se recomienda un estudio sistemático, organización de la información para luego generar nuevos proyectos de interés como minas didácticas y finalmente en una tercera etapa coordinar con las instituciones allegadas proponer a la UNESCO como patrimonio minero y geológico.

Cañizares (2011), en su artículo de título “Patrimonio, parques mineros y turismo en España”, concluye que la recuperación del patrimonio industrial y minero materializado en elementos tangibles como las edificaciones e intangibles con la propia cultura minera se convierte en un eje de nuevas estrategias de desarrollo relacionadas con el turismo cultural. Dándole valor económico a las antiguas labores realizadas es un espacio donde se explica a las personas sobre las prácticas de la minería en sus épocas de explotación, es en este marco de análisis en el que cada vez se valora de forma más precisa la herencia de las cuencas mineras agonizantes por ende se desarrolla una planificación en relación de buscar singularidades aprovechables para el desarrollo endógeno en un contexto de fuerte competitividad global como lo es la educación minera.

Aparicio & Riart (2000), en su artículo de título “Recuperación de minas e instalaciones mineras antiguas”, indica que todos los países con un reconocido prestigio Minero vuelven la vista hacia atrás, dentro de este marco surge la alternativa de la conservación y gestión del patrimonio minero como opción educativa.

Actualmente la reconstrucción de las labores e instalaciones que antiguamente albergaban explotaciones mineras con los fines antes mencionados son muy importantes sobre todo la planificación de la restauración desde un punto de vista social y educativo nos indica también que este tipo de proyectos generan resultados muy positivos, sobre la planificación del diseño de la mina se toma en cuenta la existencia de elementos patrimoniales, la regulación legal, la ubicación y, el impacto ambiental de la adaptación teniendo en cuenta la recuperación general de la zona.

Machaca (2017), en su tesis titulado “Diseño de espacios subterráneos y soportes a partir de los parámetros geomecánicos, para una explotación óptima en la mina san francisco de Asís rinconada-2017”, para optar el título de ingeniero de minas, presentado a la escuela profesional de ingeniería de minas Una Puno, concluye que; para el diseño de espacios subterráneos se determinó fundamentalmente el RMR y Q, mediante un levantamiento geomecánico, que a partir de ellos se determinaron los distintos parámetros de carácter intrínseco y extrínseco. El trabajo se relaciona con la geomecánica como herramienta para encontrar parámetros para un diseño minero.

Calderón (2018), en su tesis titulado “Caracterización geomecánica para la determinación del tipo de sostenimiento en la galería gavián de oro de la UEA Ana maría” para optar el título de ingeniero de minas, presentado a la escuela profesional de ingeniería de minas Una Puno, en su primer ítem concluye que; la caracterización geomecánica del macizo rocoso de la zona de estudio, mediante la clasificación geomecánica RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton determinaron el tipo de sostenimiento en la galería gavián de oro de la UEA Ana María”. El trabajo se relaciona con la investigación planteada, porque se propone un tipo de sostenimiento mediante RMR y Q, en cada zona donde se ubican los espacios subterráneos propuestos.

2.1.1 Mina escuela experimental Edgar de Colorado school of mines

La Mina escuela Edgar, la mina experimental de la Escuela de Minas de Colorado, es un contemporáneo de esa época. En la década de 1870, produjo plata, oro, plomo y cobre de alta ley. Hoy, como laboratorio subterráneo para futuros ingenieros, produce una valiosa experiencia para aquellos que están siendo capacitados para encontrar, desarrollar y procesar los recursos naturales del mundo.

a) Académico

El departamento de Ingeniería Minera de Minas se enorgullece de la Mina Experimental Edgar y de sus propósitos: visitas educativas para el público y grupos escolares; cooperación con organizaciones industriales, estatales y federales en investigación; y la capacitación de la mano de obra necesaria para mantener el liderazgo de la nación en el campo de la ingeniería mineral. La industria apoya mucho los programas de investigación y educación en la mina. De hecho, la mayoría de los equipos utilizados en la mina son donados por empresas y corporaciones individuales.

En este laboratorio subterráneo, los estudiantes de Minas adquieren experiencia práctica en prospección de minas subterráneas, cartografía geológica, fragmentación de rocas y prácticas de voladura, estudios de campo de ventilación de minas, práctica de instrumentación de mecánica de rocas, operaciones de unidades de minas subterráneas y seguridad de minas. A través de un curso sobre el uso práctico del equipo de minería, los estudiantes pueden aplicar ejercicios en el aula a situaciones reales en un entorno minero realista. El curso se ejecuta en todo el ciclo de las operaciones de minería subterránea e incluye experiencia práctica en perforación, voladuras y escombros (cargando roca volada) utilizando equipos de minería montados en rieles y neumáticos.

Aunque la Mina Experimental de Edgar es administrada y operada por el Departamento de Ingeniería de Minas, los estudiantes de otras disciplinas tienen la oportunidad de interactuar con la mina a través de proyectos tanto en EPICS como en Senior Design. Los ejemplos de los últimos años incluyen: Documentación y diseño de una red de distribución de agua de la mina para la mina experimental Edgar, Diseño de una red de distribución de energía de la misión del ejército de la mina experimental Edgar.

b) Investigación

La investigación se lleva a cabo de manera continua en la mina experimental Edgar. A los Numerosos grupos académicos, gubernamentales y de la industria, incluido el Departamento de Ingeniería de Minas, el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH), el Ejército de los EE. UU., Los Sistemas de Redes Mineras, Vital Alert y otros participan en proyectos de investigación cooperativa en las instalaciones. Los estudios incluyen detección de túneles, voladuras, mecánica de rocas, comunicaciones y desarrollo de nuevos equipos y métodos de minería. A continuación, las principales áreas donde se desarrollan investigaciones.

- Minería responsable
- Geomecánica, mecánica de rocas y estabilidad de excavaciones subterráneas y superficiales.
- Diseño de minas computarizado y aplicaciones relacionadas (incluido el modelado geoestadístico).
- Sistemas de minería integrados avanzados que incorporan sistemas de mecanización de minas y sistemas de minería mecánica.
- Excavación Subterránea (Túnel) y Construcción.

- Caracterización de sitios e investigaciones geotécnicas, modelado y diseño en geoingeniería.
- Fragmentación de rocas.
- Procesamiento de minerales, comunicación, tecnología de separación.
- Manejo de materiales a granel.

c) Tecnología

El Programa de Seguridad de la Industria de Energía, Minería y Construcción del Departamento de Ingeniería de Minas opera una instalación de entrenamiento de rescate de minas con todas las funciones para uso de la industria minera.

El entrenamiento de rescate en minas se puede desarrollar y adaptar a las necesidades específicas de cualquier operación minera. Se puede llevar a cabo capacitación especial para que los operadores de minas atiendan las necesidades individuales de prácticamente cualquier mina. El entrenamiento de rescate incluye:

- Comando de Incidentes para Emergencias Minas / Subterráneas
- Búsqueda y rescate integral de minas y subterráneos
- Entrenamiento de simulación de rescate informático.
- Levantamiento pesado general y rescate con bolsas de aire
- Entrenamiento de rescate en espacios confinados.
- Entrenamiento de rescate de cuerda
- Extinción de minas

Los cursos se pueden llevar a cabo en el sitio en la mina Edgar o en los sitios de la mina en cualquier lugar dentro de los Estados Unidos.

2.1.2 Northern centre for advanced technology (NORCAT)

El Centro norteamericano Subterráneo de tecnología avanzada (NORCAT), ubicado en la antigua mina de Falconbridge Fecunis Adit en Onaping, Ontario, Canadá.

Ofrece practica subterránea a distintas personas que les atraiga el rubro minero brindándoles una variedad de programas de capacitación práctica que no están disponibles en ningún otro lugar de la región, el programa consta de cuatro semanas de entrenamiento básico común de NORCAT y una gama de programas especialmente personalizados.

El diseño es ideal para el acceso de equipos y vehículos, a los que se puede acceder desde dos entradas de nivel de superficie, en lugar de perforar la tierra. Las elevaciones más altas en la mina proporcionan ventilación y drenaje natural, sin necesidad de bombas de agua o montacargas. El Centro de Capacitación Subterráneo también es utilizado por compañías que deseen utilizar las instalaciones para capacitación especializada o patentada.

2.1.3 International centre for geotechnics and underground construction (ICGUC).

La Fundación del centro Internacional de Geotecnia y Construcción Subterránea (ICGUC). Está ubicada en Sargans, al este de Suiza. ICGUC es un centro de capacitación en minería subterránea patrocinada por la industria, creada específicamente para proporcionar conocimiento y orientado a la práctica, cursos de formación industrial para estudiantes, ingenieros, técnicos y Operadores en todos los aspectos del túnel y construcción subterránea.

Abierta a cualquier compañía u organización que esté involucrada con Construcción subterránea. Estos pueden ser propietarios y clientes, contratistas, Consultores, fabricantes y proveedores, idealmente situado para utilizar el Instalaciones subterráneas de formación integral de la Galería de Pruebas de Hagerbach.

Cuenta con 4,5 km de túneles y galerías de prueba también contienen salas de formación y un Restaurante subterráneo, proporcionando así un sitio ideal para la formación teórica y práctica. Sin embargo, se realiza cursos de capacitación en otros lugares en cualquier lugar en el mundo. Siempre que sea posible, los cursos se refuerzan incluyendo visitas a proyectos reales. Donde las últimas tecnologías pueden ser presenciadas en acción. también actúa como un escaparate de la industria para nuevos productos, sistemas y técnicas en el sector subterráneo.

2.1.4 Mina escuela la Boreal

La Mina Escuela La Boreal está ubicada en Colombia, provincia de Córdoba, Mendoza, provincia de La Rioja. a unos siete kilómetros de la escuela de Minería José de La Quintana. Se trata de un yacimiento subterráneo de plomo y zinc, cuya explotación data de los años 40 a 50 y que actualmente, bajo un fin estrictamente educativo, es utilizado por los estudiantes de la Escuela.

La práctica en la Mina Escuela es muy importante para los estudiantes porque aplican lo que han visto en las distintas materias, aprenden diferentes soportes teóricos para poder hacer algo práctico. Con la mina escuela se afianza lo que van aprendiendo.

La estructura de la practicas cumple con una doble jornada. Aulas por la mañana y por la tarde, talleres de ajuste como; Minería, Hojalatería, Tornería, Carpintería y Electricidad.

Las prácticas son obligatorias y rotativas. los alumnos realizarán una inmersión más profunda en la mina se organizan en grupos, realizan todas las etapas de un desarrollo minero: la iniciación, la preparación del terreno, la apertura de la zona.

A partir del sexto año comienzan con tareas de exploración, observando el yacimiento y cuál es la veta, realizan mediciones, evalúan el sistema de explotación y dónde se colocará el material estéril.

Llevar equipos de la escuela, compresores y martillos neumáticos para realizar prácticas de perforación. aprenden a manejar los equipos, pero no manipulan explosivos.

2.1.5 Mina didáctica del centro minero Sena

La mina Didáctica del Centro Nacional Minero SENA, se encuentra ubicada al NE del municipio de Sogamoso en la vereda Morca, sector Bata a 7 Km del casco urbano, Colombia.

Actualmente el centro minero Sena cuenta con una mina didáctica la única existente para el aprendizaje sobre el área de minería bajo tierra, la mina didáctica cuenta con tres túneles de los cuales 2 miden alrededor de 250 metros y tiene 9 galerías.

Dirigido especialmente a estudiantes que se forman en este centro en los programas de supervisión de labores mineras, minería a cielo abierto, minería bajo tierra, perforación y voladura, diariamente reciben formación sobre topografía, geología, cálculo, sistemas y lo más importante paso a paso conocen cada parte de la mina y las diversas actividades que en el mundo laboral se realizan, este centro es conocido por la calidad de su formación en cuanto a minería y maquinaria pesada ya que los aprendices se forman en ambientes de aprendizaje y con los equipos adecuados para su formación. (Ortiz, 2014).

2.1.6 Fundación santa bárbara mina escuela el Bierzo

La Fundación Santa Bárbara es una entidad pública de la comunidad castilla y león, adscrita a la consejería de economía y hacienda a través de la dirección general de energía y minería, constituida con el fin inicial de colaborar al bienestar social y promoción de aquellas actividades culturales encaminadas a fomentar el conocimiento y desarrollo de los trabajos inherentes a la minería.

En la actualidad ha potenciado y diversificado sus fines fundacionales convirtiéndose en una entidad consolidada en el campo de las actividades docentes y tecnológicas en sectores tales como la minería, energía, construcción, y la seguridad laboral y protección civil entre otros.

A continuación, se muestra las áreas a las cuales está abocada la mina escuela Bierzo.

a) Área de construcción subterránea

Esta área cuenta entre sus instalaciones con dos túneles paralelos de 50 metros cuadrados de sección y una longitud de 450 metros que se prolongara hasta los 676 metros. Igualmente, con una de prácticas con más de 5 km de galerías, una planta de hormigones y un laboratorio de control de calidad de hormigones para la docencia y control de obra.

Entre su maquinaria cuenta con diversa maquinaria para la ejecución de túneles de perforación y voladura (jumbos, robots gunitadores, palas de bajo perfil, etc.) así como minadores de distintos tamaños.

Adicionalmente el área cuenta con un centro de simulación equipado con simuladores específicos de jumbo y robot gunitador.

b) Área de movimiento de tierras, minería a cielo abierto

Esta área cuenta con un área de prácticas de 12 hectáreas formada por una mina a cielo abierto y distintas explanadas y tajos de práctica.

La maquinaria del área comprende dumpers rígidos y articulados, niveladoras, bulldozers, retroexcavadores, mixtas, etc. Igualmente, con un convenio con la empresa leica geosystems cuenta con sistemas de guiado automático en su maquinaria de excavación y explanación.

Adicionalmente el área cuenta con un centro de simulación pionero en España, de distinta maquinaria de obra pública y minería (dumpers, niveladora, cargadora y retroexcavadora).

c) Área de electromecánica

Cuenta con un taller de prácticas y verificación de equipos electromecánicos para proporcionar una formación laboral completa y actualizada.

Como elementos singulares se cuenta con un banco de ensayos de motores eléctricos y térmicos para la verificación de los mismos.

Igualmente, el área cuenta con un taller de soldadura y calderería equipado con 21 cabinas individuales y distinto equipamiento general. En la parte de energías renovables se cuenta con distintas instalaciones de energía solar térmica, fotovoltaica, eólica y biomasa, así como con una terraza de prácticas donde se pueda ejecutar distintos tipos de montajes y comprobar sus rendimientos.

d) Área de medio ambiente

Cuenta en sus instalaciones con dos invernaderos totalmente automatizados y dos umbráculos para la formación de alumnos en la producción de planta autóctona y foránea. Igualmente, el área cuenta con un viñedo experimental y distintos terrenos de cultivo. Adicionalmente se cuenta con 40 hectáreas de terreno forestal de diversas especies, principalmente pino, rebollo, encina, y castaño y de distintas zonas de reforestación y restauración.

Entre las maquinarias de área destacan distintos tipos de tractores y aperos, así como herramientas para los tratamientos selvicolas (motosierras, desbrazadoras, podadoras, pulverizadores, etc.).

2.1.7 Mina escuela el Brillador

La Mina Escuela Brillador tiene un doble propósito, por una parte, realizar actividades de docencia en terreno dirigida a los alumnos de la Universidad La Serena Chile y por la otra mantener un nexo permanente con la industria minera, que permita a la Universidad estar actualizada en los procesos, estrategias productivas y junto a ello se nos considere como un referente al momento de realizar investigaciones aplicadas y contrataciones de sus egresados.

El énfasis actual está puesto en las pequeñas y medianas empresas mineras-metálicas y de los proveedores asociados a la industria minera, a través de capacitaciones teórico-prácticas y brindando apoyo al emprendimiento e innovación a través de la formulación, ejecución, administración y/o co-ejecución de proyectos destinados a generar instancias de mejoramiento de las capacidades del recurso humano y tecnología utilizada por el rubro minero.

El Centro desarrolla sus actividades a través de la creación de proyectos atingentes a las necesidades detectadas por sus integrantes o manifestadas por sus potenciales usuarios, de manera que se aproveche la infraestructura con la que se cuenta y se obtengan resultados más acordes con el trabajo real desarrollado en una mina con características de pequeña a mediana escala. Además, se planifica la generación de convenios por las características de los trabajos a efectuar, estos convenios deberán permitir el continuo funcionamiento del centro. Por otra parte, se proyecta la alianza estratégica con instituciones y empresas, tanto estatales como privadas que estén dirigidas a impartir programas de capacitaciones.

Es muy importante mencionar, que se ha ido optimizando la incorporación de nuestros alumnos en las distintas actividades realizados con externos, lo que ha permitido que, en varias iniciativas realizadas, cerca de 60 alumnos ya han sido beneficiados en distintas formas: becas al extranjero, pagos de estudios y cursos, prácticas en terreno y desarrollo de sus memorias de titulación.

2.1.8 Mina experimental Marcelo Jorissen

La Mina Experimental de Marcelo Jorissen desarrolla prácticas en una mina de carbón para que los alumnos de la especialidad de laboreo se familiaricen con los elementos de entibación y métodos de explotación, pero evitando largos desplazamientos hasta las minas de Asturias. (Barber, 2018).

La mina es una fiel representación de la minería de carbón en España en la década de los 60, en la que se simulan todos los elementos presentes en una mina real, no hay minerales de interés presentes en el subsuelo y las estructuras portantes no cumplen tal fin.

La mina escuela, situada a los pies del edificio principal, cuenta con dos galerías a dos niveles diferentes y con accesos separados. A la galería principal, de 47 metros de longitud, se accede por un plano inclinado con 76 escalones, y a la segunda mediante una angosta trampilla situada en el laboratorio de mecánica de suelos, la cual está cerrada al público y no es objeto de estudio.

Al ser una mina experimental, intenta ser lo más real posible, aunque la mayor parte de sus elementos técnicos en la labor de carbón no cumplen una función real y son solo de valor pedagógico.

2.1.9 Centro de formación técnica minera (CETEMIN)

El centro de formación tecnológica minera es una corporación educativa dedicada a la formación técnica de excelencia, focalizada en las necesidades de capital humano en el mercado nacional y regional de la industria. Con una metodología de competencias de Internado, laboratorios y talleres. Mediante una de sus centros de investigación como, CIEMAN, los estudiantes realizan casos prácticos en la Cía. minera Colquirrumi S.A. una empresa subsidiaria del grupo Buenaventura, en Cajamarca distrito minero de Hualgayoc, las áreas al cual se rige son:

Área de mantenimiento

- Mantenimiento de equipo pesado
- Mantenimiento eléctrico y automatización

Área de minería

- Geología y exploración
- Explotación de minas
- Procesamiento de minerales

Área de seguridad y medio ambiente

- Medio ambiente y seguridad

a) Explotación de minas, (Áreas de minería subterránea)

El egresado obtiene las competencias para organizar, dirigir y ejecutar actividades que comprenden el proceso productivo de una operación minera (subterránea o superficial) en empresas y contratistas mineras

El egresado con la capacitación proporcionada podrá desempeñarse en las siguientes funciones:

- Controlar la seguridad y salud ocupacional en actividades mineras.
- Realizar el levantamiento geomecánico, para identificar la calidad del macizo rocoso.
- Ejecutar las operaciones de voladura de rocas.
- Realizar operaciones de perforación de rocas.
- Controlar la estructura de costos, planeamiento y presupuestos en una operación minera

1) Geomecánica

Competencias Técnicas:

- Sostenimiento y Soporte de Rocas
- Introducción a la Minería
- Topografía General
- Dibujo Asistido por un Ordenador

- Geología General
- Servicios Auxiliares Mina
- Redacción de Reportes e Informes

2) Perforación y voladura

Competencias Técnicas:

- Perforación en Minería Subterránea
- Perforación en Minería Superficial
- Principio de Voladura
- Operación de Voladura en Minería Subterránea
- Operación de Voladura en Minería Superficial
- Ventilación de Minas
- Acarreo & Transporte para Minería Convencional
- Acarreo & Transporte para Minería Mecanizada
- Acarreo & Transporte para Minería Convencional
- Control & Desatado de Rocas
- Taladros Largos & Raise Boring
- Métodos de Explotación de Minas

3) Planeamiento de mina

Competencias Técnicas:

- Software Minero
- Base de Planeamiento
- Elaboración de Presupuesto

b) Área de prevención de riesgo, seguridad y salud ocupacional

El egresado obtiene las competencias y habilidades para realizar actividades de diagnóstico, desarrollo documentario, implementación y control de los riesgos presentes en las empresas, aplicando la normativa legal vigentes y estándares internacionales a fin de proteger la vida, proteger el medio ambiente y evitar pérdidas económicas en los procesos industriales y mineros. Podrá desempeñarse en las siguientes funciones:

- Desarrollo de documentos de gestión para el Programa de Seguridad y Salud según los requerimientos legales vigentes.
- Implementación de Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional según normas nacionales e internacionales.
- Capacitación en temas básicos de seguridad y salud para cumplir con la normativa legal.
- Implementación de controles operacionales para los riesgos identificados según los requerimientos legales vigentes.
- Identificación de peligros, evaluación de riesgos y controles (IPERC) según los requerimientos legales vigentes.
- Monitoreo de agentes contaminantes para su eliminación y control de acuerdo al plan de establecido y normativa vigente.
- Utiliza los protocolos y planes de emergencia para responder en forma adecuada como parte de la brigada según requerimientos legales vigentes.
- Atención de primeros auxilios básico según requerimientos legales vigentes.

1) Seguridad industrial

- Introducción a los Procesos Industriales y Mineros
- Taller Mecánico
- Legislación y Normativa de la Seguridad
- Fundamentos de Seguridad Industrial y Minera
- Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos - IPER
- Herramientas de Gestión de la Seguridad
- Trabajos de Alto Riesgo

2) Salud ocupacional

- Fundamentos de la Higiene Industrial
- Legislación y Normativa de la Higiene Ocupacional
- Monitoreo de Agentes Contaminantes
- Ergonomía

3) Prevención de riesgos

- Fundamentos de Prevención de Riesgos
- Primeros Auxilios
- Prevención de Incendios
- Operación de Búsqueda y Rescate
- Manejo de Sustancias Peligrosas

2.1.10 Diseño de excavaciones subterráneas

El diseño de una galería o túnel parte de una configuración previa que tiene que satisfacer unos requerimientos operativos, como tamaño mínimo para el paso de maquinaria o la correcta ventilación. La localización y dirección aproximadas vendrán marcadas por criterios de integración con el conjunto de la mina o de la infraestructura correspondiente y siempre que sea posible es necesario hacer uso de las técnicas de sostenimiento natural y considerar la forma, tamaño y orientación de la excavación para minimizar posibles caídas de bloques y concentración de tensiones.

Fairhurst (1991), propone que el diseño de las excavaciones subterráneas debe apoyarse más en una estrategia de diseño in situ que, en los tradicionales diseños previos utilizados en otros ámbitos del diseño en la ingeniería, donde los materiales son bien conocidos y preseleccionados. Esta estrategia está marcada por las incertidumbres y falta de datos antes de comenzar la excavación (sobre todo del macizo rocoso) y en la necesidad de colocar el sostenimiento nada más excavar, en cualquier caso, antes de abordar el diseño de una excavación subterránea es importante partir de consideraciones básicas.

A continuación, se presenta una metodología para el diseño de galerías y túneles (Brady y Brown, 1993), como se muestra en la figura 1, basada en las propiedades mecánicas y estructura del macizo rocoso en el que se realiza la excavación. Se comienza realizando un diseño preliminar haciendo uso de las clasificaciones geomecánicas, ya que es una práctica muy útil, barata y conveniente, pues proporciona una idea de las necesidades aproximadas de sostenimiento a partir de un nivel de información relativamente bajo.

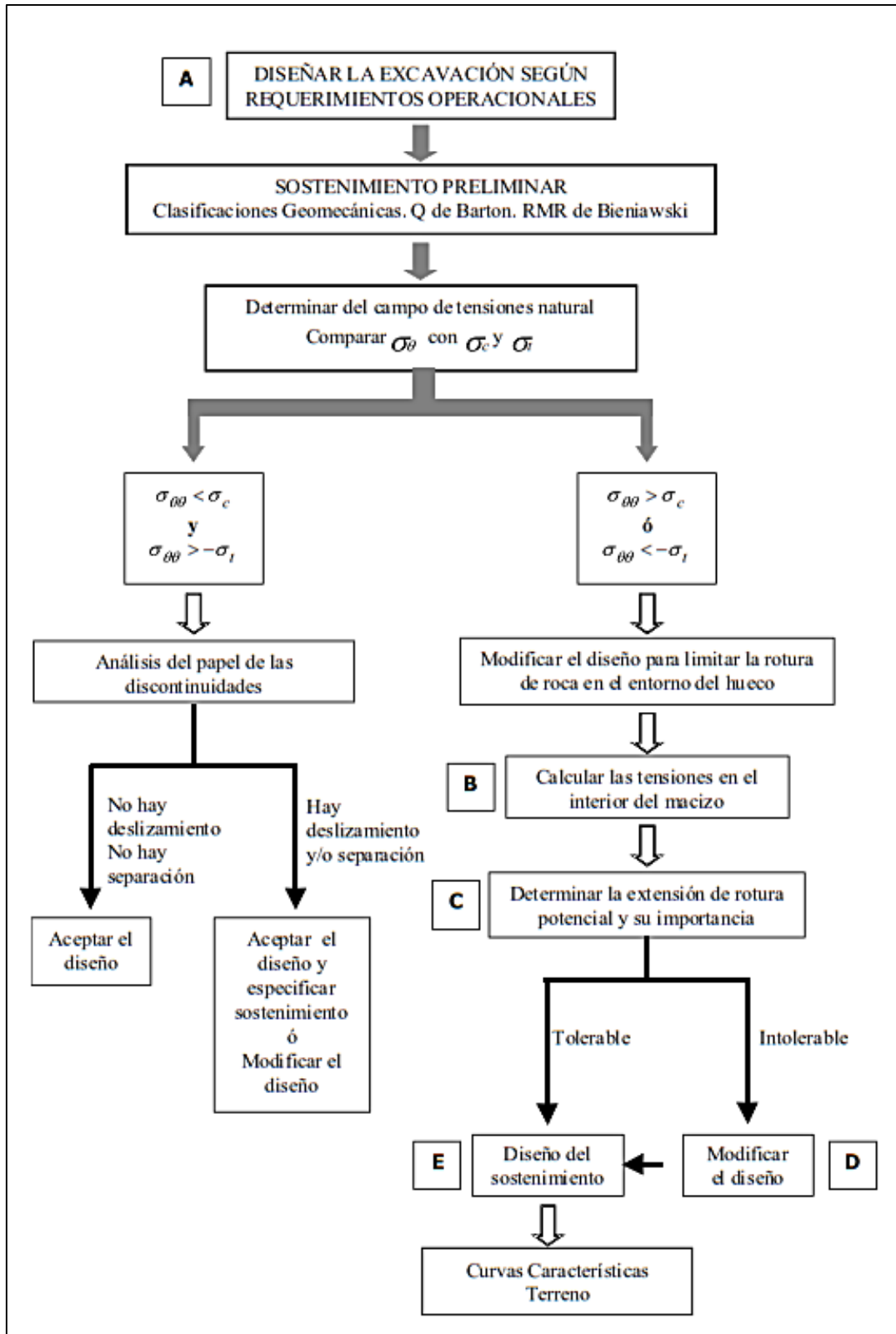


Figura 1. Metodología de diseño de excavaciones subterráneas

Fuente: Metodología para el diseño de galerías y túneles, (Brady y Brown, 1993)

Las tensiones en la periferia de la excavación con los parámetros resistentes del macizo rocoso, básicamente su resistencia a compresión simple y resistencia a tracción. Si no existe ningún tipo de rotura en la periferia se debe analizar el papel que juegan las principales familias de discontinuidades que atraviesan la excavación. Para ello habrá que acudir a técnicas de aplicaciones de diseño de excavaciones en medios estratificados como se muestra en la figura 2, mediante teoría de vigas, análisis por dovelas o métodos numéricos.

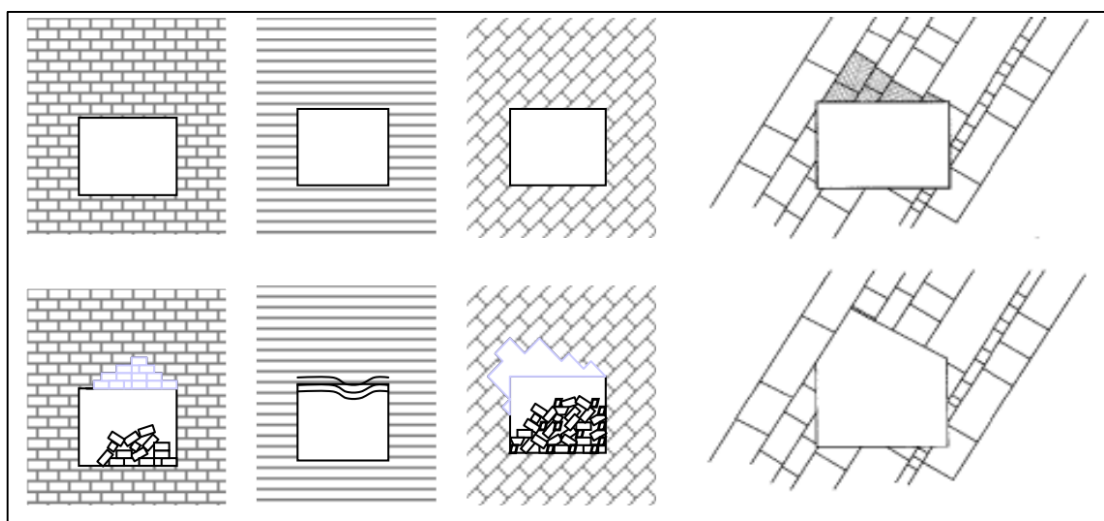


Figura 2. Metodología de diseño de excavaciones medios estratificados

Fuente: Metodología para el diseño de galerías y túneles, (Brady y Brown, 1993)

También hay que tener en cuenta que lo que se hace es seguir un modelo en el que se considera el medio como continuo (problemas de tensiones) o discontinuo (separación o deslizamiento por discontinuidades preexistentes) mientras que la realidad no es tan dual, pues la naturaleza de los macizos rocosos suele ser algo intermedio entre puramente continua o puramente discontinua.

Por lo tanto, y según la metodología de diseño antes mencionada, cuando la resistencia del macizo es pequeña o el campo de tensiones alto, habría que optar por la rama de la derecha; estas condiciones implican que se producirá una zona rota, continua, alrededor de la excavación, cuya extensión depende de las condiciones del sostenimiento y las condiciones de equilibrio final sólo pueden determinarse a partir de un análisis de interacción entre el macizo y el sostenimiento.

Este análisis es complejo y debe tener en cuenta el comportamiento mecánico del macizo y del sostenimiento, el equilibrio inicial en el macizo antes de realizar la excavación, las condiciones de apertura del hueco y la forma en que se coloca el sostenimiento; además el problema es tridimensional y por lo tanto es indispensable estudiar el campo de desplazamientos en las cercanías del frente. El objetivo del método de las curvas convergencia-confinamiento es precisamente analizar esta interacción entre el macizo rocoso y el sostenimiento y aproximar un problema de naturaleza tridimensional usando un análisis bidimensional.

2.1.11 Planteamiento del diseño de excavaciones subterráneas

Cuando se crea una excavación en un macizo rocoso se perturban las tensiones originales y las condiciones de equilibrio, de forma que estas nuevas tensiones pueden superar la resistencia del material, produciéndose fenómenos que implican deformaciones permanentes o colapso de las paredes de la excavación.

El concepto de estabilidad en un túnel implica que la excavación ha de preservar su forma y dimensiones y permanecer durante un periodo de tiempo definido en condiciones de plena operatividad.

Se considera entonces que la excavación es estable cuando, durante su uso, su periferia (con o sin sostenimiento) está sujeta a desplazamientos menores que los permitidos por motivos técnicos, económicos o de seguridad; el significado de inestabilidad está por tanto íntimamente relacionado con el uso de la excavación, de forma que en excavaciones que han de tener una corta vida (como algunos frentes de explotación en minería) no es trascendente que exista una completa inestabilidad después de un período corto de duración, mientras que en una excavación para una central nuclear, hidroeléctrica o un túnel carretero, incluso una pequeña inestabilidad es muy importante.

El concepto de estabilidad de una excavación está relacionado con el comportamiento del medio en que se practica, pues si una excavación está excavada en un medio elástico sólo aparecerán grandes deformaciones elásticas para niveles de tensión muy grandes; sin embargo, si el medio posee un comportamiento elastoplástico (perfecto o con reblandecimiento) pueden aparecer deformaciones muy grandes (y permanentes) a niveles de tensión relativamente moderados.

En la Figura 3, (Hoek et al. 1995), se muestran de forma simplificada los distintos tipos de rotura (en general inestabilidades) que se pueden observar en una excavación subterránea. Según este diagrama la rotura de un macizo rocoso alrededor de una excavación depende básicamente del estado tensional in situ y de las características del macizo. La columna de la derecha refleja que la rotura alrededor de la excavación en macizos sometidos a altas tensiones progresa desde pequeñas inestabilidades tipo escama o roturas en los puntos de concentración de tensiones, hasta roturas más dúctiles en el caso de macizos altamente fracturados.

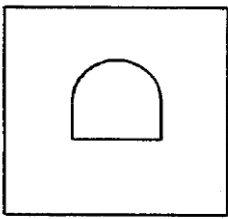
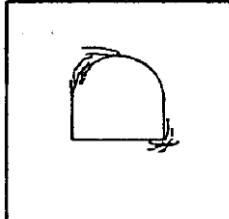
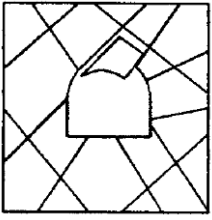
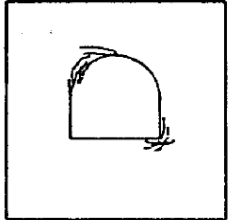
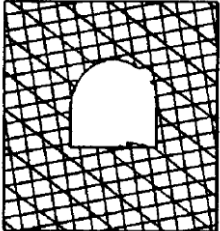
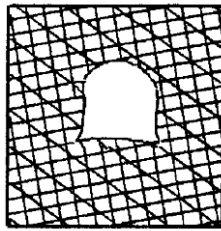
	Bajos niveles de tensión	Altos niveles de tensión
ROCA MASIVA		
	Respuesta elástica, sin presencia de roturas	Pequeñas inestabilidades tipo escamas o roturas aparecen en los puntos de concentración de tensiones y se propagan hacia el macizo
ROCA FRACTURADA		
	Eventuales caídas o deslizamientos de bloques o cuñas liberados por las discontinuidades	Inestabilidades por deslizamiento de bloques o por subdivisión o rotura de bloques
ROCA MUY FRACTURADA		
	La superficie del hueco se rompe por fenómenos de deslizamiento y caída de pequeños bloques y cuñas. La rotura puede propagarse bastante hacia el interior del macizo rocoso	La superficie del hueco se rompe por fenómenos de deslizamiento y rotura de elementos de roca. Se observa típicamente elevación de la solera e importantes convergencias entre hastiales.

Figura 3. Tipos de rotura en diferentes macizos rocoso bajo diferentes niveles de tensión.

Fuente: Excavaciones subterráneas en roca, Hoek et al. (1995)

2.1.12 Estabilidad de excavaciones en medios elásticos continuos

Las actuales tendencias de cara al futuro es la realización de excavaciones subterráneas de cada vez mayor vano y en condiciones geotécnicas cada vez menos favorables (mayores profundidades y macizos rocosos de peor calidad). Es importante indicar que muchos de los progresos alcanzados en las construcciones subterráneas se han logrado de forma muy empírica, ignorándose en general, los estudios teóricos de los fenómenos.

El comportamiento de un túnel excavado en un macizo rocoso depende del diámetro relativo del túnel respecto al espaciado medio de las discontinuidades del macizo rocosos. Cuando la excavación es pequeña con respecto a dicho espaciado, el macizo rocoso puede considerarse casi como un medio continuo y en tal caso son las propiedades del material rocoso las que controlan su comportamiento.

Cuando la relación entre el diámetro del túnel y el espaciado medio de las discontinuidades es tal que el túnel se comporta como si estuviera excavado en un medio discontinuo, son las propiedades del macizo rocoso las que deben ser tenidas en cuenta. Véase la Figura 4. propuesta por Barton (1999) y Bandis (2004).

El macizo rocoso debe ser considerado como un medio discontinuo cuando la relación entre el diámetro del túnel y el espaciado de las discontinuidades varía entre 5 y 100, que es lo que sucede en la mayor parte de los casos reales.

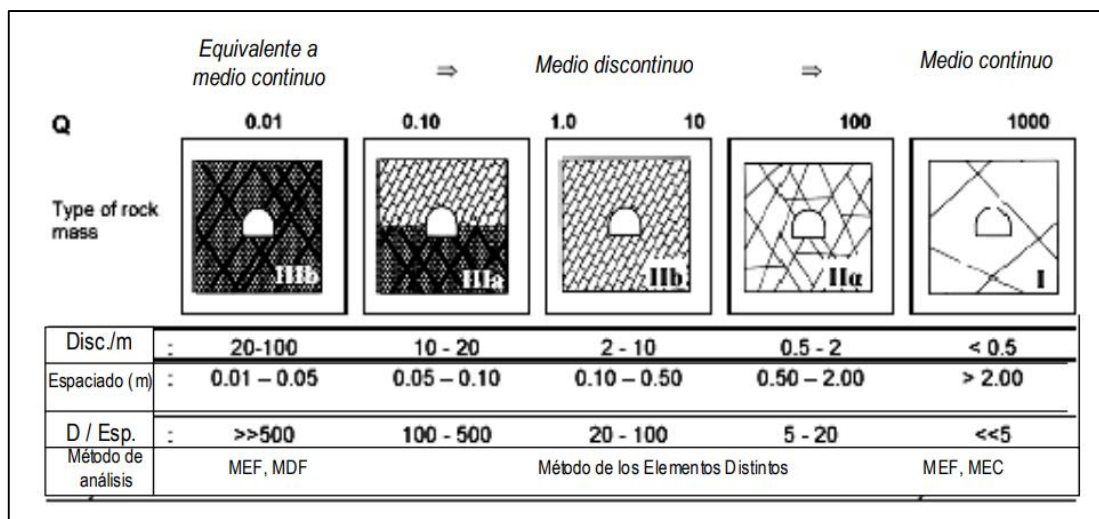


Figura 4. Continuidad o discontinuidad relativa de macizos rocosos frente a excavaciones.

Fuente: Resistencia al cizalle de discontinuidades en roca, Bandis (2004).

2.1.13 Diseño y modelización

La geomecánica aplicada a trabajos de excavaciones estudia a través de una representación abstracta de los fenómenos, de los mecanismos, de los medios y de su entorno, entonces el recurso modelización es entonces una necesidad.

a) Funciones del diseño

➤ Función descriptiva

Son necesarios para contrastar la imposibilidad de acceder a la realidad, del cual trata de ser un reflejo. Las representaciones pueden limitarse a veces a un croquis, planos, esquemas complejos a una maqueta, en el caso de representaciones de variaciones en la propiedad de la roca o las condiciones de carga del macizo a través de modelos analíticos y numéricos en 2D y 3D.

