

# Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables

# Carrera de Ingeniería en Minas

Clasificación geomecánica del macizo rocoso que permite plantear las alternativas de refuerzo y sostenimiento en el nivel 1 de la veta Negra de la mina Alonzo, del área minera El Condado ubicada en la parroquia San Juan de Cerro Azul, Cantón Atahualpa, Provincia de El Oro

> Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniera en Minas

## AUTORA

Silvia Alexandra Arteaga Valencia

## DIRECTOR

Ing. Jorge Michael Valarezo Riofrio Ph.D.

Loja- Ecuador 2025

Educamos para Transformar

#### Certificación

Loja, 07 de abril del 2025

Ing. Jorge Michael Valarezo Riofrio Ph.D.

## DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

#### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado Clasificación geomecánica del macizo rocoso que permite plantear las alternativas de refuerzo y sostenimiento en el nivel 1 de la veta Negra de la mina Alonzo, del área minera El Condado ubicada en la parroquia San Juan de Cerro Azul, Cantón Atahualpa, Provincia de El Oro, previo a la obtención del título de Ingeniera en Minas, de la autoría del estudiante Silvia Alexandra Arteaga Valencia, con cédula de identidad Nro.1900552843, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

#### Autoría

Yo, **Silvia Alexandra Arteaga Valencia**, declaro ser autora del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional-Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula de identidad: 1900552843 Correo Electrónico: <u>silvia.arteaga@unl.edu.ec</u> Teléfono: +593 960630844 Carta de autorización por parte de la autora para la consulta de producción parcial o total y/o, publicación electrónica del texto completo del Trabajo de Integración Curricular.

Yo, Silvia Alexandra Arteaga Valencia, declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: Clasificación geomecánica del macizo rocoso que permite plantear las alternativas de refuerzo y sostenimiento en el nivel 1 de la veta Negra de la mina Alonzo, del área minera El Condado ubicada en la parroquia San Juan de Cerro Azul, Cantón Atahualpa, Provincia de El Oro, como requisito para optar por el título de Ingeniera en Minas, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional. Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes informáticas del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja a los días del mes de del dos mil veinticinco.

Firma:

Cédula de identidad: 1900552843 Dirección: Correo Electrónico: <u>silvia.arteaga@unl.edu.ec</u> Teléfono: +593 960630844

#### **DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director del Trabajo de Integración Curricular:** Ing. Jorge Michael Valarezo Riofrio, PhD.

#### Dedicatoria

Dedicado con todo mi corazón a mis padres Victor y Silda por su amor incondicional, por enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación, por su constante esfuerzo y querer siempre lo mejor para mí, por su sacrificio y apoyo incondicional, e inspirarme siempre a seguir adelante siendo mis pilares, ensenándome que cada pequeño paso tiene su recompensa, porque esta carrera no es solo mía, sino también suya.

A mis hermanos Erika y Manuel, que me acompañaron día y noche, motivándome siempre a seguir adelante, recordándome lo capaz que soy y lo que puedo lograr, gracias por siempre confiar en mí y por quererme siempre.

A mi querido abuelo Alberto (†) que desde el cielo siempre me cuida e ilumina mi camino, estaría muy orgulloso de lo que su pequeña nieta está logrando, siempre estarás en mi corazón.

A mi gran amiga Tatiana, por el apoyo incondicional. Y a quienes siempre se preocuparon por mí.

"Por y para la pequeña Ale"

#### Silvia Alexandra Arteaga Valencia

#### Agradecimiento

A Dios y la Virgen que son la luz y motivación para seguir adelante a pesar de las adversidades, por darme la fortaleza y sabiduría en todo momento.

Con el corazón en la mano agradezco profundamente a mis padres que siempre me acompañaron, guiaron y velaron por mí, que siempre confiaron, gracias por que nada de esto sería posible sin su ayuda y a mis hermanos, gracias por ser mis incondicionales y cómplices, que me apoyaron siempre y nunca me dejaron sola.

Gracias por su amor y apoyo incondicional, porque son el regalo más grande de todos.

A mi tío Patricio por sus consejos e impulsarme siempre a seguir adelante, a mi pequeña prima Hellen por siempre sacarme una sonrisa y alegrarme el corazón. A mi hermana de corazón Miriam que, aunque este lejos recuerdo los momentos de risas y al pequeño Juan por hacerme reír con sus ocurrencias. A mi primo Rafael por aconsejarme y preocuparse por mí y a mi tío Orlando (†) que estaría muy feliz.

A mi amiga de carrera y de vida Tatiana, gracias por el apoyo incondicional, por los desvelos y los momentos difíciles, por los consejos y palabras de aliento, por siempre motivarme a seguir adelante y ser mi cómplice, por ser más que una amiga y convertirte en familia. Gracias a mi grupo de amigos incondicionales que me dio la universidad por los momentos compartidos, experiencias, viajes y las risas durante estos años.

Al Ing. Jorge Michael Valarezo Riofrío, PhD., director de mi Trabajo de Integración Curricular, gracias por las enseñanzas y orientación, al Ing. Stalin Paladines que me brindo la ayuda para encontrar donde realizar el presente proyecto, al Ing. Fernando Rengel por su guía ante las inquietudes y a la planta docente de la Carrera de Minas que formaron parte de mi formación académica, por su apoyo, inspiración y guía durante estos años siempre.

Y a quienes dejaron una marca en el camino. Gracias.

Silvia Alexandra Arteaga Valencia

## Índice de Contenidos

Portada	
Certifica	ciónii
Autoría.	iii
Dedicato	riav
Agradec	imientovi
Índice de	e Contenidosvii
Índice de	e Figurasix
Índice de	e Tablasxi
Índice de	e Anexosxiii
1. Títu	lo1
2. Res	umen2
Abstra	ct4
3. Intr	oducción6
4. Mai	co Teórico
4.1.	Topografía8
4.2.	Características de las rocas8
4.2.	1. Rocas ígneas
4.2.2	2. Rocas sedimentarias
4.2.	3. Rocas metamórficas
4.3.	Mecánica de Rocas8
4.4.	Propiedades de la matriz rocosa9
4.4.	1. Propiedades físicas9
4.4.2	2. Propiedades Mecánicas10
4.4.	3. Propiedades Hidráulicas
4.5.	Macizo Rocoso10
4.6.	Caracterización de la matriz rocosa10
4.6.	1. Identificación
4.6.	2. Meteorización
4.6.	3. Resistencia11
4.7.	Descripción de discontinuidades11
4.7.	1. Orientación12
4.7.	2. Espaciado12
4.7.	3. Continuidad12
4.7.4	4. Rugosidad12
4.7.	5. Resistencia de las paredes de la discontinuidad12
4.7.	5. Abertura12
4.7.	7. Relleno12
4.7.	8. Filtraciones
4.8.	Clasificación geomecánica13
4.8.	1. RMR 2014

	4.8.2.	Q de Barton	.15
	4.8.3.	Clasificación GSI	.17
4.	9. Sos	tenimiento de macizos rocosos	.18
	4.9.1.	Clasificación de sostenimiento	.18
	4.9.2.	Tipos de sostenimiento	. 19
5.	Metodo	ología	.20
5.	1. Info	ormación del área de estudio	.20
	5.1.1.	Datos Generales	.20
	5.1.2.	Ubicación	.21
	5.1.3.	Acceso	.21
	5.1.4.	Geología Regional	.22
	5.1.5.	Geomorfología	.23
5.	2. Ma	teriales y equipos	.23
5.	3. Me	todología General	.24
	5.3.1.	Metodología del primero objetivo	.24
	5.3.2.	Metodologia del segundo objetivo	.33
	5.3.3.	Metodologia del tercer objetivo	.35
6.	Resulta	ndos	.39
6.	1. Res	sultados del primer objetivo	. 39
	6.1.1.	Topografía	. 39
	6.1.2.	Geología Local	.40
	6.1.3.	Litología Interior mina	.41
	6.1.4.	Propiedades Índices de las rocas	.46
	6.1.5.	Propiedades Mecánicas	.49
6.	2. Res	sultados del segundo objetivo	.51
	6.2.1.	Caracterización Geomecánica	.51
	6.2.2.	Clasificación Geomecanica	.55
	6.2.3.	RQD	.55
	6.2.4.	RMR <sub>14</sub>	.55
	6.2.5.	Q de Barton	.57
	6.2.6.	GSI	. 59
	6.2.7.	Zonificación Geomecánica	.60
6.	3. Res	sultados del tercer objetivo	.62
	6.3.1.	Definir el sostenimiento	.62
	6.3.2.	Propuesta de Sostenimiento	.63
	6.3.3.	Sistema de refuerzo	.66
7.	Discusi	ón	.68
8.	Conclu	siones	.73
9.	Recom	endaciones	.75
10.	Referen	ncias bibliográficas	.76
11.	Anexos		.79

# Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> . Características de las discontinuidades11
Figura 2. Cuadros metálicos
Figura 3. Pernos de anclaje
Figura 4. Mapa de ubicación del área minera "El Condado"21
Figura 5. Ruta de acceso por vía terrestre desde Quito al área de estudio21
Figura 6. Geología Regional del Área Minera El Condado22
Figura 7. Mapa Geomorfológico del Área Minera El Condado23
Figura 8. Levantamiento topográfico superficial del área delimitada de la concesión el
Condado
Figura 9. Levantamiento topográfico interior mina de la mina
Alonzo25
Figura 10. Caracterización Geológica de los afloramientos y toma de datos estructurales
Figura 11. Mapa de ubicación de los seis afloramientos en el área minera el Condado27
Figura 12. Mapa de Ubicación de estaciones litológicas interior mina28
Figura 13. Descripción macroscópica de las muestras recolectadas29
Figura 14. Mapa de ubicación de recolección de muestras para las propiedades índices30
Figura 15. Determinación de las propiedades físicas de las rocas31
Figura 16. Aplicación del esclerómetro para el cálculo de la resistencia de la matriz
rocosa
Figura 16. Ensayos mediante la prensa hidráulica32
Figura 18. Cálculo de las propiedades hidráulicas32
Figura 19. Sostenimiento según el sistema de clasificación del macizo rocoso35
Figura 20. Topografía Superficial del Área minera "El Condado" con código 30000934
Figura 21. Topografía Subterránea de la Mina Alonzo "El Condado" código 30000934
Figura 22. Geología Local del Área minera "El Condado" con código 3000093441
Figura 23. Tramo N1 y N2 de la galería principal de la mina Alonzo42
Figura 24. Tramo N3 de la galería principal de la mina Alonzo42
Figura 25. Tramo N4 de la galería de estudio Veta Negra del Nivel 1 de la mina
Alonzo43
Figura 26. Tramo N5 Y N6 de la galería de estudio Veta Negra del Nivel 1 de la mina
Alonzo43
Figura 27. Tramo N7 de la galería de estudio Veta Negra del Nivel 1 de la mina Alonzo43
Figura 28. Tramo N8 de la galería de estudio Veta Negra del Nivel 1 de la mina Alonzo.44
Figura 29. Tramo N9 de la galería de estudio Veta Negra del Nivel 1 de la mina Alonzo44
Figura 30. Litología Interior mina de la Mina Alonzo del Nivel 1 de la Veta Negra del Área
minera "El Condado" con código 30000934)45
Figura 31. Corte Geológico de la Mina Alonzo Área minera "El Condado" con código
3000093445
Figura 32. Gráfica del Contenido de Humedad

Figura 33. Gráfica del Peso Específico Aparente	47
Figura 34. Gráfica del Peso Específico Real	47
Figura 35. Gráfica del Coeficiente de Absorción	48
Figura 36. Gráfica de la Porosidad	48
Figura 37. Gráfica de la Compacidad	49
Figura 38. Gráfica de Ensayos de Esclerómetro	49
Figura 39. Gráfica de Ensayos de Compresión Simple por Sección	51
Figura 40. Rotura de ensayos de comprensión Simple	51
Figura 41. Gráfica de clasificación RMR14	56
Figura 42. Clasificación RMR14	57
Figura 43. Gráfica de clasificación Q De Barton	58
Figura 44. Clasificación Q de Barton	58
Figura 45. Gráfica de clasificación GSI	59
Figura 46. Clasificación GSI	60
Figura 47. Zonificación Geomecánica del Nivel 1 de la Veta Negra de la Mina Alor	nzo del
Área minera "El Condado" con código 30000934	62

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Criterios de Clasificación RMR	13
<b>Tabla 2.</b> Criterios para el cálculo de RMR14	14
Tabla 3. Calidad de los macizos rocosos RMR	14
Tabla 4. Descripción Jn	15
Tabla 5. Descripción Jr.	15
Tabla 6. Descripción Ja.	16
Tabla 7. Descripción Jw.	16
Tabla 8. Descripción SRF.	17
Tabla 9. Clasificación de la calidad de los macizos rocosos según Q de	e Barton
	17
Tabla 10. Criterios de Clasificación GSI.	18
<b>Tabla 11.</b> Coordenadas U.T.M de la Concesión Minera	20
Tabla 12. Herramientas, equipos y softwares.	23
<b>Tabla 13.</b> Ficha de descripción de afloramientos	26
Tabla 14. Coordenadas de ubicación de los afloramientos	26
Tabla 15. Ficha de descripción litológica	28
Tabla 16. Ficha de descripción microscópica	29
<b>Tabla 17.</b> Ficha de clasificación de macizo rocoso RMR14	34
Tabla 18. Selección de perno de anclaje en base a las características del maciz	o rocoso
Tabla 19. Afloramientos descritos en el área de estudio	40
<b>Tabla 20.</b> Datos estructurales de la mina Alonzo	44
Tabla 21. Propiedades Índice de las rocas	
Tabla 22. Resultados de Comprensión simple mediante esclerómetro	49
Tabla 23. Resultados de Comprensión simple mediante prensa	50
Tabla 24. Familias de discontinuidades estación 1	
<b>Tabla 25.</b> Familias de discontinuidades estación 2	
<b>Tabla 26.</b> Familias de discontinuidades estación 3	53
<b>Tabla 27.</b> Familias de discontinuidades estación 4	53
Tabla 28. Familias de discontinuidades estación 5	54
<b>Tabla 29.</b> Familias de discontinuidades estación 6	54
<b>Tabla 30.</b> Resumen de familias de discontinuidades	55
Tabla 31. Clasificación geomecánica RQD	55
Tabla 32. Clasificación RMR14	56
Tabla 33. Clasificación Q de Barton	57
Tabla 34. Clasificación GSI	59
Tabla 35. Sostenimiento según la clasificación RMR	62
Tabla 36. Sostenimiento definido para la zona I en base a la clasificación del macia	zo rocoso
	66
Tabla 37. Sostenimiento definido para la zona II en base a la clasificación del macia	zo rocoso
	66

Tabla 38. Sostenimiento definido para la zona III en base a la clasificación	1 del macizo
rocoso	67
Figura 48. Gráficas de Porosidad y Compacidad	69
Figura 49. Resistencia a la compresión	70

## Indice de Anexos

Anexo Nro. 1. Ubicación del área minera "El Condado"80
Anexo Nro. 2. Geologia Regional
Anexo Nro. 3. Geomorfologia del área minera "El Condado"
Anexo Nro. 4. Ubicación de afloramientos
Anexo Nro. 5. Ubicación de estaciones litológicas interior mina
Anexo Nro. 6. Recolección de muestras para las propiedades índices85
Anexo Nro. 7 Formulario aplicado en la determinación de las propiedades físicas, mecánicas
e hidráulicas de las rocas
Anexo Nro. 8. Formulario aplicado al cálculo de cerchas metálicas: Metodologia de los
arcos hiperestáticos y modulo plástico del elemento
Anexo Nro. 9. Topografía Superficial del Área minera "El Condado" con código 30000934 
Anexo Nro. 10. Topografía Subterránea de la Mina Alonzo Área minera "El Condado"
código 3000093490
Anexo Nro. 11. Descripción de afloramientos
Anexo Nro. 12. Fichas de descripción interior mina94
Anexo Nro. 13. Fichas de descripción de rocas
Anexo Nro. 14. Geologia Local del Área minera "El Condado" con código 3000093496
Anexo Nro. 15. Litología Interior mina de la Mina Alonzo del Nivel 1 de la Veta Negra del
Área minera "El Condado" con código 3000093497
Anexo Nro. 16. Corte Geológico de la Mina Alonzo del Área minera "El Condado" con
código 3000093498
Anexo Nro. 17. Cálculo de las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas de las
rocas
Anexo Nro. 18. Cálculo de la clasificación geomecánica RMR106
Anexo Nro. 19. Clasificación Geomecanica RMR del Nivel 1 de la Veta Negra de la Mina
Alonzo del Área minera "El Condado" con código 30000934111
Anexo Nro. 20. Cálculo de la clasificación geomecánica Q de Barton112
Anexo Nro. 21. Clasificación Geomecanica Q del Nivel 1 de la Veta Negra de la Mina
Alonzo del Área minera "El Condado" con código 30000934115
Anexo Nro. 22. Fichas de la clasificación geomecánica116
Anexo Nro. 23. Clasificación Geomecanica GSI del Nivel 1 de la Veta Negra de la Mina
Alonzo del Área minera "El Condado" con código 30000934120
Anexo Nro. 24. Zonificación Geomecanica del Nivel 1 de la Veta Negra de la Mina Alonzo
del Área minera "El Condado" con código 30000934121
Anexo Nro. 25. Calculo de arcos metálicos122
Anexo Nro. 26. Certificación de traducción del resumen125

## 1. Título

Clasificación geomecánica del macizo rocoso que permite plantear las alternativas de refuerzo y sostenimiento en el nivel 1 de la veta Negra de la mina Alonzo, del área minera El Condado ubicada en la parroquia San Juan de Cerro Azul, Cantón Atahualpa, Provincia de El Oro

#### 2. Resumen

El presente trabajo de investigación se realizó en la parroquia San Juan de Cerro Azul, Cantón Atahualpa, Provincia de El Oro, en el área minera El Condado código 30000934, cuyo objetivo se encuentra enfocado en la clasificación geomecánica el macizo rocoso a fin de plantear las alternativas de refuerzo y sostenimiento en el nivel 1 de la galería veta Negra de la mina Alonzo, el desarrollo de la presente investigación se realizó en base a una análisis cualitativo y cuantitativo que permitió la recolección de la información e interpretación, comprendida en fase de campo partiendo desde la recolección de muestras en la galería Veta Negra Nivel 1, la fase de laboratorio que permitió el análisis de las muestras recolectadas y la fase de gabinete donde se realizó la interpretación y redacción de los datos obtenidos.

La concesión El Condado código 30000934 se encuentra dentro de la Formación Saraguro, la mina Alonzo posee una litología de interior mina caracterizada por diorita y andesita, siendo la andesita la litología presente en la galería Veta Negra del Nivel 1 que posee una longitud de 412.08 m y a lo largo de esta se evidencia la presencia de fracturas en las paredes del macizo y una zona de falla. Las propiedades índices del macizo rocoso en el Nivel 1 de la galería Veta Negra presenta variabilidad en las seis muestras recolectadas siendo; el contenido de humedad en rangos variables de 0.26% a 0.61%, el peso específico de 2.75 g/cm<sup>3</sup> a 2.78 g/cm<sup>3</sup>, un coeficiente de absorción de 0.31 a 0.66, su porosidad de rangos de 0.02% y 7.35% y la compacidad de la roca alta, con una resistencia de la roca de 66.01 MPa y 123.50 MPa, cuyo promedio indica una roca de resistencia media.

La clasificación geomecánica mediante la aplicación de los sistemas RMR14, Q de Barton y GSI, permite una correlación y una mejor caracterización y clasificación del macizo, tomando en cuenta características del macizo como; resistencia de la roca, numero de discontinuidades, relleno presente en las aberturas, así como el tamaño de las aberturas, meteorización de las paredes, longitud y distancia entre fracturas y la presencia de agua. Permitiendo correlacionar los valores de los diferentes métodos aplicados y clasificar el macizo en tres zonas; la primera como zona buena de Clase II con Calidad Buena, la segunda clasificada como zona regular de Clase III con Calidad Media y la tercera como zona mala de Clase V con Calidad Mala siendo esta la zona de falla.

Con el objetivo de definir el sostenimiento optimo se tomaron en cuenta las características obtenidas, como son las dimensiones de la galería con un ancho de 1.80 m, alto de 2.10 m y arco de 0.30 m, las propiedades índices, las características y clasificación geomecánica, determinando tres zonas, estas definidas como buena, regular y mala.

Definiendo que la mejor opción es la aplicación de pernos y malla con una capa de hormigón lanzado y el uso de cerchas respectivamente.

**Palabras clave:** Minería subterránea, macizo rocoso, caracterización geomecánica, clasificación geomecánica, sostenimiento

#### Abstract

This research work was carried out in the parish of San Juan de Cerro Azul, Canton Atahualpa, Province of El Oro, in the mining area El Condado code 30000934, whose objective is focused on the geomechanical classification of the rock mass in order to propose alternatives for reinforcement and support at level 1 of the Veta Negra gallery of the Alonzo mine, The development of this research was carried out based on a qualitative and quantitative analysis that allowed the collection of information and interpretation, including the field phase starting from the collection of samples in the Veta Negra Level 1 gallery, the laboratory phase that allowed the analysis of the samples collected and the office phase where the interpretation and writing of the data obtained was carried out. The El Condado concession code 30000934 is located within the Saraguro Formation, the Alonzo mine has an interior mine lithology characterized by diorite and andesite, being the andesite the lithology present in the Veta Negra gallery of Level 1 which has a length of 412.08 m and along this there is evidence of the presence of fractures in the walls of the massif and a fault zone. The index properties of the rock massif in Level 1 of the Veta Negra gallery show variability in the six samples collected, being the moisture content in variable ranges from 0.26% to 0.61%, the specific gravity from 2.75 g/cm3 to 2.78 g/cm3, a specific gravity of 2.75 g/cm3 to 2.78 g/cm3, a specific gravity of 2.75 g/cm3 and a specific gravity of 2.78 g/cm3. 78 g/cm3, an absorption coefficient of 0.31 to 0.66, its porosity ranges from 0.02% and 7.35% and the compactness of the rock high, with a rock strength of 66.01 MPa and 123.50 MPa, whose average indicates a rock of medium strength. The geomechanical classification through the application of the RMR14, Barton's Q and GSI systems, allows a correlation and a better characterization and classification of the massif, taking into account characteristics of the massif such as; rock strength, number of discontinuities, filling present in the openings, as well as the size of the openings, weathering of the walls, length and distance between fractures and the presence of water. Allowing to correlate the values of the different methods applied and classify the massif in three zones; the first as a good zone of Class II with Good Quality, the second classified as a regular zone of Class III with Medium Quality and the third as a bad zone of Class V with Bad Quality, being this the fault zone.

With the objective of defining the optimum support, the characteristics obtained were taken into account, such as the dimensions of the gallery with a width of 1.80 m, height of 2.10 m and arch of 0.30 m, the index properties, the characteristics and geomechanical classification, determining three zones, these defined as good, regular and bad. Defining that

the best option is the application of bolts and mesh with a layer of shotcrete and the use of trusses respectively.

**Key words:** Underground mining, rock mass, geomechanical characterization, geomechanical classification, support.

#### 3. Introducción

Según el Laboratorio Oficial J. M. Madrigal (2015, p.2), "la minería desde tiempos remotos es una actividad de progreso económico". El ser humando se ha beneficiado de la extracción de recursos mineros, que permite el desarrollo.

Según Giraldo y Badillo (2015) "en toda industria de excavación en roca, existe una preocupación latente y permanente de evitar los accidentes"(p.2). El autor menciona que a certeza no se conocen los factores de mayor incidencia.

La geomecánica es una disciplina que ha adquirido avances significativos en los últimos tiempos, siendo principio científico de la ingeniería minera, en contraste a la ingeniería civil, contempla sus propias características, como los beneficios económicos y los márgenes de seguridad estrechos, lo que da lugar a problemas de diseño únicos asociados a la extracción minera (Mendoza, 2016 como se citó en Barreda, 2022).

La caracterización geomecánica aplicada a los cuerpos rocosos se basa de una clasificación en base a variables y características obtenidas mediante la observación y evaluación del macizo, con la finalidad de determinar el sostenimiento (Palmstrom, 1998 como se citó en Cartaya, 2006).

En este contexto, la investigación del presente proyecto permite la obtención de conocimientos valiosos, de acuerdo con el análisis de la información recolectada, la correcta selección del sistema de sostenimiento permite una mayor seguridad y garantiza una mayor estabilidad, así como la prevención de accidentes, por ello es importante conocer y comprender las características y el comportamiento del macizo rocoso.

La clasificación geomecánica en el nivel 1 de la veta Negra de la mina Alonso del área minera El Condado código 30000934 ubicada en la parroquia San Juan de Cerro Azul, Cantón Atahualpa, Provincia de El Oro, plantea el desafío de determinar el adecuado sostenimiento en base a las características geomecánicas del macizo rocoso. Esta tarea es compleja debido a la naturaleza irregular del macizo rocoso, que se presenta como un conjunto ensamblado de bloques irregulares separados por discontinuidades geológicas como fracturas y zonas de falla.

Esta investigación se enfoca en la determinación de las características geomecánicas del cuerpo rocoso a fin de efectuar una clasificación geomecánica para la determinación del sistema de sostenimiento más efectivo en el nivel 1 de la veta Negra el cual presenta problemas de estabilidad producto de la presencia de fracturas y zonas de falla que se encuentran presentes en el macizo, por ello se planteó los siguientes objetivos:

## Objetivos

## **Objetivo general**

 Clasificar geomecánicamente el macizo rocoso que permite plantear las alternativas de refuerzo y sostenimiento en el nivel 1 de la veta Negra de la mina Alonzo, del área minera El Condado ubicada en la parroquia San Juan de Cerro Azul, Cantón Atahualpa, Provincia de El Oro

## **Objetivos específicos**

- Determinar las propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso en el nivel 1 de la veta Negra de la mina Alonzo, Provincia de El Oro
- Clasificar geomecánicamente el macizo rocoso del nivel 1 de la veta Negra mediante la aplicación de los métodos de RMR 2014, Q de Barton Y GSI
- Definir el sostenimiento en función de la clasificación geomecánica del macizo rocoso en el nivel 1 de la veta Negra de la mina Alonzo, Provincia de El Oro

#### 4. Marco Teórico

#### 4.1. Topografía

De acuerdo con Machado (2022) "algunos autores definen la Topografía, resumiendo y uniendo pensamientos, como el estudio de una porción del terreno y sus elementos, sin tener en cuenta la curvatura de la Tierra" (p.11).

"El levantamiento topográfico es un tipo de trabajo que tiene como objetivo recolectar datos y elementos del campo, representados de manera ortogonal, en escala, en papel o gráfico, con el fin de estudiar, analizar y realizar cambios" (Machado, 2022, p.16).

"En Topografía, para realizar su trabajo, es necesario utilizar equipos para medir, ubicar, posicionar y determinar el terreno" (Machado, 2022, p.19).

#### 4.2. Características de las rocas

Bowen y Schairer (1956) citado por Orozco et al (2014) "una roca se define como a la asociación de varios minerales originados en forma natural por procesos geológicos, se pueden clasificar según su origen: las rocas ígneas, las rocas sedimentarias y las metamórficas" (p.5).

#### 4.2.1. Rocas ígneas

Para Williams, et al. (1982) citado por Orozco et al (2014) "las rocas ígneas se forman por el enfriamiento y la solidificación de material fundido, magma, proveniente del interior de la Tierra" (p.5). Estas a su vez se las clasifica en plutónicas y volcánicas.

#### 4.2.2. Rocas sedimentarias

Para Orozco et al. (2014) "las rocas sedimentarias se pueden formar por la acumulación de sedimentos y partículas, que se forman por la meteorización de otras rocas, ya sean ígneas, metamórficas u otras sedimentarias" (p.6). El autor explica que debido a esta acumulación de materia orgánica sumada a otras sustancias permiten la formación de estas.

#### 4.2.3. Rocas metamórficas

Como lo menciona Orozco et al (2014):

Se conoce como rocas metamórficas a aquellas que por efectos como la presión y temperatura producto de la profundidad a la que se encuentran a diferencia de los otros tipos de roca existentes han sufrido grandes cambios en su estructura y mineralogía, así como cambios físicos y químicos producto de elevada presión y temperatura a la que están expuestos (p.6).

#### 4.3. Mecánica de Rocas

Gonzalez de Vallejo et al (2002) "la mecánica de rocas se ocupa del estudio teórico y práctico de las propiedades y comportamiento mecánico de los materiales rocosos, y de su

respuesta ante la acción de fuerzas aplicadas en su entorno físico" (p. 118).

La aplicación de esta ciencia surge de la necesidad de conocer la geología para obras a cielo abierto como subterráneas.

La realización de estos ensayos permite definir las propiedades de la matriz rocosa siendo estas físicas y mecánicas que nos permitirán definir el comportamiento.

Estos ensayos según González de Vallejo et al. (2002) son:

- "La naturaleza de la roca.
- La resistencia ante la rotura.
- La deformación a corto y largo plazo.
- La influencia del agua en el comportamiento.
- El comportamiento ante la meteorización.
- El comportamiento en función del tiempo" (p.121).

#### 4.4. Propiedades de la matriz rocosa

#### 4.4.1. Propiedades físicas

Para González de Vallejo et al., (2002) "las propiedades físicas de las rocas son el resultado de su composición mineralógica, fábrica e historia geológica, deformacional y ambiental, incluyendo los procesos de alteración y meteorización" (p. 126).

Estas propiedades son determinadas en laboratorio, González de Vallejo et al. (2002) menciona las siguientes:

#### Contenido de humedad

$$C.H = \frac{w - w_{\text{seco}}}{w_{\text{seco}}} * 100 (1)$$

Peso específico aparente:

$$\rho a = \frac{W_{seco}}{W_{saturado} - W_{sumergido}} * \rho w \quad (2)$$

Peso específico real:

$$\rho r = \frac{w_{\text{pulverizado}}}{\left(w_2 + w_{\text{pulverizado}}\right) - w_1} * \rho w \quad (3)$$

Coeficiente de absorción:

$$\mathbf{c_{abs}} = \frac{\mathbf{w_{saturado}} - \mathbf{w_{seco}}}{\mathbf{w_{seco}}} * 100 \quad (\mathbf{4})$$

#### 4.4.2. Propiedades Mecánicas

La caracterización de las propiedades mecánicas se puede abordar desde el punto de vista estático y dinámico. La resistencia de las rocas se puede cuantificar por la medida de su resistencia a la rotura mediante ensayos de compresión. (Benavente et al., 2004)

• Resistencia a la comprensión simple

#### 4.4.3. Propiedades Hidráulicas

Para Rojas, (2011) es necesario conocer la capacidad de fluir y almacenar agua: *Porosidad total:* 

$$\eta = \left(1 - \frac{\rho a}{\rho r}\right) * 100 \quad (5)$$

Compacidad:

$$\mathbf{c} = 100 - \eta \quad \mathbf{(6)}$$

#### 4.5. Macizo Rocoso

La caracterización y descripción de afloramientos en los macizos rocosos es una labor que permitirá el conocimiento de las propiedades y características geomecánicas y geotécnicas del macizo rocoso una parte importante en los estudios de la ingeniería geológica (González de Vallejo et al., 2002, p. 238).

La caracterización en cada zona se debe efectuar de una manera objetiva en la que se toman en cuenta características del macizo como lo son el estado en el que se encuentra el macizo, las discontinuidades presentes y el macizo sumado a los factores externos a los que se encuentra expuesto (González de Vallejo et al, 2002, p. 238).

#### 4.6. Caracterización de la matriz rocosa

Los aspectos por tomarse en cuenta en campo según González de Vallejo et al (2002) son:

#### 4.6.1. Identificación

La identificación in situ de la roca se basa en su composición, así como en la textura que presenta, sumado a la presencia de minerales, las características genéticas y composición (González de Vallejo et al, 2002, p. 242).

#### 4.6.2. Meteorización

Para González de Vallejo et al (2002, p. 244) "el grado de meteorización de la roca es una observación importante en cuanto que condiciona de forma definitiva sus propiedades mecánicas".

La meteorización en el macizo aumentara según sus factores como es por la permeabilidad que presente, la porosidad de la roca o la facilidad a la deformabilidad lo que va a generar una disminución en la resistencia (González de Vallejo et al, 2002, p. 244).

#### 4.6.3. Resistencia

Para González de Vallejo et al (2002, p. 245) "la resistencia de la matriz rocosa puede ser estimada en el afloramiento mediante índices de campo o a partir de correlaciones con datos proporcionados por sencillos ensayos de campo". Lo que permitirá determinar la resistencia de la roca en el macizo.

#### 4.7. Descripción de discontinuidades

Según González de Vallejo et al, (2002) las discontinuidades condicionan de una forma definitiva las propiedades y el comportamiento resistente, deformacional e hidráulico de los macizos rocosos, estos son:

- Orientación
- Espaciado
- Continuidad o persistencia
- Rugosidad
- Resistencia de las paredes
- Abertura
- Relleno
- Filtraciones.



Figura 1. Características de las discontinuidades

Nota. Adaptado de Hudson (1969)

#### 4.7.1. Orientación

La orientación en las familias se presenta en las discontinuidades con características homogéneas, espacio y orientación de las familias presentes en el macizo y que forman el bloque del macizo (González de Vallejo et al, 2002, p. 246).

#### 4.7.2. Espaciado

La distancia que existe en los planos de discontinuidades se denomina espaciado y es el que va a determinar el tamaño de los bloques que se encuentran presente en el macizo, también definirá el comportamiento pues posee influencia con respecto a las discontinuidades (González de Vallejo et al, 2002, p. 248).

#### 4.7.3. Continuidad

Para González de Vallejo et al (2002, p. 250) "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".

#### 4.7.4. Rugosidad

La rugosidad va a permitir realizar una evaluación de la resistencia al corte de los planos que presente el macizo rocoso (González de Vallejo et al, 2002, p. 250)

#### 4.7.5. Resistencia de las paredes de la discontinuidad

Cuando se observan discontinuidades sin alteración la resistencia va a ser la misma en todo el macizo producto de que los procesos de alteración como meteorización afectan los planos de discontinuidad que afectan a la resistencia del macizo (González de Vallejo et al, 2002, p. 252).