➤ **Función explicativa**

Tiene el objetivo de brindar una comprensión de los fenómenos aclarando con precisión los procesos o mecanismos que conducen a distintas etapas como el método esfuerzo – deformación hace uso de los conceptos y cálculos de la mecánica de materiales (equilibrio de límite), pero el desarrollo de la modelización ha sido posible gracias a las formulaciones de la mecánica de medios continuos.

➤ **Función preventiva**

La prevención de riesgo de falla en la ejecución de una explotación, pueda ser planeado en el tiempo o espacio, es decir hacer seguimiento a la evolución de la obra. Los modelos mecánicos, son utilizados para esta función siendo indispensables que los valores de los parámetros introducidos en los modelos que hayan sido validados por una comparación entre los resultados de una zona monitoreada.

Esta validación y justificación entre las mediciones In-situ y resultados obtenidos por medios numerosos es importante evaluar las desventajas y limitaciones de cada modelo.

2.1.14 Modelización

➤ **Modelo continuo**

Consideran al macizo rocoso como un medio continuo cruzado por discontinuidades.

➤ **Modelo discontinuo**

Considera al macizo rocoso como un conjunto de bloques individuales (teoría de bloques). Dimensionamiento de las unidades de explotación para determinar las dimensiones adecuadas, se deben diseñar a partir de los procedimientos.

➤ **Empíricos**

Como consecuencia de la experiencia mundial y que tiene funcionalidad práctica, aparte de que la misma puede estar acompañada por procedimientos de análisis y aplicaciones como medio continuo y que en la actualidad viene generando espacio en el diseño para la minería subterránea como consecuencia de la construcción sistematizada de infraestructura productiva.

➤ **Analíticos**

A partir de métodos gráficos de amplio uso y aceptación; en ambos casos hay puntos de complementariedad y de suplemento, así como el método Mathews para el dimensionamiento de cámaras o paneles de explotación y los métodos de Lunder y pakalnis.

2.1.15 Aspectos de diseño

a) Diseño de span métodos de entrada

Según pakalnis, (2002), La curva de span crítico para los techos de tajeos, originalmente de Lang, ha sido aumentado en 292 casos, esto con el fin de agregar macizos rocosos de bajo RMR. El span crítico es definido como el diámetro del círculo más grande que puede ser dibujado entre los límites del techo expuesto.

El diseño del span hace referencia a aquellos que no han usado sostenimiento y/o aquellos que tienen sostenimiento menor (pernos de 1.8m en malla de 1.2m x 1.2m). El RMR ha sido usado con correcciones debido a la presencia de juntas planas, menos de 30°, reduciendo su valor en 10.

La estabilidad de la excavación ha sido clasificada en tres categorías, que se pueden observar en el gráfico de span crítico, figura 5.

- **Excavación estable:** No existe desplazamiento en el techo, no existe caída de rocas aleatoria, no se ha requerido de sostenimiento.
- **Excavación potencialmente inestable:** Gran cantidad de sostenimiento ha sido usado para prevenir desprendimiento., existe desplazamiento en el techo.
- **Excavación inestable:** El área a colapsado, la falla por encima del techo es aproximadamente 0.5 veces el span.

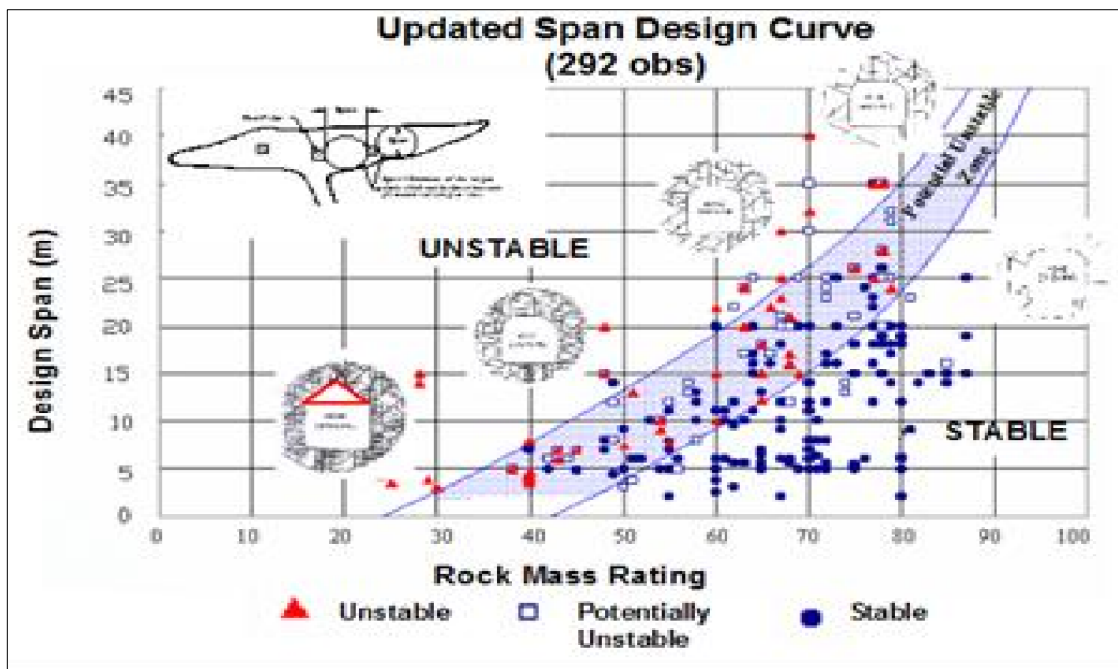


Figura 5. Curvas de span crítico.

Fuente: Estrategias empíricas para el diseño de aperturas en macizos rocosos débiles, Pakalnis, (2002)

Las cuñas individuales tienen que ser identificadas y sostenidas antes del uso del gráfico de span crítico. Se debe tomar en cuenta que la estabilidad está dada en términos de corta duración, a lo más tres meses, debido a que gran parte de la data fue tomada de métodos de minado que son de corta duración.

b) Curvas de span crítico en roca incompetente

La data original ha sido aumentada a un total de 463 casos, los cuales presentan un RMR(76) dentro de un rango de 15 – 60, dicha información a sido recojida de minas en Canada y USA.

Como se observa en la figura 6, 58% de la data (267 casos) tiene un RMR menor a 50, 32% de la data (147 casos) tiene un RMR menor a 45 y un 13% de la data (60 casos) tiene un un RMR menor a 40. Esta data a sido dividida en 4 categorías, dependiendo del sostenimiento usado.

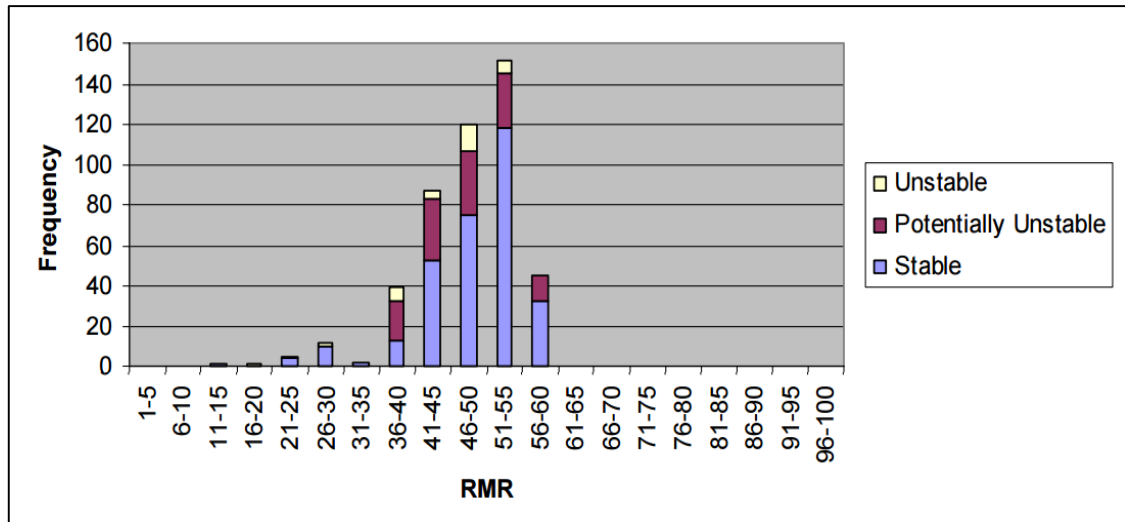


Figura 6. Distribución de los casos en función del RMR

Fuente: Estrategias empíricas para el diseño de aperturas en macizos rocosos débiles, Pakalnis, (2002)

1) Categoría A: Pernos de fricción

Esta categoría corresponde a casos donde se las labores fueron sostenidas sistemáticamente, usualmente 1.2m x 1.2m o 0.9m x 0.9m, con pernos de fricción tales como split set o swellex. Esta categoría incluye 47 casos, en los que el valor del RMR va desde 20 hasta 60, con spans de 1.8 a 12.2 m.

La figura 7, muestra como la curva generada con la nueva información se superpone a la curva original, estas nuevas curvas reflejan lo que se ve en campo. Es sabido que excavaciones estables son posibles en macizos con valores bajos de RMR con spans pequeños, sin embargo una vez cierto span es excedido, la excavación colapsa.

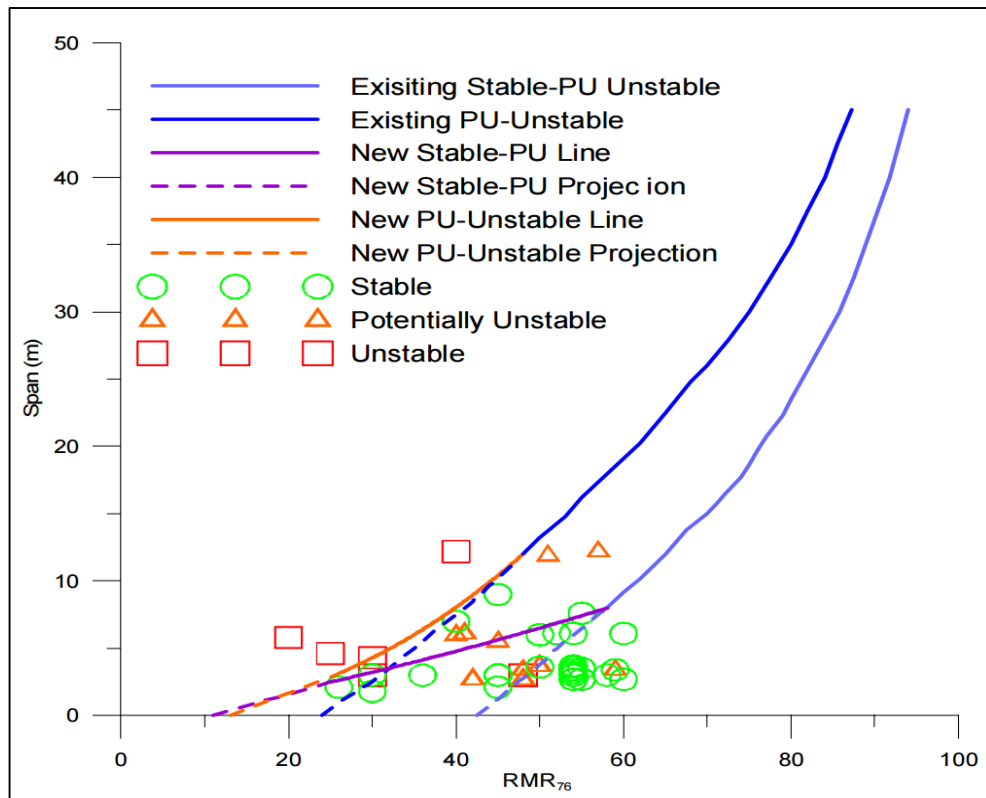


Figura 7. Gráfico para la categoría A de sostenimiento

Fuente: Estrategias empíricas para el diseño de aperturas en macizos rocosos débiles, Pakalnis, (2002)

Tanto como el valor del RMR disminuye, la zona de transición entre estable e inestable, que es la zona potencialmente inestable, se reduce drásticamente hasta desaparecer. En el gráfico, el máximo span estable, en un macizo con RMR 25, es de 3m.

2) Categoría B: Pernos de fricción sistemáticos con pernos cementados puntuales

En esta categoría se tiene casos en los que se usaron pernos de fricción sistemáticos, usualmente 1.2m x 1.2m o 0.9m x 0.9m, junto con pernos helicoidales cementados instalados de manera puntual.

La data para esta categoria es de 176 casos, cuyos valores de RMR van de 30 a 60, con spans desde 1.5m hasta 9.1m. como se aprecia en la figura 8.

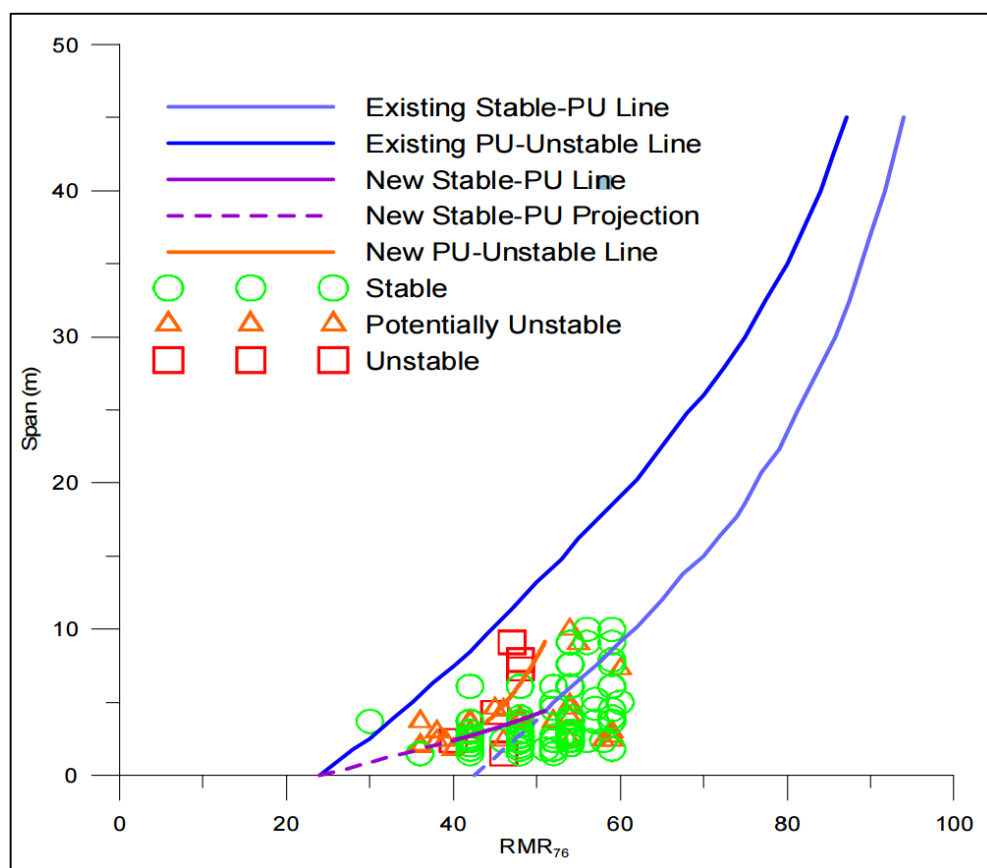


Figura 8. Gráfico para la categoría B de sostenimiento

Fuente: Estrategias empíricas para el diseño de aperturas en macizos rocosos débiles, Pakalnis, (2002)

3) Categoría C: Pernos de fricción y pernos cementados instalados de manera sistemática

Como se muestra en la figura 9, en esta categoría se tiene casos en los que se usaron pernos de fricción y pernos cementados instalados sistemáticamente usualmente 1.2m x 1.2m o 0.9m x 0.9m.

En esta categoría se tiene 152 casos, cuyos valores de RMR van desde 26 hasta 60, con spans desde 1.8m hasta 10.7m.

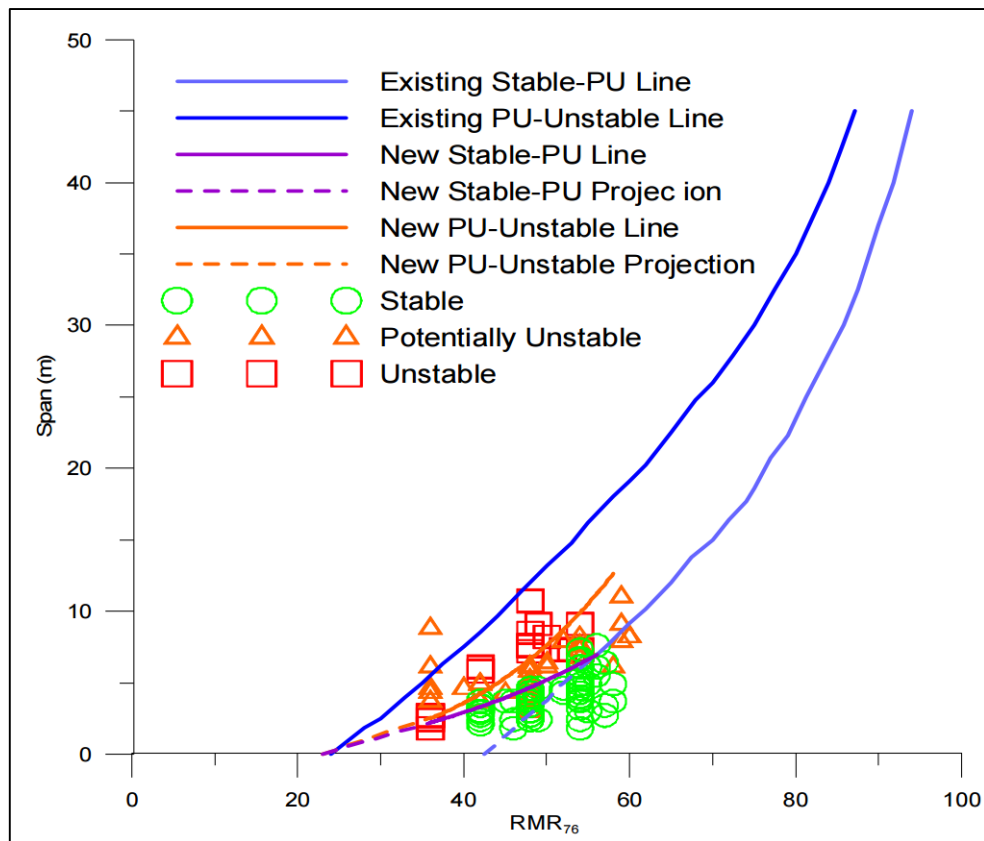


Figura 9. Gráfico para la categoría C de sostenimiento

Fuente: Estrategias empíricas para el diseño de aperturas en macizos rocosos débiles, Pakalnis, (2002)

Las nuevas curvas generadas tanto en el gráfico para la categoría B como C, indican que es posible tener excavaciones estables en macizos con RMR de 35, como se muestra en la figura 9, sin embargo estas curvas no han movida tanta información con lo hizo el gráfico para categoría A, esto es debido a que los límites inferiores del RMR de la data para la categoría B y C esta alrededor de 35 y para la categoría en 20. La tendencia muestra que en la categoría B y C la data en el rango de 20 a 25, para ambos casos, serán inestables.

4) Categoría D: Cable bolt

Esta categoría presenta data con spans que fueron sostenidas con cable bolt u otro tipo de sostenimiento como relleno, shotcrete, cuadros, como se muestra en la figura 10.

La data para esta categoría incluye 88 casos, cuyos valores de RMR de 15 hasta 55 con spans desde 2.1m hasta 13.1m. Esta categoría no tiene una relación aceptable como para la generación de curvas. Esto es debido a que los casos usados presentan diferente tipo de sostenimiento que actúan diferentes dando valores distintos de factores de seguridad.

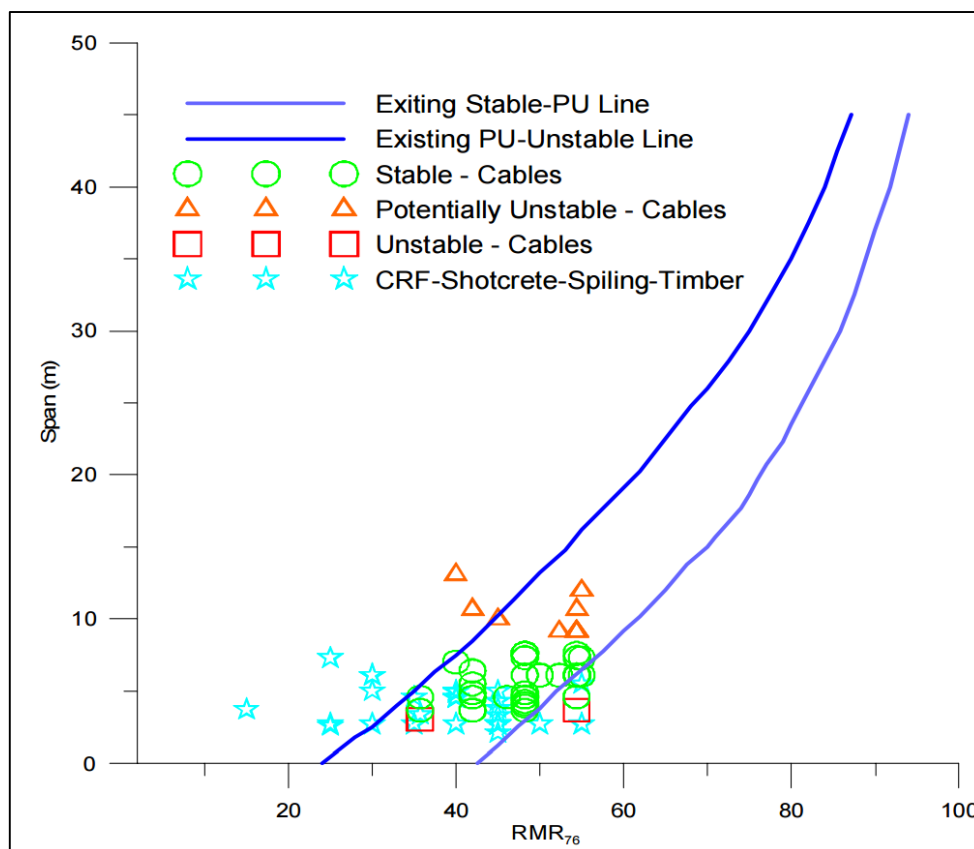


Figura 10. Gráfico para la categoría D de sostenimiento

Fuente: Estrategias empíricas para el diseño de aberturas en macizos rocosos débiles, Pakalnis, (2002)

2.1.16 Inestabilidad en las excavaciones

Cuando se excava una abertura subterránea se encuentran condiciones naturales que dan lugar a la pérdida de la resistencia del macizo rocoso y por lo tanto los problemas de inestabilidad como:

- Orientación desfavorable de discontinuidades.
- Orientación desfavorable de las tensiones con respecto al eje de la labor

- Flujo de agua hacia el interior de la labor creando, conos, cilindros de abatimiento a través de las fracturas de roca o macizo rocoso.

2.1.17 Dimensionamiento de aberturas (cámaras)

Excavaciones en roca estratificada horizontal a sub horizontal. Obert y Duvall (1968) ha estudiado este problema en forma detallada cuando el esfuerzo horizontal “in-situ” es bajo a las labores son cerca de superficie, las losas aparentes como consecuencia de planos de estratificación o de foliación pueden fallar como consecuencia de los esfuerzos de tensión inducidos por la inflexión de lozas bajo su propio peso.

2.1.18 Energía y estabilidad

Otros factores de distintos niveles de esfuerzos inducidos y de resistencia del macizo rocoso que tiene una influencia sobre la excavaciones subterráneas , la posibilidad de una inestabilidad local o de un colapso súbito en una mina presenta cuando la energía de deformaciones almacenados localmente en una estructura rebosa la energía total y este concepto básico gobierna los debilitamientos, estudio se basa en publicaciones , se supone que la roca encajonante es continua (linealmente elástica).

2.1.19 Aspectos de riesgo y digresión en el diseño de labores subterráneas.

Un método de explotación o sistema asociado a la explotación del yacimiento depende de muchos factores asociados a la explotación de yacimiento con su naturaleza, mineralización, forma, extensión, propiedades geomecánicos y de consideraciones técnico- económicos, (Muñoz del Pino ,2002).

2.1.20 Tipos de riesgos

a) Riesgo de diseño: Son aquellos que deben ser considerados, cuando se selecciona el método de explotación y que tienen que ver con las labores de preparación, explotación y transporte, con la proyección de labores equipos y componentes en general.

- Ventilación.
- Fortificación.
- Diseño de labores que hay que considerar estructura geológica y estabilidad de cámaras.
- Forma y dimensiones de las labores.
- Atender a la normatividad.
- Señalización de fácil comprensión.

b) Riesgo de operación: Está relacionado a generar un accidente en factor humano, mecanización y aspecto ambiental. Los riesgos de operación minera como consecuencia del método aplicado están relacionados a la perforación de rocas y voladura, carguío de mineral, transporte y servicios auxiliares.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Mina

Según la agencia nacional de minería tenemos tres conceptos:

- Excavación que tiene como propósito la explotación económica de un yacimiento mineral, la cual puede ser a cielo abierto, en superficie o subterránea.
- Yacimiento mineral y conjunto de labores, instalaciones y equipos que permiten su explotación racional.
- Es el conjunto de labores o huecos necesarios para explotar minerales en un yacimiento y, en algunos casos, las plantas anexas para el tratamiento del mineral

extraído. Las minas también reciben el nombre de "explotaciones mineras", o, simplemente, "explotaciones".

El Código de Minas define "mina" como el yacimiento, formación de minerales o de materias fósiles, útil y aprovechable económicamente, ya se encuentre en el suelo o el subsuelo.

2.2.2 Escuela

Durkheim (1976), la escuela es un lugar donde además de preparar a los individuos para que hagan parte de la sociedad que los ha acogido, los responsabiliza de su conservación y de su transformación. Esta transformación ha de evidenciarse en la estructuración de nuevas prácticas culturales del reconocimiento del otro, en la construcción de argumentos colectivos de inclusión de la diferencia y en la constitución de marcos comunes para vivir la equidad.

Campos (2007), La escuela es la institución de tipo formal, público o privado, donde se imparte cualquier género de educación. Una de sus importantes funciones que le ha delegado la sociedad es validar el conocimiento de los individuos que se forman, de manera de garantizar que contribuirán al bien común mediante sus destrezas, habilidades y conocimientos adquiridos.

2.2.3 Mina escuela

Las minas escuela en los últimos años, surgen caracterizados por múltiples transformaciones socioeconómicas, de forma concreta al patrimonio de origen minero e industrial. Interés que procede tanto del marco institucional como del puramente académico y científico. (Cañizares, 2003).

Los países con reconocido prestigio minero vuelven la vista hacia atrás, hacia sus instalaciones mineras antiguas, desarrollando una importante labor para su reconversión y recuperación, dentro de este marco surgió la alternativa de la conservación y gestión del patrimonio minero como una opción educativa hoy llamadas mina escuela o centros experimentales mineros. (Aparicio & Riart, 2000).

2.2.4 Patrimonio minero

Es el legado constituido por las explotaciones mineras actuales y antiguas, los cuales son de gran riqueza material e imaginaria, Las minas, plantas de procesamiento, galerías, tajos a cielo abierto, poblados mineros, chimeneas, caminos de piedra, instalaciones férreas, etc. Es decir, el testimonio de unos trabajos, que construyen historia, siempre y cuando tengan una singularidad adecuada (MataPerelló, 2003).

2.2.5 Patrimonio geológico

Se puede definir como un punto o zona singular de nuestra geología y geodiversidad, en función de sus características científicas, didácticas, culturales y paisajísticas (MataPerelló, 2003). Su exposición y contenido será además especialmente adecuado para reconocer, estudiar e interpretar, la evolución de la historia geológica que ha modelado la tierra.

2.2.6 Macizo rocoso

Es el conjunto de matriz rocosa y discontinuidades. Presenta carácter heterogéneo, comportamiento discontinuo y normalmente anisótropo, consecuencia de la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad, que condicionan su comportamiento geomecánico e hidráulico. (Apshana, Y. et al. 2011).

2.2.7 Caracterización

La caracterización se define como la descripción cuantitativa y cualitativa del macizo rocoso, para determinar sus propiedades físicas y mecánicas. (Chura, W.).

2.2.8 Discontinuidades

Es cualquier rompimiento o pérdida de continuidad de una roca. Genera comportamiento no continuo de la matriz rocosa, y normalmente anisótropo, se clasifican en fallas, diaclasas y fracturas. (Apshana, Y. et al. 2011).

2.2.9 Sostenimiento

El sostenimiento es usado para cubrir los diversos aspectos relacionados con el macizo rocoso en esencial para minimizar las inestabilidades de la roca alrededor de las aberturas mineras con diferentes elementos utilizados. (SNMPE, 2004).

2.2.10 Cámara o salón minero

Excavación de un sector de una mina subterránea o excavación subterránea por donde se lleva una explotación equilibrada de un depósito mineral sea en veta, manto o masivo, las cámaras pueden ser simétricas o asimétricas dependiendo de la regularidad de la mineralización, la altura está en función de la potencia del material a minarse y en gran parte de la geomecánica de las rocas en la que se va practicar la excavación.

2.2.11 Consideraciones geomecánicas

Para la ejecución de una labor minera o excavación subterránea es muy importante considerar los aspectos geomecánicas de la masa rocosa, para determinar el grado de seguridad de la estabilidad de las mismas, por el tiempo en que el área excavada permanecerá abierta. (Crawford & Hustrulid, 1979).

a) Índice de designación de la calidad de rocas (RQD)

La Designación de la calidad de Rocas (Rock Quality Designation) fue desarrollado por Deere et al. (1967), para estimar cuantitativamente la calidad del macizo rocoso, basándose en la recuperación de un testigo. Depende indirectamente del número de fracturas y del grado de alteración del macizo.

Si no se disponen de sondeos, una alternativa para el cálculo del RQD es a partir de las ecuaciones:

$$\text{RQD} = 115 - 3.3 \text{ JV} \rightarrow \text{JV} > 4.5$$

$$\text{RQD} = 100 \rightarrow \text{JV} \leq 4.5$$

Donde JV es el número de juntas identificadas en el macizo rocoso por m³.

Medimos todas las juntas que interceptan nuestra línea “grosso modo”, siendo este el parámetro “λ”. Para la determinación del RQD del macizo. Aplicaremos la formulación de Priest y Hudson que requiere de λ. (juntas por metro lineal).

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

Donde λ es el número de juntas por metro lineal.

b) Valoración del macizo rocoso (RMR)

La valoración del macizo rocoso, introducido por Bieniawski (1989), es posiblemente la clasificación geomecánica más usada, En la Tabla 1, se muestra el tipo de sostenimiento para cada rango de RMR.

Tabla 1. Guía para la excavación y sostenimiento de túneles de roca de acuerdo al RMR

Clase de macizo rocoso	Excavación	Pernos (20mm de diámetro, inyectados)	Soporte con concreto armado	Cerchas
I. Roca muy buena, RMR: 81 - 100	A sección completa 3 m de avance.	Generalmente no requiere	Ninguno	Ninguno
II. Roca buena, RMR: 61 - 80	A sección completa 1-1.5 m de avance. Soporte completo a 20m del frente.	perno en la corona de 3 m de longitud espaciados a 2.5 m, malla ocasional	50 mm en la corona donde se requiera	Ninguno
III. Roca regular, RMR: 41 - 60	Frente superior y destroza, 1.5 - 3 m de avance en media sección. Inicio del soporte después de cada voladura. Soporte completo a 10 m del frente.	Pernos sistemáticos, 4 m de longitud, espaciados 1.5 - 2 m en la corona y hastiales con malla en la corona	50 - 100 mm en la corona y 30 mm por los lados	Ninguno
IV. Roca pobre, RMR: 21 - 40	Frente superior y destroza, 1 - 1.5 m de avance en la media sección superior, instalación de soporte conjuntamente con la excavación 10 m del frente.	Pernos sistemáticos, 4- 5 m de longitud, espaciados 1 - 1.5 m en la corona y hastiales con malla	100 - 150 mm en la corona y 30 mm por los lados	Cerchas ligeras a medias espaciadas 1.5 m a donde se requiera
V. Roca muy pobre, RMR: <20	Múltiples galerías 0.5-1.5 m de avance en la sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación. Concreto proyectando tan pronto como sea posible después de las voladuras.	Pernos sistemáticos, 5 - 6 m de longitud, espaciados 1 - 1.5 m en la corona y hastiales con malla. Pernos invertidos.	150 - 200 mm en la corona, 150 mm en los lados y 50 mm en el frente	Cerchas medianas a resistentes, espaciadas a 0.75 m con planchas de acero y tablestacas si se requiere.

Fuente: Bieniawski, 1989

c) Índice (Q)

Barton, et al (1974). Propuso un Índice de Calidad de Túneles (Q) para la determinación de las características del macizo rocoso y los requerimientos de soporte del túnel. El valor numérico del índice Q varía en una escala logarítmica de 0,001 a un máximo de 1000.

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

Dónde:

RQD: Designación de la calidad de la roca

J_n: Número de familias de discontinuidades

J_r: Numero de rugosidad de las discontinuidades

J_a: Numero de alteración de las discontinuidades

J_w: Factor de reducción por presencia de agua en las discontinuidades

SRF: Factor de reducción por tensiones.

- **El primer cociente (RQD/J_n):** Representa el tamaño de los bloques presentes.
- **El segundo cociente (J_r/J_a):** Representa la rugosidad y características de resistencia al corte de las discontinuidades (paredes o relleno).
- **El tercer cociente (J_w/SRF):** Representa las tensiones activas Presencia de agua y estado tensional para distintos tipos de macizos rocosos.

Cabe recalcar que el índice Q, no incluye la orientación de las discontinuidades. En relación al valor del índice Q para los requerimientos en la estabilidad y soporte de las excavaciones subterráneas, (Barton et al 1974) define un parámetro adicional a la que llamaron la dimensión equivalente (De), de las excavaciones

$$De = \frac{\text{Abertura Excavacion (diametro o altura en m)}}{\text{Ratio de soporte de excavación ESR}}$$

El valor de ESR se relaciona con el uso previsto de la excavación y para el grado de seguridad que se exige del sistema de soporte instalado para mantener la estabilidad de la excavación. Barton et al (1974) sugiere lo siguiente en la tabla N°2.

Tabla 2. Valores de ESR para el tipo y descripción de una excavación.

	TIPO DE EXCAVACIÓN	ESR
A	Excavaciones mineras provisionales	3 a 5
B	Excavaciones mineras permanentes	1.6
C	Cámaras de almacenamiento y otros	1.3
D	Casos de maquina	1
E	Estaciones subterráneas	0.8

Fuente: Recomendaciones de sostenimiento de Grimstad y Barton (NGI, 2013)

1) Dimensión equivalente.

Barton et al. (1974) propusieron la siguiente ecuación para estimar la dimensión equivalente (D_e) de un auto sostenimiento o un túnel sin sostenimiento

$$D_e = 2.0(Q^{0.4}), \text{ metros.}$$

2) Diseño de sostenimiento

El valor Q se relaciona con los requisitos de sostenimiento del túnel y con las dimensiones equivalentes de la excavación. La relación entre Q y la dimensión equivalente de una excavación determina las medidas de sostenimiento apropiadas, como se muestra en la figura 11 y Tabla 3.

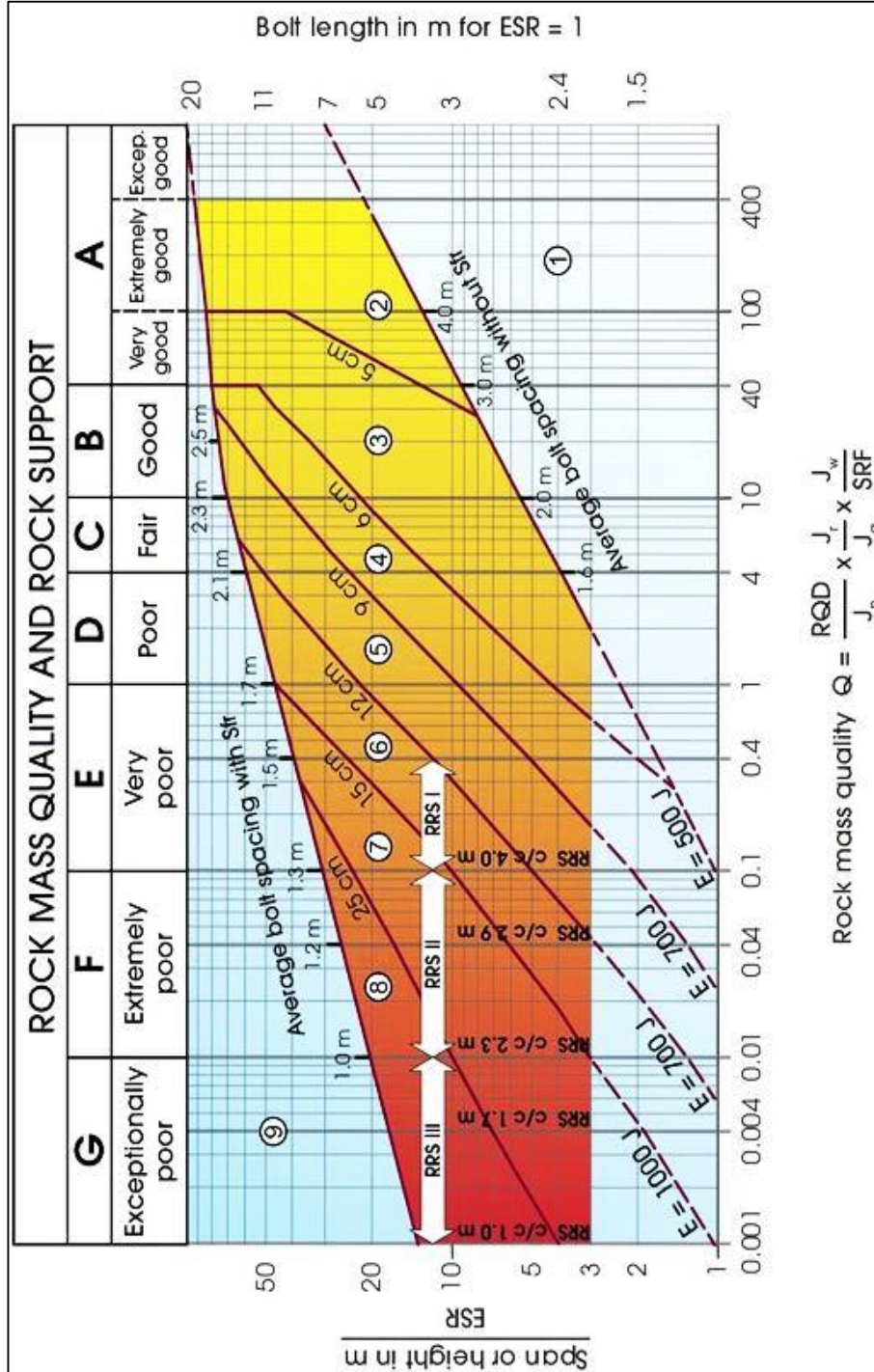


Figura 11. Gráfico para el sistema de sostenimiento del sistema Q

Fuente: Grimstad y Barton (1993).