#### 4.7.6. Abertura

La distancia perpendicular de las paredes en una discontinuidad es la abertura entre las discontinuidades cuando en esta no existe presencia de relleno, este en el macizo puede ser variable (González de Vallejo et al, 2002, p. 253).

#### 4.7.7. Relleno

Entre las discontinuidades puede existir la presencia de rellenos producto de la naturaleza y estas a su vez con propiedades variables según sea su naturaleza de origen (González de Vallejo et al, 2002, p. 253).

#### 4.7.8. Filtraciones

Las filtraciones en interior mina son producto de flujos que se mueve a través de las discontinuidades o fracturas del macizo que se filtra a través del macizo (González de Vallejo et al, 2002, p. 255).

#### 4.8. Clasificación geomecánica

Ramírez y Monge (2004) consideran "los sistemas de clasificación de los macizos rocosos tienen por objeto evaluar sus características para determinar de forma cuantitativa su calidad". Tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Caracteres geomecánicos de las discontinuidades: continuidad, rugosidad, separación y resistencia de los labios, meteorización y relleno.
- Condiciones del agua en las juntas.
- Tensiones in situ, naturales o inducidas.
- Resistencia y comportamiento de la roca.
- Familias de discontinuidades existentes.
- Espaciado de los planos de discontinuidad y fracturación del macizo.
- Alteraciones producidas en el macizo rocoso por las excavaciones

De acuerdo con Ramírez y Monge (2004), las clasificaciones más importantes son las siguientes:

#### 4.8.1. RMR 2014

Celada et al (2014) el RMR clasifica los macizos rocosos de 0 a 100 puntos, valorando cinco parámetros; de acuerdo con los criterios presentados en la Tabla 1. **Tabla 1.** Criterios de Clasificación RMR

	Resistencia de la	Ensayo carga puntual	>10	104	42	21	Compr	resion Simple	e (MPa)
1	matriz rocosa	Compresion Simple	>250	250100	10050	5025	255	51	<1
	Puntua	acion	15	12	7	4	2	1	0
2	RQ	D	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%		<25%	
2	Puntuacion		20	17	13	6		3	
2	Separacion en	tre diaclasas	>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.006-0.2m	<0.006m		
5	Puntua	cion	20	15	10	8		5	
		Longuitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m		>20m	
		Puntuacion	6	4	2	1		0	
	qee	Abertura	Nada	<0.1mm	0.1-1.0mm	1-5mm		>5mm	
	lida	Puntuacion	6	5	3	1		0	
	Estado de las discontinu	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulado	Suave		
4		Puntuacion	6	5	3	1	0		
-		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando<5mm	Relleno blando >5mm		5mm
		Puntuacion	6	4	2	1		0	
		Alteracion	Inalterada	Ligeramente altearada	Moderadamente alterada	Muy alterada	]	Descompuest	a
		Puntuacion	6	5	3	1		0	
		Cudal por 10 m de tunel	Nulo	<10 litros/min	10-15 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min		n
5	Agua freatica	Relacion: Presion de agua/tension principal mayor	0	00.1	0.10.2	0.20.5		>0.5	
		Estado general	Seco	Ligeramente humedo	Humedo	Goteando	1	Agua fluyendo	D
	Puntuacion		15	10	7	4		0	

Nota. Adaptado de Celada et al. (2014)

En el RMR actualizado, que se denomina RMR14, se han revisado los criterios para calcular el RMRb y éste se corrige con dos nuevos factores (Celada et al, 2014).

De acuerdo con esto, el RMR actualizado se calcula mediante la expresión:

$$\mathbf{RMR} = (\mathbf{RMRb} + \mathbf{Fo}) \bullet \mathbf{Fe} \bullet \mathbf{Fs} \qquad (7)$$

Donde:

 $RMR_b$  = RMR básico del macizo rocoso, sin corregir por la orientación del túnel.

 $F_o$ : factor que considera la orientación del eje del túnel respecto a la familia de discontinuidades más importantes del terreno.

 $F_e$ : factor que considera el mejor comportamiento del terreno cuan- do se excava con tuneladoras.

 $F_s$ : factor que considera el efecto de la plastificación del terreno en el frente del túnel.

#### Cálculo del RMR<sub>14</sub>

En la tabla siguiente se presentan los criterios para calcular los cinco parámetros que integran el RMR14, sin corregir el efecto de orientación del eje del túnel respecto a las discontinuidades, de la influencia de la plastificación del frente y sin tener en cuenta la posible excavación con tuneladoras (Celada et al, 2014).

Tabla 2. Criterios para el cálculo de RMR14



Nota. Adaptado de Celada et al. (2014)

En base al índice RMR se puede clasificar el sostenimiento según la calidad del macizo rocoso según la tabla siguiente (Bieniawski, 1989).

Tabla 3. Calidad de los macizos rocosos RMR

	Puntuacion	(81100)	(6180)	(4160)	(2140)	(<20)
Clasificacion	Clase	Tipo l	Tipo ll	Tipo lll	Tipo IV	Tipo V
	Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala

Nota: Adaptado de Bieniawski (1989)

#### 4.8.2. *Q* de Barton

Q es calculado mediante la siguiente expresión:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF} \quad (8)$$

Donde:

RQD= Designación de calidad de roca (Deere, 1963)

 $J_n$  = Relacionado con los conjuntos de juntas en el suelo.

 $J_r$  = Asociado a la rugosidad de las juntas

 $J_a$  = Relacionado con el grado de alteración a lo largo de las articulaciones

 $J_w$  = Factor de reducción por presencia de agua en las juntas

SRF= Factor de reducción de tensiones debido al nivel del campo de tensiones in situ

En las siguientes tablas se muestra la descripción y clasificación a cada variable.

Tabla 4. Descripción J<sub>n</sub>

Descr	iþtion	Rating	Observations
A.	Massive, no or few joints	0.5-1.0	Note:
В.	One joint set	2	(i) For intersections use $(2.0 \times I)$
C.	One joint set plus random	3	(ii) For portals use $(2.0 \times I)$
D.	Two joint sets	4	(ii) For portais use $(2.0 \times j_n)$
E.	Two joint sets plus random	6	
F.	Three joint sets	9	
G.	Three joint sets plus random	12	
Н.	Four or more joint sets, random, heavily jointed, "sugar cube", etc.	15	
J.	Crushed rock, earthlike	20	

Nota. Adaptado de Barton et al. (1974)

#### Tabla 5. Descripción J<sub>r</sub>

Description		Rating	Observations		
	<ul><li>(a) Rock wall contact and</li><li>(b) Rock wall contact before 10 cm shear</li></ul>		Note: (i) Add 1.0 if the mean spacing of the relevant joint set is greater		
А.	Discontinuous joints	4	than 3 m		
В.	Rough or irregular, undulating	3	(ii) $I_{-}=0.5$ can be used for planar		
C.	Smooth, undulating	2	slickensided joints having		
D.	Slickensided, undulating	1.5	lineations, provided the		
E.	Rough or irregular, planar	1.5	lineations are favourably		
F.	Smooth, planar	1.0	orientated		
G.	Slickensided, planar	0.5			
	(c) No rock wall contact when sheared				
H.	Zone containing clay minerals thick enough to prevent rock wall contact	1.0 (nominal)			
J.	Sandy, gravelly or crushed zone thick enough to prevent rock wall contact	1.0 (nominal)			

Nota. Adaptado de Barton et al. (1974)

## Tabla 6. Descripción SRF

Description	Rating	Observations	
(a) Weakness zones intersecting excavation, which may cause loosening of rock mass when tunnel is excavated		Note: (i) Reduce these values of SRF	
A. Multiple occurrences of weakness zones containing clay or chemically disintegrated rock, very loose surrounding rock (any depth)		by 25–50% if the relevant shear zones only influence but do not intersect the	
B. Single weakness zones containing clay, or chemically disintegrated rock (depth of excavation $\leq$ 50m)	5.0	excavation	
C. Single weakness zones containing clay, or chemically disintegrated rock (depth of excavation > 50 m)	2.5		
D. Multiple shear zones in competent rock (clay free), loose surrounding rock (any depth)	7.5		
E. Single shear zones in competent rock (clay free) (depth of excavation $\leq 50 \text{m}$ )	5.0		
F. Single shear zones in competent rock (clay free) (depth of excavation $>$ 50 m)	2.5		
G. Loose open joints, heavily jointed or "sugar cube" etc. (any depth)	5.0		
(b) Competent rock, rock stress problems $\sigma_c/\sigma_1 \sigma_t/\sigma_1$		(ii) For strongly anisotropic	
H. Low stress, near surface >200 >13	2.5	stress field (if measured):	
J. Medium stress 200–10 13–0.66	1.0	when $5 \leq \sigma_1 / \sigma_3 \leq 10$ ,	
K. High stress, very right structure (Usually favorable to stability, may be unfavorable to wall stability) 10–5 0.66–0.33	0.5–2.0	reduce $\sigma_c$ and $\sigma_t$ to 0.8 $\sigma_c$ and 0.8 $\sigma_c$ ; when $\sigma_1/\sigma_3 > 10$ , reduce $\sigma_c$ and $\sigma_c$ to 0.6 $\sigma_c$	
L. Mild rock burst (massive rock) 5–25 0.33–0.16	5-10	and 0.6 $\sigma$ , where:	
M. Heavy rock burst (massive rock) <2.5 <0.16	10–20	$\sigma_c$ = unconfined compression strength, $\sigma_t$ = tensile strength (point load), $\sigma_1$ and $\sigma_3$ = major and minor principal stresses	
(c) Squeezing rock; plastic flow of incompetent rock under the influence of high rock pressures		<ul> <li>(iii) Few case records available where depth of crown</li> </ul>	
N. Mild squeezing rock pressure	5-10	below surface is less than	
O. Heavy squeezing rock pressure	10-20	span width. Suggest SRF	
(d) Swelling rock; chemical swelling activity depending on presence of water		such cases (see H)	
P. Mild swelling rock pressure	5-10		
R. Heavy swelling rock pressure	10-15		

Nota. Adaptado de Barton et al. (1974)

## Tabla 7. Descripción J<sub>a</sub>

Descrip	tion	Rating	Observations
	(a) Rock wall contact		
A.	Tightly healed, hard, non-softening, impermeable filling i.e., quartz or epidote	0.75	
В.	Unaltered joint walls, surface staining only	1.0	
C.	Slightly altered joint walls. Non-softening mineral coatings, sandy particles, clay-free disintegrated rock etc.	2.0	
D.	Silty-, or sandy-clay coatings, small clay-fraction (non-softening)	3.0	
E.	Softening or low friction clay mineral coatings, i.e., kaolinite, mica. Also chlorite, talc, gypsum and graphite etc., and small quantities of swelling clays. (Discontinuous coatings, 1–2 mm or less in thickness)	4.0 (8°–16°)	Note: (i) Values of $(\phi)$ , are intended as an approximate guide to the mincralogical properties of the alteration products, if present
	(b) Rock wall contact before 10 cms shear		
F.	Sandy particles, clay-free disintegrated rock etc.	4.0 (25°-30°)	
G.	Strongly over-consolidated, non-softening clay mineral fillings (Continuous, < 5 mm in thickness)	6.0 (16°–24°)	
Н.	Medium or low over-consolidation, softening, clay mineral fillings. (Continuous, <5 mm in thickness)	8.0 (12°–16°)	
J.	Swelling clay fillings, i.e., mont-morillonite (Continuous, <5 mm in thickness). Value of $J_a$ depends on percent of swelling clay-size particles, and access to water etc. (c) No rock wall contact when sheared	8.0–12.0 (6°–12°)	
K,L,M.	Zones or bands of disintegrated or crushed rock and clay (see G, H, J for description of clay condition)	6.0, 8.0 (6°–24°) or 8.0–12.0	
N.	Zones or bands of silty- or sandy clay, small clay fraction (non-softening)	5.0	
O,P,R.	Thick, continuous zones or bands of clay (see G, H, J for description of clay condition)	10.0, 13.0 (6°–24°) or 13.0–20.0	

Nota. Adaptado de Barton et al. (1974)

Desc	ription	Rating		Observations
A.	Dry excavations or minor inflow i.e., <5 1/min. locally	1.0	<1	Note: (i) Factors C to F are crude estimates. Increase J <sub>w</sub> if drainage measures are installed (ii) Special problems caused by ice formation are not considered
В.	Medium inflow or pressure occasional outwash of joint fillings	0.66	1.0–2.5	
C.	Large inflow or high pressure in competent rock with unfilled joints	0.5	2.5-10.0	
D.	Large inflow or high pressure, considerable outwash of joint fillings	0.33	2.5-10.0	
E.	Exceptionally high inflow or water pressure at blasting, decaying with time	0.2–0.1	>10.0	
F.	Exceptionally high inflow or water pressure continuing without noticeable decay	0.1-0.05	>10.0	

#### Tabla 8. Descripción J<sub>w</sub>

Nota. Adaptado de Barton et al. (1974)

En base a este valor en la siguiente tabla (Barton, 1992), se determina el tipo de roca.

Tabla 9.	Clasificación	de la calidad	de los macizos	s rocosos según (	) de Barton
----------	---------------	---------------	----------------	-------------------	-------------

DESCRIPCIÓN	Q
EXCEPCIONALMENTE BUENA	1000-400
EXTREMADAMENTE BUENA	400-100
MUY BUENA	100-40
BUENA	40-10
REGULAR	10-4
POBRE	4-1
MUY BOBRE	1-0,1
EXTREMADAMENTE POBRE	0,1-0,01
EXCEPCIONALMENTE POBRE	0,01-0,001

Nota. Adaptado de Barton et al. (1974)

#### 4.8.3. Clasificación GSI

Ramírez y Monge (2004) "la clasificación GSI se basa en una observación cuidadosa del macizo rocoso y, por consiguiente, es esencialmente cualitativa". Lo que va a permitir que este índice tome en cuenta la estructura y características geomecánicas a partir de un examen visual.

La aplicación del método combina el comportamiento que existe en el macizo rocoso influidos por las fracturas y su resistencia producto de las discontinuidades presentes (Ramírez y Monge, 2004).

Tabla 10. Criterios de Clasificación GSI





Para un GSI>25 (macizos de media a muy buena calidad) y un GSI<25 (macizos de mala a muy mala calidad)

#### 4.9. Sostenimiento de macizos rocosos

El sostenimiento en roca es el término empleado para describir los procedimientos y los materiales utilizados para mejorar la estabilidad y mantener la capacidad portante de la roca circundante a una excavación subterránea (Pérez, 2021).

Para Alcántara et al. (2018) "el sostenimiento aplicado a la construcción de un túnel sirve para evitar el desprendimiento de rocas, que las labores de perforación y voladura sean seguras" (p. 10). Esto permite una mayor seguridad en los equipos como en la vida de las personas.

#### 4.9.1. Clasificación de sostenimiento

El sostenimiento según Milagros y Amado (2022) los podemos clasificar en:

**Sostenimientos pasivos:** actúan sobre la superficie o la excavación, exigiendo el movimiento de la roca o descomponga para comenzar a actuar como soporte.

**Sostenimientos activos:** actúan dentro del macizo rocoso; tienen la capacidad de reforzamiento inmediatamente después de su instalación.

#### 4.9.2. Tipos de sostenimiento

**Sostenimiento con entibación metálica**: el sostenimiento con acero posee ventajas resistentes con respecto a la tracción que existe en el macizo, así como a la comprensión, implicando un sistema de sostenimiento viable a colocar cuando existe la presencia de tensiones (Milagros y Amado, 2021).



Figura 2. Cuadros metálicos

Nota. Tomado de Inproobras (s.f.)

**Sostenimiento con bulones o pernos de anclaje:** la aplicación de bulones para el sostenimiento se basa en la sujeción de una barra dentro de la roca para proporcionar resistencia a la tracción que permite la sostenibilidad al macizo (Milagros y Amado, 2021).





Nota: Tomado de Claros (2013)

**Refuerzo con malla metálica:** esta se encuentra conformada por rollo o paneles y es fabricada con cero, esta malla electrosoldada se encuentra sujeta a la capa de cemento previamente proyectado o ala roca dependiendo del tipo de sostenimiento con el fin de generar un sostenimiento (Milagros y Amado, 2021).

## 5. Metodología

## 5.1.Información del área de estudio

#### 5.1.1. Datos Generales

El área minera "El Condado" con código 30000934, se encuentra ubicada en la parroquia San Juan de Cerro Azul, Cantón Atahualpa, Provincia de El Oro, geográficamente el área de estudio cuenta con una superficie de 279 hectáreas.