Tabla 3. *Categorías de reforzamiento del sistema Q*

Categorías de sostenimiento	
1	Sin sostenimiento o perno puntual
2	Pernos puntuales
3	Pernos sistemáticos
4	Pernos sistemáticos con Shotcrete sin refuerzo, de 40-100mm de espesor
5	Shotcrete reforzado con fibras, 50-90 mm y pernos
6	Shotcrete reforzado con fibras, 90-120 mm y pernos
7	Shotcrete reforzado con fibras, 120-150 mm y pernos
8	Shotcrete reforzado con fibras, > 150 mm, con arcos de acero (cerchas) reforzado con Shotcrete y pernos
9	Revestimiento de concreto armado

Fuente: (Barton, 1988, p. 68)

➤ **Correlaciones entre los índices RMR Y Q**

La relación entre los índices de calidad RMR y Q puede expresarse en forma general como dependen del tipo y estado de la roca y de su condición in situ. Se han propuesto distintas correlaciones empíricas para RMR y Q como las presentadas en la Tabla 4, estas correlaciones tienen aplicación local.

Tabla 4. *Correlaciones de RMR y Q*

AUTOR	CORRELACIÓN RMR - Q
Barton, 1995	$RMR = 15 \log(Q) + 50$
Bieniawski, 1976, 1989	$RMR = 9 \ln(Q) + 44$
Rutledge y Preston, 1978	$RMR = 5.9 \ln(Q) + 43$
Moreno E. 1981	$RMR = 12.5 \ln(Q) + 55.2$
Abad et al 1983	$RMR = 10.53 \ln(Q) + 41.83$
Cameron Clark, Budavari 1981	$RMR = 5.4 \ln(Q) + 60.8$

Fuente: Gonzales de Vallejo (2004).

d) Índice de resistencia geológico (GSI)

El GSI es un sistema para la estimación de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso a partir de observaciones geológicas de campo. La evaluación del GSI se hace por comparación del caso que interesa con las condiciones típicas, y el mismo puede variar de 0 a 100, lo que permite definir 5 clases de macizos rocosos: (Goodman, 1989).

- Macizos de calidad MUY MALA (Clase V, $0 \leq \text{GSI} \leq 20$).
- Macizos de calidad MALA (Clase IV, $20 < \text{GSI} \leq 40$).
- Macizos de calidad REGULAR (Clase III, $40 < \text{GSI} \leq 60$).
- Macizos de calidad BUENA (Clase II, $60 < \text{GSI} \leq 80$).
- Macizos de calidad MUY BUENA (Clase I, $80 < \text{GSI} \leq 100$).

e) Dominios geotécnicos

Los mecanismos de falla y/o rotura en una caracterización geomecánica a observarse y analizarse, están relacionados a los dominios geotécnicos los cuales pueden inducir a ser planar, circular, cuña y volcamiento. (Tejada, 2012).

f) Factor de seguridad

El factor de seguridad es una medida determinística de la relación entre las fuerzas (capacidad) y las fuerzas impulsoras (demanda), del sistema en su entorno considerado. El factor de seguridad es el criterio más básico de diseño aceptado en la ingeniería. (Read & Stacey, 2009).

2.2.12 Condición y parámetros de las discontinuidades

1) Orientación

La orientación de una discontinuidad en el espacio queda definida por su dirección de buzamiento (dirección de la línea de máxima pendiente del plano de discontinuidad respecto al norte), y por su buzamiento (inclinación respecto a la horizontal de dicha línea).

2) Espaciamiento

El espaciado se define como la distancia entre dos planos de discontinuidad de una misma familia, medida en la dirección perpendicular a dichos planos. El espaciado entre los

planos de discontinuidad condiciona el tamaño de los bloques del macizo rocoso y, por tanto, (Ferrer, M. et al., 1999). Define el papel que ésta tendrá en el comportamiento mecánico del macizo, y su importancia con respecto a la influencia de las discontinuidades.

3) Continuidad o persistencia

La continuidad o persistencia de un plano de discontinuidad es su extensión superficial, medida por la longitud según la dirección del plano y según su buzamiento. Es un parámetro de gran importancia, pero de difícil cuantificación a partir de la observación de afloramientos, en los que normalmente se ven las trazas de los planos de discontinuidad según un buzamiento aparente. (Ferrer, M. et al., 1999).

4) Rugosidad

El término rugosidad se emplea en sentido amplio para hacer referencia tanto a la ondulación de las superficies de discontinuidad. Como a las irregularidades o rugosidades a pequeña escala de los planos, definidas en ocasiones como de 1er y 2do orden respectivamente. (Ferrer, M. et al., 1999). La descripción de la rugosidad requiere dos escalas de observación, la decimétrica y milimétrica.

5) Resistencia de las paredes

La resistencia de la pared de una discontinuidad influye en su resistencia al corte y en su deformabilidad. (Ferrer, M. et al., 1999). Depende del tipo de macizo rocoso, del grado de alteración y de la existencia o no de relleno. En discontinuidades sanas y limpias, la resistencia sería la misma del macizo rocoso, pero generalmente es menor debido a la meteorización de las paredes, los procesos de alteración afectan en mayor grado a los planos de discontinuidad que al macizo rocoso.

6) Apertura

La apertura es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno, mientras que en superficie la abertura puede ser alta, ésta se reduce con la profundidad, pudiendo llegar a cerrarse. (Ferrer, M. et al., 1999).

7) Relleno

Existe gran variedad de materiales de relleno con propiedades físicas y mecánicas muy variables. La presencia de relleno gobierna el comportamiento de la discontinuidad, por lo que deben ser reconocidos y descritos todos los aspectos referentes a sus propiedades y estado. (Ferrer, M. et al., 1999).

8) Número y orientación de familias de discontinuidades

El comportamiento mecánico del macizo rocoso, su modelo de deformación y sus mecanismos de rotura están condicionados por el número de familias de discontinuidades. (ISRM, 1981). La orientación de las diferentes familias con respecto a una obra o instalación sobre el terreno puede determinar, además, la estabilidad de la misma.

9) Tamaño de bloques y grado de fracturación

El tamaño de los bloques que forman el macizo rocoso condiciona de forma definitiva su comportamiento y sus propiedades resistentes y deformacionales. La dimensión y la forma de los bloques están definidas por el número de familias de discontinuidades, su orientación, su espaciado y su continuidad.

10) Grado de meteorización

La evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso se realiza por observación directa del afloramiento y comparación con los índices estándares.

En ocasiones puede ser necesario fragmentar un trozo de roca para observar la meteorización del macizo rocoso.

11) Agua subterránea

En la explotación minera subterránea es indudable que cada año se extraen muchos miles de millones de productos minerales y para ello, tienen que extraerse grandes cantidades de agua para obtener estos resultados; agua que de no ser extraída haría imposible el trabajo en la mina. (Wendor, 1980).

2.2.13 Propiedades físicos mecánicas del macizo rocoso

Las propiedades físico mecánicas del macizo rocoso son de tipo cuantitativo que permiten predecir el comportamiento mecánico de los macizos rocosos y son directamente aplicables dentro del diseño de ingeniería. (Hoek, E. y Brown, E. T. 1985). Como:

a) Porosidad

Es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de la muestra, mide la capacidad de una formación para contener agua la cual se expresa en porcentaje. La porosidad se relaciona con la resistencia al esfuerzo cortante. (Blanco, 2005).

b) Contenido de agua

Es la relación entre el peso del agua contenida en una roca y el peso de su fase sólida. Se expresa en porcentaje.

c) Peso volumétrico

Es la relación entre el peso de la muestra y el volumen de la muestra. El peso y volumen de la muestra se realiza pesándola en el aire y luego pesándola sumergida en mercurio.

d) Densidad

Es la masa por unidad de volumen

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Dónde:

m: Masa del material

v: Volumen del material

e) Deformación

Cuando se somete una muestra de roca a una carga esta tiende a cambiar de forma, de volumen o bien las dos cosas simultáneamente. Durante el período de aplicación del esfuerzo, este y la deformación son inseparables, por lo que se acostumbra a estudiar a la deformación mediante gráficas conocidas como Esfuerzo-Deformación.

f) Resistencia

Es el esfuerzo máximo que puede soportar una roca sin romperse, tiene tres esfuerzos como variables. La resistencia de las rocas se puede determinar tanto en laboratorio, en el campo y en el sitio mismo de la obra o proyecto.

g) Compresión uniaxial.

Resistencia a la compresión simple, consiste en aplicar a los especímenes de roca cargas axiales sin confinamiento. (González, 2002). Los especímenes son generalmente cilíndricos de 2.5 a 7.5 cm de diámetro y altura igual a dos veces el diámetro, que está definido por:

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$

Dónde:

σ_c = resistencia a la compresión.

F = fuerza aplicada hasta la rotura

A = sección inicial de la muestra normal a la dirección de la fuerza

h) Permeabilidad o conductividad hidráulica

Es la propiedad de algunos materiales de permitir el paso de fluidos a través de ellos. Una roca es permeable cuando permite el paso de una cantidad medible de fluido en un espacio de tiempo finito. Equivale a una velocidad en m/día o cm/s. (Ferrer, M. et al., 1999).

2.2.14 Diseño de sostenimiento

La importancia de la interacción en el diseño de sostenimiento dependerá de los parámetros geomecánicos y operativos, siendo el pilar clave para una adecuada recomendación de sostenimiento.

Esto con el objetivo de brindar un adecuado control de inestabilidad, la iteración conjunta, también es vital para seleccionar en forma óptima la alternativa de sostenimiento, salvaguardando los intereses de seguridad, productividad y de costos en el proyecto subterráneo. (Flores, 2013). Se debe tomar en consideración:

a) Parámetro geomecánico

La evaluación geomecánica de las labores, corresponde a un principio fundamental en la elección correcta de la técnica de sostenimiento. (Flores, 2013). La importancia del estudio del parámetro geomecánico, deberá considerar los siguientes parámetros básicos de estudio:

- Calidad geomecánica de la zona inestable.
- Análisis de la estabilidad estructuralmente controlada.
- Niveles de esfuerzos presentes en la zona de trabajo.
- Parámetros mecánicos del macizo rocoso
- Análisis de factores de seguridad, simulaciones

b) Parámetro operativo

Flores (2013). Durante la evaluación de la labor minera, son analizados, por lo general, solo los factores geomecánicos para la selección de la alternativa de sostenimiento, sin considerar muchas veces los factores operativos. Es importante que los supervisores responsables de las recomendaciones de sostenimiento conozcan, no sólo las características geomecánicas de la labor, sino que deben asociar la operatividad minera. Dentro de los parámetros operativos de estudio.

Los parámetros operativos básicos expuestos, no tienen un carácter absoluto, pudiendo adicionar más factores conforme a las características del proyecto subterráneo. De la misma forma este punto es aplicable para los factores geomecánicos.

2.2.15 Elementos de sostenimiento activos y estáticos

Flores (2013). Conforme a la funcionalidad de soporte para el control de las inestabilidades del macizo rocoso, los elementos de sostenimiento son clasificados en dos categorías de soporte. En geomecánica minera, como; Sostenimiento por refuerzo y soporte.

Dicha clasificación se basa en la aplicabilidad de los elementos de sostenimiento con relación a su disposición en el macizo rocoso. Conforme a ello los elementos podrán ser aplicados como soporte interno, sostenimiento por refuerzo y como soporte externo (sostenimiento por soporte).

La aplicabilidad de cada alternativa de soporte, obedecerá a la complejidad de la inestabilidad del macizo rocoso a sostener, características geomecánicas y a la disponibilidad operativa.

a) Sostenimiento por refuerzo (Activos)

Como lo indicáremos, la aplicabilidad de esta categoría de sostenimiento, corresponde a elementos de soporte dispuestos dentro del macizo rocoso. (Flores, 2013). Siendo sus exponentes los pernos de anclaje (bolt) y los cables de acero (cable bolting).

- **Los Anclajes por Adherencia:** Son elementos que necesitan de una matriz para fijarse en el macizo rocoso. Dicha matriz es constituida por encapsulantes, los cuales tendrán que fusionarse con la barra de acero, a fin de constituir el anclaje. Ejemplo la Barra Helicoidal.
- **Los Anclajes por Fricción:** No necesitan de una matriz cementante para fijarse en el taladro, generando presiones radiales a lo largo del anclaje instalado. Ejemplo los Split Set y Swellex.

b) Sostenimiento por soporte (Estáticos)

Flores (2013). Esta categoría de sostenimiento, corresponde a elementos de soporte dispuestos por fuera del macizo rocoso; teniendo como exponentes de este tipo de soporte:

- Concreto lanzado (Shotcrete)
- Arcos de acero (Cerchas y cimbras)
- Los cuadros de sostenimiento (Madera)
- Los wood pack (Pilares de madera)
- Las mallas de aceros (Electro soldadas, de torsión y gallinero)
- Los straps (Cintas metálicas)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación geográfica del estudio

La concesión de la Mina Escuela Carolina está ubicada en el distrito de Puno, provincia de Puno, departamento de Puno a una altitud promedio de 3998 msnm, en el cuadrángulo geológico de Puno 32-v. Se encuentra en la parte sur oriental del cerro Caracolillo, de Puno. La distancia aproximada entre la ciudad de Puno y la Mina Escuela es de 7 km. Sus coordenadas geográficas son: 15° 50'20" S, 70° 01' 43" O. La zona donde se realizará el diseño para la construcción está ubicada en la carretera Puno a Moquegua kilómetro 07.

La Mina Escuela Carolina pertenece a la Universidad Nacional del Altiplano y por antecedentes históricos se presume que fue las minas de Salcedo de los hermanos Salcedo que fueron explotados en la colonia.

- Departamento : Puno
- Provincia : Puno
- Distrito : Puno
- Anexo : Comunidad campesina de Collacachi

3.1.1 Delimitación del área de investigación

La zona de estudio se enmarca entre las siguientes coordenadas UTM (V1: 8242000.00 N – 390000.00 E, V2: 8241000.00 N – 390000.00 E, V3: 8241000.00 N – 389000.00 E, V4: 8242000.00 N – 389000.00 E) que comprenderá la zona del proyecto Mina Escuela Carolina, ubicado en el Nv. 3998.

El trabajo de investigación se llevará a cabo para solucionar principalmente el problema de la falta de un diseño para la construcción de la Mina Escuela Carolina por otro lado los objetivos se limitan a construir conocimiento práctico experimental en los estudiantes de Ingeniería de Minas, dando así una solución en conjunto para ambos problemas.

3.1.2 Accesibilidad

Se puede acceder por vía terrestre, siendo la ruta principal la carretera Puno a Moquegua, a 7 Km de la ciudad de Puno, viajando aproximadamente 20 minutos, La ruta está en condiciones adecuadas (asfaltada), una vez llegado al lugar el acceso a la Bocamina es a trocha aproximadamente unos 180 metros de distancia desde la carretera.

3.1.3 Clima

El clima en la Mina Escuela Carolina es la misma de Puno que consiste en una estación seca y húmeda, al ubicarse cerca al lago Titicaca el clima es temperado por la influencia del lago. La temperatura es muy variable, con marcadas diferencias entre los meses de junio y noviembre y con oscilaciones entre una temperatura promedio máxima de 21 °C y una mínima de -15 °C. Las precipitaciones pluviales son anuales y duran generalmente entre los meses de noviembre a marzo, aunque suelen variar en ciclos anuales, originando inundaciones y sequías, generalmente las precipitaciones son menores a 700 mm.

3.1.4 Precipitación

En todo el año se presentan días lluviosos con promedios altos de precipitación esto ocurre generalmente entre los meses de noviembre y marzo acumulando así un promedio de 131 a 151 días de lluvia respectivamente, es decir durante el periodo de estos meses.

Prácticamente llueve todos los días. Su precipitación máxima se presenta entre los meses de diciembre a febrero registrándose aproximadamente valores de 118.8 mm de precipitación en el mes de enero y los meses de estiaje son de junio a agosto registrándose valores de 1.1 mm de precipitación en el mes de junio. (Senamhi, 2017).

3.2 Periodo de duración del estudio

El presente proyecto de investigación se viene realizando desde los últimos meses del año 2018, empezando con una pequeña planificación de lo que realmente se quería en la mina escuela Carolina. En la tabla 5, se muestra la secuencia de la duración del proyecto de investigación.

Tabla 5. *Periodo de duración del proyecto de investigación*

		2018		2019					
		Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.
INTRODUCCIÓN AL CAMPO DEL TEMA	REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	X	X	X	X	X	X	X	X
	ELABORACIÓN DEL PERFIL DE PROYECTO	X	X						
TRABAJOS DE CAMPO	IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES Y PROBLEMAS			X					
	PLANIFICACIÓN DE ACCIONES Y ACTIVIDADES			X	X				
	EJECUCIÓN DE LAS ACCIONES Y ACTIVIDADES				X	X	X		
	EVALUACIÓN DEL PROCESO			X	X	X	X		
	REDACCIÓN DEL PROYECTO					X	X	X	
ANÁLISIS Y RESULTADOS	DISCUSIÓN DEL PROYECTO							X	
	RESULTADOS							X	X

Fuente: Elaboración propia

3.3 Procedencia del material utilizado

Según las metodologías aplicadas para elaborar el proyecto de investigación se realizó una planificación, se recopiló y revisó información bibliográfica relacionada al tema. Se hizo una revisión de la bibliografía para tener una visión amplia del estado de conocimiento con relación al diseño y planeamiento para una construcción subterránea y construir conocimiento práctico experimental.

El material requerido y utilizado en la elaboración del presente proyecto de investigación proviene de sitios web o buscadores científicos, como; Dialnet, Scielo, Google académico, academia.edu, repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, libros relacionados al tema y la recopilación de datos de campo, en este caso el mapeo geomecánico lineal de la galería principal de la mina escuela Carolina, para los objetivos ya establecidos.

Así mismo se hizo el análisis de muestras de roca en laboratorio, para conocer cuáles son las propiedades y resistencia de la roca.

3.4 Descripción Geología

El yacimiento es del tipo epitelial, de baja sulfuración localizado la explotación al nivel de la zona de óxidos, el cuerpo mineralizado es de “stock worck” en su estructura mineraliza donde la roca caja es la andesita brechada. En el área de la mina afloran calizas, areniscas del Cretáceo y también el intrusivo granítico, la veta principal tiene un rumbo N320°E con Buzamiento de 85' - 88' este y una potencia aproximada de 0.30 m. Entre los minerales de mena, se encuentran la chalcopirita, bornita, esfalerita, tetraedrita y la baritina de origen mesotermal a epitermal. La piritita, especularita, dolomita, calcita y el cuarzo son los principales minerales de ganga. La primera fundición de plata en esta mina fue 20 onzas por tonelada. Esta mina esta concesionada por una institución canadiense y ha sido paralizada por que es difícil separar la plata del manganeso.

En el trayecto recorrido hasta la zona de visita se tuvo características del espacio físico y relieve de la localidad minas pompearía por la presencia de Relieve accidentados (Rocas y pendientes). Las características del espacio físico y relieve de la localidad de Cutimbo y todo el trayecto recorrido hasta Salcedo - Puno ha tiene una influencia determinante hacia sus comunidades campesinas vecinas, fundamentalmente por la presencia de Relieve accidentados (Rocas y pendientes).

El espacio Físico de la comunidad de Cutimbo, se caracteriza por presentar un Relieve muy variado, las características topográficas condicionan en términos generales la presencia de derrames lávicos, tufos volcánicos y afloramientos de rocas volcánicas, originándose partes elevadas y bajas. Por ubicarse en la parte sur del Perú y en el departamento de Puno se ubica o clasifica dentro de la región suní ya sea por su mismo clima que presenta, vegetación, etc. (Miranda, Panca, 2018, p. 32).

3.5 Población y muestra del estudio

3.5.1 Población

La población del presente estudio está conformada por la Mina Escuela Carolina, que pertenece a la facultad de Ingeniería de Minas de la UNA Puno. De las que este trabajo tomara referencia.

3.5.2 Muestra

La muestra del estudio de investigación es la galería principal con una longitud de 84 metros, perteneciente a la Mina Escuela Carolina.

3.6 Diseño estadístico

El tipo de diseño estadístico a aplicar en el presente proyecto de investigación es el descriptivo, porque al caracterizar la roca se obtienen valores para cada una de sus características y estas serán evaluadas para identificar su incidencia por tramos en la estabilidad del macizo rocoso. Según Martínez (2017), La estadística descriptiva estudia los datos para obtener métodos para organizar, resumir y describir un conjunto de datos para que las características se vuelvan evidentes mediante técnicas gráficas o numéricas. Reflejando habitualmente el porcentaje que representan del total. El análisis estadístico para el proyecto se describe a continuación. En el anexo M se muestra la estadística de la primera progresiva el cual ayudara a entender mejor el cálculo del RMR.

Para la obtención de la resistencia a la compresión simple de la roca de la mina escuela Carolina se trabajó mediante siete progresivas desde la bocamina hasta el tope de la galería principal. Los mismos que se muestran en la Tabla 6. Cabe señalar que para las progresivas 4 y 5 del lado izquierdo se hizo el ensayo de carga puntual ya que las muestras eran irregulares, los valores obtenidos de muestran en la Tabla 7.

Tabla 6. *Resumen de resistencia a la compresión simple de la roca*

RESUMEN DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DE MUESTRAS DE ROCA INTACTA DE MINA ESCUELA CAROLINA				
N°	PROGRESIVAS DE TOMA DE MUESTRAS DE ROCA DE GALERIA PRINCIPAL	UCS (MPa)	UCS corregido (MPa)	UCS corregido (Kg-f/cm2)
1	P. 1 (Boca Mina - L. Izquierdo)	52.02	49.38	503.50
	P. 1 (Boca Mina - L. Derecho)	62.01	57.93	590.73
2	P. 2 (15 - 20m. - L. Izquierdo)	38.50	35.96	366.67
	P. 2 (15 - 20m. - L. Derecho)	57.93	54.76	558.40
3	P. 3 (25 - 30m. - L. Izquierdo)	68.03	64.21	654.81
	P. 3 (25 - 30m. - L. Derecho)	78.31	74.03	754.91
4	P. 4 (65 - 70m. - L. Derecho)	31.57	28.91	294.75
5	P. 5 (75 - 80m. - L. Derecho)	96.28	91.44	932.40
6	P. 6 (80 - 84m. - L. Izquierdo)	99.89	98.50	1004.41
	P. 6 (80 - 84m. - L. Derecho)	120.95	114.69	1169.51

Fuente: Laboratorio de geotecnia y mecánica de rocas FIM UNAP.

Tabla 7. *Resumen de resistencia por carga puntual de las muestras irregulares*

RESUMEN DE RESISTENCIA POR CARGA PUNTUAL EN MUESTRAS IRREGULARES DE ROCA INTACTA DE MINA ESCUELA CAROLINA			
N°	PROGRESIVAS DE TOMA DE MUESTRAS DE ROCA DE GALERIA PRINCIPAL	Is (50) (MPa)	UCS (Mpa)
		(MPa)	(MPa)
1	PROGRESIVA 4 (45 - 50m. - L. Izquierdo)	1.55	37.22
2	PROGRESIVA 5 (65 - 70m. - L. Izquierdo)	0.94	22.46

Fuente: Laboratorio de geotecnia y mecánica de rocas FIM UNAP.

Como se puede apreciar en la figura 12. Se muestra el histograma de la resistencia a la compresión simple de la roca intacta en MPa, para las 7 progresivas de donde se extrajeron las muestras correspondientes, como se puede ver la variación es amplia, solo en los últimos tramos se tiene una mayor resistencia en comparación a los tramos anteriores.

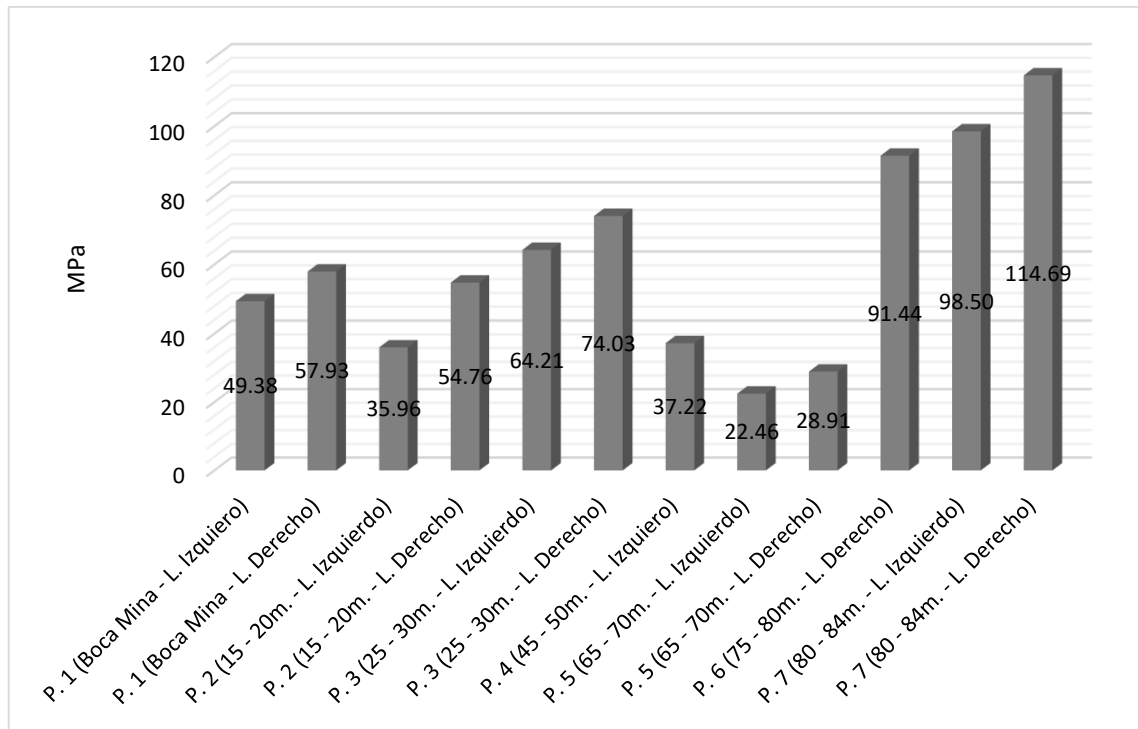


Figura 12. Histograma de la resistencia a la compresión simple de roca en MPa, por tramos

Fuente: Elaboración propia

RMR. Los valores de RMR de las distintas estaciones geomecánicas para la galería principal de la mina escuela Carolina varían de inicio a fin, como se puede apreciar en la figura 13, se presenta una línea variante en valores de RMR para las 17 estaciones consideradas, los valores de RMR son altos al inicio de la galería y va normalizándose a medida que se ingresa, también apreciamos que para el tramo medio y final el RMR es casi similar estando en un rango de 40 a 43. Así mismo en la figura 14, se muestra un RMR de calidad media para la galería principal.

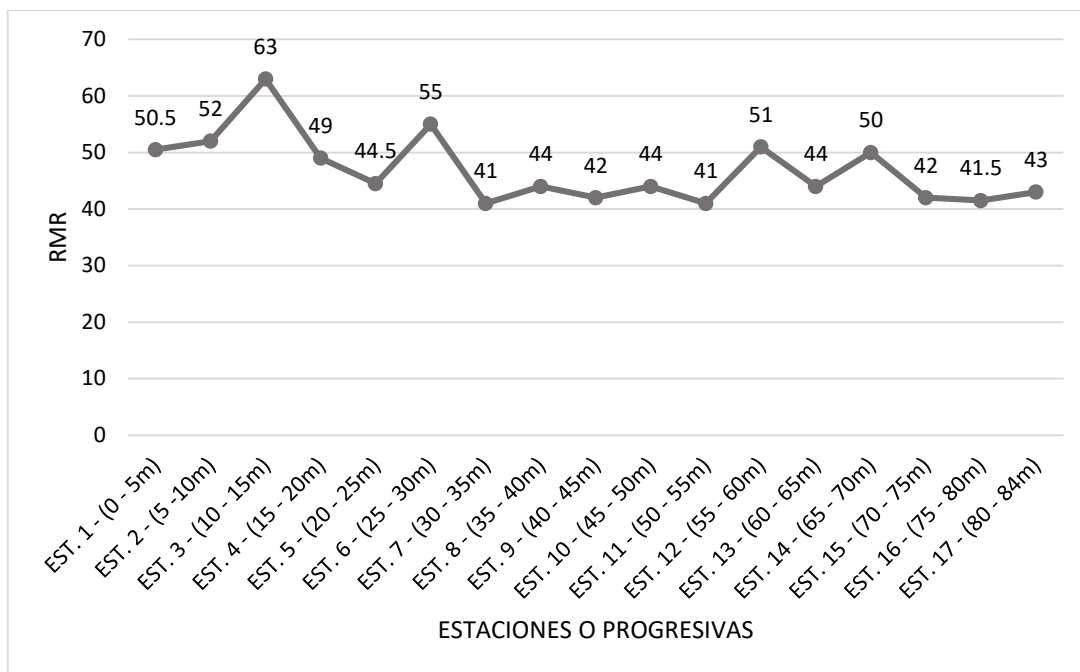


Figura 13. Variación del RMR para cada estación de la galería principal

Fuente: Elaboración propia

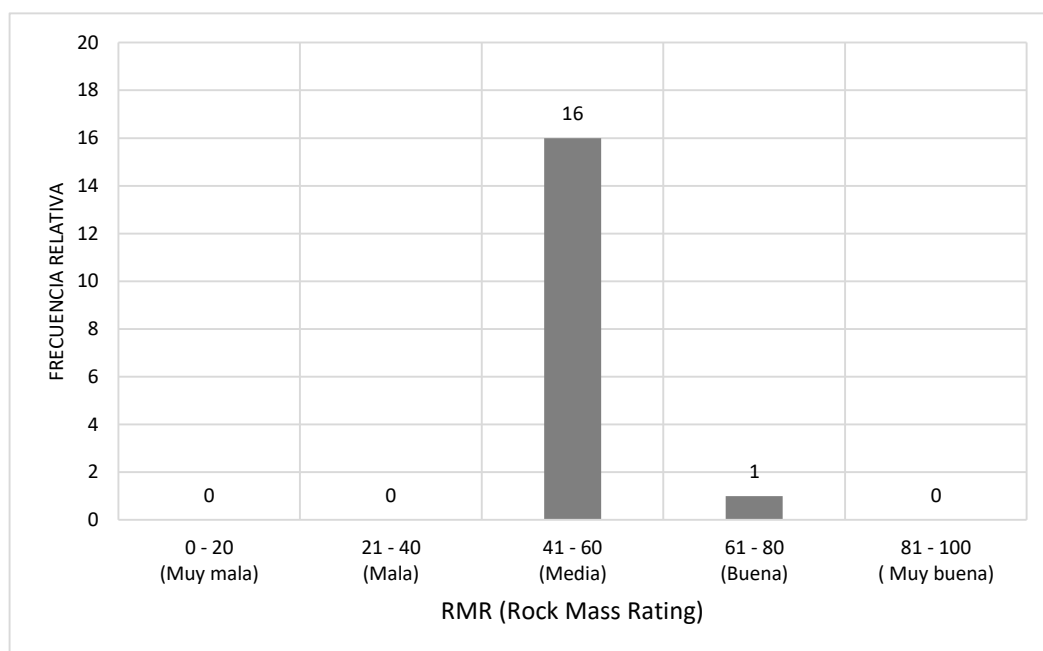


Figura 14. Histograma de valores de RMR que presenta el macizo rocoso de la mina escuela Carolina

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8. Se muestra los valores estadísticos para los datos de RMR obtenidos del mapeo geomecánico, como se aprecia tenemos una moda de 44 lo que nos indica que la mayor parte del tramo estudiado tienen ese valor, así mismo una desviación estándar de 6.06, una media de 46.9. y así para todos los valores estadísticos.

Tabla 8. *Valores estadísticos para el análisis del RMR*

VALORES ESTADISTICOS PARA EL RMR	
Media	46.91176471
Error típico	1.469815974
Mediana	44
Moda	44
Desviación estándar	6.06020651
Varianza de la muestra	36.72610294
Rango	22
Mínimo	41
Máximo	63
Suma	797.5
Cuenta	17

Fuente: Elaboración propia

RQD. Los valores para el RQD de la galería principal de la mina escuela Carolina se muestran en la tabla 9, dichos valores se tomaron mediante 17 progresivas a lo largo de la galería principal.

Tabla 9. *Valores de RQD para las 17 progresivas de la galería principal*

PROGRESIVA	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	P.8	P.9	P.10	P.11	P.12	P.13	P.14	P.15	P.16	P.17
RQD (%)	75	75	75	70	70	75	75	75	75	70	70	75	70	62	70	70	75

Fuente: Elaboración propia

La calidad de la roca de la galería principal de la mina escuela Carolina es de 72.18% como se muestra en la tabla 8, lo que nos indica que la calidad de roca promedio es REGULAR tal como se muestra en la tabla 11, a su vez en la tabla 10 podemos apreciar valores estadísticos como la moda, mediana, desviación estándar, etc. Todos concernientes la calidad de roca (RQD) de la mina escuela carolina.

Tabla 10. *Valores estadísticos para el RQD de la galería principal*

VALORES ESTADÍSTICOS PARA EL RQD	
Media	72.17647059
Error típico	0.875463298
Mediana	75
Moda	75
Desviación estándar	3.609627649
Varianza de la muestra	13.02941176
Rango	13
Mínimo	62
Máximo	75
Suma	1227
Cuenta	17

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. *Índice de calidad de la roca RQD para la galería principal*

ÍNDICE DE CALIDAD RQD (%)	CALIDAD
0-25	Muy mala
25-50	Mala
50-75	Regular
75-90	Buena
90-100	Excelente

Fuente: Elaboración propia

En la figura 15, podemos apreciar como los valores de RQD varían entre 70 y 75 %, lo que indica una calidad de roca es media a buena a lo largo del tramo de la galería principal.

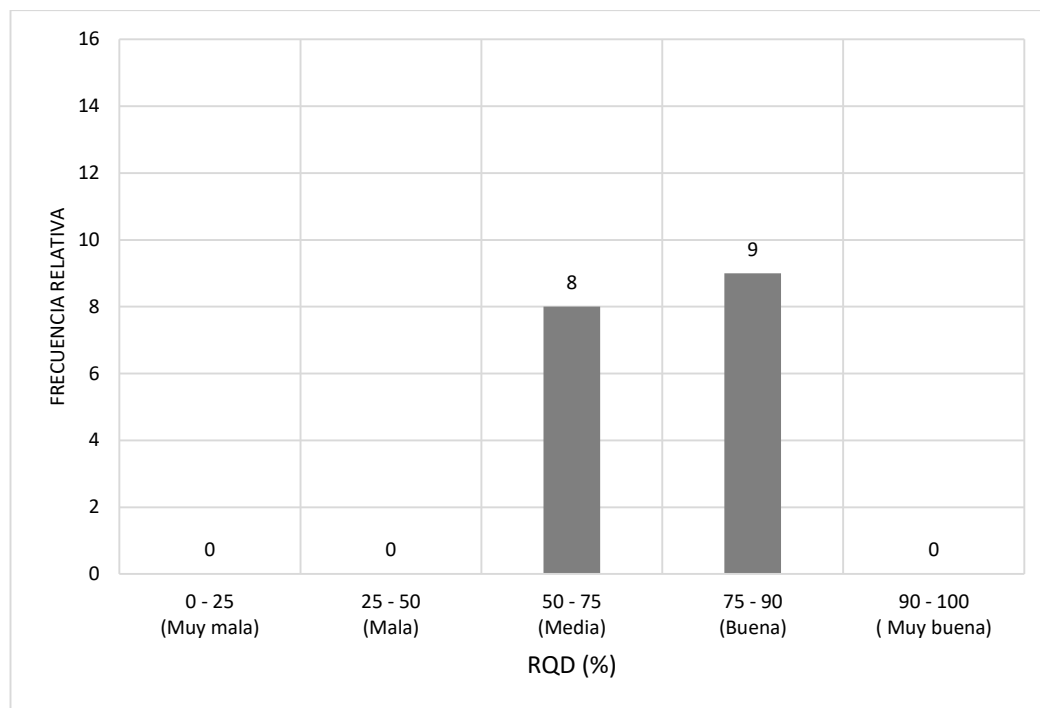


Figura 15. Histograma de los valores de RQD que presenta el macizo rocoso de la mina escuela Carolina

Fuente: Elaboración propia

Para una buena caracterización geomecánica es necesario evaluar de una manera óptima el estado de las discontinuidades a continuación en la tabla 12 apreciaremos como estos varían a lo largo de la galería principal de la mina escuela.

Tabla 12. Valores para los parámetros del estado de las juntas en la mina escuela Carolina

ESTADO DE LAS JUNTAS	ESTADO DE LAS JUNTAS																
	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	P.8	P.9	P.10	P.11	P.12	P.13	P.14	P.15	P.16	P.17
Persistencia	5	5	4	5	3.5	4	4	4	4	4	3.5	3.5	3.5	2.5	4	3	3
Apertura	4.5	4.5	5.5	4.5	5	4.5	4.5	5	5	3.5	5	5	5	3	3.5	5	5
Rugosidad	4	4	3.5	3.5	4	4	4	4	4	4.5	4	4	4.5	4.5	4	4	4.5
Relleno	3	2.5	3.5	2.5	3.5	2.5	2.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3	3.5	2.5	5	3.5	3.5
Alteracion	2	2	3.5	3	2	2	3	2.5	2	2	2	3	3	3	3	3	2

Fuente: Laboratorio de geotecnia y mecánica de rocas FIM UNAP.

a) Persistencia: Como se muestra en la figura 16, se presenta un histograma con los valores de persistencia de todas las discontinuidades caracterizadas, la persistencia de las estructuras presentes en mayor frecuencia corresponde a una persistencia muy baja y baja.

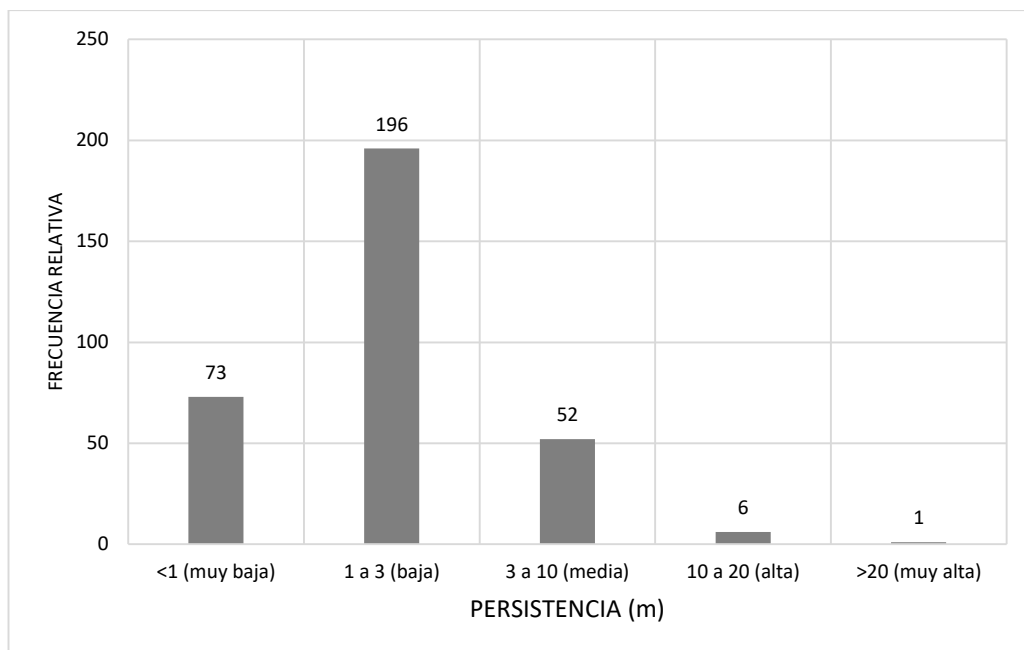


Figura 16. Histograma de valores de Persistencia de las estructuras de la mina escuela Carolina

Fuente: Elaboración propia

b) Apertura: La figura 17, nos presenta un histograma con las aperturas de todas las discontinuidades caracterizadas, como se observa la apertura muy angosta y angosta son las más representativas.

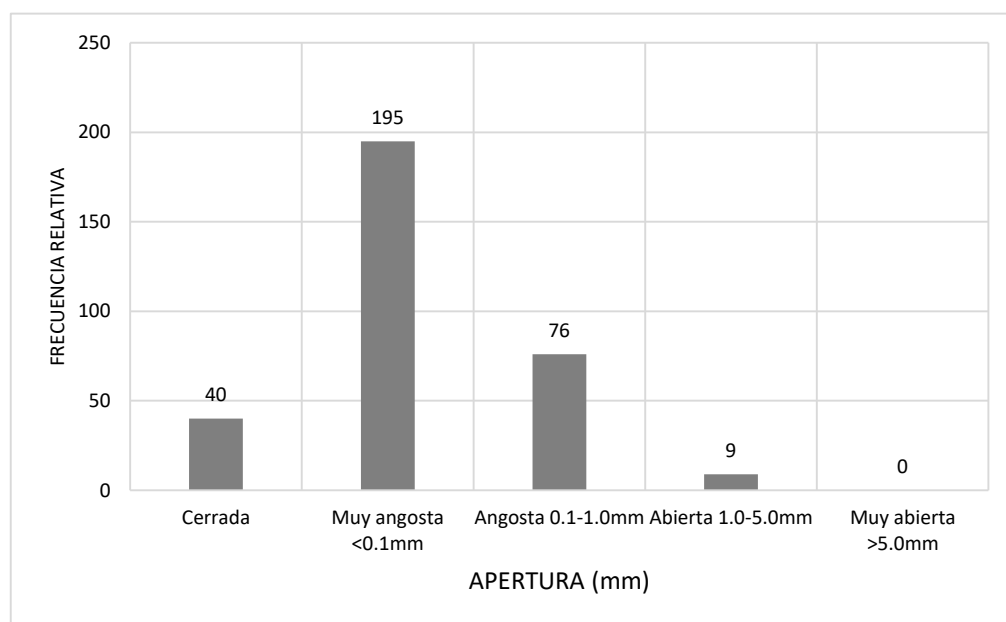


Figura 17. Histograma de valores de apertura de las estructuras de la mina escuela Carolina

Fuente: Elaboración propia

c) **Rugosidad:** La figura 18, nos presenta un histograma con los valores de rugosidad de todas las discontinuidades caracterizadas, la superficie de las discontinuidades se caracteriza por ser ligeramente rugosos a rugosos.

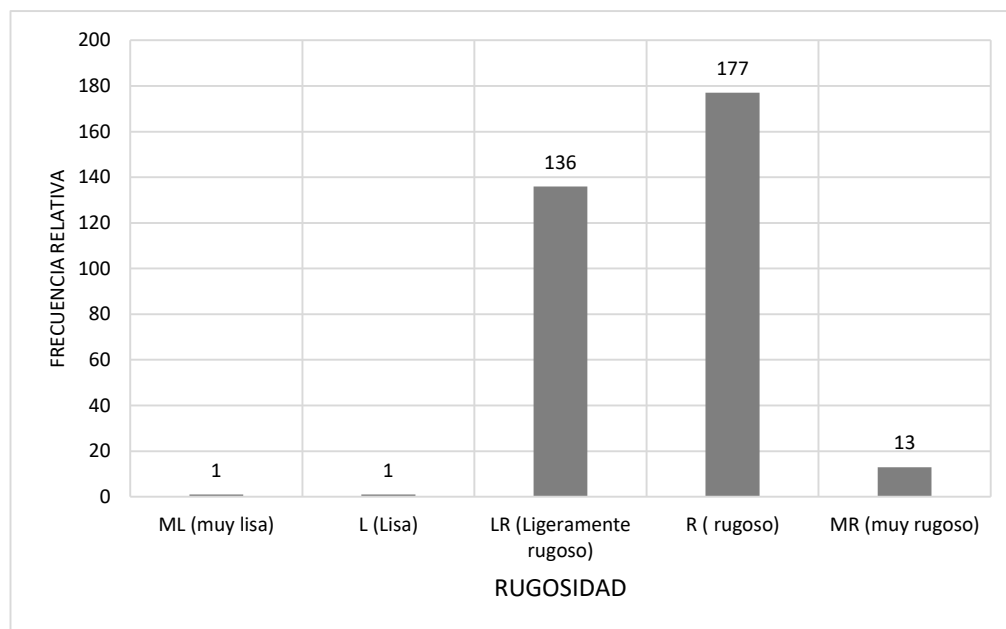


Figura 18. Histograma de valores de rugosidad de las estructuras de la mina escuela Carolina

Fuente: Elaboración propia

d) **Relleno:** La figura 19, nos muestra un histograma con el relleno de todas las discontinuidades caracterizadas del cual se interpreta que el relleno predominante es el relleno duro < 5mm y blando < 5 mm, pero en ocasiones se presenta sin relleno.

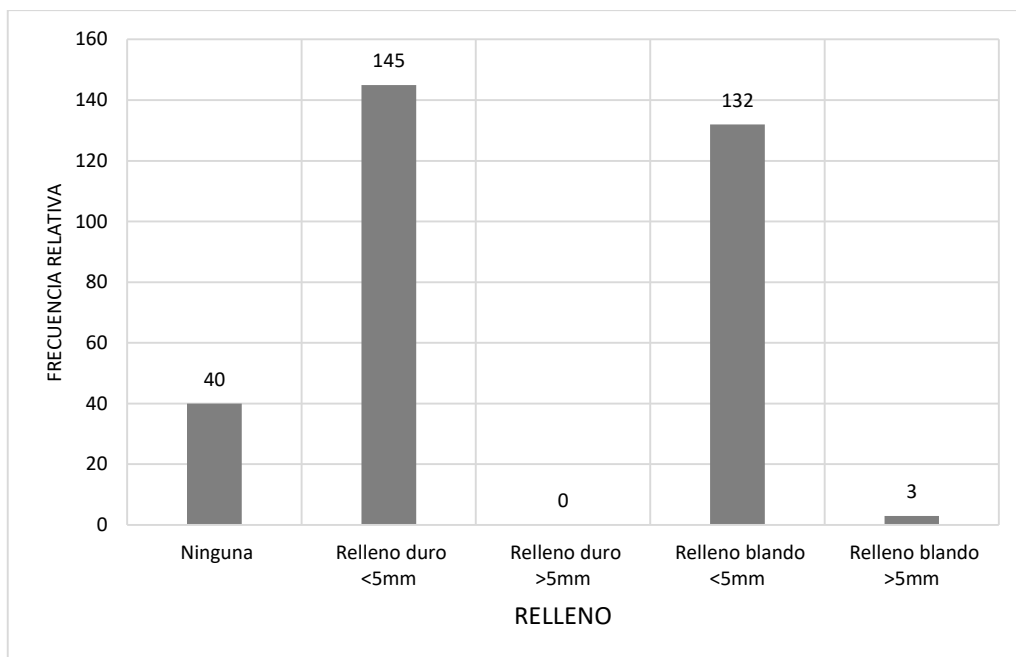


Figura 19. Histograma de valores de relleno de las estructuras de la mina escuela Carolina

Fuente: Elaboración propia

e) **Alteración:** La figura 20, nos muestra un histograma con el grado de alteración de todas las discontinuidades caracterizadas del cual se interpreta que el grado de alteración es de moderada a altamente meteorizada.

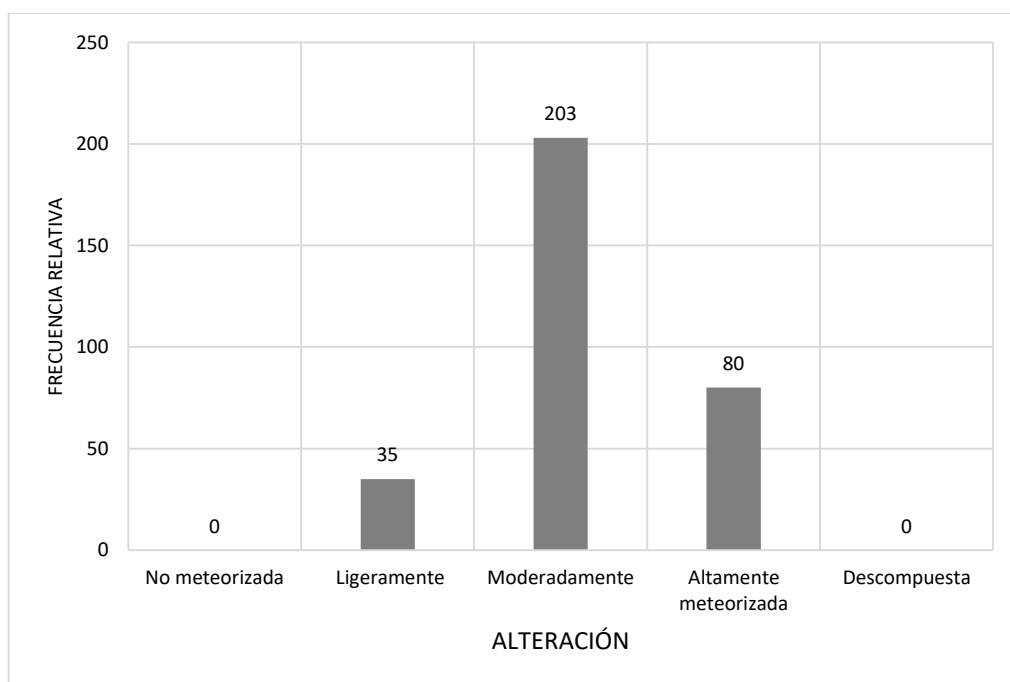


Figura 20. Histograma de valores de Alteracion de las estructuras de la mina escuela Carolina

Fuente: Elaboración propia

3.7 Análisis metodológico

La metodología de investigación utilizada para realizar el presente trabajo de investigación es de tipo descriptivo, orientándose primordialmente al diseño de la construcción de la Mina Escuela Carolina, con fines académicos y de investigación, donde se enumeran y detallan las principales características para poder estructurar un diseño y planeamiento adecuado, para así poder construir conocimiento práctico en los estudiantes de Ingeniería de minas de la UNA Puno.

Para el procesamiento de los datos obtenidos de las mediciones realizadas, como de los ensayos se usará la estadística descriptiva para que las características del macizo rocoso sean evidentes y reales con el uso de técnicas gráficas y numéricas, obteniendo la confiabilidad del diseño subterráneo de la Mina Escuela Carolina.

La investigación descriptiva, abarca la descripción, análisis e interpretación de los datos proporcionados, empleando el método de análisis, caracterizando el objeto de estudio, señalando así sus propiedades y características. Combinando con criterios de clasificación sirve para ordenar y sistematizar los objetos involucrados en el trabajo de investigación.

3.8 Procedimiento

El procedimiento del presente trabajo de investigación se realizó mediante tres fases las cuales se describen a continuación.

a) Primera fase: Se realizó a través de la recopilación de la información necesaria para desarrollar el presente proyecto en temas de diseño y minas educativas experimentales a nivel mundial y nacional, paralelamente al mismo se realizó el mapeo geomecánico de la galería principal de la mina escuela carolina para ubicar para ubicar zonas de inestabilidad y así poder elaborar un perfil del mismo.

b) Segunda fase: Que consiste en la identificación de las necesidades en este caso educacionales, de la misma manera identificar la calidad del macizo rocoso a lo largo de la galería principal, realizar ensayos de laboratorio, para posteriormente planificar las acciones y actividades a realizar y así ejecutarlas y evaluarlas durante el proceso.

c) Tercera fase: Donde se inicia a elaborar el proyecto de investigación con toda la información recopilada y los datos obtenidos en campo y laboratorio, se diseñan espacios subterráneos para que estas puedan ser utilizadas de forma educativa, se les brinda un tipo de sostenimiento y un factor de seguridad estable para luego discutirlos y llegar a conclusiones.

3.9 Variables

1) Variables dependientes

- Ubicación de zonas de estabilidad para las cavernas subterráneas

Para la ubicación de zonas de estabilidad se tomó en cuenta la caracterización geomecánica, los valores de RMR, para este caso se ubicaron cuatro zonas de mayor estabilidad.

- Diseño de cámaras subterráneas con fines académicos y de investigación.

Para el diseño de las cámaras subterráneas con fines académicos y de investigación se tomaron parámetros muy importantes como son: el factor de seguridad de la galería principal y la estabilidad del mismo. Se diseñan cuatro cámaras subterráneas, para cuatro áreas distintas en la facultad de ingeniería de minas de la UNA Puno.

2) Variable independiente

- Caracterización geomecánica del macizo rocoso

La caracterización geomecánica del macizo rocoso para la galería principal de la mina escuela carolina está sujeta a varios parámetros condicionantes para luego evaluarlas y obtener la calidad del macizo rocoso (RMR), estos parámetros son:

- a) Resistencia a la compresión simple de la roca intacta
- b) RQD
- c) Espaciado de las discontinuidades
- d) Estado de las discontinuidades
 - Persistencia
 - Apertura
 - Rugosidad
 - Relleno
 - Alteracion
- e) Presencia de agua subterránea

3.10 Operacionalización de las variables

Tabla 13. Operacionalización de variables de la presente investigación

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	CATEGORÍA	INDICES	INSTRUMENTO
V.I.	Caracterización geomecánica del macizo rocoso	calidad del macizo rocoso	Dominios geotécnicos	RQD RMR Q	Brújula, flexómetro, martillo Schmidt
V.D.1	Ubicación de zonas de estabilidad	calidad del macizo rocoso	Dominios geotécnicos	RQD RMR Q	DIPS, UNWEDGE
V.D.2	Diseño de cámaras subterráneas con fines académicos y de investigación	Tipo de roca	SPAN y soporte	factor de seguridad	AutoCAD civil 3D

Fuente: Elaboración propia

3.11 Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos en el presente proyecto de investigación están relacionados a la caracterización geomecánica del macizo rocoso de la galería principal de la mina escuela carolina, los cuales ayudaron a la identificación de zonas de estabilidad y para el diseño de las cámaras subterráneas los mismos que tienen unos objetivos académicos y de investigación.

Uno de los factores claves para determinar la calidad del macizo rocoso es la determinación del RMR, a continuación, en la Tabla 14. se muestra el resumen del RMR por estaciones para luego analizar cuál es su comportamiento a lo largo de la galería de la mina escuela Carolina.

Tabla 14. Resumen de RMR por estaciones de mapeo geomecánico

RESUMEN DE RMR POR ESTACIONES DE MAPEO GEOMECANICO DE LA MINA ESCUELA CAROLINA					
Nº	ESTACION PROGRESIVA	RMR	VALORACION	CLASE DE ROCA	DESCRIPCION
1	EST. 1 - (0 - 5m)	50.5	60 - 41	III	ROCA REGULAR
2	EST. 2 - (5 - 10m)	52	60 - 41	III	ROCA REGULAR
3	EST. 3 - (10 - 15m)	63	80 - 61	II	ROCA BUENA
4	EST. 4 - (15 - 20m)	49	60 - 41	III	ROCA REGULAR
5	EST. 5 - (20 - 25m)	44.5	61 - 41	III	ROCA REGULAR
6	EST. 6 - (25 - 30m)	55	80 - 61	III	ROCA REGULAR
7	EST. 7 - (30 - 35m)	41	61 - 41	III	ROCA REGULAR
8	EST. 8 - (35 - 40m)	44	61 - 41	III	ROCA REGULAR
9	EST. 9 - (40 - 45m)	42	62 - 41	III	ROCA REGULAR
10	EST. 10 - (45 - 50m)	44	63 - 41	III	ROCA REGULAR
11	EST. 11 - (50 - 55m)	41	64 - 41	III	ROCA REGULAR
12	EST. 12 - (55 - 60m)	51	65 - 41	III	ROCA REGULAR
13	EST. 13 - (60 - 65m)	44	66 - 41	III	ROCA REGULAR
14	EST. 14 - (65 - 70m)	50	67 - 41	III	ROCA REGULAR
15	EST. 15 - (70 - 75m)	42	68 - 41	III	ROCA REGULAR
16	EST. 16 - (75 - 80m)	41.5	69 - 41	III	ROCA REGULAR
17	EST. 17 - (80 - 84m)	43	70 - 41	III	ROCA REGULAR

Fuente: Laboratorio de geotecnia y mecánica de rocas FIM UNAP.

Para cumplir con los objetivos planeados se tienen que ubicar zonas de estabilidad y un factor importante para su ubicación es el valor del RMR. Como se puede apreciar en la tabla anterior las estaciones geomecánicas que tienen un valor alto son; la estación número 3, 6, 12 y 14. Que servirán para diseñar las cámaras subterráneas.

Se utilizó el software UNWEDGE, para analizar el factor de seguridad de las cuñas presentes en estas zonas.

La construcción de las cavernas subterráneas tendrán dimensiones de, 2m x 2m x 1.8m como entrada inicial seguida de una abertura de 6m x 6m x 2.5m con una gradiente de (+) 0.5%. Los requerimientos que se necesitan para su construcción son: recurso mano de obra, materiales y sostenimiento, los cuales se especifican en los anexos E a E8, con respecto a equipos de perforación se utiliza la máquina perforadora Jackleg. Explosivo Semexa 60 7/8" x 7, guía de seguridad y fulminante común.

Los costos se calcularon en base al tonelaje de material a romper, las dimensiones de las cavernas propuestas son las mismas para todas, el tonelaje de material a romper para las excavaciones es 1023.16 ton de material a remover para poder desarrollar las aperturas de las cavernas de investigación.

Como se puede apreciar en el anexo I, el costo por tonelada de material a remover es de 39.46 dólares, con este valor podemos calcular el costo para la apertura de las cavernas, lo que nos da un valor de 40 373.89 dólares para las excavaciones de la misma manera se calcula el costo para el sostenimiento de las excavaciones, se propone el tipo de sostenimiento de pernos de anclaje + malla + Shotcrete, por ser un lugar permanente y necesita un factor de seguridad mayor, en los anexos E7 y E8, se muestran los costos que demandará el sostenimiento como materiales, mano de obra, uso de equipos.

El costo por metro de sostenimiento es de 445.44 dólares, como se tendrá 6 m de avance tendremos un costo de 2672.64 dólares por cada caverna subterránea, como se desarrollarán 4 cavernas el costo total de sostenimiento será 10 690.56 dólares. El costo general es de 51 064.44 dólares para su construcción, indirectamente de su implementación.

3.12 Técnicas de recolección de datos

3.12.1 Técnica

Para argumentar el presente trabajo relacionado a minería subterránea se recopila información relacionada al título del proyecto, libros, artículos científicos, informes especializados, páginas de internet.

3.12.2 Instrumento

Los instrumentos que se utilizaron para el presente estudio son los siguientes:

- Brújula marca Brunton
- Esclerómetro marca Proeti
- Flexómetro milimétrico
- Pica
- Wincha de 50 metros

Equipos útiles para tomar datos de campo

- Formatos de registro
- Ábacos y tablas
- Libretas de campo

3.12.3 Materiales

Los materiales empleados en el trabajo de investigación son los siguientes:

- Material de papelería
- Material de escritorio
- Material bibliográfico
- Equipo de cómputo (laptop)
- Software (AutoCAD, Excel, Rocscience, Word, power point)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Propiedades físico mecánicas de la roca

a) Porosidad

La roca presente en la mina escuela Carolina presenta clastos de andesitas de textura masiva y porfiríticas, los colores que presentan varían de grises y verdes, con formas angulosas a subredondeadas. Por otra parte, se encuentran traquiandesitas con mineralización de baritina y cuarzo entre fallas y fracturas. La estructura mineralizada dentro de esta variedad de brecha son principalmente vetas de baritina y variedades de cuarzo con una potencia hasta de 4m y una longitud que superan los 10m. los cuales influyen en la porosidad, presente en la tabla N°15.

Tabla 15. *Relación peso específico y porosidad*

Tipo de roca	peso específico (g/cm ²)	porosidad (%)
Andesita	2,2-2,35	10 a 15

Fuente: Goodman (1989), Farmer (1968)

b) Contenido de humedad

La cantidad de agua presente en la roca está ligado a la porosidad y composición mineralógica que presenta esta misma, las pruebas de laboratorio indican el siguiente contenido de agua, presente en la tabla N° 16.

Tabla 16. *Contenido de humedad de la roca andesita*

UBICACIÓN: MINA ESCUELA CAROLINA	MUESTRA: ROCA ANDESITA				
CONTENIDO DE HUMEDAD					
MUESTRA	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
Peso tara (g)	65.77	48.16	59.26	66.94	64.89
Peso muestra húmeda + tara (g)	310.37	324.04	319.50	325.60	288.11
Peso muestra seca + tara (g)	298.20	310.87	306.89	311.95	276.85
Peso agua (g)	12.17	13.17	12.61	13.65	11.26
Peso muestra húmeda (g)	244.60	275.88	260.24	258.66	223.22
Peso muestra seca (g)	232.43	262.71	247.63	245.01	211.96
ω (%)	5.24	5.01	5.09	5.57	5.31
Promedio ω (%)	5.24				

Fuente: Laboratorio de geotecnia y Mecánica de Rocas UNAP.

c) Densidad

La densidad de la roca asumiendo el contenido de agua en campo (in situ) y realizando las pruebas de laboratorio se muestran en la siguiente tabla N°17.

Tabla 17. *Densidad de la roca andesita*

densidad seca	porosidad aparente	peso específico aparente
(g/cm ³)	(%)	(KN/m ³)
2.72	3.75	23.36

Fuente: Laboratorio de Geotecnia y Mecánica de rocas UNAP.

d) Deformación

La deformación de la roca, cuando se somete los núcleos de roca a una carga en ambos casos estas tienden a una ruptura, por lo que al estudiar su deformación mediante gráficas conocidas como Esfuerzo-Deformación, (González, 2002), para los diferentes criterios de rotura, se obtienen los valores en el software RocData, para ver como es el comportamiento de los valores de roca intacta en el macizo rocoso, tal como se muestra en las figuras N° 21 y 22.

A continuación, se presenta un resumen de los parámetros de clasificación, el valor o descripción y la valuación que obtuvo cada uno de ellos, para de esta manera obtener una clasificación del macizo rocoso en él que se encuentra la mina escuela Carolina.

➤ **Criterio de ruptura generalizado del Hoek y Brown**

$$M_b = 1.617$$

$$S = 0.0009$$

$$a = 0.504$$

➤ **Criterio de Mohr – Coulomb**

$$\text{Cohesión} = 0.446 \text{ MPa}$$

$$\text{Angulo de fricción} = 58.35^\circ$$

➤ **Parámetros de resistencia del macizo rocoso**

$$\text{Esfuerzo a la tensión} = -0.052 \text{ MPa.}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión simple} = 2.647 \text{ MPa.}$$

$$\text{Resistencia global del macizo} = 14.995 \text{ MPa.}$$

$$\text{Módulo de deformación del macizo} = 7126.01 \text{ MPa.}$$

El comportamiento que presenta el terreno en términos de esfuerzos principales. Ver figura 21, Teniendo en cuenta el criterio de Hoek y Brown el macizo rocoso puede fallar cuando se presentan un $\sigma_1 = 7.143 \text{ MPa.}$ y $\sigma_3 = 0.2894 \text{ MPa.}$

Considerando el criterio de Mohr – Coulomb este puede presentar inconvenientes si los esfuerzos principales superan los siguientes valores $\sigma_1 = 6.752$ MPa. y $\sigma_3 = 0.2894$ MPa. El comportamiento que presenta el macizo rocoso en función de los esfuerzos totales, en donde este puede fallar según el criterio de Hoek y Brown cuando se presentan un $\sigma_1 = 1.83$ MPa. y $\sigma_3 = 0.8184$ MPa. teniendo en cuenta el criterio de Mohr – Coulomb el macizo rocoso puede presentar fallas cuando los esfuerzos son iguales a: $\sigma_1 = 1.774$ MPa. y $\sigma_3 = 0.8184$ MPa. Ver figura 22.

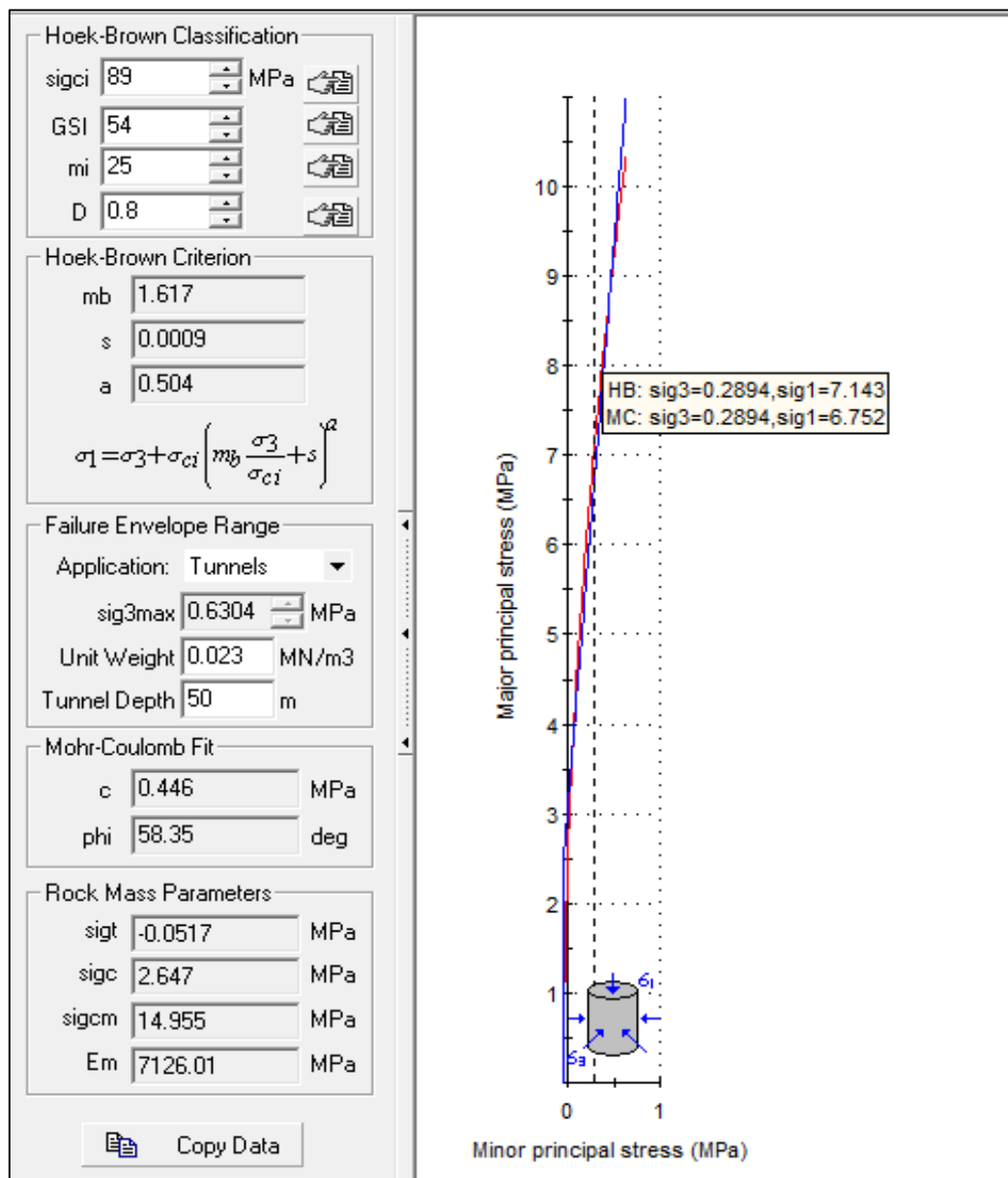


Figura 21. Comportamiento del macizo rocoso en términos de esfuerzos principales

Fuente: Elaboración propia

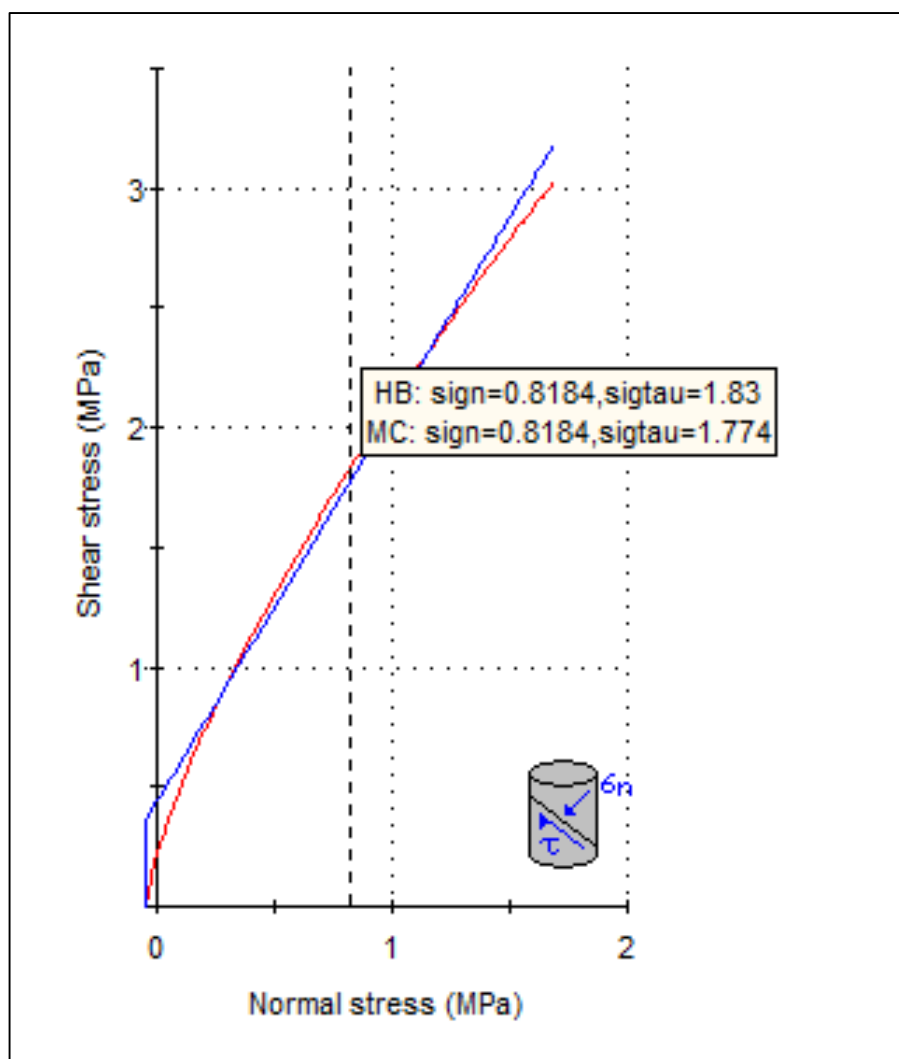


Figura 22. Comportamiento del macizo rocoso en términos de esfuerzos totales

Fuente: Elaboración propia

e) Resistencia

Es el esfuerzo máximo que puede soportar una roca sin romperse, esta propiedad mecánica de la roca se puede determinar tanto en laboratorio y en el sitio mismo del proyecto. (González, 2002). La resistencia de los núcleos de roca de la andesita se presenta en la tabla N°18.

Tabla 18. *Ensayo de resistencia a la compresión Uniaxial de la roca*

RESUMEN DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DE MUESTRAS DE ROCA INTACTA DE MINA ESCUELA CAROLINA				
N°	PROGRESIVAS DE TOMA DE MUESTRAS DE ROCA DE GALERIA PRINCIPAL	UCS	UCS	
		(MPa)	corregido (MPa)	
			UCS corregido (Kg-f/cm ²)	
1	P. 1 (Boca Mina - L. Izquierdo)	52.02	49.38	503.50
	P. 1 (Boca Mina - L. Derecho)	62.01	57.93	590.73
2	P. 2 (15 - 20m. - L. Izquierdo)	38.50	35.96	366.67
	P. 2 (15 - 20m. - L. Derecho)	57.93	54.76	558.40
3	P. 3 (25 - 30m. - L. Izquierdo)	68.03	64.21	654.81
	P. 3 (25 - 30m. - L. Derecho)	78.31	74.03	754.91
4	P. 5 (65 - 70m. - L. Derecho)	31.57	28.91	294.75
5	P. 6 (75 - 80m. - L. Derecho)	96.28	91.44	932.40
6	P. 7 (80 - 84m. - L. Izquierdo)	99.89	98.50	1004.41
	P. 7 (80 - 84m. - L. Derecho)	120.95	114.69	1169.51

Fuente: Laboratorio de Geotecnia y Mecánica de rocas UNAP.

4.2 Caracterización del macizo rocoso

algunos de estos parámetros dentro de la caracterización del macizo rocoso, como la rugosidad, espaciado, continuidad, meteorización de juntas, apertura, presencia de agua y relleno, determinan el comportamiento mecánico y la resistencia al corte de las discontinuidades, todos estos parámetros son tomados en campo linealmente. (Ferrer, M. et al., 1999).

4.2.1 Caracterización geomecánica

Se realizó el mapeo geomecánico de toda la galería en 17 estaciones para tener el RMR general de la galería, así mismo el mapeo geomecánico de las cuatro estaciones donde se abrirán nuevas labores (excavaciones), de la toma de datos en la Mina Escuela Carolina mediante un mapeo por estaciones en las fichas geomecánicas correspondientes, como se detalla en la tabla N° 19, 20, 21, 22 para las nuevas excavaciones. Para más entendimiento sobre el cálculo del RMR_{89} ver anexos G al L. Donde se muestra el cálculo del RMR_{89} para la primera excavación, el procedimiento se realizó de la misma manera para las demás excavaciones.

Tabla 19. Mapeo geomecánico del macizo rocoso para la excavación N°1, ubicada a 15 metros de la bocamina.

FICHA DE ESTACION DE MAPEO GEOMECANICO 03											
N°	TIPO DE DISC.	D - Diaclasa, f - Falla J - Juntas	DIP DIR	DIP	Espaciamiento entre Discontinuidad	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterránea
						Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion	
						20 15 10 8 5	6 4 2 1 0	6 5 4 1 0	6 5 3 1 0	6 4 2 1 0	
					1.- >2m 2.- 0.6-2m 3.- 200-600mm 4.- 60-200mm 5.- <60mm	1.- <1m 2.- 1-3m 3.- 3-10m 4.- 10-20m 5.- >20m	1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta <0.1mm 3.- Angosta 0.1-1.0mm 4.- Abierta 1.0 - 5.0mm 5.- Muy Abierta >5.0mm	1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligeramente rugoso 4.- Lisa 5.- Muy Lisa	1.- Ninguna 2.- Relleno duro <5mm 3.- Relleno duro >5mm 4.- Relleno blando <5mm 5.- Relleno blando >5mm	1.- No meteorizada 2.- Ligeramente 3.- Moderadamente 4.- Altamente meteorizada 5.- Descompuesta	1.- Completamente seco 2.- Húmedo 3.- Mojado 4.- Gotico 5.- Flujo
1	J	144	46	3	2	2	2	4	2	2	
2	J	151	39	3	2	2	2	4	3	2	
3	J	111	52	3	2	2	2	4	3	2	
4	J	137	39	3	2	1	3	1	3	2	
5	J	273	69	1	2	2	2	4	2	2	
6	J	10	88	4	1	2	2	4	2	2	
7	J	92	79	3	3	2	2	4	2	2	
8	J	135	70	3	3	2	2	4	2	2	
9	J	290	7	3	3	2	3	4	2	2	
10	J	14	75	3	2	2	2	4	3	2	
11	J	50	68	3	2	2	2	4	3	2	
12	J	280	24	3	1	2	2	4	2	2	
13	J	170	60	3	2	2	2	4	2	2	
14	J	150	65	3	2	2	3	4	2	2	
15	J	267	40	3	2	2	2	4	2	2	
16	J	270	51	3	2	2	2	4	2	2	
17	J	238	58	3	2	2	3	4	2	2	
18	J	355	20	3	2	2	3	4	2	2	
19	J	125	35	3	2	2	3	4	2	2	
20	J	120	34	3	2	2	3	4	2	2	

		VALORACION MINIMA		VALORACION MAXIMA		
		DATOS	VAL.	DATOS	VAL.	
RMR 1	Res. Comp. S. (Mpa) Martillo Geólogo	Mpa	2	Mpa	2	
RMR2	Fracturas/m. lineal RQD	90%	17	100%	17	
RMR3	Espaciado (mm)	60mm	8	>2000mm	20	
RMR4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Persistencia	3m	2	1m	6
		Apertura	Muy Angosta <0.1mm	5	Cerrada	6
		Rugosidad	Muy Lisa	2	Rugoso	5
		Relleno	Relleno Blando <5mm	1	Ninguna	6
		Alteracion	Descompuesta	2	Ligeramente Met.	5
	Suma		12		28	
RMR5	Presencia de agua	Húmedo	10	Húmedo	10	
	TOTAL		49	TOTAL	77	

RMR BASICO	49	a	77
RMR CORREGIDO	49	a	77
RMR			63

PROGRESIVA: 010 + 015 m

Fuente: Mapeo geomecánico mina escuela carolina

Tabla 20. Mapeo geomecánico del macizo rocoso para la excavación N°2, ubicada a 25 metros de la bocamina.