 Tabla 11. Coordenadas U.T.M de la ubicación de la Concesión Minera El Condado

CONCES	SIÓN MINERA	"El Condado"	
CODIGO		30000934	
PRO	OVINCIA	El Oro	
С	ANTÓN	Atahualpa	
PAF	RROQUIA	San Juan de Cerro Azul	
DUNTO		PSAD 56	
runio	LONGITUD X	LATITUD Y	
1	640200	9611600	
2	640200	9611400	
3	640300	9611400	
4	640300	9611300	
5	640400	9611300	
6	640400	9611200	
7	640500	9611200	
8	640700	9611200	
9	640700	9611100	
10	641000	9611100	
11	641000	9610600	
12	638500	9610600	
13	638500	9610800	
14	638000	9610800	
15	638000	9613500	
16	638600	9613500	
17	638600	9613900	
18	638700	9613900	
19	638700	9613200	
20	638200	9613200	
21	638200	9611400	
22	640000	9611400	
23	640000	9611600	
24	640200	9611600	



Figura 4. Mapa de ubicación geográfica del área minera "El Condado"

#### 5.1.3. Acceso

Para acceder al área de estudio se parte desde Quito, el acceso se lo realiza vía terrestre, saliendo de la ciudad de Quito hacia la vía Panamericana-Troncal de la Sierra, se continua hacia el Triunfo hasta avanzar a la Troncal de la Costa dirección al Oro y seguir la E585 hasta llegar al área de estudio, con una duración de 9 horas y 56 minutos, con una distancia de 572 km.



Figura 5. Ruta de acceso por vía terrestre desde Quito al área de estudio Nota: Tomado de Google Maps (2024)

#### 5.1.4. Geología Regional

La geología en la que se encuentra la concesión El Condado según la carta Geológica Santa Rosa escala 1:100 000, corresponde a una sola formación caracterizada por:

Rocas metasedimentarias pertenecientes a la era Paleozoica del Grupo Tahuín, estas tectónicamente asociados al Complejo Granitoide Moromoro y Complejo Máfico Piedras, de edad Triásica (Ruilova, 2020).

Como detalla Ruilova (2020):

Al norte de la falla La Palma-El Guayabo se describen bloques metamórficos Triásicos de diferente magnitud englobados en una matriz de la denominada División Melange Palenque. Este basamento metamórfico está cubierto discordantemente por el volcanismo continental calcoalcalino, representado por rocas del Grupo Saraguro del Oligoceno Tardío al Mioceno Temprano y volcánicos recientes.

**Formación Célica (Kc):** (Mesozoico-Cretácico) conformado por lavas andesíticas porfiríticas, tobas de cristales y líticas, pequeñas secuencias de sedimentos siliciclasticos finos intercalados entre los depósitos andesíticos (Kennerley, 1973).

La formación Célica se conforma principalmente por lavas afaníticas de composición andesítica de coloración verdosa, andesitas porfídicas con fenocristales de plagioclasas, piroxeno, hornablenda y biotita (Kennerley, 1973).



GEOLOGÍA REGIONAL ÁREA MINERA EL CONDADO

Figura 6. Geología Regional del Área Minera El Condado

#### 5.1.5. Geomorfología

La geomorfología del área de estudio se caracteriza por la presencia de relieves montañosos, con laderas y terrenos accidentados con fuertes pendientes, como se observa en la Figura 7.





Figura 7. Mapa Geomorfológico del Área Minera El Condado

## **5.2.** Materiales y equipos

A dar cumplimiento los objetivos propuestos se utilizaron herramientas, equipos y softwares basados a la actividad a cumplir.

 Tabla 12. Herramientas, equipos y softwares

Material de campo	Material de laboratorio	Material de oficina
EPP	Picnómetro	Hoja geológica de Santa Rosa escala 1:100 000
Cinta	Tamiz	ArcGIS 10.5
Brújula	Taras y recipientes	AutoCAD 2021
Martillo geológico	Balanza	Paquete Office 2018
GPS	Vaso de precipitación	
Lupa	Horno de secado	
Spray	Embudo	
Fundas de muestreo	Agua destilada	
Libreta de campo	Porrón	
Estación		
### 5.3. Metodología General

#### 5.3.1. Metodología del primero objetivo

# Determinar las propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso en el nivel 1 de la veta Negra de la mina Alonzo, Provincia de El Oro

La metodología aplicada en el cumplimiento del primer objetivo se basó en actividades de campo, laboratorio y oficina, iniciando con el levantamiento topográfico, posterior se realizó la geología local mediante la descripción de afloramientos y toma de muestras, seguido la descripción litológica en interior mina, donde se procedió a la recolección de muestras y posteriores ensayos de laboratorio donde se determinó las propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso en el nivel 1 de la veta Negra.

**Levantamiento Topográfico:** Con el objetivo de delimitar el área de estudio en el área minera "El Condado" y un levantamiento en la mina "Alonzo", se ejecutó un levantamiento topográfico de la concesión de manera superficial y de manera subterránea mediante el uso de la estación total, donde se tomó como punto base el proporcionado por el área minera que nos permitió realizar la topografía está siendo poligonal abierta en WGS84 Zona 17S.

# • Topografía Superficial

Se llevo a cabo la topografía superficial mediante el uso de la estación total, lo que permitió realizar el levantamiento topográfico del área de estudio.

Se delimito el polígono de estudio, abarcando una superficie de 20 hectáreas, correspondientes al área de trabajo especifica y no de la superficie total de la concesión.

La topografía se la realizo inicialmente en UTM datum WGS84, Zona 17S y posteriormente se convirtió a PSAD56, Zona 17S, con una escala 1:4000 en el cual se detallaron características como son el campamento, áreas de descanso, taller, bodega, polvorín y punto de boca mina, lo que permitió la realización de la topografía interior mina.



Figura 8. Levantamiento topográfico superficial del área delimitada de la concesión el Condado

# • Topografía interior mina

Mediante el uso de la estación total se efectuó la topografía interior mina de la galería principal como la de estudio, se comenzó desde el punto de bocamina y se realizó las proyecciones, se la realizo en el datum WGS84 y posterior se realizó la conversión a PSAD56, mediante poligonal abierta, para posterior ser digitalizado en el programa AutoCAD y obtener el mapa de la topografía subterránea escala 1:2500.



Figura 9. Levantamiento topográfico interior mina de la mina Alonzo

**Caracterización geológica**: Para el desarrollo de la descripción de la geología local del área de estudio, se realizó mediante la descripción de afloramientos, iniciando desde una identificación en campo y posterior descripción macroscópica en el laboratorio.



Figura 10. Caracterización Geológica de los afloramientos y toma de datos estructurales

Se describieron en campo 6 afloramientos, esta información se recolecto en las fichas de campo descripción de afloramientos (Tabla 13) donde se recolecto información como son sus coordenadas, parámetros de su estructura y composición mediante la observación in situ, por lo que se utilizó lupa, brújula y martillo geológico.

IDENTI	FICACIÓN DE AFLORA	MIENTOS EN EL "AREA MINERA EL CONDADO".
Afloramiento	N:	Croquis:
	X	
Coordenadas	Y	
	Z	
Formación		
	Bajo	
Grado de meteorizacion	Medio	
	Alto	
	Arbustos y arboles	Descripción:
	No vegetada	
Uso de terreno:	Pastos	
	Cultivos	
	Residencial	
	Plana	
Pendiente	Inclinada	
	Empinada	

Tabla 13. Ficha de descripción de afloramientos

Las coordenadas de los afloramientos UTM Datum PSAD-56 se observan en la Tabla

14 (Coordenadas de ubicación de los afloramientos).

Tabla 14. Coordenadas de ubicación de los afloramientos

Afloramiento	Х	Y
Afl 001	640385	9611555
Afl 002	640450	9611701
Afl 003	640374	9611283
Afl 004	640055	9611308
Afl 005	639936	9611307
Afl 006	639767	9611110

Los seis afloramientos identificados en el área de estudio se ubicaron en el mapa de ubicación de afloramientos escala 1:4 000 como se observa en la Figura 11, los cuales se encuentran dentro de la Formación Saraguro, en base a la geología regional.





**Litología interior mina:** Se efectuó la caracterización litológica en interior mina mediante la base topográfica subterránea.

Se identifico las litologías presentes y características de la roca del macizo rococo, recolectando 9 muestras a lo largo de la galería, 3 correspondientes a la galería principal y 6 de la galería de estudio.

La información recolectada se completó en las fichas de la Tabla 15 (Ficha de descripción litológica), detallando las características que presentaba en campo y tomando datos estructurales de diaclasas y fallas. La recolección de muestras se realizó mediante el uso de cincel y combo para obtener una muestra representativa y posterior descripción macroscópica.

#### Tabla 15. Ficha de descripción litológica

PROYECTO:							
REALIZADO POR:				ZONA:			
FECHA:		HOJA/PLANO:		LOCALIZ	ACIÓN:		
LITOLOGÍA:				NATURA	LEZA:		
FORMACIONES SUPE	RFICIALES:						
ESTRUCTURA	PLIEGUES		FALLAS		OTROS:	-	
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m3	Muy Grandes <1	Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeños >30	Muy brechificado >60
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Estremadam blanda (Uña)	Muy blanda (Navaja)	Blandas (Punta de martillo)	Media (1 golpe martillo)	Dura (+ 1 golpe martillo)	Muy dura (Varios golpes)	Extremadam Dura (Sólo raya con martillo)
GRADOS DE METEORIZACION	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadame	nte altarada	Muy alterada	Compl meteorizada	Suelo residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco (sin señales de agua)	Húmedo	Goteos	Flujo	CAUDAL ESTIM	ADO:
MUESTRAS:							
			OBSERVAC	IONES:			

Las muestras recolectadas georreferenciadas respecto a la topografía subterránea de la mina Alonzo, permitió realizar un mapa de ubicación de muestras litológicas escala 1:3 000 como se observa en la Figura 12.





La descripción macroscópica se realizó a partir de la toma de muestras en campo de los 6 afloramientos, conjuntamente con las 9 muestras obtenidas en interior mina, las cuales fueron identificadas con el uso del microscopio del laboratorio de Mineralogía de la Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables de la Universidad Nacional de Loja.



Figura 13. Descripción macroscópica de las muestras recolectadas en campo

La información obtenida de las características de la roca como es el color, tamaño de grano, textura y presencia de minerales accesorios, mediante el uso del microscopio se ordenó en la Ficha de laboratorio, como se muestra en la Tabla 16 (Ficha de descripción macroscópica), esto permitió la identificación del tipo de litología de la zona de estudio, con elaborando un mapa de la geología local escala 1:4 000, así como un mapa de geología interior mina escala 1:3 000.

Tabla 16. Ficha de descripción microscópica

	UNIVERSI	DAD NACIONA	AL DE LOJA
	CARRERA	DE INGENIER	ÍAEN MINAS
FICHA	DESCRIPCIO	ÓN LITOLOGI	CA INTERIOR MINA
Responsable			
Tipo de Roca			
Código			
Estación			
Ubioggión de le	Provincia		
Ubicacioli de la	Cantón		
muestra	Parroquia		
		Petrografia	
Roca			
Color			
Tamaño de grano			
Textura			
	Plagioclasas		
Composición	Feldespatos		
	Cuarzo		
Minerales accesorios			

**Toma de muestras:** La recolección de muestras en campo se efectuó mediante la ayuda de un combo y cincel, en cada una de las estaciones definidas en la galería, con la finalidad de obtener una muestra representativa.

Para las propiedades físicas e hidráulicas se tomó una muestra de una cantidad aproximada de 2 kilogramos, posterior a ello las muestras se guardaron en fundas ziploc que permite conservar las propiedades y se codifico cada muestra. Las muestras recolectadas en el nivel 1 de la galería Veta Negra, se tomó por cada estación en total 6, mismas que fueron empleadas para realizar los respectivos análisis.

Para la obtención de las propiedades mecánicas se recolectaron muestras en el nivel 1 de la galería Veta Negra, las muestras se tomaron de los hastiales del macizo rocoso en cada estación, tomando de 3 a 4 muestras por cada estación, obteniendo así un total de 20 muestras en las 6 estaciones las cuales se definieron tomado en cuenta zonas de intersección, meteorización, alteración, dimensiones, presencia de bloques y condiciones hidrogeológicas.

A partir de las muestras tomadas se preparó cubos de 5x5x5 cm para poder realizar los ensayos de compresión simple. En la Figura 14 se muestra los puntos de muestreo para el cálculo de las propiedades índices.



**UBICACIÓN DE MUESTRAS-PROPIEDADES INDICES** 



**Determinación de las propiedades índices:** Mediante la aplicación de la norma ASTM D420 se obtuvo las propiedades físico-mecánicas en el nivel 1 de la galería veta Negra de la mina Alonzo.

# **Propiedades físicas**

El cálculo de las propiedades físicas permitió determinar las características de las muestras de roca recolectadas. Las propiedades determinadas en base a un análisis de laboratorio son:.

- Contenido de humedad
- Peso específico aparente
- Peso específico real
- Coeficiente de absorción



**Figura 15.** Determinación de las propiedades físicas de las rocas, A) Peso de las muestras, B) Secado de las muestras en el horno, C) Poroneo de las muestras, D) Peso del picnómetro.

## • Propiedades Mecánicas

**Resistencia a la compresión simple**: Para la obtención de la resistencia a la compresión simple se aplicó mediante el esclerómetro y el uso de la prensa hidráulica.

El ensayo mediante el esclerómetro se realizó en campo en base a las estaciones geomecánicas definidas, se empleó el esclerómetro tipo L, tomando 20 mediciones por cada estación y obteniendo un valor promedio de las 10 mediciones que presentan mayores valores y así determinar la resistencia a la compresión.



Figura 16. Aplicación del esclerómetro para el cálculo de la resistencia de la matriz rocosa

El ensayo de comprensión simple mediante la prensa hidráulica se realizó mediante el uso de los cubos de 5x5x5cm, los cuales son pesados y medidos para posterior ser colocados en la prensa y realizar el ensayo obteniendo así la resistencia a la compresión.



**Figura 17.** Ensayos mediante la prensa hidráulica, A) Peso de los cubos, B) Medición de los cubos, C) Colocación en la prensa y obtención de datos.

El ensayo de resistencia a la compresión simple se lo realizó en el laboratorio ESTSUELCON donde se efectuaron los ensayos de las 20 muestras.

# • Propiedades Hidráulicas

El cálculo de las propiedades hidráulicas permite caracterizar las muestras de roca recolectadas en cada estación, indicando a partir de su análisis características de la roca como:

- Porosidad total
- Compacidad



**Figura 18.** Cálculo de las propiedades hidráulicas, A) Muestras sumergidas en agua, B) Peso de la muestra saturada, C) Peso de la muestra sumergida en agua.

Las fórmulas que se aplicaron para el cálculo se encuentran en el (**Anexo Nro. 8.** Formulario aplicado en la determinación de las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas de las rocas).

#### 5.3.2. Metodología del segundo objetivo

# Clasificar geomecánicamente el macizo rocoso mediante la aplicación de los métodos de RMR 2014, Q de Barton Y GSI

El segundo objetivo consistió en la clasificación geomecánica del macizo rocoso del nivel 1 de la galería veta Negra, para lo cual se tomó como base el levantamiento topográfico en interior mina, se realizó una observación detallada cada 3 metros de los parámetros como la separación de juntas meteorización y presencia de agua. Definiendo 6 estaciones geomecánicas, las cuales también están definidas en función de los siguientes factores:

- I. **Intersecciones:** Zonas de intersección y conexión con otras galerías o espacios destinados a espacios de seguridad y áreas de descanso.
- II. Meteorización: La meteorización que presentaba cada una de las paredes del macizo rocoso a lo largo de la galería de estudio.
- III. Sobre perforación: Zonas donde las dimensiones de la sección son mayores al resto de la galería.
- IV. Bloques/Cuñas: La presencia de bloques o la formación de cuñas producto del efecto de voladuras.
- **Juntas:** La presencia de juntas por metro cuadrado en las paredes del macizo rocoso a lo largo de la galería.

Los datos que se obtuvo en campo permitieron caracterizar el macizo mediante los métodos RMR 2014, Q de Barton y GSI.

**RMR14:** Se realizó clasificación del macizo rocoso mediante la aplicación de la actualización del RMR<sub>14</sub>,se analiza los siguientes parámetros para la clasificación geomecánica del el macizo en cada estación.

 $RMR_b$  = RMR básico del macizo rocoso, no se toma en cuenta el factor de orientación de las discontinuidades abarcando los siguientes parámetros reflejados en la (Tabla 17. Ficha de clasificación de macizo rocoso RMR14):

- Resistencia de comprensión simple
- Numero de discontinuidades
- Resistencia de las discontinuidades
- Presencia de agua
- Alterabilidad

1	Resistencia de la matriz rocosa						
			Pur	ituacion			
2			Numero de I	Discontinuidades			
			Pur	ituacion			
		Continuidad	<1m	1-3m	3-10m	>10m	
		Puntuacion	5	4	2	0	
	de las dades	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Suave	Superficies de deslizamiento	
i ia c		Puntuacion	5	3	1	0	
5	ntin	Relleno	Relleno duro	Relleno duro	Relleno	Relleno blando	
	Resisi disco		<5mm	>5mm	blando<5mm	>5mm	
		Puntuacion	5	2	2	0	
		Alteracion	Inalterada	Poco Alterado	Muy alterada	Descompuesta	
		Puntuacion	5	3	1	0	
4	Presencia de agua	Seco	Ligeramente humedo	Humedo	Goteando	Agua fluyendo	
	Puntuacion	15	10	7	4	0	
5	Alter	abilidad	>85	60-85	30-60	<30	
5	Pun	tuacion	10	8	4	0	
	Puntuacion	(81100)	(6180)	(4160)	(2140)	(<20)	
Clasificacion	Clase	Tipo l	Tipo ll	Tipo lll	Tipo IV	Tipo V	]
	Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala	

Tabla 17. Ficha de clasificación de macizo rocoso RMR14

 $F_{\theta}$  =Factor de corrección de la orientación del túnel

 $F_e$  =Factor del comportamiento del macizo cuando se realiza la excavación con tuneladoras

 $F_s$  =Factor de plastificación del macizo

Obtenidos estos datos se aplica la siguiente fórmula para obtener la clasificación RMR14.

$$RMR14 = (RMR_b + F_0) * F_e * F_s \qquad (10)$$

**Q de Barton**: Para el cálculo del índice Q, se recolecto información en campo presentes en las (Tablas 3, 4, 5, 6 y 7) presentadas en el marco teórico, que permite definir la clasificación geomecánica y de esta manera obtener el índice Q.