FICHA DE ESTACION DE MAPEO GEOMECANICO 06											
N°	TIPO DE DISC. D - Diaclasa, f - Falla J - Juntas	DIP DIR	DIP	Espaciamiento entre Discontinuidad	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterránea	
					Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion		
					20 15 10 8 5	6 4 2 1 0	6 5 4 1 0	6 5 3 1 0	6 5 3 1 0		
1	J	155	81	3	1	2	2	2	3	3	
2	J	326	68	3	1	2	3	2	4	3	
3	J	82	94	3	1	2	2	2	3	3	
4	J	134	85	3	2	2	2	2	3	3	
5	J	94	29	3	2	3	3	4	3	3	
6	J	176	40	2	2	3	3	4	3	3	
7	J	85	45	3	2	3	2	4	4	3	
8	J	94	45	4	2	2	2	2	3	3	
9	J	110	61	3	2	2	3	2	3	3	
10	J	287	58	3	2	2	2	2	3	3	
11	J	241	34	3	2	2	2	2	3	3	
12	J	343	89	3	3	2	3	2	4	3	
13	J	36	75	4	3	2	3	2	4	3	
14	J	308	57	3	2	2	2	2	3	3	
15	J	183	65	3	2	2	3	2	3	3	
16	J	154	69	3	1	2	3	2	3	3	
17	J	155	78	3	2	2	2	2	3	3	
18	J	163	85	3	2	2	2	2	3	3	
19	J	23	62	4	2	2	3	2	3	3	
20	J	25	64	3	2	2	2	2	3	3	

		VALORACION MINIMA		VALORACION MAXIMA		
		DATOS	VAL.	DATOS	VAL.	
RMR1	Res. Comp. S. (Mpa) Martillo Geólogo	Mpa	2	Mpa	2	
RMR2	Fracturas/m. lineal RQD	75%	17	90%	17	
RMR3	Espaciado (mm)	60mm	8	2000mm	15	
ESTADO DE LAS JUNTAS	Persistencia	3m	2	1m	6	
	Apertura	Angosta 0.1 - 1.0mm	4	Muy Angosta <0.1mm	5	
	Rugosidad	Ligeramente Rugoso	3	Rugoso	5	
	Relleno	Relleno Blando <5mm	1	Relleno Duro <5mm	4	
	Alteracion	Altamente Met.	1	Moderadamente Met.	3	
RMR4	Suma		11		23	
RMR5	Presencia de agua	Mojado	7	Mojado	7	
	TOTAL		45	TOTAL	64	
		RMR BASICO		45	a	64
		RMR CORREGIDO		45	a	64
		RMR				55
PROGRESIVA: 025 + 030 m						

Fuente: Mapeo geomecánico mina escuela carolina

Tabla 21. Mapeo geomecánico del macizo rocoso para la excavación N°3, ubicada a 55 metros de la bocamina.

FICHA DE ESTACION DE MAPEO GEOMECANICO 12												
N°	TIPO DE DISC. D - Diaclasa, f - Falla J - Juntas	DIP DIR	DIP	Espaciamiento entre Discontinuidad 20 15 10 8 5	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterránea 15 10 7 4 0		
					Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion			
					6 4 2 1 0	6 5 4 3 2 1 0	6 5 3 1 0	6 4 2 1 0	6 5 3 1 0			
				1.- >2m 2.- 0.6-2m 3.- 200-600mm 4.- 60-200mm 5.- <60mm	1.- <1m 2.- 1-3m 3.- 3-10m 4.- 10-20m 5.- >20m	1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta <0.1mm 3.- Angosta 0.1-1.0mm 4.- Abierta 1.0 - 5.0mm 5.- Muy Abierta >5.0mm	1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligeramente rugoso 4.- Lisa 5.- Muy Lisa	1.- Ninguna 2.- Relleno duro <5mm 3.- Relleno duro >5mm 4.- Relleno blando <5mm 5.- Relleno blando >5mm	1.- No meteorizada 2.- Ligeramente 3.- Moderadamente 4.- Altamente meteorizada 5.- Descompuesta	1.- Completamente seco 2.- Húmedo 3.- Mojado 4.- Goteo 5.- Flujo		
1	J	70	72	3	1	2	2	4	3	3		
2	J	57	35	2	1	3	2	5	3	3		
3	J	203	67	2	1	2	3	4	3	3		
4	J	250	67	3	2	2	3	4	3	3		
5	J	69	50	2	2	2	2	2	3	3		
6	J	50	35	2	2	2	2	2	3	3		
7	J	65	50	3	1	3	3	5	3	3		
8	J	45	87	2	2	2	2	2	3	3		
9	J	38	86	3	1	2	2	2	3	3		
10	J	330	30	3	2	3	3	5	3	3		
11	J	54	74	3	2	2	3	4	3	3		
12	J	64	65	3	2	2	3	4	3	3		
13	J	50	60	4	2	2	3	4	3	3		
14	J	48	65	4	2	3	2	4	3	3		
15	J	75	85	4	2	2	2	2	3	3		
16	J	60	84	3	2	3	2	4	3	3		
17	J	210	75	3	4	2	2	2	3	3		
18	J	95	64	3	4	1	2	1	3	3		
19	J	44	40	4	3	2	2	2	3	3		
20	J	46	42	4	3	2	2	2	3	3		

		VALORACION MINIMA		VALORACION MAXIMA	
		DATOS	VAL.	DATOS	VAL.
RMR 1	Res. Comp. S (Mpa) Martillo Geólogo	Mpa	2	Mpa	2
RMR2	Fracturas/m. lineal RQD	75%	17	90%	17
RMR3	Espaciado (mm)	60mm	8	2000mm	15
ESTADO DE LAS JUNTAS	Persistencia	10m	1	1m	6
	Apertura	Angosta 0.1 - 1.0mm	4	Cerrada	6
	Rugosidad	Ligeramente Rugoso	3	Rugoso	5
	Relleno	Relleno Blando >5mm	0	Ninguna	6
	Alteracion	Moderadamente Met.	3	Moderadamente Met.	3
RMR4	Suma		11		26
RMR5	Presencia de agua	Mojado	7	Mojado	7
	TOTAL		45	TOTAL	67
		RMR BASICO	45	a	67
		RMR CORREGIDO	40	a	62
		RMR			51
PROGRESIVA: 055 + 060 m					

Fuente: Mapeo geomecánico mina escuela carolina

Tabla 22. Mapeo geomecánico del macizo rocoso para la excavación N°4, ubicada a 65 metros de la bocamina.

FICHA DE ESTACION DE MAPEO GEOMECANICO 14																																							
N°	TIPO DE DISC.	D - Diaclasa, F - Falla J - Juntas	DIP DIR	DIP	Espaciamento entre Discontinuidad	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterránea																												
						Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion																													
												20	15	10	8	5																							
					1.- >2m 2.- 0.6-2m 3.- 200-600mm 4.- 60-200mm 5.- <60mm	6	4	2	1	0	6	5	4	1	0	6	5	3	1	0	6	4	2	1	0	6	5	3	1	0	15	10	7	4	0				
					1.- <1m 2.- 1-3m 3.- 3-10m 4.- 10-20m 5.- >20m	1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta <0.1mm 3.- Angosta 0.1-1.0mm 4.- Abierta 1.0 - 5.0mm 5.- Muy Abierta >5.0mm	1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligeramente rugoso 4.- Lisa 5.- Muy Lisa	1.- Ninguna 2.- Relleno duro <5mm 3.- Relleno duro >5mm 4.- Relleno blando <5mm 5.- Relleno blando >5mm	1.- No meteorizada 2.- Ligeramente 3.- Moderadamente 4.- Altamente meteorizada 5.- Descompuesta	1.- Completamente seco 2.- Húmedo 3.- Mojado 4.- Goteo 5.- Flujo																													
1	J	163	62	3	2	2	2	2	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
2	J	252	88	3	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
3	J	232	60	3	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
4	J	165	77	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
5	J	200	80	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
6	J	250	75	3	4	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
7	J	268	78	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
8	J	37	42	3	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
9	J	170	84	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
10	J	167	83	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
11	J	16	35	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
12	J	70	78	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
13	J	215	73	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
14	J	228	82	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
15	J	25	42	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
16	J	241	82	3	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
17	J	238	46	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
18	J	90	60	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
19	J	242	60	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	J	238	61	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

		VALORACION MINIMA		VALORACION MAXIMA	
		DATOS	VAL.	DATOS	VAL.
RMR 1	Res. Comp. S. (Mpa) Martillo Geólogo	Mpa	2	Mpa	2
RMR2	Fracturas/m. lineal RQD	50%	13	75%	13
RMR3	Espaciado (mm)	200mm	10	2000mm	15
ESTADO DE LAS JUNTAS	Persistencia	10m	1	3m	4
	Apertura	Abierta 1.0 - 5.0mm	1	Muy Angosta <0.1mm	5
	Rugosidad	Ligeramente Rugoso	3	Muy Rugoso	6
	Relleno	Relleno Blando <5mm	1	Relleno Duro <5mm	4
	Alteracion	Moderadamente Met.	3	Moderadamente Met.	3
RMR4	Suma		9		22
RMR5	Presencia de agua	Mojado	7	Mojado	7
	TOTAL		41	TOTAL	59
		RMR BASICO	41	a	59
		RMR CORREGIDO	41	a	59
		RMR			50
PROGRESIVA: 065 + 070 m					

Fuente: Mapeo geomecánico mina escuela carolina

4.3 Clasificación geomecánica

El objetivo de la clasificación geomecánica es proporcionar una evaluación geomecánica del macizo rocoso que se estudia a partir de ensayos simples y observaciones de campo, hay diferentes tipos de clasificaciones las cuales tomaremos en cuenta será: RQD y RMR.

4.3.1 Designación de la calidad de la roca (RQD)

Los valores de RQD se presentan en la tabla N° 23, El RQD (Rock Quality Designation) fue desarrollado por Deere et al. (1967), para estimar cuantitativamente la cualidad del macizo rocoso basándose en la recuperación de un testigo.

En el caso del presente estudio no se disponen de sondeos, una alternativa para el cálculo del RQD es a partir de la siguiente ecuación.

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

Donde λ es el numero de juntas por metro lineal

Tabla 23. Designación de la calidad de la Roca para la galería Mina Escuela Carolina

RQD PROMEDIO		
Fracturas /metro lineal	Frac. /m. lineal	Grado IV
RQD	%	72.18
calidad de la Roca	III	REGULAR

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Valoración del macizo rocoso RMR

La valoración del macizo rocoso (Rock Mass Rating), introducido por Bieniawski (1989), es posiblemente la clasificación geomecánica más usada, inicialmente pensado para valorar la estabilidad y los soportes requeridos en túneles. El RMR es una clasificación geomecánica, en la que se tienen en cuenta los siguientes parámetros del macizo rocoso:

1. Resistencia del material intacto que se obtiene mediante ensayo de carga puntual o compresión simple
2. RQD
3. Espaciado de las discontinuidades, hace referencia a la longitud entre discontinuidades dentro de la zona a estudio.
4. Condición de las discontinuidades, que incluye:
 - Longitud de la discontinuidad
 - Abertura
 - Rugosidad
 - Relleno
 - Alteración
5. Presencia de agua subterránea

A cada uno de los parámetros anteriores se le asigna un valor, el RMR se obtiene como la suma de todos ellos.

$$RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$$

Una vez obtenido el RMR para el macizo, como se detalla en los Cuadros se pueden obtener los parámetros resistentes, cohesión y el ángulo

de fricción, parámetros resistentes del criterio de Mohr-Coulomb. En las siguientes ecuaciones se muestran las relaciones entre RMR y los parámetros resistentes.

$$c = 5 \text{ RMR (KPa)}$$

$$\phi = 5 + \frac{RMR}{2} \text{ (deg)}$$

Donde c es la cohesión y Φ es el ángulo de fricción. Realizando el mapeo geomecánico lineal de la galería de la Mina Escuela Carolina se obtuvo los siguientes valores presentes en la tabla N° 24.

Tabla 24. RMR Promedio para la galería de la Mina Escuela Carolina

CLASE	I	II	III	IV	V
calidad	Muy Buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
RMR	81-100	61-80	41-60	21-40	0-20
cohesión Mpa	0.382 MPa.				
Angulo de fricción	64.89°				
RMR Promedio	46				

Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Índice Q

(Barton, et al 1974). Propuso un Índice de Calidad de Túneles (Q) para la determinación de las características del macizo rocoso y los requerimientos de soporte del túnel, el valor de Q promedio para la galería principal de la mina escuela carolina se muestra en la tabla N° 25.

Tabla 25. Muestra del índice Q promedio del macizo rocoso de la mina escuela carolina

CALIDAD	VALORACIÓN	ÍNDICE Q PROMEDIO
excepcionalmente malo	< 0.01	
extremadamente malo	0.01 a 0.1	
muy malo	0.1 a 1	
malo	1 a 10	4.73
medio	4 a 10	
bueno	10 a 40	
muy bueno	40 a 100	
extremadamente bueno	100 a 400	
excepcionalmente bueno	> 400	

Fuente: Elaboración propia

4.3.4 Índice de resistencia geológica

Con la aparición del criterio de rotura de Hoek & Brown el uso del RMR ya no es adecuado, sobre todo para el caso de rocas débiles, y se introduce de esta forma el GSI (Hoek, et al. 1995).

Las relaciones existentes entre GSI y RMR, dependiendo del RMR utilizado, se detallan a continuación:

$$\text{RMR}_{89} > 23 \rightarrow \text{GSI} = \text{RMR}_{89} - 5$$

$$\text{RMR}_{89} < 23 \rightarrow \text{No se puede utilizar el } \text{RMR}_{89}, \text{ para la obtención del GSI}$$

El GSI promedio de la galería principal de la Mina Escuela Carolina se muestra en la tabla N° 26.

Tabla 26. Índice de resistencia geológica (GSI) promedio de la Mina Escuela Carolina

GSI PROMEDIO	
DATOS	RMR > 23
	RMR = 46
GSI	46-5= 41

Fuente: Elaboración propia

4.4 Modelamiento estructural del macizo rocoso

El modelamiento estructural será dado en cada estación donde se realizará la apertura de una nueva excavación del proyecto de investigación, indicando todas las características estructurales del macizo rocoso cuantificados y gráficamente representados en las Figuras N°23, 24, 25, 26, generando así un conocimiento general y vista panorámica de la calidad de la roca y niveles de esfuerzos presentes dentro de la caracterización del macizo rocoso.

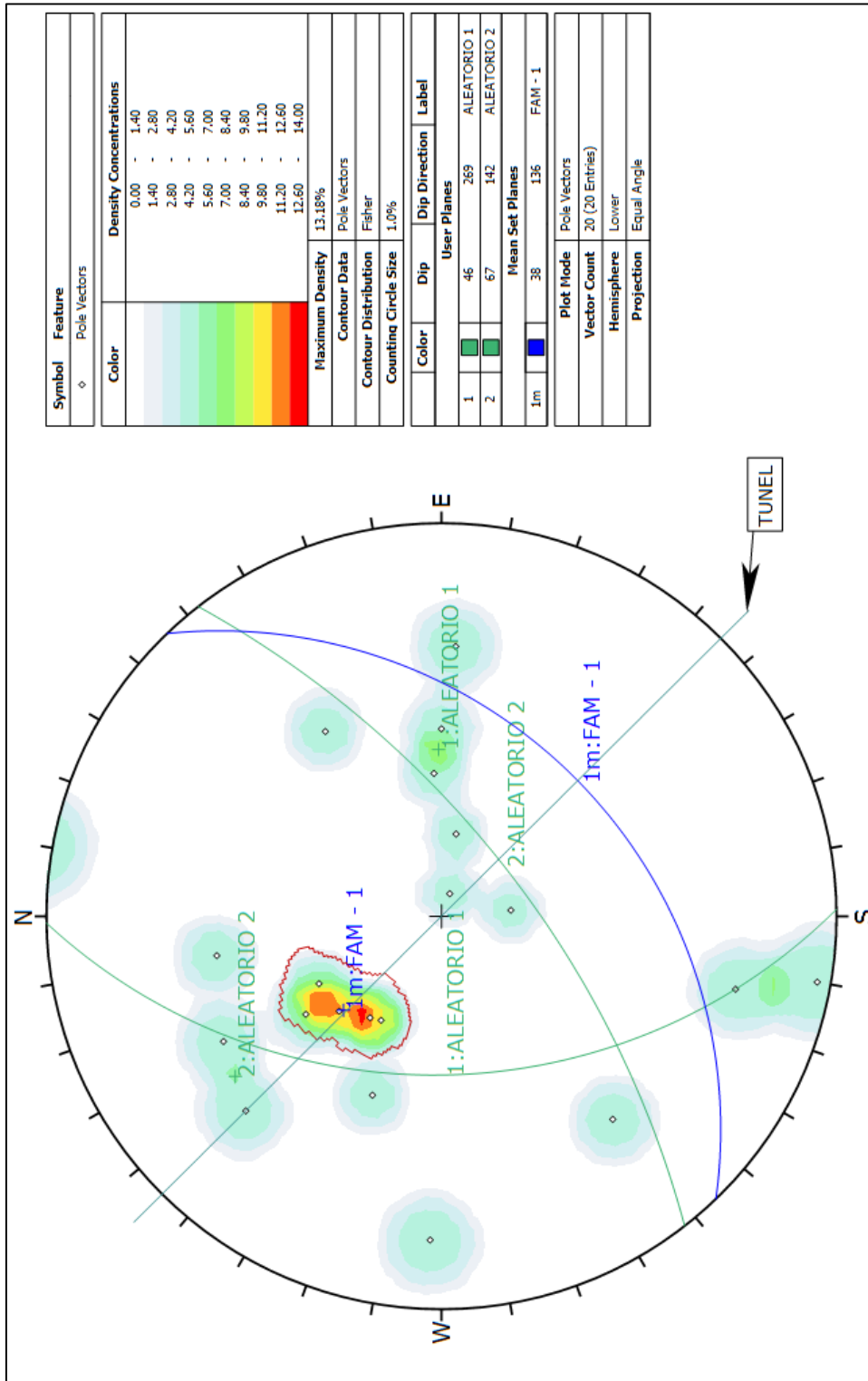


Figura 23. Familia de diaclasas presentes en la caracterización del macizo rocoso, para la apertura N°1 ubicada a 15 m de la bocamina.

Fuente: Elaboración propia, software DIPS.

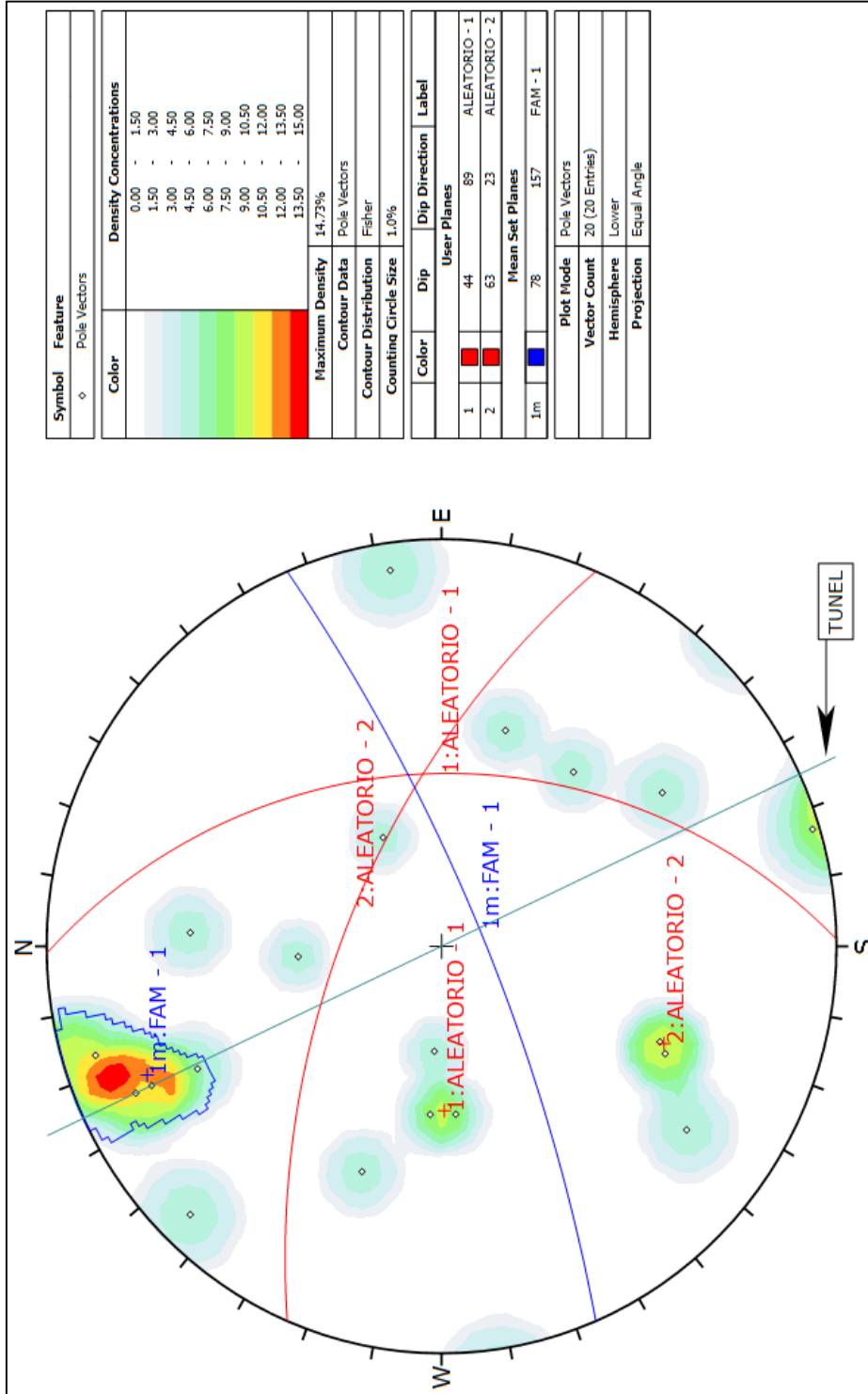


Figura 24. Familia de diaclasis presentes en la caracterización del macizo rocoso, para la apertura N°2 ubicada a 25 m de la bocamina.

Fuente: Elaboración propia, software DIPS.

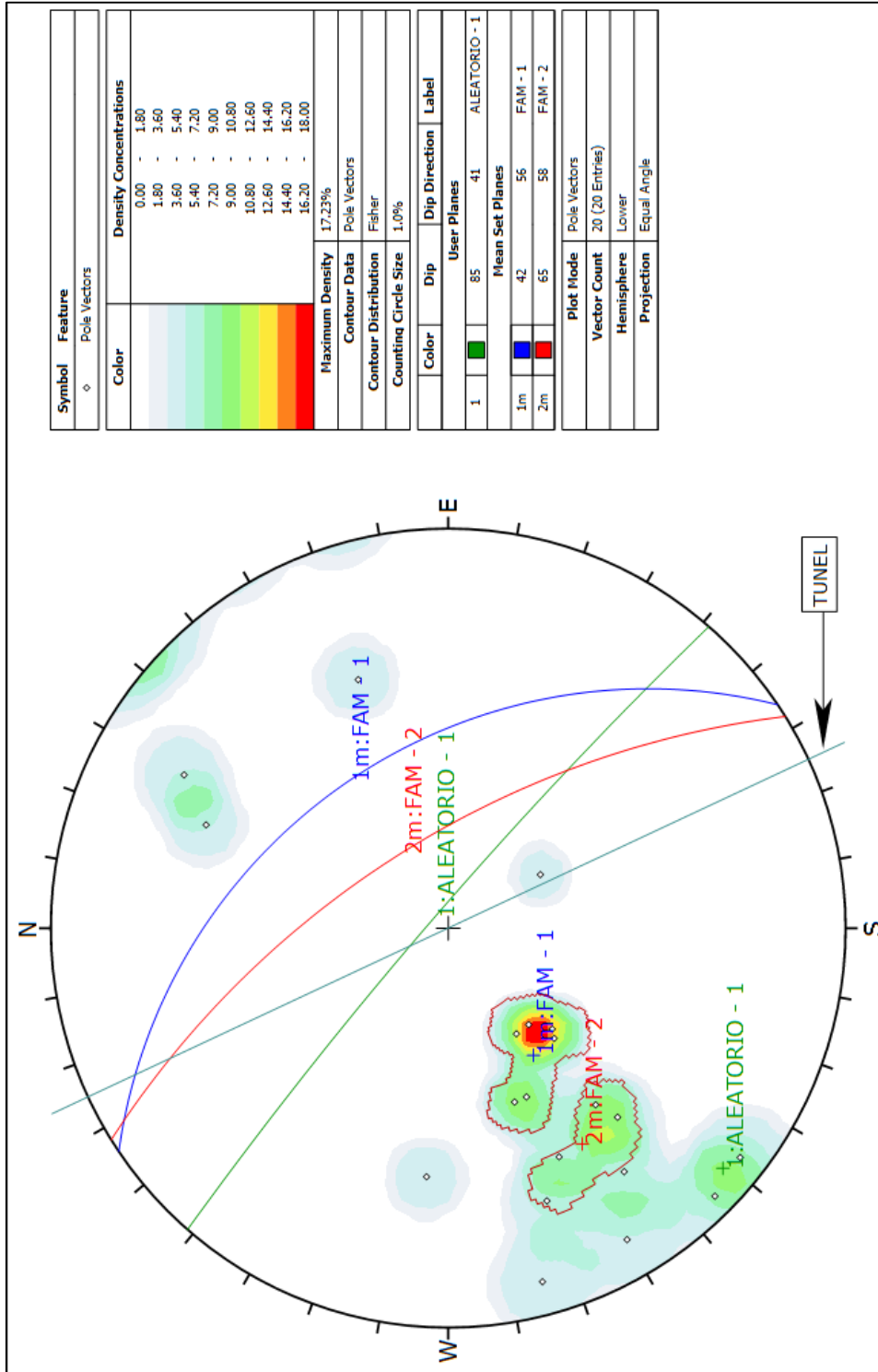


Figura 25. Familia de diaclamas presentes en la caracterización del macizo rocoso, para la apertura N°3 ubicada a 55 m de la bocamina.

Fuente: Elaboración propia, software DIPS.

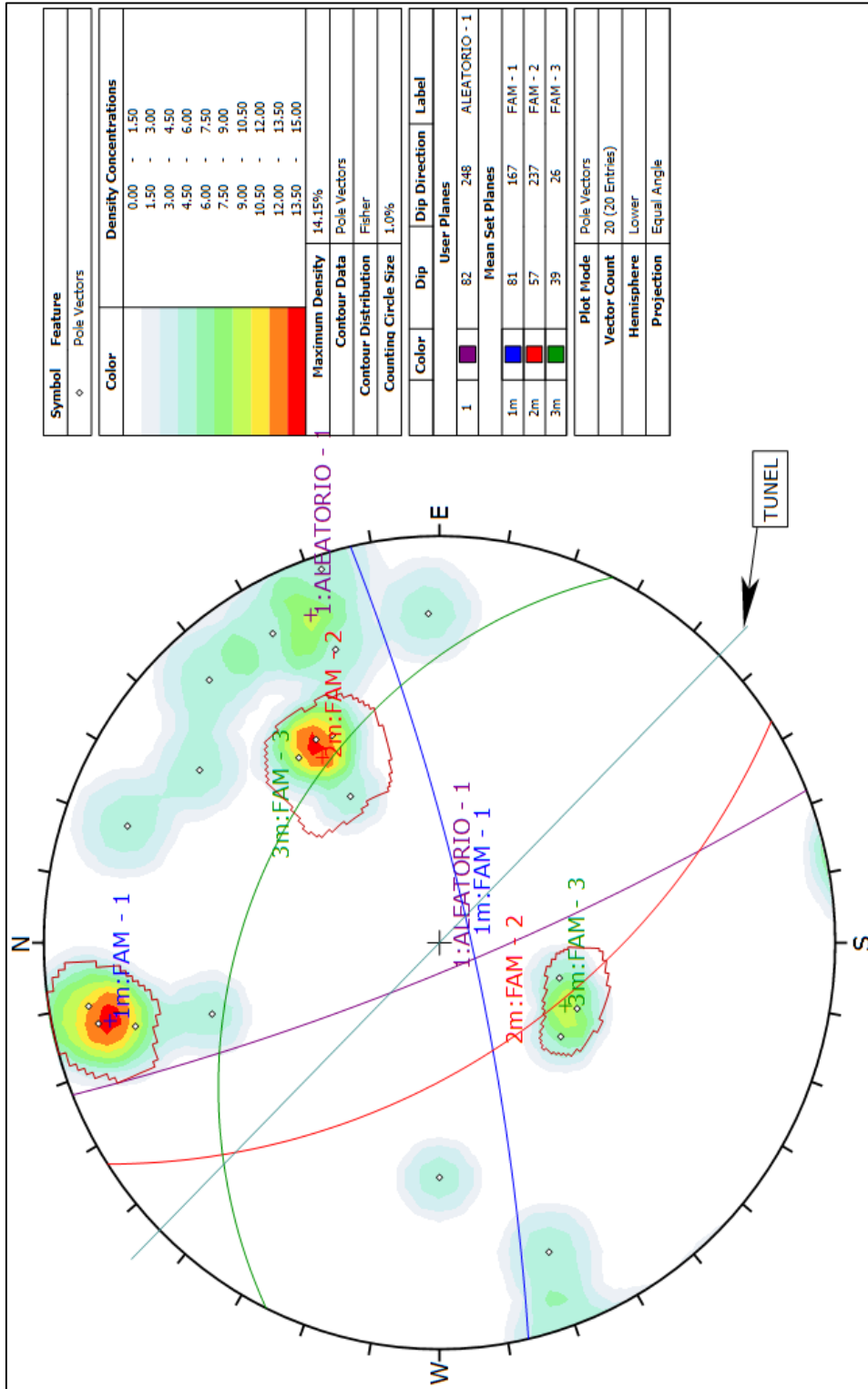


Figura 26. Familia de diaclasis presentes en la caracterización del macizo rocoso, para la apertura N°4 ubicada a 65 m de la bocamina.

Fuente: Elaboración propia, software DIPS.

4.5 Interrelación entre el índice RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton

Los valores obtenidos del índice de RMR de Bieniawski a valores de índice de clasificación Q de Barton. Tenemos los resultados de interrelación RMR y Q en base a las ecuaciones propuestas en la tabla 4, se hizo el uso de la interrelación de Rutledge y Preston (1978), ya que proporciona el mayor coeficiente de correlación de 0.81 entre todas las interrelaciones presentadas. Los valores obtenidos para el índice de Barton de cada estación donde se planea realizar las excavaciones se presentan en la tabla 27.

Tabla 27. Valores de índice Q de Barton

N° excavación	Q	Calidad del macizo rocoso
1	29.66	Regular
2	7.64	Regular
3	3.88	Regular
4	3.28	Bueno

Fuente: Elaboración propia

1. Determinación de la dimensión equivalente

La determinación de la dimensión equivalente (De), utilizamos la siguiente ecuación.

$$De = 2.0(Q^{0.4}), \text{ metros.}$$

La ecuación se aplicó para cada estación donde se desarrollarán las excavaciones. Los mismos que se presentan en la tabla 28.

Tabla 28. Dimensión equivalente

N° de estación-excavación	1	2	3	4
De = Rutledge y Preston	7.76	4.51	3.44	3.21

Fuente: Elaboración propia

4.6 Sostenimiento

Para determinar el tipo de sostenimiento en base al índice Q , se usa el grafico de Grimstad y Barton (1993), para lo cual se necesita la dimensión equivalente (De) y el valor del índice Q de Barton los cuales se presentaron en las tablas. Llevando los datos al grafico estos son los resultados:

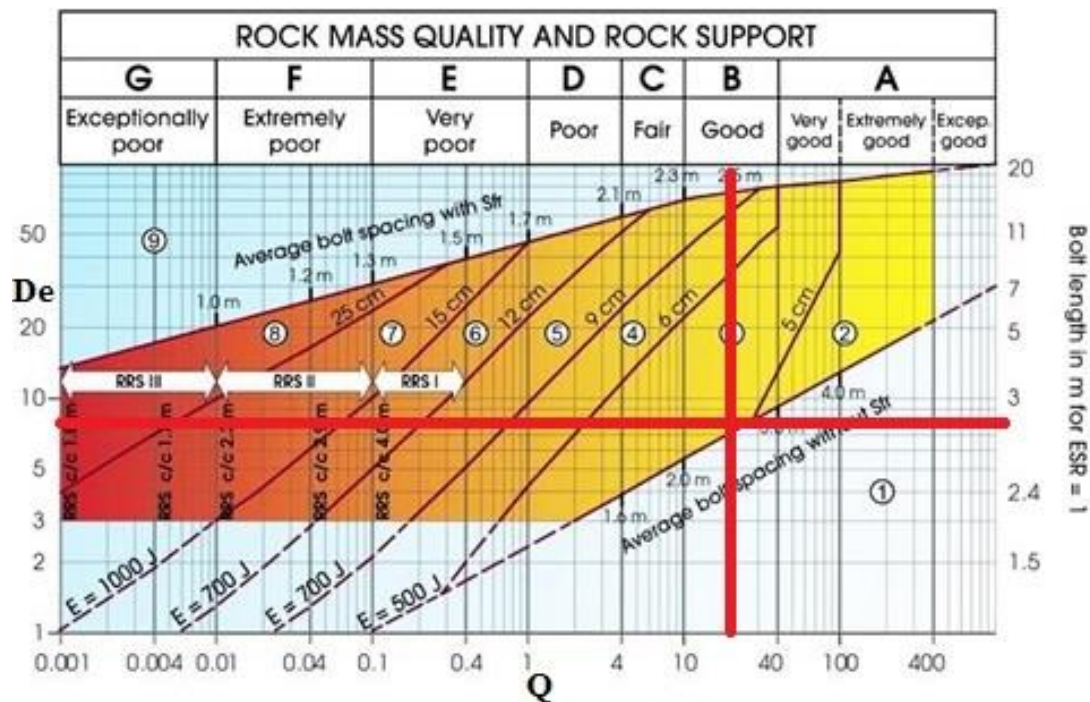


Figura 27. Tipo de sostenimiento, excavación N° 1

Valor del sistema $Q = 29.66$, $De = 7.76$, tipo de sostenimiento = empernado sistemático con espaciamiento de 2.8 m. **Fuente:** Elaboración propia.

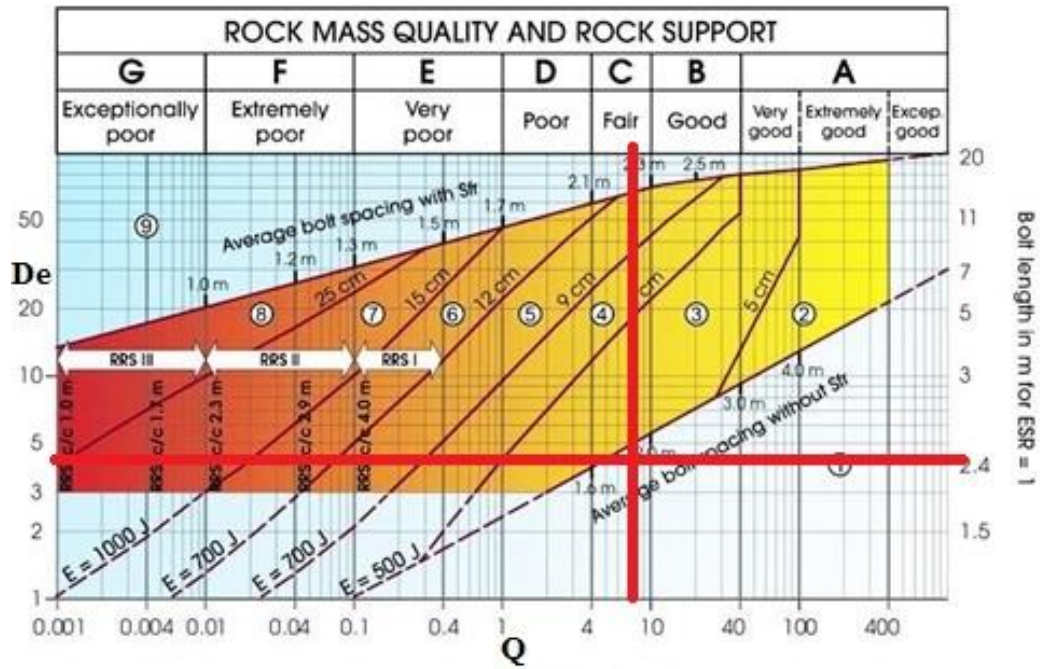


Figura 28. Tipo de sostenimiento, excavación N° 2

Valor del sistema $Q = 7.64$, $De = 4.51$, tipo de sostenimiento = empernado puntual

Fuente: Elaboración propia.

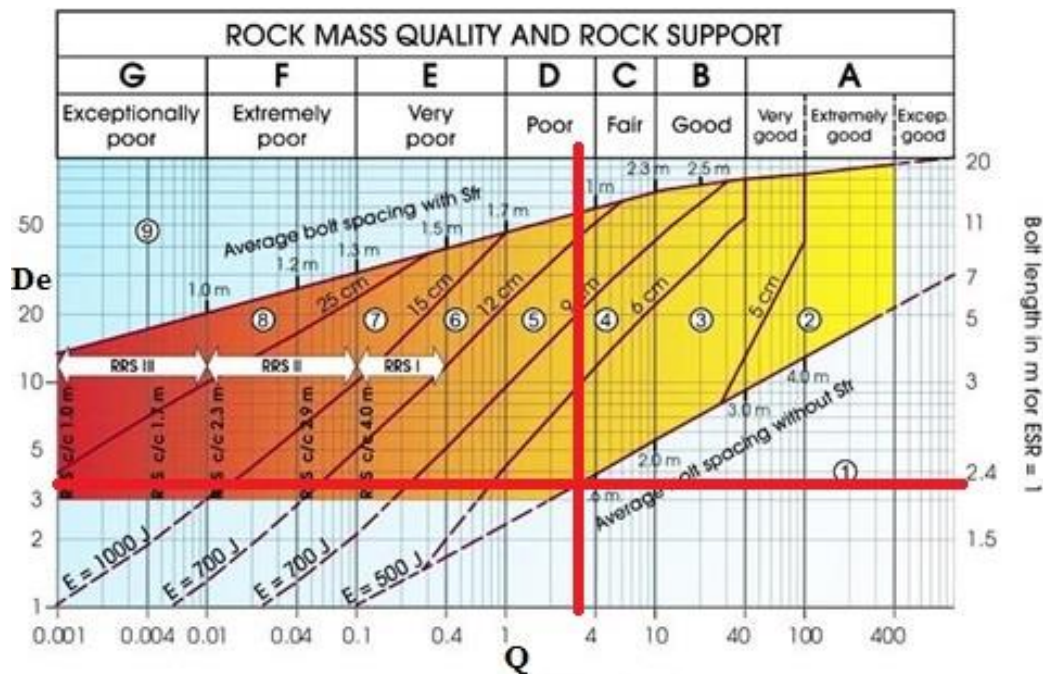


Figura 29. Tipo de sostenimiento, excavación N° 3

Valor del sistema $Q = 3.88$, $De = 3.44$, tipo de sostenimiento = empernado sistemático con espaciamento de 1.5 m. Fuente: Elaboración propia.

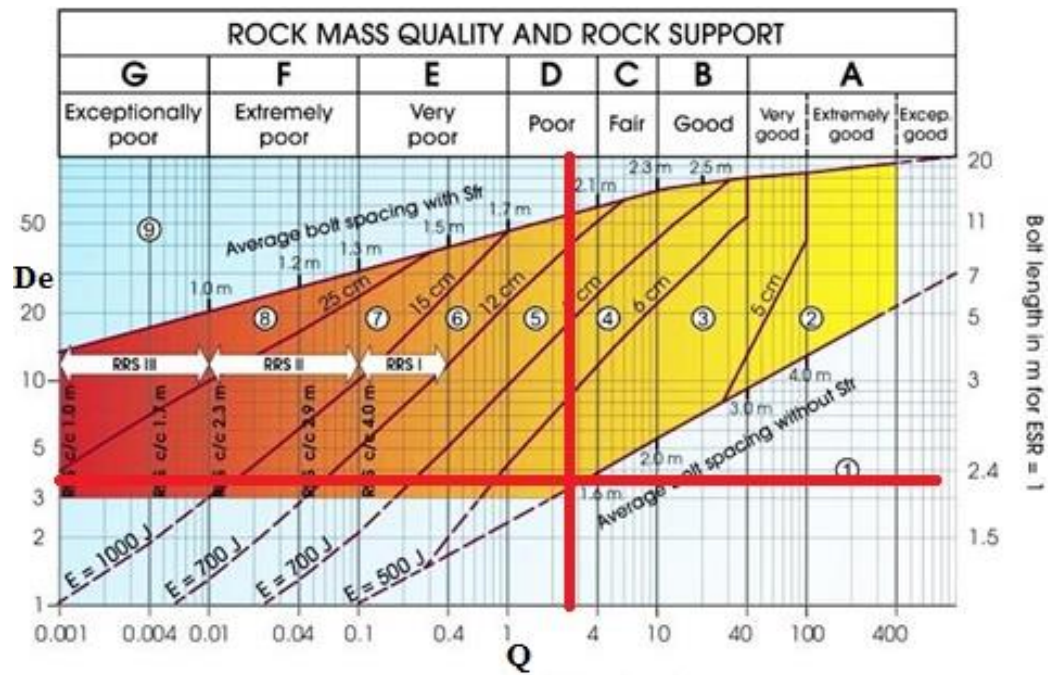


Figura 30. Tipo de sostenimiento, excavación N° 4

Valor del sistema $Q = 3.28$, $De = 3.21$, tipo de sostenimiento = empernado sistemático con espaciamiento de 1.5 m. Fuente: Elaboración propia.

De las figuras 27 al 30 podemos apreciar que nos recomienda el tipo de sostenimiento en base al gráfico de Grimstad y Barton, el tipo de sostenimiento recomendado se presenta en la tabla 29.

Tabla 29. Tipo de sostenimiento según Q de Barton

N° de Excavación	Valor Q	Calidad del macizo rocoso	Tipo de sostenimiento
1	29.66	Buena	Empernado sistemático con espaciamiento de 2.8 m
2	7.64	Regular	Empernado puntual
3	3.88	Regular	Empernado sistemático con espaciamiento de 1.5 m
4	3.28	Regular	Empernado sistemático con espaciamiento de 1.5 m

Fuente: Elaboración propia

El diseño de sostenimiento dependerá de los parámetros geomecánicos, en el caso de la presente investigación que tiene fines académicos, estos serán adecuados para la estadia de estudiantes en el caso de las nuevas excavaciones que se desarrollarán se realizará un tipo de sostenimiento con un factor de seguridad óptimo.

Esto con el objetivo de brindar un adecuado control de estabilidad, la iteración conjunta, también es vital para seleccionar en forma óptima la alternativa de sostenimiento, salvaguardando los intereses de seguridad y de costos en el proyecto subterráneo.

El tipo de sostenimiento para desarrollar la primera excavación que está ubicada a 15 m de la bocamina, según el RMR que presenta igual a 63 y utilizando la tabla para determinar el tipo de sostenimiento propuesto por Bieniawski (1989), se recomienda el sostenimiento presentada en el Tabla 30.

Tabla 30. Tipo de sostenimiento para la excavación N°1.

Clase de macizo rocoso	Excavación	Pernos (20mm de diámetro, inyectados)	Soporte con concreto armado	Cerchas
II. Roca buena, RMR: 61 - 80	A sección completa 1-1.5 m de avance. Soporte completo a 20m del frente.	perno en la corona de 3 m de longitud espaciados a 2.5 m, malla ocasional	50 mm en la corona donde se requiera	Ninguno

Fuente: Sostenimiento a partir del RMR, Bieniawski (1989).

Para desarrollar las siguientes excavaciones que tienen un RMR igual a 55, 51 y 50, como se puede apreciar todos presentan un RMR para una roca de tipo III (41 - 60), por lo cual el tipo de sostenimiento será igual para las tres excavaciones siguientes los mismos que se presentan en la tabla 31.

Tabla 31. Tipo de sostenimiento para la excavación N°2, 3 y 4.

Clase de macizo rocoso	Excavación	Pernos (20mm de diámetro, inyectados)	Soporte con concreto armado	Cerchas
III. Roca regular, RMR: 41 - 60	Frente superior y destroza, 1.5 - 3 m de avance en media sección. Inicio del soporte después de cada voladura. Soporte completo a 10 m del frente.	Pernos sistemáticos, 4 m de longitud, espaciados 1.5 - 2 m en la corona y hastiales con malla en la corona	50 - 100 mm en la corona y 30 mm por los lados	Ninguno

Fuente: Sostenimiento a partir del RMR, Bieniawski (1989).

4.6.1 Parámetro geomecánico

a) Parámetros mecánicos del macizo rocoso

En la tabla N° 32, se detalla los resultados obtenidos en el laboratorio de geotecnia y mecánica de rocas de la UNA Puno.

Tabla 32. *Parámetros mecánicos de la roca*

RESUMEN DE PROPIEDADES INDICE DE LA ROCA DE MINA ESCUELA CAROLINA				
N°	PROGRESIVAS DE TOMA DE MUESTRAS DE ROCA DE GALERIA PRINCIPAL	Densidad seca (g/cm ³)	Porosidad aparente (%)	Peso específico aparente (KN/m ³)
1	PROGRESIVA 1 (Boca Mina - L. Iz - Drc)	2.40	10.64	23.52
2	PROGRESIVA 2 (15 - 20m. - L. Izquierdo)	2.42	1.35	23.78
3	PROGRESIVA 2 (15 - 20m. - L. Derecho)	2.37	5.31	23.27
4	PROGRESIVA 3 (25 - 30m. - L. Iz - Drc)	2.37	5.31	23.27
5	PROGRESIVA 4 (45- 50m. - L. Iz - Drc)	2.37	1.53	23.20
6	PROGRESIVA 5 (65 - 70m. - L. Iz - Drc)	2.37	1.53	23.20
7	PROGRESIVA 6 (75 - 80m. - L. Iz - Drc)	2.40	2.19	23.49
8	PROGRESIVA 7 (80 - 84m. - L. Iz - Drc)	2.36	2.20	23.18

Fuente: Elaboración propia

b) Análisis de factores de seguridad

Para el análisis de los factores de seguridad obtenidos con el software Unwedge, en cada una de las zonas de excavación que se muestra a continuación los resultados en la figura N° 32, 33, 34 y 35. Los mismos que servirán para identificar la estabilidad de las zonas donde se realizarán las excavaciones y los posibles deslizamientos de cuñas que se podrían presentar tanto en los hastiales como en el techo.

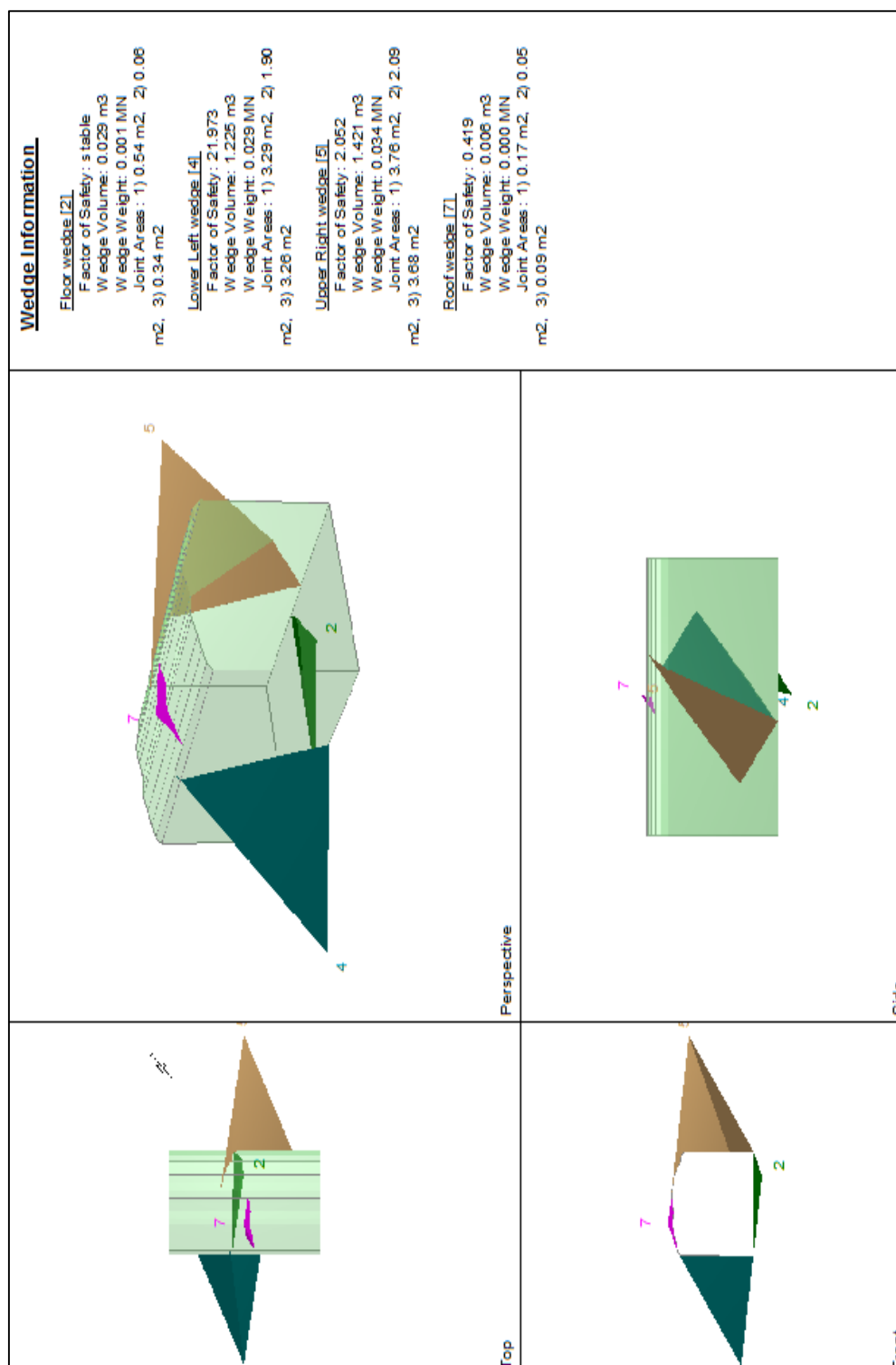


Figura 31. Análisis del factor de seguridad de la zona de excavación N° 1, estable.

Fuente: Elaboración propia, software Unwedge.

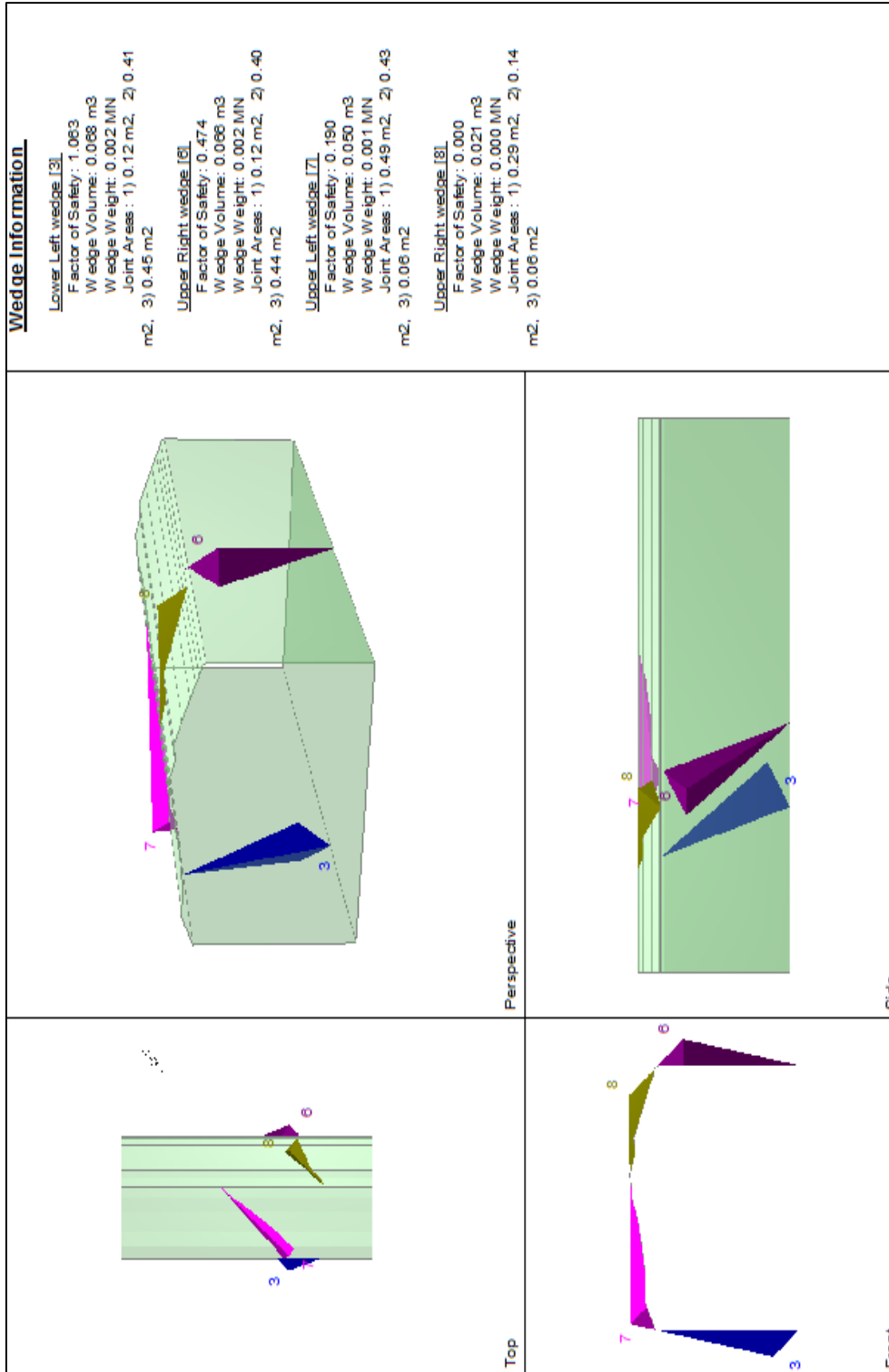


Figura 32. Análisis del factor de seguridad de la zona de excavación N°2, estable.

Fuente: Elaboración propia, software Unwedge.

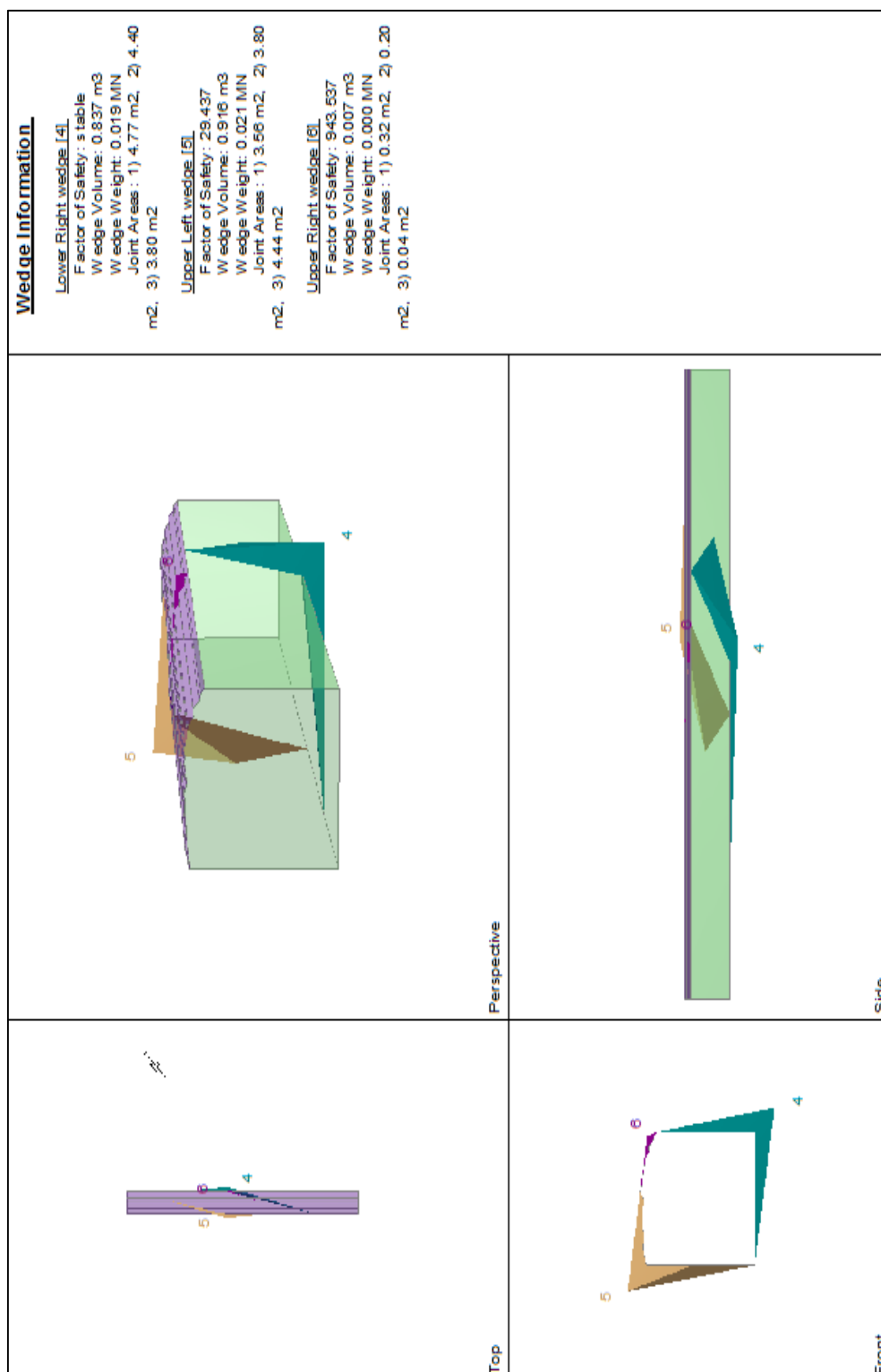


Figura 33. Análisis del factor de seguridad de la zona de excavación N°3, estable.

Fuente: Elaboración propia, software Unwedge.

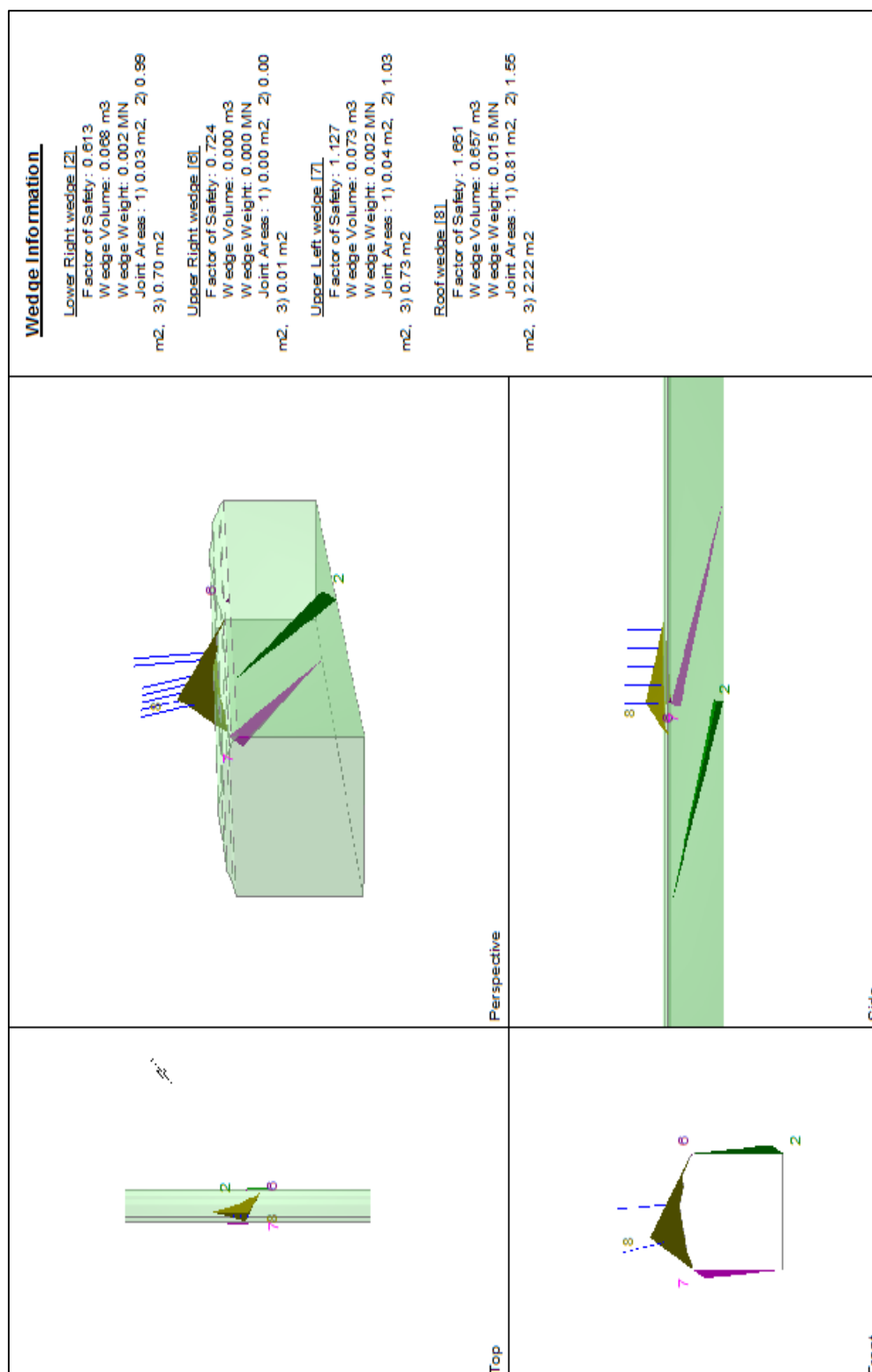


Figura 34. Análisis del factor de seguridad de la zona de excavación N°4, estable.

Fuente: Elaboración propia, software Unwedge.

4.6.2 Parámetro operativo

Para la evaluación de la galería principal se consideraron no solo los factores geomecánicos para la selección de la alternativa de sostenimiento adecuada, sino también los factores operativos.

En el caso de esta investigación los parámetros operativos serán estrictamente académicos y de investigación. Dentro de los parámetros operativos de estudio comprendiendo la parte educacional se tienen:

- Tiempo de exposición del proyecto
- Capacidad del proyecto
- Dimensionamiento

4.7 Nuevas excavaciones subterráneas en la mina escuela carolina

Como se muestra en los anexos T - U, se aprecian las áreas del diseño subterráneo de la mina escuela carolina, los cuales se pasarán a detallar a continuación.

4.7.1 Área de perforación y voladura

En el área de perforación y voladura de rocas, ubicada a 15 m de la bocamina se propone desarrollar una excavación con una sección de 2m x 2m x 1.80m de altura, como entrada principal, seguidamente se desarrolla una nueva excavación tipo cámara de dimensiones 6m x 6m x 2.5m de altura, así mismo un tipo de sostenimiento que consiste en empernado sistemático con espaciado de 2.8 m. La nueva área de perforación y voladura contará con equipos y accesorios necesarios para poder realizar investigación como:

- Seguridad e innovación en lo relativo a los explosivos y el control sobre el proceso de voladura.
- Probar Sistemas que sean capaz de crear un central de voladura para minería subterránea mediante cableado de fibra óptica o par de cobre.
- Pruebas en materia de detonadores pirotécnicos y electrónicos para optimizar el diseño de voladura.
- Optimizar balances de energía y reducción de emisión de carbono del proceso de conminución mediante el uso de explosivos.
- Pruebas de explosivos para minimizar el desplazamiento de estructuras que puedan favorecer derrumbes.
- aumentar la mecanización del manejo y carguío de explosivos, el uso de explosivos a granel con la menor generación de gases post voladura.

De acuerdo al análisis geomecánico como RMR, Q y las propiedades físicas del macizo rocoso a dimensionar y asignar el tipo de sostenimiento a emplear, sin olvidar que este proyecto de investigación es de orden académico y las nuevas excavaciones deberán tener una duración a largo plazo y un factor de seguridad alto para resguardar la seguridad de los estudiantes que desarrollen sus prácticas interior mina.

Según pakalnis (2002), en su artículo de investigación titulado estrategias empíricas para el diseño de aberturas en macizos rocosos débiles, nos proporciona una tabla de valoración para diseño de espacios en macizo rocoso estables e inestables y una potencialmente inestable en base al RMR de la zona de estudio, en este caso será un RMR de 63 como se muestra en la figura N°36.

Parámetros de diseño:

- Labor: Excavación área de perforación y voladura.
- Sección: 6 x 2.5m²
- Gradiente: (+) 0.5%
- Distancia: 15 metros

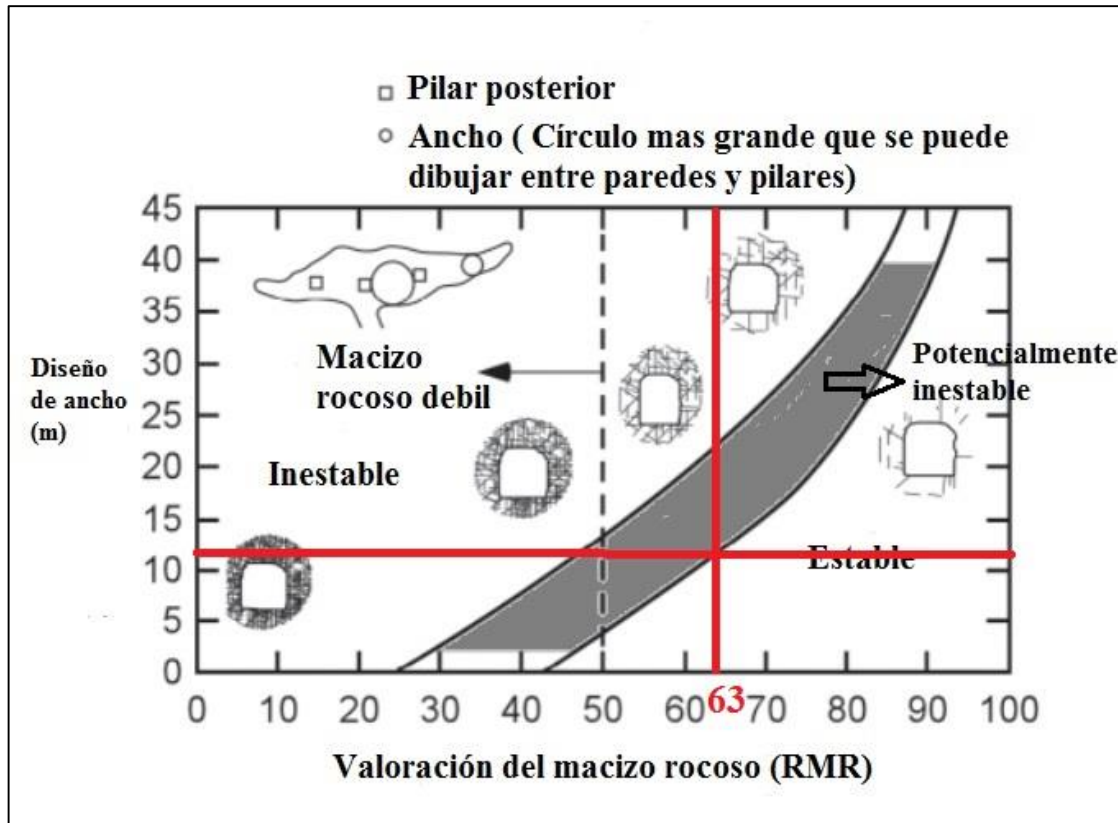


Figura 35. Área de perforación y voladura de rocas, ancho máximo de 10 m interior mina

Fuente: Elaboración propia

4.7.2 Área de mecánica de rocas

En el área de mecánica de rocas de acuerdo a las consideraciones geomecánicas desarrolladas con anticipación se propone desarrollar una sección de 2m x 2m x 1.80m de altura, como entrada principal, seguidamente se desarrolla una nueva excavación tipo cámara de dimensiones 6m x 6m x 2.5m de altura. Siendo las dimensiones óptimas para el diseño, el área de mecánica de rocas está ubicado a 25 m de la bocamina. Con un tipo de sostenimiento de empernado puntual, se podrá realizar investigación en materias como:

- Mecánica de rocas aplicada a la seguridad minera subterránea.
- Análisis de estabilidad de estructuras de una excavación.
- Diseño y sismicidad inducida en el macizo rocoso.
- Comportamiento de la roca bajo distintos niveles de estrés y sus procesos de deformación.

La tabla de valoración para diseño de espacios en macizo rocoso estables e inestables y una potencialmente inestable en base al RMR de la zona de estudio, en este caso será un RMR de 55 como se muestra en la figura N°37.

Parámetros de diseño:

- Labor: Excavación área de Mecánica de rocas
- Sección: 6 x 2.5m²
- Gradiente: (+) 0.5%
- Distancia: 25 metros

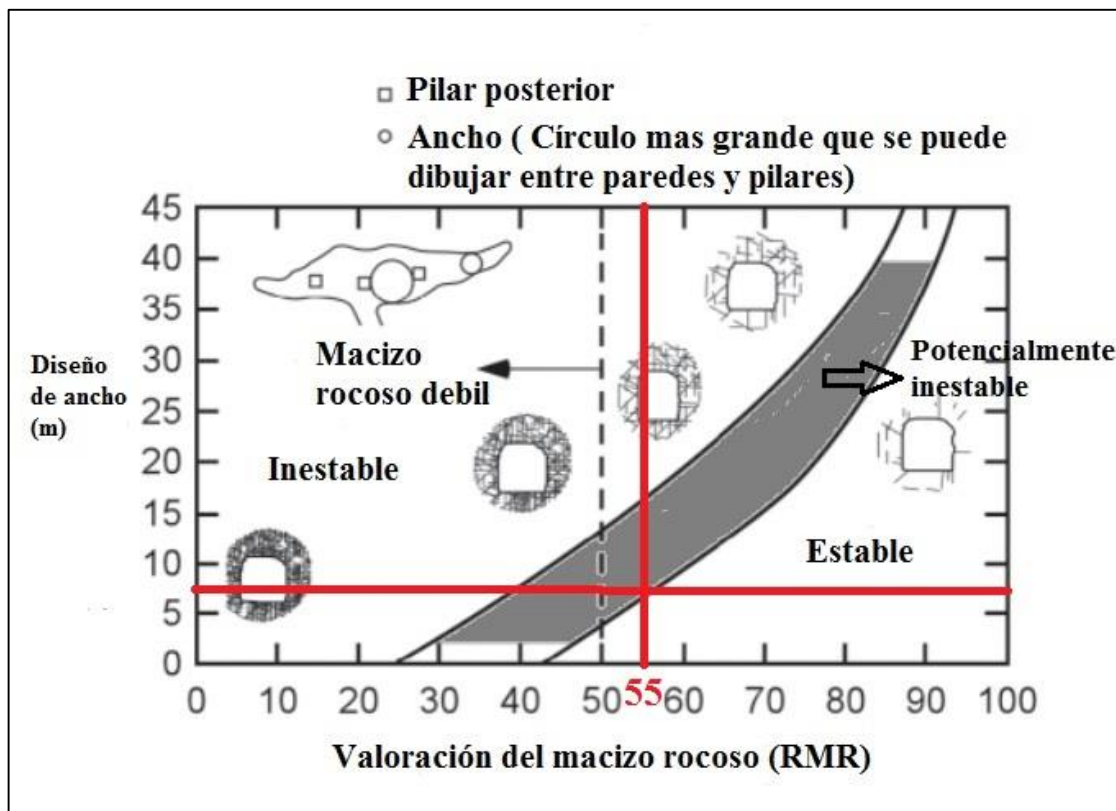


Figura 36. Área de mecánica de rocas, ancho de excavación de 5 a 7 m, interior mina

Fuente: Elaboración propia

4.7.3 Área de rescate minero

La seguridad interior mina es muy importante y más aún cuando la labor minera es permanente, para el diseño de un espacio subterráneo para que los estudiantes puedan simular un rescate minero y a su vez puedan realizar sus clases prácticas, se propone un tipo de sostenimiento de empernado sistemático con espaciamiento de 1.5 m posteriormente desarrollar una sección de 2m x 2m x 1.80m de altura, como entrada principal. seguidamente se desarrolla una nueva excavación tipo cámara de dimensiones 6m x 6m x 2.5m de altura, siendo las dimensiones óptimas para el diseño, esta área está ubicado a 55 m de la bocamina. En el área se podrá desarrollar investigación en materias de:

➤ **Gases en mina**

Con el objetivo de identificar las propiedades físicas y características de los gases que puedan encontrarse durante el trabajo de rescate y recuperación.

➤ **Ventilación de minas**

Con el objetivo de que el equipo de rescate minero pueda entender cómo se encuentra la ventilación en una mina y ser capaz de identificar los controles de ventilación.

➤ **Exploración del área siniestrada**

Con el objetivo de que el equipo de rescate minero pueda preparar y llevar a cabo la exploración a la zona del siniestro y realizar rescates menores y ver las condiciones de recuperación.

➤ **Incendios, extinción de incendios y explosiones**

Con el objetivo de que el equipo de rescate minero pueda estar en condiciones de evaluar condiciones de competencia subterráneo durante un incendio de la mina y después de una explosión y ser capaz de luchar adecuadamente un incendio.

➤ **Rescate de sobrevivientes y recuperación de cuerpos**

Con el objetivo de proporcionar a los miembros del equipo de rescate minero los procedimientos recomendados de salvataje de sobrevivientes y recuperación de cadáveres en un desastre de mina.

➤ **Recuperación del área siniestrada**

El equipo de rescate de la mina será capaz de participar efectivamente en una operación de recuperación después de desastre de la mina.

La tabla de valoración para diseño de espacios en macizo rocoso estables e inestables y una potencialmente inestable en base al RMR de la zona d estudio, en este caso será un RMR de 51 como se muestra en la figura N°38.

Parámetros de diseño:

- Labor: Excavación área de rescate minero
- Sección: 6 x 2.5m²
- Gradiente: (+) 0.5%
- Distancia: 55 metros

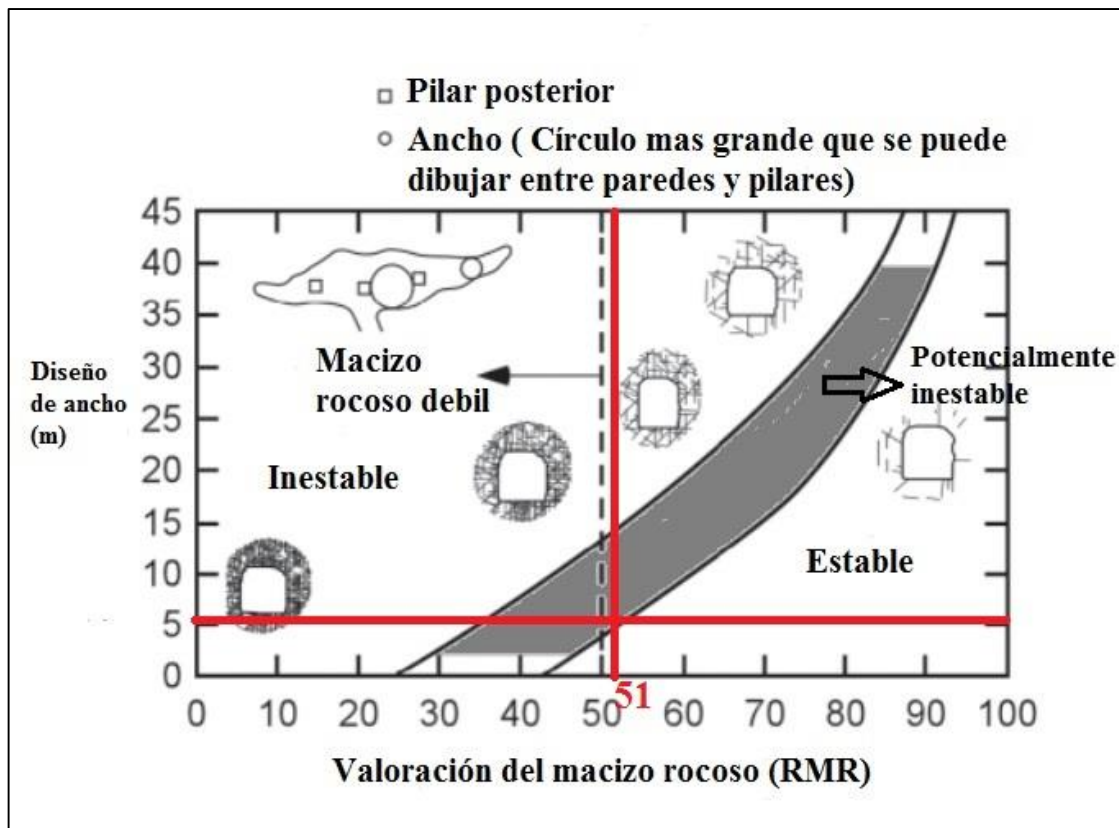


Figura 37. Área de rescate minero, ancho máximo de excavación entre 0 a 6 m, interior mina

Fuente: Elaboración propia

4.7.4 Área de maquinaria minera

El área de maquinaria minera contará con un espacio donde se pueda impartir conocimiento práctico a los estudiantes, se propone un tipo de sostenimiento de empernado sistemático con espaciamiento de 1.5 m, posteriormente desarrollar una sección de 2m x 2m x 1.80m de altura, como entrada principal, seguidamente se desarrolla una nueva excavación tipo cámara de dimensiones 6m x 6m x 2.5m de altura. Siendo las dimensiones óptimas para el diseño, y un espacio donde se pueda almacenar la maquinaria como objeto de estudio, ubicada a 65 m de distancia desde la bocamina, como se sabe anteriormente se implementará el sistema de una mina convencional esto se refiere a la instalación de rieles en la galería principal. Concerniente al área se puede desarrollar investigación en:

- Equipos y tecnología para aumentar los niveles de seguridad.
- Pruebas para disminuir la contaminación en interior mina y reducir sus costos asociados en el desarrollo de sus operaciones subterráneas.
- Pruebas para teleoperar y automatizar parcialmente tareas de perforación y voladura.
- Utilización de redes de sensores e internet de las cosas para comunicar equipos mineros y sensorizar la mina.
- Realizar pruebas de control en línea de un área específica mediante el desarrollo de una estructura wifi e iluminación de las operaciones subterráneas.