El cálculo del índice Q de obtuvo mediante la siguiente formula:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$
(11)

Donde:

RQD= Designación de calidad de roca

 $J_n$  = Relacionado con los conjuntos de juntas en el suelo

 $J_r$  = Asociado a la rugosidad de las juntas

 $J_a$  = Relacionado con el grado de alteración a lo largo de las articulaciones

 $J_w$  = Factor de reducción por presencia de agua en las juntas

SRF= Factor de reducción de tensiones debido al nivel del campo de tensiones in situ

**GSI:** Con base de la información recolectada en campo para los métodos RMR y Q de Barton se realizó la clasificación para el método GSI

#### 5.3.3. Metodología del tercer objetivo

Definir el sostenimiento en función de la clasificación geomecánica del macizo en el nivel 1 de la veta Negra de la mina Alonzo, Provincia de El Oro

A partir de la clasificación geomecánica realizada y la identificación de zonas en la galería de estudio según la calidad de la roca mediante los sistemas RMR, Q de Barton y GSI, definió el sostenimiento adecuado a ser aplicado en cada zona del nivel 1 de la galería veta Negra, para ello se basó en las clasificación propuesta por Bieniawski, como se observa en la Figura 19.

			Soporte	
Clase	Excavación	Pernos (20 mm, enlechado completo)	Hormigón Proyectado	Arcos de Acero
Muy buena I RMR: 81-100	Frente completa, 3 m de avance	Generalmente no requiere soporte excepto para apernados ocasionales		
Buena II RMR: 61-80	Frente completa, 1-1.5 m de avance, soporte completo a 20 m de la frente	Local, pernos en corona 3 m de largo, espaciados 2.5 m con mallas ocasionales	50 mm en corona donde se requiera	Ninguno
Regular III RMR: 41-60	Cabeceras y bancos 1.5-3 m de avance en cabeceras, comenzar soporte después de cada tronadura, soporte completo a 10 m de la frente	Sistemático, largo 4 m, espaciado 1.5-2 m en corona y murallas con malla en corona	50-100 mm en corona y 30 mm en lados	Ninguno
Pobre IV RMR: 21-40	Cabeceras y bancos 1- 1.5 m de avance en cabeceras. Instalar soporte frecuentemente con excavación a 10 m de la frente	Sistemático, largo 4-5 m, espaciado 1-1.5 m en corona y muralla con malla	100-150 mm en corona y 100 mm en lados	Liviano a medio, espaciados 1.5 m donde se requiera
Muy pobre V RMR: < 21	Múltiples galerías 0.5- 1.5 m de avance en la cabecera, instalar soporte frecuentemente con excavación. Hormigón proyectado tan pronto como se realice tronadura.	Sistemático, largo 5-6 m, espaciado 1-1,5 m en corona y murallas con mallas. Pernos invertidos	150-200 mm en corona, 150 mm en lados y 50 mm en frente	Medio a pesado, espaciado 0.75 m con revestimiento y tubos de acero si es requerido. Cierre invertido



Aplicar únicamente la clasificación geomecánica RMR para definir el sostenimiento a pesar de conocer una clasificación geomecánica por los sistemas Q de Barton y GSI, se encuentra relacionado a las características geomecánicas que toma en cuenta cada método de clasificación. El método RMR toma en cuenta; la resistencia de la roca, RQD, espaciamiento de las discontinuidades, las condiciones que estas presentan, condiciones hidrogeológicas y la orientación de las discontinuidades, a partir de estas características definir una clasificación de la calidad del macizo rocoso y proponiendo el sostenimiento a ser aplicado a partir de estas características. A diferencia del método Q que si bien toma en cuenta; el RQD, la relación de las juntas del suelo, la rugosidad, la alteración que presentan, un factor de reducción por la presencia de agua y un factor de reducción por las tensiones, el sistema de refuerzo a ser aplicado según su clasificación de la calidad del macizo se realiza a partir de una gráfica. El método GSI solo define la clasificación de la calidad de la roca sin embargo no propone un sistema de sostenimiento en base a su clasificación geomecánica.

#### Pernos

. .

La elección del perno de anclaje a usarse se definió en base a un análisis comparativo y multicriterio, tomando en cuenta las características de cada perno, como las características geomecánicas del macizo rocoso, como se observa en la Tabla 18 (Selección de perno de anclaje en base a las características del macizo rocoso). El cual debe cumplir la norma ASTM A615.

2

Tipo de Perno	Descripción	Caracteristicas	Resistencia
Helicoidales	Barra de acero de forma helicoidal, permite una mejor interacción con el macizo.	Gran capacidad de carga. Mejor interacción con el macizo por su forma.	Para macizos rocosos inestables. Mejor eficiencia en terrenos fracturados. Cargas significativas.
Corrugados	De superficie corrugada, mejora la fricción entre el anclaje.	De uso permanente o temporal. Efectivos en condiciones humedas.	Resistencia a la tracción.
Split Set	Barras metálicas, con placa perforada. Se expanden al ser insertadas en el agujero de perforación.	Instalación rápida. Sostenimiento pasivo.	Terrenos fracturados. Sostenimiento rapido y efectivo en rocas altamente fracturadas.

Tabla 18. Selección de perno de anclaje en base a las características del macizo rocoso

. .

-

Seleccionado el perno a usarse se realizó el cálculo de las dimensiones del perno de anclaje en función a las características de la galería, mediante la aplicación de los siguientes parámetros:

- Dimensiones de la galeria:
- Longuitud del anclaje:
- Diametro:

Para el cálculo de las dimensiones del anclaje se cálculo aplicando las siguientes fórmulas:

• Longuitud del anclaje:

$$L = 1.4 + (0.15 * B); m$$
 (12)

Donde:

L=Longuitud del pernos

**B**=Ancho de la galeria

• Diámetro:

#### $\phi = 22 - 28 \text{ mm}$

El diámetro óptimo del perno de anclaje se define a partir de un análisis del estado del macizo rocoso al influir en su capacidad de carga, un diámetro de 22 mm es óptimo para macizos rocosos con RMR>60 y para un RM<60 un diámetro de 28 mm (Geoxnet, 2016).

• Espacio entre pernos: La distancia entre los pernos de anclaje se establece en función de la calidad del macizo rocoso en la clasificación RMR y el sostenimiento propuesto por Bieniawski donde a partir de la calidad en cada estación establece la distacia entre los pernos, definiendo:

2.5 m para calidad de roca buena

1.5 m para calidad de roca regular

#### Hormigón Lanzado

Para el calculo del espesor del hormigón lanzado se aplicaron las siguientes fórmulas donde se determinó en base al índice Q obtenido en cada estación.

• Espesor:

$$tc = \frac{D}{150} * (65 - RSR) \quad (13)$$
  
RSR = 13.3 \* log Q + 46.5 (14)

• Calculo D:

$$\mathbf{D} = \frac{\mathbf{ancho} + \mathbf{alto}}{2} \quad (15)$$

Al tratarse de un hormigón para refuerzo se trata de un hormigón estructural por lo que requiere una resistencia de 300-400 kg/cm<sup>2</sup>, (30 a 40 MPa), que permite garantizar la estabilidad según la norma ASTM C1604

#### **Arcos Metálicos**

Para el cálculo de la elección del perfil que mejor se adapte a la galería se calculó mediante la metodología de los arcos hiperestáticos y cálculo del módulo plástico del elemento, que permitió definir el perfil que resista el módulo de fluencia que debe tener una resistencia de 250 MPa según la Norma ASTM A36. Las fórmulas usadas para el cálculo se encuentran presentes en el (**Anexo Nro. 9.** Formulario aplicado al cálculo de cerchas metálicas: Metodología de los arcos hiperestáticos y módulo plástico del elemento).

#### 6. Resultados

#### 6.1.Resultados del primer objetivo

#### 6.1.1. Topografía

#### 6.1.1.1. **Topografía Superficial**

La concesión se encuentra en un área cuya topografía se caracteriza por un relieve montañoso y de grandes pendientes siendo la cota más alta de 1134 m.s.n.m. en la zona NE y la más baja de 839 m.s.n.m. en la zona SW.

El levantamiento topográfico permite la identificación del punto de bocamina de la mina Alonzo, con coordenadas X:639680.796 Y:9611213.04 y la presencia de infraestructura que permite el desarrollo de las labores mineras conformada por: campamento, zona de descanso, bodega, área de combustibles, polvorín, taller, garaje. Figura 20 (Mapa Topográfico del Área minera "El Condado" código 30000934).



Topografía Superficial del Área minera "El Condado" 30000934

Figura 20. Topografía Superficial del Área minera "El Condado" con código 30000934

#### 6.1.1.2. Topografía Subterránea

*Mina Alonzo:* La mina Alonzo se encuentra ubicada en el área minera el Condado código 30000934, cuyo punto de bocamina se encuentra en las coordenadas X:639680.796 Y:9611213.04 Z:898, con dimensiones de 1.80 m de ancho y 2.10 m de alto, caracterizada por una pendiente positiva, la mina se encuentra conformada por una galería principal de

transporte con dirección NE con una longitud de 685.84 m y paralela con dirección SW se encuentra la galería Veta Negra, con una longitud de 412.08m.





Figura 21. Topografía Subterránea de la Mina Alonzo Área minera "El Condado" código 300009346.1.2. Geología Local

En base a la geología regional y la descripción de afloramiento se pudo evidenciar que las litologías presentes en el Área minera "El Condado" se correlacionan con las presentes en la Formación Célica. Se evidencio la presencia de roca dacita que presenta textura afanítica y grano fino, con una coloración gris y minerales accesorios que incluyen la biotita y piroxeno, y también la presencia de andesita de textura afanítica, con grano fino y una coloración gris con minerales accesorios que incluyen la biotita y fenocristales en el polígono de delimitación del área de estudio.

Afloramiento	Litología	Estructura		
1	Dacita		<b>X:</b> 640385	<b>Y:</b> 9611555
2	Dacita		<b>X:</b> 640450	<b>Y:</b> 9611701
3	Andesita	Diaclasas	<b>X:</b> 640374	<b>Y:</b> 9611283
4	Andesita		<b>X:</b> 640055	<b>Y:</b> 9611308
5	Andesita		<b>X:</b> 639936	<b>Y:</b> 9611307

Tabla 19. Afloramientos descritos en el área de estudio

Nota: (Ver Anexo N12. Descripción de afloramientos)

Como se observa en la Figura 22 (Geologia Local del Área minera "El Condado" código 30000934) en el área de estudio se evidencia la presencia de una litologías dacíticas y andesíticas. La roca mas antigua corresponde a la dacita al encontrarse en cotas más bajas, a diferencia de la andesita que se ubica en las cotas mas altas indicando una roca más joven.



Geologia Local del Área minera "El Condado" código 30000934

Figura 22. Geología Local del Área minera "El Condado" código 30000934

#### 6.1.3. Litología Interior mina

La mina Alonzo de acuerdo con la descripción litológica se definió 2 diferentes litologías correspondientes a dacita y andesita, a lo largo de la galería.

El contacto entre las litologías se evidencio en base a sus características como; cambios de coloración, tamaño de granos permite la identificación de cambios geológicos, adicionalmente el análisis macroscópico permitió corroborar la información, también se observó la presencia de vetas de cuarzo, en otros tramos vetas de calcita, la presencia de pirita y calcopirita, conjuntamente como minerales accesorios.

# Galería Principal de Transporte

En base al levantamiento geológico se determinó la existencia de 2 tipos de litologías en la galería principal de transporte de la mina Alonzo, el primero tramo de la galería principal que abarca los primeros 391.46 m corresponden a una roca dacita, de grano fino y textura afanítica, con una coloración gris, la información obtenida del análisis macroscópico indica la presencia de minerales como; calcopirita, pirita, calcita, piroxita y olivino.



Figura 23. Tramo N1 y N2 de la galería principal de la mina Alonzo

El segundo tramo de 294.38 m de la galería, corresponden a una roca andesita, con una coloración gris, de grano fino y textura afanítica, presentando un grado bajo de meteorización donde se evidencia la presencia de minerales accesorios obtenidos del análisis indicando la presencia de; calcopirita, pirita, y piroxeno.



Figura 24. Tramo N3 de la galería principal de la mina Alonzo

# Galería de estudio Veta Negra Nivel 1

La litología de galería de estudio Veta Negra paralela a la galería principal de la mina Alonzo, con dirección SW, tiene una longitud de 412.08 m, que corresponden a una litología de andesita, con variaciones en sus características, pero manteniendo la misma litología en la galería.

El tramo 4, ubicada en el nivel 1 de la galería Veta Negra con una longitud de 26.91 m, corresponden a una roca andesita de grano fino, textura afanítica y con una coloración gris oscuro, presenta meteorización y humedad en las paredes del macizo rocoso, con la presencia de minerales accesorios como pirita y calcopirita.



**Figura 25.** Tramo N4 de la galería de estudio Veta Negra del Nivel 1 de la mina Alonzo Los tramos 5 y 6 con una longitud de 26.87 m y 55.24 m respectivamente, corresponden a una roca andesita, de color gris, de grano fino y una textura afanítica, presenta una ligera oxidación y humedad en las paredes del macizo, presenta minerales accesorios como pirita, biotita, galena, piroxeno y la presencia de vetas de calcita.



Figura 26. Tramo N5 Y N6 de la galería de estudio Veta Negra del Nivel 1 de la mina Alonzo

El tramo 7 con una longitud de 61.93 m, corresponden a una roca andesita de grano fino, textura afanítica y con una coloración de un gris claro, presenta oxidación y humedad en las paredes del macizo, con la presencia de minerales accesorios como pirita, calcopirita, piroxeno y vetillas de calcita, así como también vetas de cuarzo.



Figura 27. Tramo N7 de la galería de estudio Veta Negra del Nivel 1 de la mina Alonzo

El tramo 8, con una longitud de 60.46 m, corresponden a una roca andesita, de grano fino, textura afanítica y color gris oscuro, es el tramo que mayor alteración presenta, existiendo un flujo de agua constante en las paredes del macizo, identificando la presencia de minerales accesorios como; pirita, biotita, galena, vetas de cuarzo y una ligera presencia de calcita.



Figura 28. Tramo N8 de la galería de estudio Veta Negra del Nivel 1 de la mina Alonzo

El tramo 9, con una longitud de 180.67 m, corresponden a una roca andesita gris, de grano fino y textura afanítica, con oxidación, identificando minerales accesorios como pirita, calcopirita, vetas de cuarzo y ligeros puntos de vetas de calcita.



Figura 29. Tramo N9 de la galería de estudio Veta Negra del Nivel 1 de la mina Alonzo

En base a la evidencia geológica se determinó la presencia de estructuras en el área, indicando fallas, estas corresponden a fallas normales, 2 identificadas en la galería principal de transporte de la mina Alonzo y 1 ubicada en la galería Veta Negra.

Sector	Azimut	Buzamiento	Estructura
Est 001	315	71SW	Falla
Est 003	340	76NW	Falla
Est 010	205	80NW	Falla

Tabla 20. Datos estructurales de la mina Alonzo

A partir del análisis descriptivo se presenta un mapa de la litología interior mina y de las estructuras presentes en la mina Figura 30 (Litología Interior mina de la Mina Alonzo del Nivel 1 de la Veta Negra del Área minera "El Condado" con código 30000934). Donde se evidencia las litologías correspondientes a dacita y andesita, siendo la litología andesítica la presente en la galería Veta Negra donde se realiza el estudio.



Litología Interior Mina del Área minera "El Condado" con código 30000934

**Figura 30.** Litología Interior mina de la Mina Alonzo del Nivel 1 de la Veta Negra del Área minera "El Condado" con código 30000934

En la Figura 31 (Corte Geológico de la Mina Alonzo del Nivel 1 de la Veta Negra del Área minera "El Condado" con código 30000934) se observa las litologías presentes correspondientes a andesita y dacita.

#### **CORTE GEOLOGIGO A-B**





#### 6.1.4. Propiedades Índices de las rocas

Las propiedades índices de las rocas analizadas de la galería Veta Negra corresponden a una litología andesítica, los cálculos realizados para la obtención de las propiedades se encuentran detallados en el **Anexo Nro. 17.** *Cálculo de las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas de las rocas.* 

En la Tabla 21 se presentan el resumen de los resultados obtenidos del cálculo de las propiedades índices de la roca correspondiente a cada estación.

Muestra	Código	Roca	Contenido de humedad	Peso especifico aparente	Peso especifico real	Coeficiente de absorción	Porosidad	Compacidad
1	EST 004	Andesita	0.49 %	2.78 g/cm <sup>3</sup>	2.79 g/cm <sup>3</sup>	0.53	0.69 %	99.31
2	EST 005	Andesita	0.50 %	2.77 g/cm <sup>3</sup>	2.77 g/cm <sup>3</sup>	0.57	0.02 %	99.98
3	EST 006	Andesita	0.61 %	2.78 g/cm <sup>3</sup>	2.82 g/cm <sup>3</sup>	0.66	1.62 %	98.38
4	EST 007	Andesita	0.40 %	2.78 g/cm <sup>3</sup>	2.79 g/cm <sup>3</sup>	0.51	0.16 %	99.84
5	EST 008	Andesita	0.47 %	$2.78 \text{ g/cm}^3$	$3.00 \text{ g/cm}^3$	0.57	7.35 %	92.65
6	EST 009	Andesita	0.26 %	2.75 g/cm <sup>3</sup>	2.79 g/cm <sup>3</sup>	0.31	1.69 %	98.31
	Promedio		0.46 %	2.77 g/cm <sup>3</sup>	2.83 g/cm <sup>3</sup>	0.53	1.92 %	98.08

**Tabla 21.** Propiedades Índice de las rocas

#### Contenido de Humedad

El contenido de humedad en las muestras recolectadas presenta valores variables que oscilan entre rangos de 0.26 y 0.61%, con un promedio de 0.46% como se muestra en la Tabla 21.

En la Figura 32 se presenta la distribución de los datos obtenidos, destacando la muestra 3 correspondiente a la estación EST006, presentando el mayor porcentaje de contenido de humedad con relación a las demás muestras, asociado a la presencia de agua en el macizo rocoso y conjuntamente a las manchas de oxidación producto de esta, aumentando el factor de inestabilidad, siendo las muestras 2 y 3 la que mayor porcentaje de contenido de humedad presentan.



Figura 32. Gráfica del Contenido de Humedad

#### **Peso Específico Aparente**

Los valores del peso específico aparente de las diferentes muestras presentan un rango de  $2.75 \text{ g/cm}^3 \text{ y } 2.78 \text{ g/cm}^3$ , como se observa en la Tabla 21. La Figura 33, detalla las ligeras variaciones que existen en los valores de las muestras.



Figura 33. Gráfica del Peso Específico Aparente

#### Peso Específico Real

En la Figura 34 se puede observar que los datos obtenidos del peso específico real los valores oscilan entre los rangos de 2.75 g/cm<sup>3</sup> y 2.82 g/cm<sup>3</sup>, con un patrón similar, existiendo una variación en la muestra 5, cuyo peso específico real es de 3.00 g/cm<sup>3</sup>, mayor al de las otras muestras, asociado a los minerales accesorios que presenta como es la galena que influye en el aumento del peso específico debido a la densidad que presenta.



# Figura 34. Gráfica del Peso Específico Real

#### Coeficiente de Absorción

Los resultados del coeficiente de absorción presentados en la Tabla 21, indican la presencia de un macizo rocoso permeable correspondientes a la roca andesita.

En la Figura 35, en la muestra 6 se observa una roca con mayor permeabilidad en comparación de la muestra 3 que posee menor permeabilidad a diferencia de las demás

muestras, producto de la presencia de fracturas que influyen en el proceso de infiltración de agua, afectando el estado del macizo rocoso y estabilidad.



Figura 35. Gráfica del Coeficiente de Absorción

#### Porosidad

Los resultados permiten indicar la presencia de un macizo rocoso no poroso, exceptuando la muestra 5, como se observa en la Figura 36, es la que mayor porcentaje de porosidad presenta siendo de 7.35% indicando un macizo rocoso diaclasado producto de la exposición prolongada de agua que aumenta la susceptibilidad a aparición de fracturas, a diferencia de la muestra 2 que presenta un porcentaje de porosidad de 0.025, indicando un macizo sin fracturas.





#### Compacidad

El análisis de los resultados obtenidos indica un macizo rocoso compacto, con valores superiores al 90%, en la Figura 37 se observa como la muestra 5 presenta una compacidad de 92% menor a las diferentes muestras, que poseen un porcentaje superiores al 98%, relacionado a la exposición de flujo constante de agua en la estación.





#### 6.1.5. Propiedades Mecánicas

#### Resistencia a la Compresión Simple-Esclerómetro

En la Tabla 22 se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación del esclerómetro en las paredes del macizo rocoso en las estaciones geomecánicas.

Tabla 22. Resultados de Compresión simple medi	ante esclerómetro
--	-------------------

Ensayos de esclerómetro	Esfuerzo (MPa)
EST 004	90 MPa
EST 005	120 MPa
EST 006	65 MPa
EST 007	80 MPa
EST 008	75 MPa
EST 009	65 MPa

La resistencia a la compresión determinados mediante el esclerómetro se encuentra entre rangos de 65 MPa y 120 MPa, indicando una roca dura, como se observa en la Figura 38, las estaciones 6 y 9 presentan menores valores de resistencia siendo de 65 MPa, con diferencia de la estación 5 que es la de mayor resistencia, asociado directamente al diaclasamiento que presenta el macizo rocoso.



Figura 38. Gráfica de Ensayos de resistencia mediante el uso del Esclerómetro

#### Resistencia a la Compresión Simple

En la Tabla 23 se presentan los resultados obtenidos a partir de los ensayos de compresión simple por cada estación geomecánica dando una resistencia de 66.01 MPa a 123.50 MPa.

	F 4 • 4	a •/	Carga	Resistencia	Promedio
Muestra	Estación	Sección	KN	MPa	MPa
M01		S 4.1	250.60	100.20	
M02	Est 004	S 4.2	232.70	93.10	88.37 MPa
M03		S 4.3	179.70	71.80	
<b>M04</b>		S 5.1	258.00	103.20	
M05	Est 005	S 5.2	343.70	137.40	123.50 MPa
M06		S 5.3	329.40	129.89	
<b>M07</b>		S 6.1	174.80	70.74	
<b>M08</b>	Est 006	S 6.2	235.40	78.92	(9.56 MDa
M09		S 6.3	179.50	73.38	08.50 MPa
<b>M10</b>		S 6.4	125.70	51.18	
M11		S 7.1	171.30	68.50	
M12	E-4.007	S 7.2	192.40	77.24	77.00 MD-
M13	Est 007	S 7.3	177.10	69.42	//.00 MPa
<b>M14</b>		S 7.4	230.30	92.83	
M15	Est 008	S 8.1	154.40	63.38	
M16		S 8.2	150.50	60.18	74.33 MPa
<b>M17</b>		S 8.3	253.10	99.44	
<b>M18</b>		S 9.1	196.60	77.99	
M19	Est 009	S 9.2	185.40	75.49	66.01 MPa
M20		S 9.3	108.50	44.54	

 Tabla 23. Resultados de Compresión simple mediante prensa

La variación de resultados en los ensayos que van desde 44.54 MPa a 137.40 MPa, la estación 5 es la que mayor resistencia presenta, seguido de las estaciones 4, 6, 7, 8 y la estación 9 la de menor resistencia, la variabilidad de la resistencia en cada estación se encuentran directamente relacionados al estado del macizo rocoso, factores como la presencia de zonas de falla, diaclasamiento y fracturas generan la disminución de la resistencia del macizo, a diferencia de las zonas con mayor resistencia su calidad del macizo de roca es de buena calidad. En la Figura 39 se observa la variación de la resistencia en cada una de las estaciones geomecánicas producto al estado del macizo.



Figura 39. Gráfica de Ensayos de Compresión Simple por Sección

Mediante los ensayos realizados con el esclerómetro al igual que mediante la prensa hidráulica existe una correlación en los valores de la resistencia de la roca, como son los ejemplos de los resultados obtenidos en la estación 4 con el esclerómetro dando una resistencia de 90 MPa y las obtenidas con la prensa hidráulica de 88 MPa variaciones similares en la estación 6 con el esclerómetro posee una resistencia de 65 MPa y mediante la prensa de 66 MPa, constatando los valores obtenidos en campo con los de laboratorio, con un promedio de resistencia de la roca andesita de 82 MPa, esto indica una roca con resistencia media, este resultado se encuentra por debajo de la resistencia promedio normal de la andesita, indicando un macizo rocoso alterado.



Figura 40. Rotura de ensayos de compresión Simple

#### 6.2. Resultados del segundo objetivo

#### 6.2.1. Caracterización Geomecánica

Las estaciones geomecánicas en la galería Veta Negra con dirección SW, presentan características variables producto del estado en el que se encuentran a lo largo del macizo.

## Estación Geomecánica 1-E004

La primera estación correspondiente a una roca andesita tiene una longitud de 26.91 m, presentando una resistencia media con 3 familias de discontinuidades, sin relleno y aberturas menores a 1 mm, las paredes del macizo se encontraban meteorizadas y con filtraciones de agua, en esta estación geomecánica existe una sobreexcavación en el lateral izquierdo de la galería donde la roca presenta mayor meteorización.

Tabla 24. Familias de discontinuidades estación 1

3	Familia	Dirección		
A BAR	Discontinuidades	Buzamiento	D. Buzamiento	
2	F1	12	127	
	F2	21	303	
1 7/9/2024 09:52	F3	67	109	

Estación Geomecánica 2-E005

La segunda estación con una litología andesítica tiene una longitud de 26.87 m, presenta una resistencia alta, con 2 familias de discontinuidades sin relleno y aberturas menores a 1 mm, las paredes presentan una ligera meteorización y filtraciones de agua intermitentes en tramos de esta sección.

 Tabla 25. Familias de discontinuidades estación 2

	Familia	Dirección		
1	Discontinuidades	Buzamiento	D. Buzamiento	
2	F1	34	75	
7/9/2024 10:07	F2	20	32	

Estación Geomecánica 3-E006

La tercera estación con una longitud de 55.24 m, un macizo rocoso de andesita presenta una resistencia media, con 2 familias de discontinuidades, estas sin relleno y con

aberturas menores a 1 mm, con ligera meteorización, aunque las paredes del macizo rocoso presentan manchas de oxidación y húmedas sin presencia de goteos.

 Tabla 26. Familias de discontinuidades estación 3

	Familia	Dirección		
66	Discontinuidades	Buzamiento	D. Buzamiento	
	F1	40	106	
1 2	F2	52	108	

# Estación Geomecánica 4-E007

La cuarta estación con roca andesítica con una longitud de 61.93 m, presenta una resistencia media, con 2 familias de discontinuidades que no presentan relleno y aberturas menores a 1 mm, con meteorización presente en las paredes, acompañadas de la presencia de manchas de oxidación que se observan con frecuencia a lo largo de este tramo de galería, así como la presencia de humedad en las paredes del macizo.

Tabla 27. Familias de discontinuidades estación 4

and the second second	Familia	Dirección		
A TAN	Discontinuidades	Buzamiento	D. Buzamiento	
1	F1	40	172	
2	F2	54	38	

# Estación Geomecánica 5-E008

La quinta estación con una longitud de 60.46 m de litología andesítica, presenta un macizo con una resistencia media a baja, con 2 familias de discontinuidades sin relleno y aberturas menores a 1 mm, presenta un grado alto de meteorización relacionado al flujo de constante de agua en el macizo, que reduce la resistencia mecánica de la roca.

Tabla 28. Familias de discontinuidades estación 5

and the second second	Familia	Dirección		
	Discontinuidades	Buzamiento	D. Buzamiento	
1	F1	22	96	
2 7/9/2024 11:15	F2	60	336	

# Estación Geomecánica 6-E009

La sexta estación de litología andesítica, con una longitud de 180.67 m, presenta una resistencia promedio más baja en comparación con las primeras estaciones, con 2 familias de discontinuidades sin relleno y aberturas menores a 1 mm, con un grado medio de meteorización con goteo intermitente a lo largo de esta sección de galería y una zona de sostenimiento con madera al final de este tramo por una falla de 5 m de potencia que afecta la estabilidad del macizo rocoso.

Tabla 29. Familias de discontinuidades estación 6

	Familia	Dirección	
	Discontinuidad es	Buzamient o	D. Buzamiento
1	F1	36	54
2 7/9/2024 11:0	F2	45	5

Estación Geomecánica 7-E010

La última estación de litología andesítica tiene una longitud de 5 m, corresponde a la zona de falla identificada en la galería Veta Negra, donde se encuentra un macizo rocoso altamente meteorizado con roca fracturada y un sostenimiento activo en este tramo

# 6.2.1.1.Familias de discontinuidades

En el macizo rocoso existe la presencia de 5 familias de discontinuidades principales y 2 discontinuidades aisladas, las cuales se encuentran distribuidas a lo largo de la galería Veta Negra, como se observa en la siguiente Tabla 30.

Familia	<b>Estaciones Presentes</b>					
Familia 1	108	53	SE	1 y 3		
Familia 2	65	35	SE	2 y 6		
Familia 3	320	41	SE	1 y 5		
Familia 4	35	37	SE	2 y 4		
Familia 5	112	17	SE	1 y 5		
Discontinuidades						
Discontinuidad 1	172	40	SE	4		
Discontinuidad 2	5	45	SE	6		

**Tabla 30.** Resumen de familias de discontinuidades

Las 5 familias de discontinuidades principales a lo largo de la galería Veta Negra poseen una dirección SE, el primer grupo de familia de discontinuidades se presenta en las estaciones 1 y 3, la segunda familia esta presente en las estaciones 2 y 6, la tercera en las estaciones 1 y 5, la cuarta familia en las estaciones 2 y 4, la quinta familia en las estaciones 1 y 5. Las discontinuidades sueltas correspondientes a las estaciones 4 y 6.

#### 6.2.2. Clasificación Geomecanica

#### 6.2.3. RQD

El cálculo RQD a partir del análisis de las discontinuidades presentes en el macizo rocoso en las diferentes estaciones geomecánicas resalta la variabilidad de la calidad del macizo rocoso. En la Tabla 31 se presenta la clasificación obtenida.

RQD					
Estación	Distancia	Valoración	Calidad		
Est 004	26.91	62.2	Regular		
Est 005	26.87	85.3	Buena		
Est 006	55.24	65.5	Regular		
Est 007	61.93	78.7	Buena		
Est 008	60.46	55.6	Regular		
Est 009	180.67	68.8	Regular		
Est 010	5	5	Muy Mala		

Tabla 31. Clasificación geomecánica RQD

El análisis en cada una de las estaciones geomecánicas indica un macizo rocoso diverso, permitiendo identificar a lo largo de la galería zonas de calidad buena en las estaciones 5 y 7, así como de calidad regular en las estaciones 4, 6, 8, 9 y en la estación 10 de calidad muy mala.

# 6.2.4. RMR<sub>14</sub>

La clasificación del macizo rocoso en las 6 estaciones geomecánicas definidas en el Nivel 1 de la galería Veta Negra, según la clasificación RMR<sub>14</sub> se realiza a partir de la aplicación del método RMR<sub>14</sub>. En el (**Anexo Nro. 19.** Cálculo de la clasificación geomecánica RMR), se detallan los cálculos realizados.

La clasificación geomecánica  $RMR_{14}$  del macizo se presentan en la Tabla 32 (Clasificación  $RMR_{14}$ ), donde se presenta los resultados de la clasificación geomecánica en cada una de las estaciones.

RMR14					
Estación	Distancia	RMR <sub>14</sub>	Clase	Calidad	
Est 004	26.91	55	Tipo III	Media	
Est 005	26.87	61	Tipo II	Buena	
Est 006	55.24	64	Tipo II	Buena	
Est 007	61.93	60	Tipo II	Buena	
Est 008	60.46	45	Tipo III	Media	
Est 009	180.67	55	Tipo III	Media	
Est 010	5	5	Tipo V	Muy Mala	

Tabla 32. Clasificación RMR<sub>14</sub>

En la Figura 41, se observa la clasificación RMR<sub>14</sub> permitiendo analizar la calidad del macizo rocoso en cada estación, identificando tres calidades de macizo rocoso en la galería de estudio; Clase II Calidad Buena presente en las estaciones 5, 6 y 7, así como Clase III Calidad Media presente en las estaciones 4, 8, 9 y Clase V Calidad Muy Mala en la estación 10 que corresponde a un área de falla.





A partir de esta información obtenida en las estaciones geomecánicas del Nivel 1 de la galería Veta Negra, en la clasificación geomecánica RMR, se presenta un mapa donde se observan cada estación con su respectiva clasificación como se observa en la Figura 42, que permite una visión clara de la calidad del macizo rocoso a lo largo de la galería





# 6.2.5. Q de Barton

La clasificación geomecánica del índice Q de Barton en las 6 estaciones de la galería Veta Negra a partir del estado de la calidad de la roca, el número de juntas, la rugosidad en las paredes del macizo, la alteración, la presencia de agua y las tensiones en el macizo, se encuentran detalladas en el (**Anexo Nro. 20.** Cálculo de la clasificación geomecánica Q de Barton), donde se detalla los cálculos realizados para realizar la clasificación geomecánica.

En la Tabla 33 (Clasificación Q de Barton) se presenta los resultados de la clasificación geomecánica en las diferentes estaciones geomecánicas.