La tabla de valoración para diseño de espacios en macizo rocoso estables e inestables y una potencialmente inestable en base al RMR de la zona de estudio, en este caso será un RMR de 50 como se muestra en la figura N°39.

Parámetros de diseño:

- Labor: Excavación área de maquinaria minera
- Sección: 6 x 2.5m²
- Gradiente: (+) 0.5%
- Distancia: 65 metros

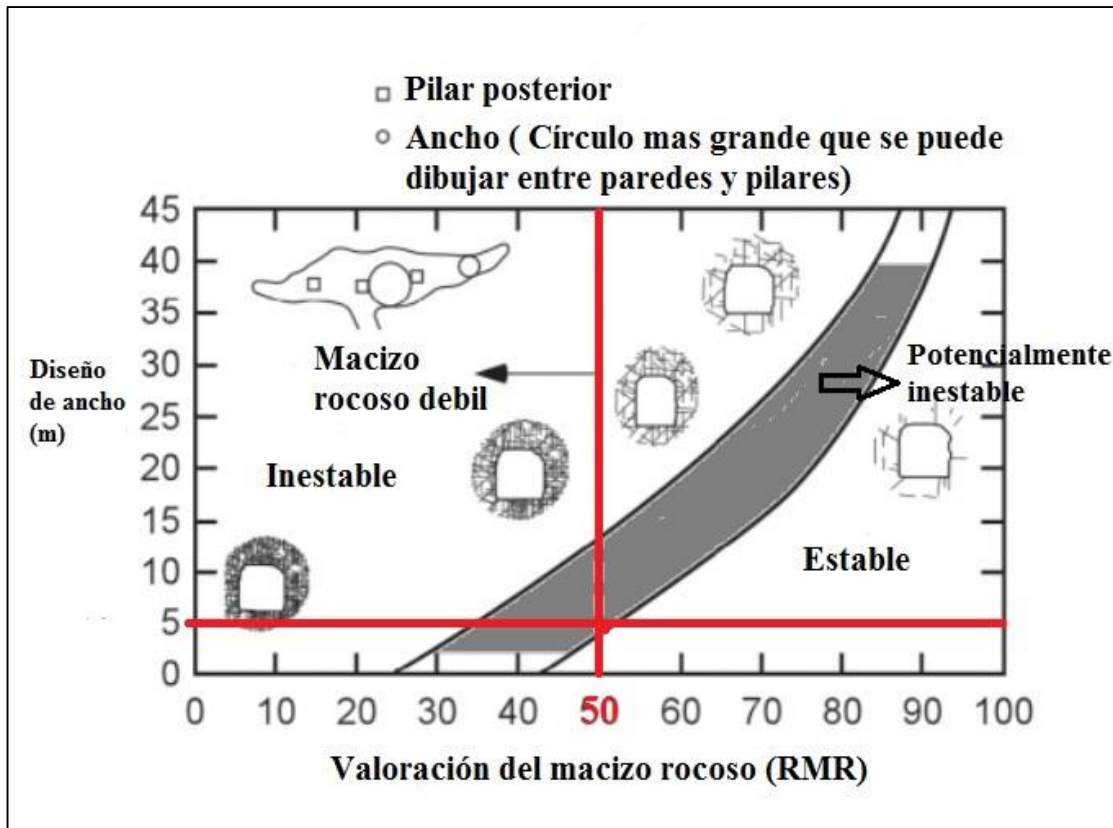


Figura 38. Área de maquinaria minera, ancho máximo de excavación 0 a 6 m, interior mina

Fuente: Elaboración propia

4.8 Ventilación

La mina escuela carolina necesita de una manera indispensable un sistema de ventilación suficientemente que permita llevar aire fresco a todos los frentes. Y lugares de trabajo, Teniendo en cuenta que la mina es académica y que además recibirá un gran número de visitantes, entre estudiantes y docentes, se propone instalar un ventilador de 10 Hp. que lleve aire fresco por un ducto de nylon de 600 mm de diámetro y, una longitud de 80 metros en forma constante, una corriente de aire intensa que garantice la seguridad de las personas.

4.9 Aire comprimido

Para solucionar las necesidades de aire comprimido en la galería principal se hace necesario un caudal de $10.15 \text{ m}^3 / \text{min}$ por lo que se requiere un compresor de 509.43 cfm. como se sabe la tubería sugerida es de 3" para las vías principales y en las labores de desarrollo y preparación la tubería de 2" y en los frentes de explotación la tubería de acople para los martillos de 1".

4.10 Iluminación

Para la instalación del alumbrado eléctrico bajo tierra es necesario la instalación de un transformador localizado en el patio de la mina y el cual suministrara un voltaje de 220 voltios. Se dispondrán lámparas cada 10 m en la parte central superior de la galería principal, además se contará con las lámparas de seguridad personal para los visitantes que ingresen a la mina. Como también de una casa de lámparas esto para poder cargar las lámparas.

4.11 Costo total de la mina

La construcción de la mina escuela carolina, por ser didáctica y académica no tiene vida útil calculada, por tal razón lo que se estima es que con el paso del tiempo se realicen muchas más inversiones que contribuyan a la formación de los estudiantes, Implementando nuevas tecnologías y adquiriendo equipos de mejor calidad que contribuyan a la formación teórica – practica de los estudiantes. Para el cálculo de costos de la construcción de las cavernas subterráneas se requieren diversos parámetros los cuales se muestran desde el anexo E hasta el anexo E8.

4.11.1 Costo de la construcción de caverna de investigación

Para llegar a los costos de excavación se tuvo que identificar los recursos involucrados en el desarrollo de las excavaciones, los recursos identificados son mano de obra, recursos materiales y de sostenimiento, los mismos que se detallan a continuación.

A. Recurso: Mano de obra. Se refiere al costo de mano de obra del personal de excavación por día.

B. Recurso: Materiales. Se refiere al cálculo de los materiales involucrados de la excavación de tipo de roca. Se identificaron los siguientes materiales: Explosivos accesorios, Acero de perforación, etc.

C. Sostenimiento: Se calcula con las incidencias de cada material necesario de este tipo de sostenimiento multiplicado con su respectivo precio calculado.

Los costos se calcularon en base al tonelaje de material a romper, las dimensiones de las cavernas propuestas son las mismas para todas, el tonelaje de material a romper para la excavación es de $97.2 m^3$ esto convertido a toneladas es 255.79 ton, multiplicando ese valor para las cuatro excavaciones nos da 1023.16 ton de material a remover para poder desarrollar las aperturas de las cavernas de investigación.

Como se puede apreciar en el anexo I, el costo por tonelada de material a remover es de 39.46 dólares, con este valor podemos calcular el costo para la apertura de las cavernas, lo que nos da 10 093.47 dólares para una caverna y para las cuatro cavernas nos da un valor de 40 373.89 dólares para la excavación de la misma manera se calcula el costo para el sostenimiento de las excavaciones, se propone el tipo de sostenimiento de pernos de anclaje + malla + Shotcrete, por ser un lugar permanente y necesita un factor de seguridad mayor, en los anexos E7 y E8, se muestran los costos que demandará el sostenimiento como materiales, mano de obra, uso de equipos.

A continuación de muestra el costo de sostenimiento para una excavación de 6m x 2.5m, como se puede apreciar en la tabla 33, el costo por metro es de 445.44 dólares, como se tendrá 6 m de avance tendremos un costo de 2672.64 dólares por cada caverna subterránea, como se desarrollarán 4 cavernas el costo total de sostenimiento será 10 690.56 dólares.

Tabla 33. Costo de sostenimiento de la excavación mina escuela carolina

TIPO FORTIFICACION:	PERNO DE ANCLAJE - MALLA - SHOTCRETE			
LONGITUD PERNO:		2.6		m
DIAMETRO PERNO:		22		mm
DENSIDAD DE APERNADO:		1,2 x 1,2		m
PERNOS/PARADA:		9		Un
ESPESOR SHOTCRETE:		5		Cm
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	COSTO US\$/m
PERNOS	Pernos/m	7.50	39.39	295.43
MALLA	m2/m	11.00	11.29	124.19
SHOTCRETE (30%)	m3/m	0.17	156.46	25.82
TOTAL				445.44

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, el costo total es:

- para una excavación: 12 766.11 dólares = 42 000.51 soles
- para las cuatro excavaciones: 51 064.44 dólares = **168 002.0076 soles**

4.12 Población beneficiada

La mina escuela carolina inicia su rehabilitación en el año 2018, en el distrito de puno, provincia de puno, en terrenos de la Universidad Nacional del Altiplano, donde comenzó sus actividades como centro de formación y capacitación para estudiantes de la carrera profesional de ingeniería de minas en diferentes áreas de la minería.

La mina escuela carolina es la única de la región de puno y del Perú, es una fuente fundamental del proceso de enseñanza – aprendizaje y por lo tanto es un elemento principal para la formación de futuros profesionales.

La población beneficiada con este proyecto en su gran mayoría son jóvenes estudiantes de la carrera profesional de ingeniería de minas que encuentran en este centro de formación una oportunidad de adquirir conocimiento mediante el desarrollo de diferentes actividades en varios campos que podrán en práctica una vez comiencen su vida laboral.

4.13 Programas de formación

Los campos que se consideran son programas que están orientados en varios campos de aplicación en donde la población a beneficiar (estudiantes), puede escoger según el área en donde desee capacitarse y entrenarse para su vida profesional.

- Área en control ambiental.
- Área en topografía.
- Área en geomecánica
- Área en rescate minero
- Área en relaciones comunitarias
- Área en supervisión de labores mineras.
- Área en sistema de gestión ambiental.
- Área en formulación de proyectos.
- Área en recursos humanos.
- Área en labores mineras
- Área en construcción de vías.
- Área en sistemas de manejo ambiental.
- Área en perforación y voladura.

4.14 Actividades a desarrollar

El desarrollo de las actividades depende en gran parte del cronograma de prácticas que se manejará en la mina escuela, en el cual se clasifican las actividades según el programa de formación. Estas actividades siempre están supervisadas por el ingeniero encargado (docente) de la mina y del instructor quienes se encargan de orientar a los estudiantes.

4.15 Actividades desarrolladas campamento de la mina (superficial)

- Adecuación de talleres de mantenimiento mecánico.
- Mantenimiento y tratamiento de agua.
- Reubicación de madera usada
- Corte de madera para el sostenimiento.
- Mantenimiento de vías en superficie.
- mantenimiento ambiental.
- Muestreo de agua de la mina.
- Levantamiento de topografía.
- Seguridad industrial y salud ocupacional.

4.16 Actividades desarrolladas en interior mina

- Mantenimiento de cunetas.
- Mantenimiento del sostenimiento.
- Mantenimiento del sistema de ventilación.
- Mantenimiento del alumbrado.
- Mantenimiento del riel.
- Mantenimiento de la señalización.
- Mantenimiento de la red de aire comprimido.
- Control a la atmosfera de trabajo.

- Instalación de servicios auxiliares.
- Mantenimiento de tuberías y accesorios del sistema de desagüe.
- Perforación y voladura en los frentes en roca.
- Cargue y transporte de material estéril o mineral
- Análisis geológico
- Mapeos geomecánicos
- Recuperación de vías.
- Acciones de seguridad y rescate minero.
- Instalación de barreras de polvo.
- Actualización de topografía.
- Muestreo de mineral en frentes.
- Arranque con máquina perforadora.
- Arranque del mineral con pico y pala.
- Descargue del mineral.
- Instalación de sostenimiento en frentes. (metro avanzado, metro sostenido).

4.17 Factor social

En este aspecto es donde más se evidenciarán los impactos positivos de la actividad que se desarrolla en la mina escuela carolina, rescatando tres impactos principales como son la generación de conocimiento, la formación y aumento en la cobertura del nivel educativo de la población en temas de minería y la afectación a la comunidad en forma general que en este caso es positiva.

4.18 Contratación de la hipótesis

Como se puede apreciar en la tabla 34, se muestra la contratación de las hipótesis de la investigación del presente estudio.

Tabla 34. Contratación de Hipótesis de la investigación

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	CONCLUSIONES
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	CONCLUSIÓN GENERAL
¿Cómo el diseño de la construcción subterránea de la Mina Escuela Carolina sirve para los fines académicos y de investigación de la facultad de Ingeniería de Minas de la UNA Puno?	Diseñar la construcción subterránea de la Mina Escuela Carolina para los fines académicos y de investigación de la facultad de Ingeniería de Minas UNA Puno.	El diseño de la construcción subterránea de la Mina Escuela Carolina sirve para fines académicos y de investigación de la facultad de Ingeniería de Minas UNA Puno.	La caracterización geomecánica del macizo rocoso de la zona de estudio, mediante la clasificación geomecánica de Bieniawski e índice Q de Barton, y el diseño de métodos de entrada de Pakalnis, determinaron el diseño de la construcción subterránea de la mina escuela carolina para fines académicos y de investigación de la facultad de Ingeniería de Minas UNA Puno.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	CONCLUSIONES ESPECÍFICAS
*¿Con la caracterización geomecánica del macizo rocoso será posible la ubicación de zonas de estabilidad en la galería principal de la mina escuela Carolina?	*Realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso para ubicar zonas de estabilidad en la galería principal de la Mina Escuela Carolina	*La caracterización geomecánica del macizo rocoso sirve para la ubicación de zonas de estabilidad en la galería principal de la Mina Escuela Carolina	*Se logra ubicar las zonas de mayor estabilidad en la galería principal de la mina escuela carolina los cuales tienen un valor de RMR de; 63, 55, 51 y 50, los mismos que corresponden a las progresivas 3, 6, 12 y 14 del mapeo geomecánico.
*¿Con la caracterización geomecánica será posible diseñar cámaras subterráneas con fines académicos y de investigación?	*Diseñar cámaras subterráneas mediante la caracterización geomecánica, con fines académicos y de investigación.	*La caracterización geomecánica de macizo rocoso sirve para diseñar cámaras subterráneas con fines académicos y de investigación	*La caracterización geomecánica del macizo rocoso de la zona de estudio determinó las características de diseño los cuales serán, sección de 2 x 2 x 1.80 metros de altura, como entrada primaria, seguidamente se desarrolla una nueva excavación tipo cámara de dimensiones 6 x 6 x 2.5 metros de altura, con una gradiente de (+) 0.5%. Las cuáles serán para las cuatro áreas propuestas

Fuente: Elaboración propia

4.19 Discusiones

Según los antecedentes de investigación, citado (Barber, 2018), en su tesis titulado “Restauración y adaptación de la mina experimental Marcelo Jorissen”, se concluye que la Mina escuela Marcelo Jorissen es un espacio donde se desarrolla prácticas en una mina de carbón para que los alumnos de las especialidades de laboreo se familiarizasen con los elementos de entibación y métodos de explotación.

Efectivamente en el presente estudio de investigación con la caracterización geomecánica se logró identificar los valores de RMR los cuales servirán al educando para que desarrollen el tipo de sostenimiento que requiere la galería principal de la mina escuela carolina, y así los estudiantes también podrán familiarizarse con los elementos de sostenimiento.

Según los antecedentes de la investigación (Ortiz, 2014), en su tesis titulada “Actualización del programa de trabajo e inversiones de la mina didáctica del centro nacional minero Sena – Regional Boyacá”, se concluye que la mina didáctica del centro minero Sena, dedicada a la formación teórica – practica de aprendices en el sector minero y por ser la única en el país tiene que cumplir con todas las exigencias para garantizar la formación profesional e integral del educando, actualmente está en una etapa de preparación, en donde el avance de las labores está sujeto a las diferentes prácticas que realizan los aprendices en sus diferentes módulos de formación.

En el presente trabajo de investigación con la caracterización geomecánica para el diseño de las cámaras subterráneas también se propone que los estudiantes de la Facultad de Ingeniería de minas, puedan realizar las actividades de rehabilitación y apertura de las nuevas cámaras subterráneas, de acuerdo a los diferentes cursos de formación, de la misma manera se coincide que la mina escuela Carolina también es la única en el país.

Según la mina escuela Edgar de colorado School mines, este espacio proporciona a los estudiantes de Minas en Ingeniería de minas y otras disciplinas un entorno único para la investigación y la capacitación práctica en técnicas y sistemas de minería. En este laboratorio subterráneo, los estudiantes de Minas adquieren experiencia práctica en prospección de minas subterráneas, cartografía geológica, fragmentación de rocas y prácticas de voladura, estudios de campo de ventilación de minas, práctica de instrumentación de mecánica de rocas, operaciones de unidades de minas subterráneas y seguridad de minas.

En el presente trabajo de investigación con el diseño de la mina escuela carolina también se le brindará al estudiante un espacio donde pueda adquirir experiencia práctica en perforación y voladura, mecánica de rocas, ventilación de mina y seguridad minera al mismo modo que la mina experimental Edgar.

Según el centro experimental y capacitación en procesos minero metalúrgicos, mina escuela Brillador, el centro tiene un doble propósito, por una parte, realizar actividades de docencia en terreno y la otra mantener un nexo permanente con la industria minera, que permita a la Universidad estar actualizada en los procesos, estrategias productivas y, ser un referente para las investigaciones aplicadas.

El diseño de las cámaras subterráneas para la mina escuela Carolina y la rehabilitación de la misma también permitirá brindar al estudiante un espacio donde pueda realizar investigaciones aplicativas, de la misma manera como la mina escuela el brillador el docente podrá desarrollar sus actividades en terreno.

CONCLUSIONES

Conclusión general

La caracterización geomecánica del macizo rocoso de la zona de estudio, mediante la clasificación geomecánica de Bieniawski e índice Q de Barton, y el diseño de métodos de entrada de Pakalnis, determinaron el diseño de la construcción subterránea de la mina escuela carolina para fines académicos y de investigación de la facultad de Ingeniería de Minas UNA Puno.

Conclusiones parciales

a) Se logra ubicar las zonas de mayor estabilidad en la galería principal de la mina escuela carolina los cuales tienen un valor de RMR de; 63, 55, 51 y 50, los mismos que corresponden a las progresivas 3, 6, 12 y 14 del mapeo geomecánico.

b) La caracterización geomecánica del macizo rocoso de la zona de estudio determinó las características de diseño los cuales serán, sección de 2 x 2 x 1.80 metros de altura, como entrada primaria, seguidamente se desarrolla una nueva excavación tipo cámara de dimensiones 6 x 6 x 2.5 metros de altura, con una gradiente de (+) 0.5%. Las cuáles serán para las cuatro áreas propuestas.

RECOMENDACIONES

Recomendación general

Se recomienda que, para cualquier diseño subterráneo que se realice en interior de la mina se debe considerar siempre las características geomecánicas del macizo rocoso y las propiedades físico mecánicas.

Recomendaciones parciales

a) Se recomienda que la galería principal de la mina escuela carolina sea estable en todo su tramo para que los estudiantes puedan realizar sus prácticas de manera segura, así mismo se recomienda que, para realizar una nueva excavación es necesario estabilizar la zona mediante un tipo de sostenimiento adecuado.

b) Se recomienda realizar a detalle la caracterización geomecánica del macizo rocoso para obtener valores confiables y estos puedan incidir de manera óptima para cualquier diseño en mina subterránea. Así mismo se recomienda seleccionar de manera adecuada el tipo de clasificación geomecánica a utilizar.

REFERENCIAS

- Apshana Y. et al. (2011). “*Caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso para determinar la estabilidad óptima de los taludes*” municipio de Bosconia, departamento del Cesar.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*.
- Blanco, R. (2005). *Características físico y mecánicas estructurales del macizo rocoso* Proyecto CYTED XIII, Córdoba, Argentina.
- Cueto, G. J. A. (2009). *Minero De Cantabria. Universidad de Murcia*, 69–87.
- Calderón Mena, M.A. (2018). *Caracterización geomecánica para la determinación del tipo de sostenimiento en la galería gavilán de oro de la UEA Ana María*, Universidad Nacional del Altiplano, Perú
- Cañizares, C. (2011). *Patrimonio, Parques Mineros y Turismo en España*. Cuadernos de Turismo, 27, p. 133–153.
- Cañizares Ruiz, M. D. C. (2003). *Patrimonio minero industrial de Castilla La Mancha: el área Almadén Puertollano*. Investigaciones Geográficas, 31, 87–106.
- Cárdenas G., Jorge Ignacio; Restrepo M., C. (2006). *Patrimonio geológico y patrimonio minero de la cuenca carbonífera del suroeste antioqueño, Colombia. Patrimonio Geológico Y Patrimonio Minero De La Cuenca Carbonífera Del Suroeste Antioqueño, Colombia*.
- Carvajal Gómez, D., & González Martínez, A. (2003). *El papel de los parques y museos mineros en el desarrollo sostenible*. Re Metallica, 1, 26–36.
- Cristina V. (2003). *Almadén y su contribución a la recuperación del patrimonio Histórico*.
- Deere, D.U. and Deere, D.W. (1988). *The rock Quality Designation (RQD) index in practice. In Rock classification systems for Engineering purposes*, (ed. L. Kirkaldie), ASTM Special Publication 984, 91-101. Philadelphia: Am. Soc. Test. Mat.

- Fairhurst, Ch. [1991]. *“General philosophy of support design for underground structures in hard rock”*. Underground structures: design and construction. Developments in geotechnical engineering series, 59b. Ed. R. S. Sinha, elsevier.
- Ferrer, M. y González V, L. Eds. (1999). *“Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos”* IGME.
- Flores, M. (2013). *“Diseño del soporte y reforzamiento del macizo rocoso”* Rock Info consultoría en Geomecánica Minera.
- Gonzales, L. (2002). *Ingeniería Geológica, 1ra edición Prentice Hall. Madrid. 715 p.*
- Goodman, R. (1989). *Introduction to Rock Mechanics, 2nd edition*. California: Jhon Wiley & Sons.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación: Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado y Pilar Baptista Lucio* (6a. ed. --.). México D.F.: McGraw-Hill
- Hoek, E. y Brown, E. T. (1985). *“Excavaciones subterráneas en roca”*, México, McGraw-Hill.
- Hudson, John A. Y Harrison John p. (2009). *Engineering rock Mechanic; illustrative worked example*. Inglaterra
- ISRM (1981). *Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring. ISRM Suggested methods*. Ed. E.T. Brown. Pergamon Press.
- Juan, B. (2018). *Restauración y adaptación de la mina experimental Marcelo Jorissen*.
- Machaca Avilés, M.D. (2017). *Diseño de espacios subterráneos y soportes a partir de los parámetros geomecánicos para una explotación optima en la mina san francisco de Asís rinconada*. Universidad Nacional del Altiplano, Perú
- Marín, E., & Escobar, F. (2014). *Drenaje de aguas y pasivos ambientales en la inactiva mina Pomperia, Puno Perú*: Universidad Nacional del Altiplano.
- Martín Aparicio, y Puche Riart, O. (2000). *Recuperación de minas e instalaciones mineras antiguas*. Temas Geológico-Mineros, 31, 491–507.

- Manteca Martínez, J.I 1., García, C 1., Berrocal Caparrós, C 2. (1893), *anotaciones sobre el patrimonio geológico y minero de la sierra de Cartagena la unión*, (1).
- Miranda, R., & Panca, R. (2018). *Uso de residuos mineros en la elaboración de concretos en la provincia de puno*. Universidad Nacional del Altiplano, Perú.
- Osinergmin. (2017). *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas*, 269.
- Pakalnis L. C. (2002). *Empirical design methods in practice*, 99th Annual AGM–CIM conference. Vancouver.
- Pellón González, I., & Luis Álvarez, A. M. de. (2013). *Enseñanza en ciencias y técnicas en las Escuelas de capataces de minas: caso de la de Bilbao*. Llull: Revista de La Sociedad Española de Historia de Las Ciencias y de Las Técnicas, 36(1916).
- Read, J., & Stacey, P. (2009). *Guidelines for Open Pit slope Design* 1ra edición.
Australia: CSIRO Publishing.
- Sharples, C. (2002). *Concepts and Principles of Geoconservación*. *Tasmanian Parks y Wildlife Service Website*, 2002 (September), 81.
- Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía. (2004). *Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea*.
- Tejada, L. (2012). *“Mecánica de rocas”*, Escuela de Post Grado Maestría en Geotecnia y Geomecánica Minera, Universidad Nacional del Altiplano – Puno.
- Universidad Politécnica de Madrid. (2007). *Diseño de Explotaciones e Infraestructuras Mineras Subterráneas*, 154.
- Wendor, C. (1980). *“Hidrología para estudiantes de ingeniería civil”* 2da edición,
Pontificia Universidad Católica del Perú.

ANEXOS



ANEXO A. Fotografía de la Bocamina principal mina escuela Carolina

Fuente: Fotografía Propia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p>PROBLEMA GENERAL ¿Cómo el diseño de la construcción subterránea de la Mina Escuela Carolina sirve para los fines académicos y de investigación de la facultad de Ingeniería de Minas UNA Puno?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL Diseñar la construcción subterránea de la Mina Escuela Carolina para los fines académicos y de investigación de la facultad de Ingeniería de Minas UNA Puno.</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL El diseño de la construcción subterránea de la Mina Escuela Carolina sirve para fines académicos y de investigación de la facultad de Ingeniería de Minas UNA Puno.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE Caracterización geomecánica del macizo rocoso</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE *Ubicación de zonas de estabilidad *Diseño de cámaras subterráneas con fines académicos y de investigación.</p>	<p>1. TIPO DE INVESTIGACION Aplicada</p> <p>2. NIVEL DE INVESTIGACION Descriptivo</p> <p>3. MÉTODO Descriptivo</p> <p>4. DISEÑO Investigación por objetivo</p> <p>5. POBLACION Mina Escuela Carolina FIM-UNAP</p> <p>6. MUESTRA Galería principal Mina Escuela Carolina</p> <p>7. TÉCNICAS Mapeo Geomecánico</p> <p>8. INSTRUMENTOS Brújula Flexómetro Picsa Wincha Tablas y ábacos</p>
<p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS *¿Con la caracterización geomecánica del macizo rocoso será posible la ubicación de zonas de estabilidad en la galería principal de la mina escuela Carolina?</p> <p>*¿Con la caracterización geomecánica será posible diseñar cámaras subterráneas con fines académicos y de investigación?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICO *Realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso para ubicar zonas de estabilidad en la galería principal de la Mina Escuela Carolina</p> <p>*Diseñar cámaras subterráneas mediante la caracterización geomecánica, con fines académicos y de investigación.</p>	<p>HIPÓTESIS ESPECÍFICOS *La caracterización geomecánica del macizo rocoso sirve para la ubicación de zonas de estabilidad en la galería principal de la Mina Escuela Carolina</p> <p>*La caracterización geomecánica de macizo rocoso sirve para diseñar cámaras subterráneas con fines académicos y de investigación</p>		

ANEXO B. Matriz de Consistencia

Fuente: Elaboración Propia

Kiruna es la mina más grande de Suecia en lo que es producción de hierro y la operación subterránea más automatizada del mundo. Suecia contribuye con el 90% de la producción de hierro de la Unión Europea”.

La colaboración entre la academia y la industria, se inicia cuando las empresas acuden a las universidades para resolver un problema, dado que a diferencia de lo que ocurre en Latinoamérica, el sector privado si confía en la respuesta de los centros de estudios superiores.



Descripción

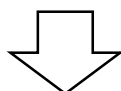


Estrategia

MINA KIRUNA



Convenio con:



La Universidad Tecnológica de Lulea, ubicada a 6 km al sur del círculo polar, es conocida como el centro de estudios superiores en minería de Suecia.

La universidad se dedica en un 57% a investigación científica y 43% a educación. Cuenta con 15,000 estudiantes, 1,700 empleados, 824 profesores e investigadores y 361 estudiantes de doctorado.

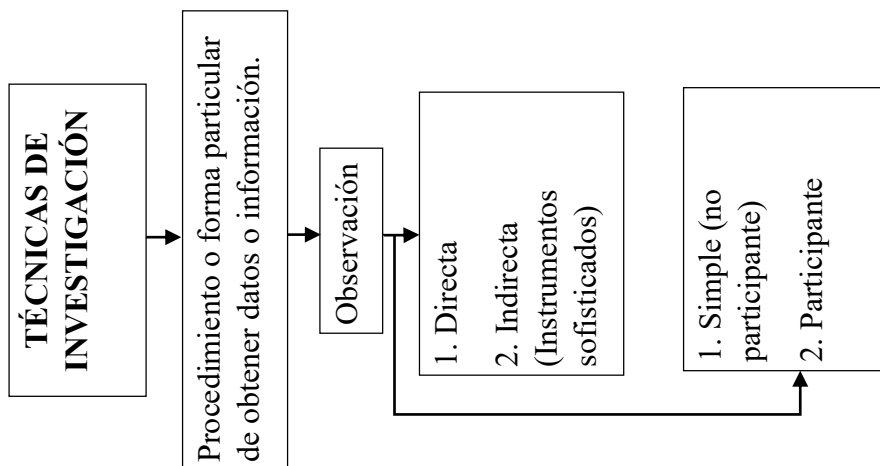
La industria sueca cuenta con un clúster minero consolidado, conformado por empresas, proveedores y la academia, cuya interacción es fundamental para el desarrollo de tecnología.

ANEXO C. Descripción mina Kiruna

Fuente: Elaboración Propia y revista del Instituto de ingenieros de minas del Perú, 2018



DISEÑO	TÉCNICA	INSTRUMENTOS
Diseño de investigación documental	Análisis documental	Fichas Computadoras y sus unidades de almacenamiento
	Análisis de contenido	Cuadro de registro y clasificación de las categorías
Diseño de investigación de campo	Estructurada	Escala de estimación
	No estructurada	Diario de campo Cámaras, fotográficas y video
	Oral	Guía de encuesta (tarjeta) Grabador Cámara de video
	Escrita	cuestionario
	Estructurada	Guía de entrevista Grabador/ cámara de video
Entrevista	No estructurada	Libreta de notas Grabador / cámara de video



ANEXO D. Ruta de investigación

Fuente: Imagen modificada y extraída de (Fidias G., 2012, p. 68).

NOMBRE	RUBRO	UNIDAD	PRECIO		OBSERVACIONES
			S/.	\$	
1.- EQUIPO DE PERFORACION					
PFJL	Perf J/L costo por pie	S/. / pie	0.737	0.224	Calculo/prev.
PFST	Perf S/T	S/. / pie	0.739	0.225	Calculo/prev.
BARR2	Barreno de 2	C/U	154.000	46.809	
BARR 3	Barreno de 4	C/U	268.520	81.617	
BARR 4	Barreno de 6	C/U	306.880	93.277	
MANG 1	Manguera de 50mt. 1" Aire	M	16.440	4.997	
MANG 5	Manguera de 50 m1/2", Agua	M	9.590	2.915	
TUBERIA	Tubería de 1" regida Aire	M	5.480	1.666	
Aguza	Aguzadora	S/. / pie	0.0008	0.000	Calculo/prev.
PIEDRA	Piedra de Esmeril	S/. / pie	0.0240	0.007	Calculo/prev.
OILRD	Aceite de grado 60	GL	72.000	21.884	
2.- EXPLOSIVO Y ACCESORIOS					
S45XD	Dinamita Semexa 45x7/8"x7	CAT	0.520	0.158	
S60XD	Dinamita Semexa 60x7/8"x7	CAT	0.520	0.158	
S60XD	Dinamita Semexa 60x1 1/8"x7	CAT	0.780	0.237	
GUIA	Guía de seguridad	PIE	0.109	0.033	
FULM	Fulminante corriente	C/U	0.340	0.103	
3.- HERRAMIENTAS					
HMM3	En Rotura de Mineral	M3	3.329		Calculo/prev.
HMMT	En Desarrollos	DISP	6.179	1.878	Calculo/prev.
4.- IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD					
TIPO A	TIPO A	S/. Dia	4.103	1.247	Calculo/prev.
TIPO B	TIPO B	S/. Dia	1.717	0.522	Calculo/prev.
TIPO C	TIPO C	S/. Dia	1.470	0.536	Calculo/prev.
5.- MOVILIDAD					
MVM3	Por M3	M3	13.382	4.067	Calculo/prev.
MVDP	Por Disparo	DISP	24.840	7.550	Calculo/prev.
6.- MANO DE OBRA					
RESID	Ing. Residente	MES	5000.00	1519.757	
INGGD	Ing. De Guardia	MES	3000.00	911.854	
CAPTZ	Capataz	MES	1800.00	547.112	
ADMI	Administrador	MES	1200.00	364.742	
PERF	Perforista J/L	DIA	40.00	12.158	
AYDTE	Ayudante	DIA	35.00	10.638	
BODE	Bodeguero	MES	900.00	273.556	
PEON	Peón	DIA	30.00	9.119	
7.- OBLIGACIONES PATRONALES					
BSE	Beneficios Sociales Empleados	%	95.825%		Calculo/prev.
BSO	Beneficios Sociales Obrero	%	95.825%		Calculo/prev.

ANEXO E. Costo en soles y dólares de las actividades a desarrollar en la excavación de cámaras subterráneas

Fuente: Elaboración propia

LABOR	Sección pie x pie	Barra pies	largo Perfora m	M3	No. Tal.	Tipo de Roca	Factor Potencia Kg/m3	No. de Cart/Disp. SEMEXA 60 1 1/8" x 7"	No. de Cart/Disp. SEMEXA 60 7/8" x 7"
Ch.	5 x 5	6	1.62	3.76	17	SUAVE	2.37	129	110
	5 x 5	6	1.62	3.76	19	MEDIA	3.04		141
	5 x 5	6	1.62	3.76	22	DURA	3.97		184
CH	6 x 6	6	1.62	5.42	20	SUAVE	1.92	161	128
	6 x 6	6	1.62	5.42	23	MEDIA	2.53		169
	6 x 6	6	1.62	5.42	26	DURA	3.24		216
SNV	5 x 6	6	1.62	4.52	17	SUAVE	2.12	137	118
	5 x 6	6	1.62	4.52	19	MEDIA	2.68		149
	5 x 6	6	1.62	4.52	22	DURA	3.45		192
GAL	7 x 8	6	1.62	8.43	28	SUAVE	1.66	209	172
	7 x 8	6	1.62	8.43	30	MEDIA	2.18		226
	7 x 8	6	1.62	8.43	35	DURA	2.85		296
GAL	8 x 8	6	1.62	9.63	29	SUAVE	1.6	225	190
	8 x 8	6	1.62	9.63	33	MEDIA	2.08		247
	8 x 8	6	1.62	9.63	38	DURA	2.7		320
RAMPA	11.5 x 11.5	8	2.16	2.65	52	SUAVE	1.51	328	
	11.5 x 11.5	8	2.16	2.65	59	MEDIA	1.98	429	
	11.5 x 11.5	8	2.16	2.65	67	DURA	2.55	552	
	11.5 x 11.5	8	2.16	2.65	67	DURA	2.55	552	

ANEXO E1. Especificaciones de perforación según labor y sección a desarrollar

Fuente: Elaboración propia

Perforados	Barra	Malla B x E	largo Perf.	M3	TM	Tipo de Roca	Factor de Potencia Kg/m3	Factor de Potencia Kg/TM	No. de Cart/tal SEMEXA 60 1 1/8" x 7"	No. de Cart/tal SEMEXA 60 7/8" x 7"
Stopper	8"	1.00 x 1.10	2.16	2.38	7.13	SUAVE	0.44	0.147	8.5	
	8"	0.90 x 1.00	2.16	1.94	5.83	MEDIA	0.54	0.180	8.8	
	8"	0.80 x 0.90	2.16	1.56	4.67	DURA	0.57	0.223	8.5	
J/L	6"	0.80 x 0.90	1.62	1.17	3.50	SUAVE	0.49	0.163	4.7	7.0
	6"	0.72 x 0.80	1.62	0.93	2.80	MEDIA	0.65	0.217	4.9	7.5
	6"	0.67 x 0.75	1.62	0.81	2.44	DURA	0.81	0.270	5.4	8.1

ANEXO E2. Especificaciones de dinamita SEMEXA en sus diversas categorías

Fuente: Elaboración propia

DESCRIPCION	PRECIO S/.	DURACION Días	COSTO/DIA	TIPO A	TIPO B	TIPO C
Botas de Jebe	40	75	0.53	0.53	0.53	0.53
Casco Tipo						
Sombrero	60	300	0.20	0.20	0.20	0.20
Guantes de Cuero	8	15	0.53	0.53	0.53	0.53
Correa porta						
lampara	16	300	0.05	0.05	0.05	0.05
Mameluco	45	300	0.15	0.15	0.15	0.15
Pantalón de Jebe	80	75	1.07	1.07		
Saco de Jebe	75	75	1.00	1.00		
Respirador Contra Gas	74	300	0.25	0.25	0.25	
Tapón de Oído	6	300	0.02	0.02		
Lentes de Seguridad	9	30	0.30	0.30		
COSTO / DIA				4.10	1.72	1.47

ANEXO E3. Costo en soles de los equipos de protección personal a utilizar en la excavación de cámaras subterráneas

Fuente: Elaboración propia

LABORES			A (m ²)	P (m)	N=(P/E) +KA		
					ROCA BLANDA 0.70 2.60	ROCA MEDIANA 0.60 3.00	ROCA DURA 0.50 3.40
CHIMENEA 5' X 5'	1.52 x 1.52		2.31	6.08	15.00	17.00	20.00
CHIMENEA 6' X 6'	1.82 x 1.82		3.31	7.28	19.00	22.00	26.00
SUBNIVEL 5' X 6'	1.52 x 1.82		2.77	6.68	17.00	20.00	23.00
GALERIA 6' X 7.3'	1.82 x 2.20		4.00	8.04	22.00	26.00	30.00
GALERIA 7' X 8'	2.13 x 2.43		5.18	9.12	27.00	31.00	36.00
GALERIA 8' X 8'	2.43 x 2.43		5.90	9.72	30.00	34.00	40.00
RAMPA 7' X 7'	2.13 x 2.13		4.54	8.52	24.00	28.00	33.00
RAMPA 7' X 8'	2.13 x 2.43		5.18	9.10	27.00	31.00	36.00
RAMPA 8' X 8'	2.43 x 2.43		5.90	9.72	30.00	34.00	40.00
RAMPA 11.5 X 11.5	3.50 x 3.50		12.25	14.00	52.00	60.00	70.00

ANEXO E4. Numero de taladros de acuerdo a la sección a emplear en las cavernas subterráneas

Fuente: Elaboración propia

DINAMITA	Velocidad Detonación m/s	densidad gr/m ³	Potencia por Peso %	Dimensiones	peso por cartucho Kg.
SEMEXA 45	3800	1.08	68	7/8" X 7"	0.08116
SEMEXA 60	4000	1.10	72	7/8" X 7"	0.08116
SEMEXA 60	4000	1.10	72	1.1/8" X 7"	0.12254