Tabla 33. Clasificación	Q de Barton
-------------------------	-------------

Q de Barton					
Estación	Distancia	Valoración	Clase	Calidad	
Est 004	26.91	8.29	10-4	Regular	
Est 005	26.87	11.37	40-10	Buena	
<b>Est 006</b>	55.24	11.64	40-10	Buena	
Est 007	61.93	31.48	40-10	Buena	
<b>Est 008</b>	60.46	7.34	10-4	Regular	
Est 009	180.67	9.17	10-4	Regular	
Est 010	5	1	1-0.1	Muy Pobre	

En la Figura 43 se presenta la gráfica de valoración Q de Barton en cada estación geomecánica, permitiendo observar la clasificación del macizo identificando tres calidades

de roca en la galería; un macizo rocoso de calidad buena con un índice Q de 40-10 presente en las estaciones 5, 6 y 7, un macizo rocoso de calidad regular con un índice Q de 10-4 identificado en las estaciones 4, 8, 9 y la última estación 10 clasificado como un macizo rocoso de calidad excepcionalmente pobre con un índice Q de 0.01-0.001.



Figura 43. Grafica de clasificación Q De Barton

A partir del análisis de la información se elaboró un mapa Figura 44 donde se observa la clasificación geomecánica Q de Barton en cada estación geomecánica.



Clasificación Geomecánica Q de Barton del Nivel 1 de la galería Veta Negra de la Mina Alonzo del Área minera "El Condado" 30000934

Figura 44. Clasificación Q de Barton

# 6.2.6. GSI

La clasificación mediante el sistema GSI a partir del análisis visual en la galería Veta Negra, tomando en cuenta las fracturas y estado del macizo. En el **Anexo Nro. 21.** (Fichas de clasificación geomecánica GSI), se presentan las fichas aplicadas en la clasificación.

Los resultados de la clasificación geomecánica en las 6 estaciones de la galería Veta Negra se presentan en la Tabla 34. (Clasificación GSI).

GSI			
Estación	Distancia	Valoración	Calidad
Est 004	26.91	50	Regular
Est 005	26.87	64	Buena
Est 006	55.24	67	Buena
Est 007	61.93	57	Buena
Est 008	60.46	39	Regular
Est 009	180.67	46	Regular
Est 010	5	0	Muy Mala

Tabla 34. Clasificación GSI

En la gráfica correspondiente a la Figura 45, se observa la distribución y clasificación del estado del macizo en cada estación geomecánica, permitiendo identificar tres tipos de macizo rocoso; un macizo clasificado con una calidad Buena en las estaciones 5, 6, 7 y un macizo de calidad Regular presentes en las estaciones 4, 8 y 9. Así como una estación con un macizo rocoso de calidad Muy Mala en la estación 10.





En la Figura 46 se observa la clasificación geomecánica GSI en la galería Veta Negra.


Figura 46. Clasificación GSI

### 6.2.7. Zonificación Geomecánica

La similitud de valores en la clasificación geomecánica en las 6 estaciones de la galería Veta Negra realizadas mediante los métodos RMR14, Q de Barton y GSI, permiten identificar un macizo con condiciones estables y homogéneas.

La identificación de estas zonas a partir de la clasificación geomecánica permitió evaluar las condiciones geomecánica en cada estación, lo que permite determinar las medidas necesarias, así como precauciones a fin de garantizar la seguridad de las labores, la presencia de zonas críticas resalta las áreas en las que se debe tomar mayor enfoque e interés, donde se identificaron tres zonas siendo estas:

#### a) Zona I (Calidad Buena)

La primera zona identificada de roca andesita comprende las estaciones geomecánicas 5, 6 y 7, se encuentran caracterizadas por un R.Q.D. mayor al 75%, presentan una valoración RMR de 60-80 clasificado como un macizo rocoso de Clase II Calidad Buena, el índice Q de Barton en estas estaciones varia de 40-10 clasificándolo como bueno y un GSI de 70 clasificado de la misma forma como bueno. Estas estaciones geomecánicas clasificadas en esta zona presentan una resistencia geomecánica alta de 100 MPa, con 2 y 3 familias de discontinuidades, sin relleno en estas, presentando baja meteorización. En las

estaciones geomecánicas se puede observar humedad en las paredes del macizo y una ligera presencia de manchas de oxidación. Indicando un macizo rocoso con condiciones favorables.

### b) Zona II (Calidad Media)

La segunda zona definida con una litología andesítica comprende las estaciones geomecánicas 4, 8 y 9, se encuentran caracterizadas por un R.Q.D. menor al 75%, presentando una valoración RMR de 40-60 clasificado como un macizo rocoso de Clase III Calidad Media, el índice Q de Barton en estas estaciones va de 10-4 clasificándolo como Regular y un GSI de 40 clasificado de la misma forma como regular. Estas estaciones geomecánicas clasificadas en esta zona presentan una resistencia geomecánica de 60-70 MPa, con 3 familias de discontinuidades sin relleno, presentando meteorización en las paredes del macizo. En las estaciones geomecánicas se puede observar la presencia continua de manchas de oxidación, con una mayor meteorización y presencia de agua. Indicando un macizo rocoso con condiciones regulares donde es importante identificar el sostenimiento óptimo para estas estaciones.

#### c) Zona III (Calidad Muy Mala)

La zona III comprende la estación geomecánica 10 de roca andesita, la cual se encuentra ubicada en una zona de falla, producto de la presencia de esta falla, esta estación geomecánica presenta un R.Q.D. de 5 indicando un macizo rocoso con una calidad muy mala, la valoración RMR es igual 5 identificándolo como un macizo rocoso de Clase V Calidad Muy Mala, el índice Q de Barton en esta estación se lo clasifica como muy pobre y un GSI que indica una clasificación muy mala. Indicando un macizo rocoso con condiciones geomecánicas criticas donde es importante la aplicación de sostenimiento producto de la inestabilidad en esta estación.

Con bases en los resultados obtenidos de la clasificación geomecánica realizada en el Nivel 1 de la galería Veta Negra, mediante la aplicación de los métodos RMR, Q y GSI, se presenta un mapa donde se observan las zonas definidas como se observa en la Figura 47, que permite una visión clara de la calidad del macizo rocoso.



**Figura 47.** Zonificación Geomecánica del Nivel 1 de la Veta Negra de la Mina Alonzo del Área minera "El Condado" con código 30000934

# 6.3. Resultados del tercer objetivo

# 6.3.1. Definir el sostenimiento

Realizada la zonificación geomecánica en la galería Veta Negra, se estableció 3 zonas siendo; Zona I (Buena), Zona II (Regular) y Zona III (Muy Mala). Permitiendo proponer y determinar soluciones de sostenimiento para cada una de estas a partir de la clasificación de Bieniawski.

# 6.3.1.1.Sostenimiento según la clasificación RMR

En la Tabla 35 se presenta la tabla de sostenimiento en base a su clasificación y según lo propuesto por Bieniawski.

Sostenimiento			
Clase	Pernos	Hormigon Proyectado	Arcos de acero
	Sostenimiento Local de	50 mm en corona donde se requiera.	
Zona I (Buena)	pernos en corona de 3		
	m de largo con un		-
	espaciado de 2.5 m con		
	mallas ocasionales.		

Tabla 35. Sostenimiento según la clasificación RMR

Sostenimiento				
Clase	Pernos	Hormigon Proyectado	Arcos de acero	
	Sistemático, largo de 4			
Zona II	m, espaciado de 1.5-2 m	50-100 mm en corona y	_	
(Regular)	en corona y malla en	30 mm en los lados	-	
	corona.			
Zona III (Muy Mala)	Sistemático, largo de 5- 6 m, espaciado de 1.5 m en corona y malla en corona. Pernos invertidos.	150-200 mm en corona y 150 mm en los lados y 50 mm en el frente	Medias a pesadas espaciadas a 0.75 m con revestimiento y tubos de acero donde sea necesario, con cierre invertido.	

# 6.3.2. Propuesta de Sostenimiento

A partir de la clasificación geomecánica obtenida a traves de la correlación de la información de los metodos RMR, Q de Barton y GSI, se adopto el sostenimiento óptimo a ser aplicado en cada zona según su clasificación geomecánica.

# 6.3.2.1.Pernos de anclaje

### a. Selección de anclaje

Con base a las características presententes en las estaciones geomecanicas se define la elección del perno que mejor se adapte a las condiciones geológicas.

Los pernos helicoidales por su forma de espiral poseen gran capacidad de carga, lo que permite unaa mayor interacción con el macizo, permitiendo que sea ideal para cuerpos rocosos inestables y que presenten fracturas, a diferencia de los pernos corrugados que presentan caracteristicas buenas en condiciones humedas, la capacidad de carga que poseen es menos a la de pernos helicoidadales, los pernos Split Set son mas rapidos de instalar pero al ser pasivos no proporcionan la misma seguridad que el uso de pernos helicoidales.

La elección de pernos helicoidales es óptimo para garantizar mayor eficiencia y seguridad, ya que poseen gran resistencia, de fácil instalacion y gran capacidad de carga, con un limite de efluencia de  $52.7 \text{ kg/cm}^2$ .

- b. Dimensiones del anclaje
- Dimensiones de la galeria:
- Ancho: 1.80 m
- Alto: 2.10 m

Para el cálculo de las dimensiones del anclaje se cálculo aplicando las siguientes formulas:

• Longuitud del anclaje:

$$L = 1.4 + (0.15 * B)$$
; m  
 $L = 1.4 + (0.15 * 1.80)$ ; m  
 $L = 1.67 \approx 1.70$  m

• Diametro: El diametro óptimo seleccionado para el perno de de 22 mm.

$$\phi = 22 \text{ mm}$$

**a.** Zona I: Siendo para la Zona I el uso de un perno helicoidal con las siguientes carracteristicas

$$L = 1.67 \approx 1.70 \text{ m}$$
$$\emptyset = 22 \text{ mm}$$

**b.** Zona II: Siendo para la Zona II el uso de un perno helicoidal con las siguientes carracteristicas

$$L = 1.67 \approx 1.70 \text{ m}$$
$$\phi = 22 \text{ mm}$$

c. Zona III: Siendo para la Zona III el uso de un perno helicoidal con las siguientes carracteristicas

$$L = 1.67 \approx 1.70 \text{ m}$$
$$\phi = 28 \text{ mm}$$

### 6.3.2.2.Hormigón Lanzado

La aplicación de una capa de hormigon lanzado permite una mayor estabilidad y refuerzo en el uso de pernos de anclaje, con una resistencia entre 300-400 kg/cm<sup>2</sup>. Para ellos se cálculo el espesor del hormigon por cada estacion en función de la clasificación geomecánica aplicando las siguientes formulas.

a. Espesor:

$$tc = \frac{D}{150} * (65 - RSR)$$
  
RSR = 13.3 \* log Q + 46.5

b. Cálculo D:

$$D = \frac{\text{ancho} + \text{alto}}{2}$$
$$D = \frac{1.80 \text{ m} + 2.10 \text{ m}}{2}$$

- D = 1.95 m
- c. Cálculo RSR:
  - Zona I

 $RSR = 13.3 * \log 18.16 + 46.5 = 63.25$ 

• Zona II

 $RSR = 13.3 * \log 8.26 + 46.5 = 58.7$ 

• Zona III

 $RSR = 13.3 * \log 0.01 + 46.5 = 19.9$ 

- d. Cálculo tc:
  - Zona I

tc = 
$$\frac{1.95 \text{ m}}{150}$$
 \* (65 - 63.25) = 0.02 m ≈ 2 cm ≈ 5 cm

• Zona II

tc = 
$$\frac{1.95 \text{ m}}{150}$$
 \* (65 – 58.7) = 0.08 m ≈ 8 cm ≈ 10 cm

• Zona III

tc = 
$$\frac{1.95 \text{ m}}{150}$$
 \* (65 – 19.9) = 0.58 m ≈ 60cm

#### 6.3.2.3.Malla

La aplicación de malla permite una mayor estabilidad al ser aplicada como refuerzo conjuntamente con en el uso de pernos de anclaje y hormigon lanzado.

#### Malla tejida MFI 3500 para eventos dinamicos

- Alta resistencia a cargas puntuales y rotura de 3.500 kg/m<sup>2</sup>
- Adaptable a macizos rocosos irregulares
- Mayor seguridad con factor de seguridad > 2.5
- Zona Buena: 10cm x 10cm
- Zona Mala: 5cm x 5cm

#### 6.3.2.4. Cerchas metálicas

El uso de cerchas métalicas se aplica a la Zona III, en la estación 10 que es la de mayor inestabilidad por la presencia de falla, permitiendo aumentar el factor de seguridad producto de la complejidad del macizo en la estacion. En base al calculo realizado de la metodologia de los arcos hiperestáticos y el módulo plástico del elemento se determinó el perfil óptimo a ser aplicado.

# Vigas de sección H

- Adaptable a la sección de excavaciones subterraneas y galerias de calidad mala
- Rocas muy fracturadas
- Perfil H; HEB 120 (Norma ASTM A36)
- Mayor seguridad respecto a las de madera con un Fs=1.2
- Resistencia Mecanica 370-520 MPa
- Modulo Plastico 53 cm<sup>3</sup>
- Limite de Efluencia 235 MPa

# Plancha Acanalada: Trapezoidal

- Resistencia estructural alta: 250 MPa (Norma ASTM A36)
- Gran capacidad de carga y resistencia
- Condiciones extremas

# 6.3.3. Sistema de refuerzo

La clasificación de tres zonas como lo son Zona I (Buena), Zona II (Regular) y Zona III (Muy Mala), permite definir el refuerzo optimo con un enfoque técnico y particular a las características y condiciones que presentan el macizo en cada una de estas.

La siguiente Tabla 36 se presenta el sistema de refuerzo definido para la zona I, donde se detalla las características técnicas de cada sistema de sostenimiento a ser aplicado en estas estaciones.

Sistema de refuerzo	Características Técnicas		
Perno	Tipo de perno	Helicoidal	
	Longitud del perno	1.70 m	
	Diámetro del perno	22 mm	
	Espaciado entre pernos	2.5 m	
Hormigón Iena) Proyectado	Espesor del Hormigon	5 cm	
	Proyectado		
Malla	Tipo de malla	Malla tejida MFI 3500 para	
		eventos dinámicos	
	Espaciado de malla	10cm x 10cm	
	Sistema de refuerzo Perno Hormigón Proyectado Malla	Sistema de Caracteris refuerzo Caracteris Perno Fipo de perno Longitud del perno Diámetro del perno Espaciado entre pernos Espesor del Hormigon Proyectado Proyectado Anala Fipo de malla	

Tabla 36. Sostenimiento definido para la zona I en base a la clasificación del macizo rocoso

En la Tabla 38 se muestra el tipo de sostenimiento para la zona II, con las características.

Clasificación	Sistema de refuerzo	Características Técnicas		
	Perno	Tipo de perno	Helicoidal	
		Longitud del perno	1.70 m	
		Diámetro del perno	22 mm	
Zona II		Espaciado entre pernos	1.5 m	
(Dogular)	Hormigón	Espesor del Hormigon	10 cm	
(Regular)	Proyectado	Proyectado		
	Malla	Tipo de malla	Malla tejida MFI 3500 para	
			eventos dinámicos	
		Espaciado de malla	5cm x 5cm	

 Tabla 37. Sostenimiento definido para la zona II en base a la clasificación del macizo rocoso

En la Tabla 39 se detallan los diferentes tipos de sostenimiento para la zona III. **Tabla 38**. Sostenimiento definido para la zona III en base a la clasificación del macizo rocoso

Clasificación	Sistema de refuerzo	Características Técnicas		
	Perno	Tipo de perno	Helicoidal	
		Longitud del perno	1.70 m	
		Diámetro del perno	28 mm	
		Espaciado entre pernos	1.5 m	
	Hormigón Proyectado	Espesor del Hormigon Proyectado	60 cm	
	Malla	Tipo de malla	Malla tejida MFI 3500 para eventos dinámicos	
Zona III		Espaciado de malla	5cm x 5cm	
(Muy Mala)	Cerchas metálicas	Tipo de cerchas	Perfil H	
		Perfil H	HEB 120	
		Resistencia Mecánica	37-52 Kg/mm <sup>2</sup>	
			370-520 MPa	
			24 Kg/mm <sup>2</sup>	
		Punto Fluencia	235 MPa	
		Espaciado entre cerchas	0.75 m	
	Planchas acanaladas	Tipo de planchas	Trapezoidal	

El sistema de refuerzo definido para cada estación a partir del análisis de las características geomecánicas que presenta el macizo rocoso permite determinar la mejor opción de sostenimiento a ser aplicada, conociendo las ventajas y desventajas que presentan cada uno.

#### 7. Discusión

En la mina Alonzo, del área minera "El Condado" código 30000934 ubicada en la parroquia San Juan de Cerro Azul, Cantón Atahualpa, Provincia de El Oro, se llevó a cabo la clasificación geomecánica del macizo rocoso en el nivel 1 de la veta Negra, la aplicación de esta evaluación permite la identificación de zonas inestables a la hora de plantear alternativas de refuerzo y sostenimiento, garantizando la seguridad y eficiencia en las labores mineras.