ANEXO E5. Especificaciones de dinamita SEMEXA en sus diversas categorías

Fuente: Elaboración propia

	JORNAL	CANT	DIAS	B.S	AVANCE	\$ / Tal.	\$ / TN
A.- MANO DE OBRA							
1.- OPERACIÓN							
Perforación							
					taladros		
1 Perf. J/L	12.16	1		0.96	35	0.68	0.58
1 ayudante	10.64	1		0.96	35	0.60	0.51
Voladura							
					M3		
1 Perf. J/L	12.16	1		0.96	5.355		4.45
1 ayudante	10.64	1		0.96	5.355		3.89
Acarreo							
2 peones	9.12	2		0.96	5.355		6.67
TOTAL, A							16.10
B.- MATERIALES							
1.- PERFORACION							
					UNID/TAL	DURACION	\$ / Tal. \$ / TN
Barreno de 4 c/u	81.62		3	pies		700	0.350 0.300
Barreno de 6 c/u	93.28		3	pies		700	0.400 0.343
Aceite de Perf. Gln	21.88					400	0.055 0.047
Perforadora J/L / pie	0.22		6	pies			1.345 1.153
Manguera de 1/2" 100 m	291.49					40000	0.007 0.006
Manguera de 1" 100 m	499.70					40000	0.012 0.011
Aguzadora s/ /pie	0.0003		6				0.002 0.002
Piedra Esmeril s/ /pie	0.007		6				0.044 0.038
2.- VOLADURA							
Semexa 60% x 7/8" x 7"	0.158		8				1.264 1.084
Fulminante	0.103		1				0.103 0.089
Guía	0.033		9				0.297 0.255
Voladura Secundaria: 10% de la Volad. Primaria							0.143
TOTAL, B							3.468
B.- MISCELANEOS							
1. Equipo de Protección							
	Tipo A	Tipo B	Tipo C			M3/Gdia	\$ / TN
	1.50	0.63	0.54		11.7810219	5.355	2.200
2. Herramientas							
3. Movilidad							
TOTAL, C							8.299
COSTO DIRECTO: (A+B+C)							
COSTO INDIRECTO Gastos Generales 10.00%							
Utilidad 10.00%							
SUBTOTAL							
I.G.V. 18.00%							
TOTAL							\$ 39.46

ANEXO E6. Numero de taladros de acuerdo a la sección a emplear en las cavernas subterráneas

Fuente: Elaboración propia

COSTO MATERIALES

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD Un/Perno	COSTO US\$/Un	COSTO US\$/Perno
CEMENTO ESPECIAL	SACO	0.22	7.50	1.65
ADITIVO SIKA 4-A	KG	0.18	2.30	0.41
PERNO 22 mm.	C/U	1.00	9.30	9.30
BARRA S12	C/U	0.01	57.08	0.74
SUBTOTAL				12.11

COSTO EQUIPOS

EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD Un/Perno	COSTO US\$/Hr	COSTO US\$/Perno
JUMBO EMPERNADOR	HR	0.10	37.51	3.75
LECHADORA	HR	0.09	0.28	0.02
CAMIONETA DE SEVICIO	HR	0.27	6.89	1.86
SUBTOTAL				5.64

COSTO MANO DE OBRA

FUNCION	UNIDAD	CANTIDAD Un/Perno	COSTO US\$/Hr	COSTO US\$/Perno
MAESTRO DE 1ª	HH	0.65	7.68	4.99
AYUDANTE	HH	0.55	5.90	3.24
OPERADOR UTILITARIO	HH	0.27	8.99	2.43
MAESTRO ESPECIALISTA	HH	0.65	8.99	5.85
SUBTOTAL				16.51

SUBTOTAL **34.25**

IMPREVISTOS (15%) **5.14**

TOTAL, COSTO (US\$/PERNO)				39.39
----------------------------------	--	--	--	--------------

ANEXO E7. Costo para la colocación de perno columna completa (propuesta)

Fuente: Elaboración propia

COLOCACION MALLA

COSTO MATERIALES

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD Un/m2	COSTO US\$/m2	COSTO US\$/m2
MALLA ACMA C-196	M2	1.20	2.5	3.00
TOTAL				

COSTO MANO DE OBRA

FUNCION	UNIDAD	CANTIDAD Un/m2	COSTO US\$/Hr	COSTO US\$/m2
MAESTRO DE 1ª	HH	0.35	7.68	2.69
AYUDANTE	HH	0.70	5.90	4.13
TOTAL				6.82

SUBTOTAL **9.82**

IMPREVISTOS (15%) **1.47**

TOTAL, COSTO (US\$/m2)				11.29
-------------------------------	--	--	--	--------------

COLOCACION SHOTCRETE

COSTO MATERIALES

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD Un/m3	COSTO US\$/m3	COSTO US\$/m3
SHOTCRETE	M3	1.10	110	121.00
OTROS MATERIALES (10% Ant.)				12.10
TOTAL				133.10

COSTO EQUIPOS

EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD Un/m3	COSTO US\$/HR	COSTO US\$/m3
SHOTCRETERA	Hr	0.13	7.92	1.02
TOTAL				1.02

MANO DE OBRA

FUNCION	UNIDAD	CANTIDAD Un/m3	COSTO US\$/HR	COSTO US\$/m3
OPERADOR UT. SHOTCRETE	HH	0.13	8.99	1.16
AYUDANTE	HH	0.13	5.90	0.76
TOTAL				1.93

SUBTOTAL **136.05**

IMPREVISTOS (15%) **20.41**

TOTAL, COSTO (US\$/m3)				156.46
-------------------------------	--	--	--	---------------

ANEXO E8. Costo de colocación de malla y Shotcrete (propuesta)

Fuente: Elaboración propia

Página : 1 de 2

RESUMEN DEL DERECHO MINERO

Datos Generales			
Código	080025118	Nombre	INGENIERIA DE MINAS UNA PUNO
Fecha de Formulación	19/09/2018	Situación	VIGENTE
Procedimiento	TRAMITE	Tipo	PETITORIO (D.LEG. 708)
Has. Formuladas	100.00	Sustancia	METALICA
Has. Rectificadas		Has. Formadas	
Has. Reducidas		Has. Disponibles	
Ubicación	ARCHIVO CENTRAL desde el 03/07/2019		

Titular Referencial			
Tipo	Nombre de Razón Social	Dirección	% Participación
NATURAL	OSCAR ELOY LLANQUE MAQUERA	JR. CORONEL BARRIGA 579 URB. CERCADO PUNO PUNO/PUNO/PUNO	50
NATURAL	OWAL ALFREDO VELASQUEZ VIZA	COMUNIDAD SAN JOSE PATALLANI PUNO/PAUCARCOLLA/PUNO	50

Demarcaciones			
Departamento	Provincia	Distrito	
PUNO	PUNO	PUNO	

Cartas			
Código	Descripción	Zona OTM	
32-V	PUNO	19	

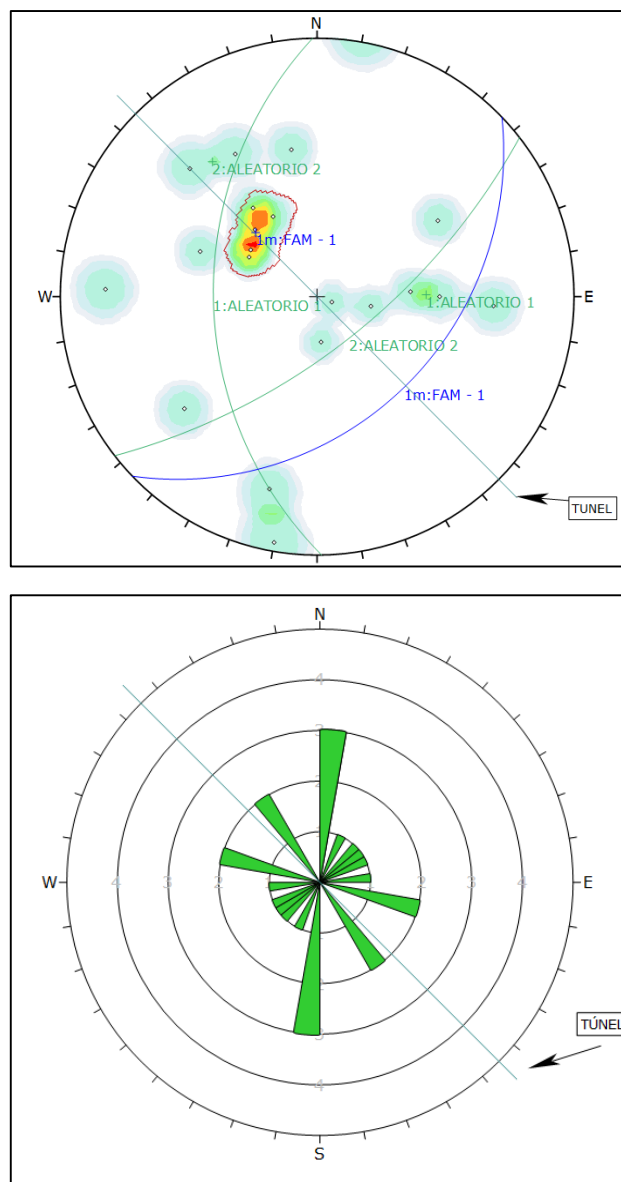
Coordenadas WGS84			
Vertice	Norte	Este	
1	8,242,000.00	390,000.00	
2	8,241,000.00	390,000.00	
3	8,241,000.00	389,000.00	
4	8,242,000.00	389,000.00	

Pagos					
Nro. Recibo	Monto	Fecha Pago	Nro. Cuenta	Banco	Concepto
006-0003875	S/ 415.00	19/09/2018	CAJA	CAJA	Tramite
3190500700050	US \$/ 300.00	19/09/2018	070362957784	SCOTIABANK PERÚ S.A.A.	Vigencia

Resoluciones			
Nro. Resolución	Fec. Resolución	Decisión	Plazo
DCM	12/12/2018	EXPIDASE LOS CARTELES	30 dias
DCM	12/12/2018	PONGASE EN CONOCIMIENTO DEL INTERESADO LO RESUELTO	

ANEXO F. Resumen del derecho minero de la propiedad de la mina escuela carolina

Fuente: Ingemmet



ANEXO G. Diagrama de roseta y proyección estereográfica de las discontinuidades (Primera excavación-N45W)

Fuente: Elaboración propia

Rumbo perpendicular al eje del túnel		Rumbo paralelo al eje del túnel	
Excavación hacia el buzamiento 45-90°	Excavación hacia el buzamiento 20-45°	Buzamiento 45-90°	Buzamiento 20-45°
Muy favorable	Favorable	Muy desfavorable	Regular
Excavación contra el buzamiento 45-90°	Excavación contra el buzamiento 20-45°	Buzamiento 0-20° independiente del rumbo	
Regular	Desfavorable	Regular	

ANEXO H. Diagrama de roseta y proyección estereográfica de las discontinuidades (Primera excavación-N45W)

Fuente: Clasificación geomecánica de Bieniawski (1989)

<p style="text-align: center;">Qualitative Chart of ESPACIAMIENTO</p>	<p>3</p>
<p style="text-align: center;">Qualitative Chart of PERSISTENCIA</p>	<p>2</p>
<p style="text-align: center;">Qualitative Chart of APERTURA</p>	<p>2</p>
<p style="text-align: center;">Qualitative Chart of RUGOSIDAD</p>	<p>3</p>

ANEXO I. Ejemplo de toma de datos frecuencia relativa del estado de las discontinuidades (Familia 1- primera excavación)

Fuente: Elaboración propia

<p style="text-align: center;">Qualitative Chart of RELLENO</p>	<p>4</p>
<p style="text-align: center;">Qualitative Chart of ALTERACIÓN</p>	<p>2</p>
<p style="text-align: center;">Qualitative Chart of AGUA SUBTERRANEA</p>	<p>2</p>

ANEXO I. (continuación), Ejemplo de toma de datos frecuencia relativa del estado de las discontinuidades (Familia 1- primera excavación)

Fuente: Elaboración propia

FAMILIA	ESPACIADO	PERSISTENCIA	APERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	ALTERACIÓN	AGUA SUBT.
1	3	2	2	2	4	2	2
1	3	2	2	2	4	3	2
1	3	2	1	3	1	3	2
1	3	2	2	3	4	2	2
1	3	2	2	3	4	2	2
TOTAL	3	2	2	3	4	2	2

ESPACIAMIENTO	PERSISTENCIA	APERTURA	RUGOSIDAD
1.- >2m 2.- 0.6-2m 3.- 200-600mm 4.- 60-200mm 5.- <60mm	1.- <1m 2.- 1-3m 3.- 3-10m 4.- 10-20m 5.- >20m	1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta <0.1mm 3.- Angosta 0.1-1.0mm 4.- Abierta 1.0 - 5.0mm 5.- Muy Abierta >5.0mm	1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligeramente rugoso 4.- Lisa 5.- Muy Lisa
RELLENO	ALTERACIÓN	AGUA SUBTERRANEA	
1.- Ninguna 2.- Relleno duro <5mm 3.- Relleno duro >5mm 4.- Relleno blando <5mm 5.- Relleno blando >5mm	1.- No meteorizada 2.- Ligeramente 3.- Moderadamente 4.- Altamente meteorizada 5.- Descompuesta	1.- Completamente seco 2.- Húmedo 3.- Mojado 4.- Goteo 5.- Flujo	

ANEXO J. Resumen de datos de frecuencia relativa del estado de las discontinuidades (Por familias- primera excavación)

Fuente: Clasificación geomecánica de Bieniawski (1989)

PROGRESIVA GEOMECANICA 3		
Litología: Andesita	Formación: Ayabacas	Fecha: 25/11/18
Dirección de la labor = N45°W		
RQD		
Fractura/metro	λ	9
RQD	%	77
Calidad de roca	75-90	BUENA

ANEXO K. Cálculo de RQD de acuerdo al número de fracturas por metro (Primera excavación)

Fuente: Elaboración propia

Parámetros			Rango de valores							
1	resistencia de la roca	ensayo carga puntual	> 10MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa				7
		compresión simple	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa	
	valor		15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	25%			17
	valor		20	17	13	8	3			
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2m	0.6-2m	0.2-0.6m	6-20cm	< 6cm			10
	valor		20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1m	1-3m	3-10m	10-20m	> 20m			19
		valor	6	4	2	1	0			
		Apertura	ninguna	< 0.1mm	0.1-1.0mm	1-5mm	> 5mm			
		valor	6	5	3	1	0			
		Rugosidad	muy rugosa	rugosa	ligeramente rugosa	lisa	muy lisa			
		valor	6	5	3	1	0			
		relleno	ninguna	Relleno duro < 5mm	Relleno duro > 5mm	Relleno blando < 5mm	Relleno blando > 5mm			
		valor	6	4	2	2	0			
Alteracion	inalterada	ligeramente alterada	moderadamente alterada	muy alterada	descompuesta					
valor	6	5	3	1	0					
5	Agua subterránea	Relación Pagua/Pprinc.	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5			10
		Condiciones generales	completamente seca	húmedo	Mojado	Goteando	Fluyendo			
	valor		15	10	7	4	0			
SUB TOTAL										63
Dirección y buzamiento			Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable			
valoración para	Túneles		0	-2	-5	-10	-12			0
	Cimentaciones		0	-2	-7	-15	-25			
	Taludes		0	-5	-25	-50	-60			
TOTAL										63
CLASE	I	II		III		IV	V			
Calidad	Muy buena	Buena		Media		Mala	Muy mala			
RMR	81-100	61-80		41-60		21-40	0-20			
RMR ESTACION	63-II									

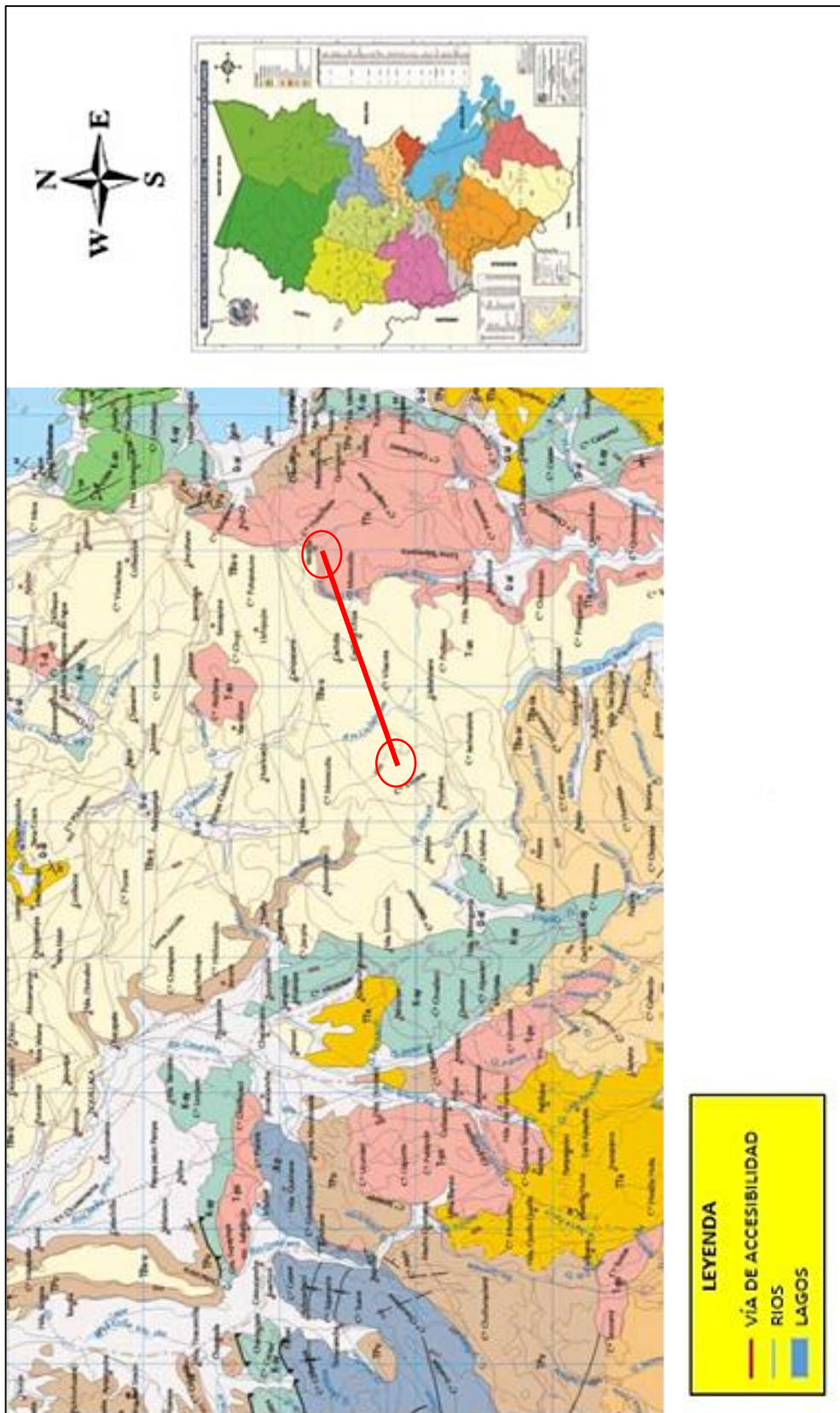
ANEXO L. Cálculo de RMR para la primera excavación – valor de RMR igual a 63
Fuente: Clasificación geomecánica de Bieniawski (1989)

El yacimiento es del tipo epitelial, de baja sulfuración, localizado la explotación al nivel de la zona de óxidos, el cuerpo mineralizado es de “stock worck” en su estructura mineraliza donde la roca caja es la andesita brechada. En el área de la mina afloran cal izas, areniscas del Cretáceo y también el intrusivo granítico, la veta principal tiene un rumbo N320°E con Buzamiento de 85' - 88' este y una potencia aproximada de 0.30 m. Entre los minerales de mena, se encuentran la chalcopirita con contenido de oro, bornita, esfalerita, tetraedrita y la baritina de origen mesotermal a epitermal. La pirita, especularita, dolomita, calcita y el cuarzo son los principales minerales de ganga. La primera fundición de plata en esta mina fue 20 onzas por tonelada.



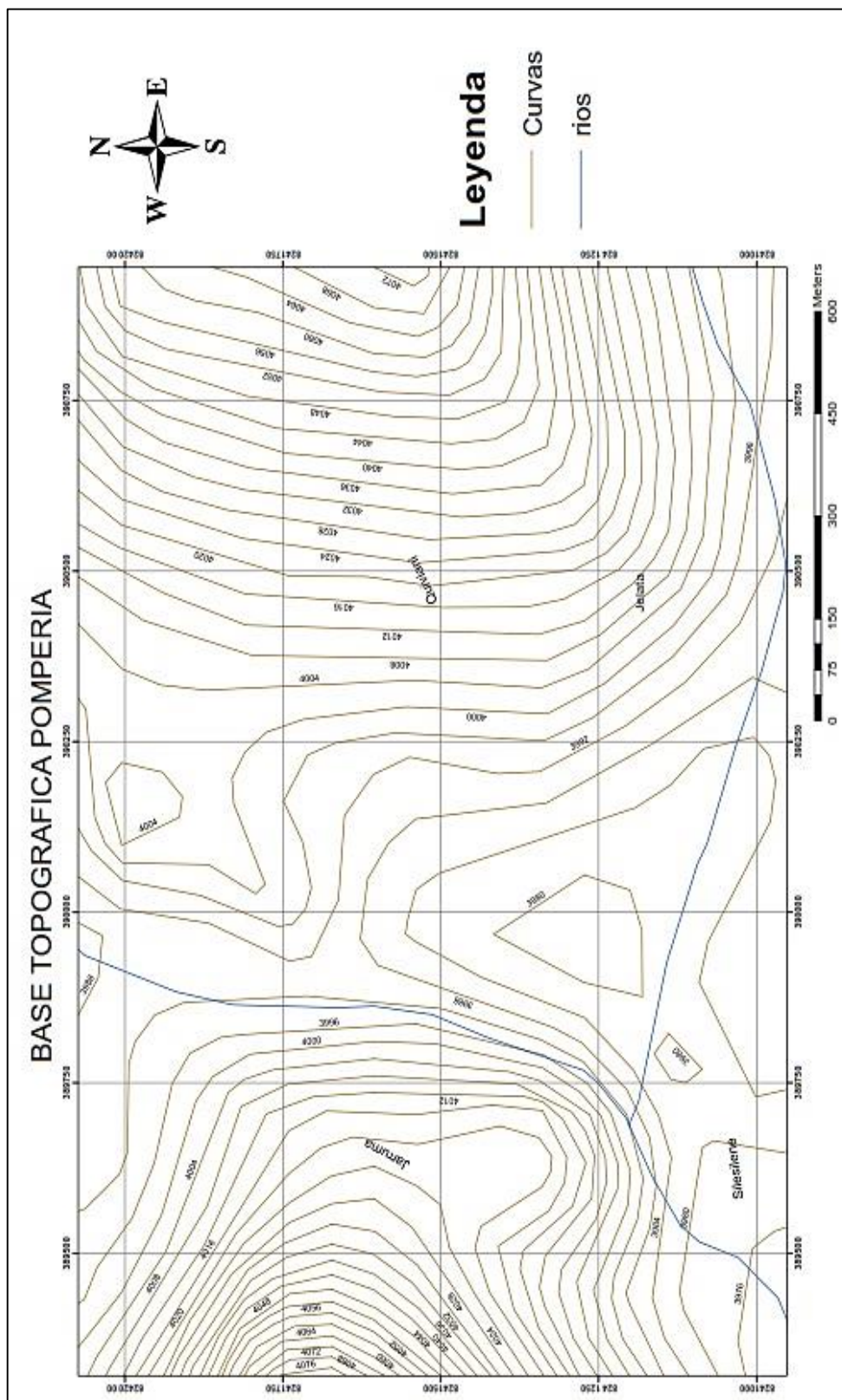
ANEXO M. Geología económica mina escuela carolina

Fuente: Instituto Geológico, minero y metalúrgico, INGEMMET



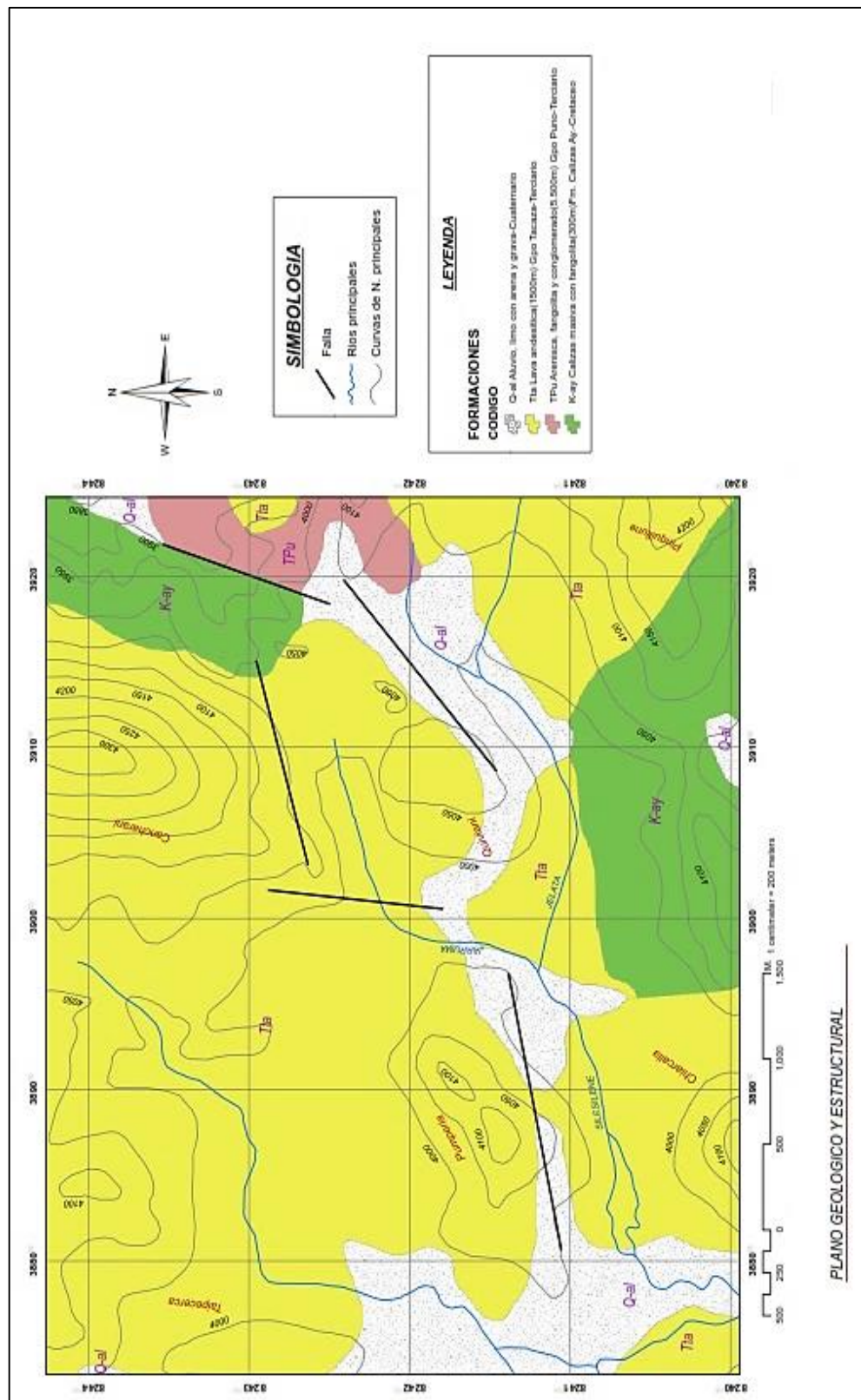
ANEXO N. Plano de ubicación y accesibilidad

Fuente: Elaboración Propia



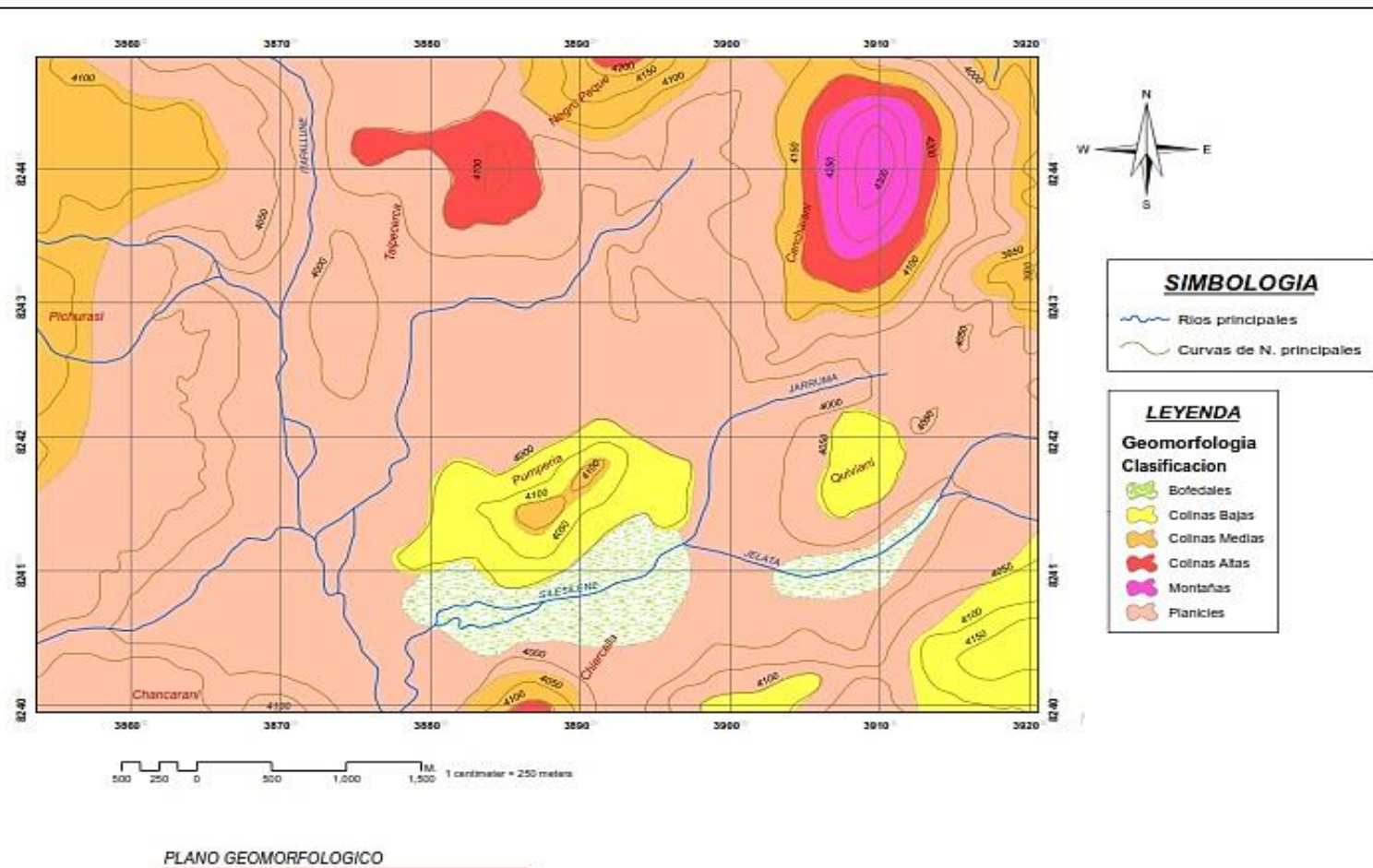
ANEXO O. Plano Topográfico mina escuela Carolina

Fuente: Elaboración Propia



ANEXO P. Plano Geológico y Estructural de la mina escuela Carolina

Fuente: Elaboración Propia



ANEXO Q. Plano Geomorfológico mina escuela Carolina

Fuente: Elaboración Propia

N°	DIP DIR	DIP
1	264	71
2	240	82
3	253	62
4	225	80
5	273	69
6	242	85
7	201	32
8	89	40
9	240	75
10	245	85
11	272	38
12	84	54
13	70	43
14	55	72
15	41	80
16	242	70
17	287	25
18	22	51
19	50	54
20	54	52
21	55	56
22	274	65
23	296	67
24	129	80
25	121	41
26	351	51
27	323	67
28	4	43
29	124	39
30	115	58
31	113	56
32	110	84
33	272	74
34	164	38
35	153	34
36	188	68
37	130	47
38	134	34
39	78	88
40	69	82

N°	DIP DIR	DIP
41	144	46
42	151	39
43	111	52
44	137	39
45	273	69
46	10	88
47	92	79
48	135	70
49	290	7
50	14	75
51	50	68
52	280	24
53	170	60
54	150	65
55	267	40
56	270	51
57	238	58
58	355	20
59	125	35
60	120	34
61	136	28
62	82	52
63	79	50
64	103	39
65	86	51
66	253	48
67	223	80
68	101	43
69	108	54
70	170	75
71	253	56
72	170	71
73	340	49
74	212	30
75	233	45
76	224	53
77	351	56
78	215	68
79	212	84
80	210	88

N°	DIP DIR	DIP
81	188	76
82	197	89
83	268	60
84	0	75
85	106	35
86	227	67
87	5	82
88	310	56
89	36	65
90	82	45
91	110	34
92	170	65
93	282	67
94	250	65
95	268	60
96	210	70
97	45	32
98	47	35
99	98	56
100	96	59
101	155	81
102	326	68
103	82	94
104	134	85
105	94	29
106	176	40
107	85	45
108	94	45
109	110	61
110	287	58
111	241	34
112	343	89
113	36	75
114	308	57
115	183	65
116	154	69
117	155	78
118	163	85
119	23	62
120	25	64

ANEXO R. Orientación de las discontinuidades, Buzamiento (DIP) y Dirección de buzamiento (DIP DIR)

Fuente: Elaboración Propia

N°	DIP DIR	DIP
121	68	83
122	255	42
123	246	58
124	82	36
125	358	88
126	241	87
127	53	74
128	45	67
129	275	35
130	222	75
131	107	20
132	255	55
133	227	54
134	254	58
135	194	60
136	180	75
137	260	50
138	9	90
139	292	76
140	280	75
141	176	85
142	168	76
143	103	48
144	276	64
145	44	35
146	12	77
147	161	86
148	137	54
149	190	19
150	230	29
151	193	87
152	235	67
153	294	59
154	207	62
155	199	57
156	187	58
157	300	65
158	196	74
159	90	48
160	96	52

N°	DIP DIR	DIP
161	250	70
162	180	77
163	75	55
164	8	68
165	243	60
166	254	47
167	72	54
168	240	50
169	280	80
170	50	52
171	30	55
172	285	60
173	250	34
174	233	70
175	110	50
176	15	72
177	150	87
178	20	50
179	329	79
180	326	76
181	294	75
182	358	87
183	47	60
184	195	84
185	28	89
186	325	68
187	290	77
188	10	85
189	15	82
190	250	55
191	330	25
192	192	81
193	105	48
194	117	38
195	62	72
196	165	78
197	230	60
198	14	88
199	315	82
200	270	85

N°	DIP DIR	DIP
201	215	62
202	232	70
203	275	80
204	23	82
205	280	80
206	240	48
207	44	65
208	272	82
209	55	52
210	237	85
211	110	64
212	48	60
213	280	80
214	55	80
215	53	80
216	80	85
217	65	89
218	35	52
219	258	73
220	254	75
221	70	72
222	57	35
223	203	67
224	250	67
225	69	50
226	50	35
227	65	50
228	45	87
229	38	86
230	330	30
231	54	74
232	64	65
233	50	60
234	48	65
235	75	85
236	60	84
237	210	75
238	95	64
239	44	40
240	46	42

ANEXO R. (Continuación), Orientación de las discontinuidades, Buzamiento (DIP) y Dirección de buzamiento (DIP DIR)

Fuente: Elaboración Propia

N°	DIP DIR	DIP
241	83	75
242	80	57
243	45	35
244	110	65
245	240	83
246	225	78
247	55	74
248	45	66
249	42	70
250	105	70
251	130	65
252	90	65
253	55	68
254	63	70
255	263	73
256	75	87
257	226	77
258	230	75
259	12	27
260	10	23
261	163	62
262	252	88
263	232	60
264	165	77
265	200	80
266	250	75
267	268	78
268	37	42
269	170	84
270	167	83
271	16	35
272	70	78
273	215	73
274	228	82
275	25	42
276	241	82
277	238	46
278	90	60
279	242	60
280	238	61

N°	DIP DIR	DIP
281	124	90
282	335	88
283	40	90
284	227	40
285	222	56
286	44	83
287	233	62
288	2	38
289	7	34
290	174	62
291	186	70
292	77	84
293	45	32
294	121	72
295	53	70
296	38	82
297	262	76
298	272	68
299	264	54
300	357	80
301	94	89
302	62	84
303	189	88
304	226	58
305	84	62
306	197	86
307	257	50
308	254	78
309	94	24
310	54	72
311	57	78
312	256	52
313	224	82
314	64	71
315	52	88
316	116	72
317	229	79
318	217	78
319	262	86
320	254	48

N°	DIP DIR	DIP
321	251	68
322	66	58
323	205	86
324	68	88
325	234	82
326	220	78
327	239	64
328	266	67
329	194	81
330	29	64
331	76	72
332	4	82
333	19	59
334	34	84
335	213	82
336	219	80
337	357	88
338	254	79
339	246	64
340	264	69

ANEXO R. (Continuación), Orientación de las discontinuidades, Buzamiento (DIP) y Dirección de buzamiento (DIP DIR)

Fuente: Elaboración Propia

Parámetros			Rango de valores						
1	resistencia de la roca	ensayo carga puntual	> 10MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa			
		compresión simple	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	valor		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	25%		
	valor		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2m	0.6-2m	0.2-0.6m	6-20cm	< 6cm		
	valor		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1m	1-3m	3-10m	10-20m	> 20m		
		valor	6	4	2	1	0		
		Apertura	ninguna	< 0.1mm	0.1-1.0mm	1-5mm	> 5mm		
		valor	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	muy rugosa	rugosa	ligeramente rugosa	lisa	muy lisa		
		valor	6	5	3	1	0		
		relleno	ninguna	Relleno duro < 5mm	Relleno duro > 5mm	Relleno blando < 5mm	Relleno blando > 5mm		
		valor	6	4	2	2	0		
Alteracion	inalterada	ligeramente alterada	moderadamente alterada	muy alterada	descompuesta				
	valor	6	5	3	1	0			
5	Agua subterránea	Relación Pagua/Pprinc.	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Condiciones generales	completamente seca	húmedo	Mojado	Goteando	Fluyendo		
	valor		15	10	7	4	0		
SUB TOTAL									
Dirección y buzamiento			Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable		
valoración para	Túneles		0	-2	-5	-10	-12		
	Cimentaciones		0	-2	-7	-15	-25		
	Taludes		0	-5	-25	-50	-60		
TOTAL									
CLASE	I	II		III		IV	V		
Calidad	Muy buena	Buena		Media		Mala	Muy mala		
RMR	81-100	61-80		41-60		21-40	0-20		
RMR ESTACION									

ANEXO S. Clasificación geomecánica de Bieniawski (1989)

Fuente: Guía de criterios geomecánicos para diseño, Osinergmin.

**ANEXO T. Plano subterráneo de la ubicación de cavernas de
investigación**

ANEXO U. Plano diseño de cavernas de investigación