El conocer y comprender las características de la roca al igual que el comportamiento del macizo rocoso permite la correcta elección del sostenimiento, así como una mayor estabilidad, la identificación de propiedades y características geomecánicas son variables a lo largo de la galería de estudio, la presencia de fracturas y fallas generan problemas de estabilidad sumado a la presencia de agua que alteran el estado del macizo.

Czinder. B. & Torok. A. (2021). en el estudio de "Resistencia y propiedades abrasivas de la andesita: relaciones entre los parámetros de resistencia medidos en probetas cilíndricas y los valores micro-Deval: una herramienta para la evaluación de la durabilidad" indica que a partir de un análisis de correlación se define la relación entre las propiedades índices de la roca indican como afecta la resistencia a la compresión uniaxial, en su estudio detalla que la presencia de saturación de agua reduce la resistencia de la andesita, ligado a la meteorización, donde menciona que al ser contrastadas con otras muestras de andesita con alta resistencia indica que se debe al producto de la alteración que presenta la roca.

La litología andesítica presente en la galería de estudio es una roca ígnea que presenta propiedades físicas y mecánicas variables las que influyen en la definición del sostenimiento. Las propiedades físicas pueden influir en la resistencia de la roca correlacionando los niveles bajos de resistencias con las propiedades de la roca obtenida, en las diferentes estaciones donde se recolectaron las muestras, se analizó el contenido de humedad que indica la presencia de agua en la roca, propiedad que puede afectar a su resistencia, el peso específico es de 2.78 g/cm<sup>3</sup> con una variación en la muestra 5, la roca presenta la capacidad de absorber agua según el coeficiente de absorción; su porosidad reduce la resistencia a la compresión al tratarse de un macizo más fracturado, conjuntamente con la compacidad de la roca.

El aumento del peso específico real en la muestra 5 se correlaciona con la presencia de minerales accesorios que presenta la roca, destacando la galena que posee una densidad elevada, afectando y alterando el peso específico de la roca. La galena presenta una densidad de 7.6 g/cm<sup>3</sup> mucho mayor a la de los minerales presentes en la roca como la pirita y

calcopirita, la alta densidad contribuye al aumento del peso específico real en esta muestra a comparación con las demás ya que dentro de los minerales accesorios no se encuentra la galena.

La humedad presente en el macizo rocoso de 0.46% se debe a la presencia de agua en las estaciones, indicando un coeficiente de absorción de 0.53%, que destaca la capacidad que posee la roca de absorber el agua, estas dos propiedades física se correlacionan con las propiedades hidráulicas que presentan las muestras.

La muestra 5 presenta un mayor porcentaje de porosidad con respecto a las otras muestras siendo de 7%, esta característica de la roca se encuentra directamente relacionado a las diaclasas y fracturación que presenta el macizo rocoso, característica que afecta directamente a la resistencia de la roca. Al correlacionar la porosidad con la compacidad en las muestras recolectadas se observa que las rocas que presentan menor porosidad como son las muestras de la 1, 2, 3, 4 y 6 son más compactas, presentando una mayor compacidad, a diferencia de la muestra 5 con mayor porosidad es menos compacta, destacando la presencia de un macizo rocoso más fracturado.





Acosta. J. et, al. (2022) en su proyecto de investigación de "Influencia de la mineralización en propiedades mecánicas de las rocas de la mina Yaragua en Buritaca en Antioquia, Colombia", la andesita presente en el macizo estaba fracturado y con condiciones hidrogeológicas, presentando una resistencia de 90 MPa a 100 MPa. Aunque para otros autores como Vallejo et. al. (2002), en la resistencia a la compresión de la andesita es de 206 MPa a 313 MPa.

Estos valores se encuentran asociados al estado y composición de la roca, la andesita en la mina Alonzo presenta una resistencia de 66.01 MPa a 123.50 MPa con un promedio de resistencia de 82 MPa, correlacionando con los valores similares obtenidos en el estudio de Acosta producto de las características similares que el macizo rocoso presenta, pero diferentes a la resistencia de la andesita que detalla Vallejo ya que la resistencia mecánica que menciona es para macizo rocosos en condiciones ideales. Indicando que las que menor resistencia presentan es producto de la variabilidad del macizo, así como en las propiedades que se encuentran directamente relacionadas a la resistencia de la roca, es el caso de la muestra correspondiente a la estación 8 siendo la que menor resistencia presenta y sus propiedades índices presentan variación con respecto a las demás muestras.

Al correlacionar las propiedades físicas e hidráulicas con las propiedades mecánicas se pudo evidenciar que en las estaciones donde existía una mayor variación en las propiedades físicas e hidráulicas de las rocas la resistencia del macizo rocoso disminuía, es el caso de la muestra 2 correspondiente a las estación 5 donde los resultados obtenidos en las propiedades estaban dentro de los rangos normales de roca andesita destacando por poseer una buena resistencia, a diferencia de las otras muestras donde la resistencia iba disminuyendo.





Para Cartaya (2001), en su estudio de "Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas en la región oriental del país" señala que la cuantificación de los parámetros de resistencia y deformación en las excavaciones subterráneas es un problema importante en la mecánica de rocas.

Conocer la orientación que presentan las discontinuidades es importante a la hora de identificar la estabilidad del macizo y la influencia al realizar excavaciones subterráneas, identificando en la galería en total 5 familias de discontinuidades con una dirección NE favorables para las excavaciones dado que no generan problemas en la estabilidad.

Para Bieniawski (1976), la aplicación del método RMR conjuntamente con el índice Q, se complementan en la mejora de precisión en la caracterización y clasificación del macizo. Hoek (1994) estableció el Indice de Resistencia Geológica basándose en la cuantificación en la caracterización del macizo rocoso mediante la observación. Coincidiendo con lo mencionado por Pérez et. al. (2017), en su "Estudio comparativo entre sistemas de clasificación geomecánica en un depósito tipo pórfido", relata que el análisis comparativo entre varios sistemas permite una mejor clasificación del macizo.

Detallando la importancia de conocer el comportamiento del macizo rocoso, a partir de la caracterización geomecánica en las diferentes estaciones permitiendo la clasificación mediante características como; resistencia, fracturación, características del macizo, condiciones hidrogeológicas que permite la evaluación de cada una, la aplicación de estos métodos RMR, Q de Barton y GSI, indicando una clasificación más precisa y completa analizando las características del macizo rocoso, complementando los métodos para una mejor precisión de la información y correlacionar la información para una óptima elección del sostenimiento a aplicarse. Los resultados obtenidos en las clasificaciones se correlacionan entre ellas, identificando las zonas presentes en el área, de calidad buena en las estaciones 5, 6 y 7 donde el macizo presenta características favorables sin altos grados de meteorización, ni presencia considerables de agua, de calidad regular en las estaciones 4, 8 y 9 que presenta mayor meteorización, con manchas de oxidación y presencia de agua y otra zona con una calidad del macizo rocoso muy mala en la estación 10.

Bieniawski (1989), en su clasificación sugiere que la elección del sostenimiento se adapta a la clasificación obtenida, es el caso de RMR altos aplicando métodos menos invasivos y cuando este es menor soportes más robustos. Los sostenimientos definidos por Bieniawski se encuentran enfocados a galerías de gran dimensión por lo que es importante que al ser aplicados a galerías pequeñas tomar precauciones y efectuar los cálculos relacionados para poder ser aplicados de manera correcta y efectiva, dado que pueden variar producto de la diferencia de dimensión de excavación, permitiendo definir el sostenimiento adecuado en base a las características de la galería.

Fernández (2022), en su estudio de "Caracterización geomecánica de la galería principal de la mina Numinec" el macizo presenta condiciones de infiltración de agua y fracturación, donde aplica el uso de pernos helicoidales que presentan mayor factor de seguridad comparándolo con pernos de Split set, conjuntamente con el uso de lechada que combate la presencia de agua y evita la corrosión del perno y la alteración. Estas condiciones similares a las de la galería permiten una visión hacia la elección correcta del sostenimiento enfocadas a galerías de menores dimensiones donde se efectúan los cálculos en base a las dimensiones de la excavación.

La elección del sostenimiento permite garantizar la estabilidad y seguridad en las labores, con base en la clasificación geomecánica del macizo que evalúa las características técnicas de la galería, como dimensiones y condiciones geomecánicas que permite realizar los cálculos necesarios para la correcta elección del sostenimiento a partir de la identificación de estas tres zonas, aplicando el uso de pernos helicoidales ideal por la capacidad que presenta el perno, la longitud de 1.70 m se encuentra directamente relacionado a la distribución de las fracturas al no estar separadas evita que se formen bloques de grandes dimensiones permitiendo que la longitud sea óptima, el perno helicoidal se adaptan a las condiciones húmedas y alteradas que presenta el macizo rocoso, el diámetro del perno se adapta al estado del macizo siendo de 22 mm cuanto posee un buen RMR y de 28 mm cuando es de menor calidad, además el uso de malla conjuntamente con la lechada en las zonas buenas y regulares aportan mayor seguridad y reducen la corrosión por la presencia de agua y en la zona de menor calidad del macizo el uso de cerchas metálicas es ideal para aumentar la seguridad.

#### 8. Conclusiones

- El área de estudio se encuentra caracterizado por litologías andesíticas y dacíticas, a
  partir de un análisis cualitativo y cuantitativo revela que litológicamente la andesita
  se encuentra presente en la galería sugiriendo la relación de las litologías presentes
  y el contexto geológico.
- La litología andesítica presente en la galería Veta Negra presenta minerales accesorios; como pirita, calcopirita, piroxeno y vetillas de calcita, señalando zonas de mineralización de interés y zonas de fallamiento producto de procesos tectónicos que influyen en la estructura del macizo generando fracturas.
- La roca presenta un peso específico de 2.78 g/cm<sup>3</sup> característica de la andesita, conjuntamente con el contenido de humedad, compacidad, relación de vacíos, coeficiente de absorción y porosidad, indican una variabilidad de las propiedades índices en los diferentes estaciones geomecánicas que se asocia a las características del macizo como son los efectos de meteorización y la influencia de agua, que afectan las condiciones del macizo.
- La resistencia de la andesita de 66.01 MPa a 123.50 MPa, indica la variación en las resistencia que presenta la roca en cada estación producto de factores como; la mineralización, meteorización, y estructura interna de la roca.
- La clasificación geomecánica del macizo rocoso de litología andesítica a partir del método RMR14 lo clasifico como Calidad buena en las estaciones geomecánicas 5, 6 y 7, los tramos 4, 8 y 9 con una calidad media y la estación 10 con una calidad muy mala. La clasificación Q definió a las estaciones geomecánicas 5, 6 y 7 como calidad buena, los tramos 4, 8 y 9 con una calidad media y la estación 10 como un macizo rocoso excepcionalmente pobre. Y el método GSI lo clasifico como Calidad buena en las estaciones geomecánicas 5, 6 y 7, los tramos 4, 8 y 9 con una calidad media y la estación 10 como un macizo rocoso excepcionalmente pobre. Y el método GSI lo clasifico como Calidad buena en las estaciones geomecánicas 5, 6 y 7, los tramos 4, 8 y 9 con una calidad media y la estación 10 c
- Clasificar geomecánicamente el macizo rocoso permitió correlacionar los valores obtenidos y realizar una zonificación en la galería obteniendo un macizo de calidad buena Clase II que presenta características favorables, un macizo de calidad media Clase III y un macizo de calidad mala Clase V con condiciones desfavorables, Esta clasificación permite la elección del sostenimiento adecuado para cada zona identificada.

- La aplicación del sostenimiento se realizó en base a la clasificación geomecánica RMR, en las estaciones clasificadas como calidad buena y media se optó por la aplicación de pernos helicoidales, conjuntamente con una capa de hormigón lanzado que permiten un mejor soporte y el uso de malla que permite estabilidad al macizo, mientras que para la estación clasificada con calidad mala se optó por la aplicación de cerchas metálicas producto del estado en el que se encuentra el macizo.
- El uso de pernos helicoidales permite una mejor seguridad en la estabilidad del macizo, con una longitud de 1.70 m relacionada a las dimensiones de la galería, permitiendo un anclaje efectivo, con un diámetro de 22 mm, con una separación 5ntre pernos de 2.5 m en zonas de calidad buena y de 1.5 m donde la calidad del macizo es media, además el uso de malla de 10x10 en zonas de calidad buena y de 5x5 donde la calidad del macizo es media y la aplicación de una capa de hormigón lanzado que protege los pernos y ayuda a evitar la corrosión producto de la presencia de agua, el espesor de la capa de 5 cm a 10 cm en función de la calidad del macizo, mientras que la aplicación de cerchas metálicas es el más óptimo para la estación que mayor inestabilidad presenta, siendo el caso de la zona de falla que es la zona más inestable, aplicando perfiles tipo H que posee resistencia del módulo de fluencia.

# 9. Recomendaciones

- Realizar caracterizaciones del macizo rocoso en cada avance de galería realizado a fin de garantizar la seguridad y eficiencia en las labores.
- Inspecciones periódicas en la galería para la identificación de nuevas manchas de oxidación, que permite el control e indica posibles problemas en la estabilidad del macizo.
- Desarrollar monitoreos continuos en áreas con presencia de manchas de oxidación, meteorización y presencia de fracturas, estos monitoreos deben tomar en cuenta la presencia de flujo de agua que contribuye a la oxidación e inestabilidad del macizo.
- Dada la presencia de una falla en el área de trabajo es importante realizar estudios geotécnicos enfocados a la estabilidad, efectos estructurales y la influencia de la falla en la galería.
- Implementar planes de contingencia ante emergencias relacionadas a las condiciones estructurales del macizo, producto de la aparición de nuevas fracturas que afecten la estabilidad.

#### 10. Referencias bibliograficas

- Acosta. J. et, al. (2022). Influencia de la mineralización en propiedades mecánicas de las rocas de la mina Yaragua en Buritaca en Antioquia Colombia. Boletín de Ciencias de la Tierra, (51), 23-37. <a href="https://www.redalyc.org/journal/1695/169575356002/html/">https://www.redalyc.org/journal/1695/169575356002/html/</a>
- Alcántara, L., Pacheco, R. & Salazar, I. (2018). Caracterización geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en labores subterráneas, Perú - 2018 (Trabajo de investigación). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de http://hdl.handle.net/11537/15032
- Bieniawski, Z. T. (1973). Engineering classification of jointed rock masses. Civil Engineering Siviele Ingenieurswese, 1973(12), 335-343.
- Bieniawski, Z. T. (1989). Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. John Wiley & Sons.
- Bowen, N., & Schairer, J. (1956). The evolution of the igneous rocks. London: Prentice Hall.
- Cartaya, M. (2001). Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas en la región oriental del país. (Resumen tesis doctoral/ 2001). https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223517652004
- Carlos, J. L., & Marrufo, J. E. (2020). Evaluación geomecánica del macizo rocoso para proponer el tipo de sostenimiento en el nivel 01 del túnel Sulluscocha, Namora -Cajamarca (Tesis de licenciatura). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <u>https://hdl.handle.net/11537/24563</u>
- Cartaya, M. (2006). Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental de país. *Minería y Geología*, 22(3). <u>https://www.redalyc.org/pdf/2235/223517652004.pdf</u>
- Castro, D. (2019). *Situación actual de la minería en Ecuador*. <u>http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/10995</u>
- Celada, B., & Bieniawski, Z. (2019). Ground characterization and structural analyses for tunnel design. Obtenido de https://lccn.loc.gov/2019011099
- Celada, B., Tardáguila, I., Rodríguez, A., Varona, P., & Bieniawski, Z. (2014). Innovating tunnel design by an improved experience-based RMR system. *Proceedings of the world tunnel congress*, 1-9.
- Czinder, B. & Torok, A. (2021). Resistencia y propiedades abrasivas de la andesita: relaciones entre los parámetros de resistencia medidos en probetas cilíndricas y los

valores micro-Deval: una herramienta para la evaluación de la durabilidad. *Bull Eng Geol Environ* 80, 8871–8889 (2021). https://doi.org/10.1007/s10064-020-01983-9

- Cuello. A. & Rojas. E. (2020). Determinación del uso de la andesita de la formación Guatapurí en la industria de la cerámica. <u>https://doi.org/10.17081/invinno.8.1.3579</u>
- Fernández, A. (2022). Caracterización geomecánica de la galería principal de la Mina Numinec. <u>https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/24671</u>
- Geoxnet. (2016). Guía para los pernos de anclaje de roca. Sostenimiento en labores Subterráneas. <u>https://post.geoxnet.com/wp-</u> <u>content/uploads/2016/08/Gu%C3%ADa-para-los-Pernos-de-Anclaje-en-Roca.pdf</u>
- Giraldo, M. y Badillo, J. (2015). Implicancias técnicas y económicas de los accidentes mortales en la minería peruana. Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO). Vol. 18, N 35, pp. 97-107. <a href="https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11846/10573">https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11846/10573</a>
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Oteo, C., & Ortuño, L. (2002). INGENIERÍA GEOLÓGICA. PEARSON EDUCACIÓN, S.A. <u>https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5540850/mod\_resource/content/1/Livro%</u> 202.pdf
- Hoek, E., & Marinos, P. (2000). Gsi: A Geologically Friendly Tool For Rock Mass Strength Estimation. *ISRM International Symposium*.
- Laboratorio Oficial J. M. Madariaga (LOM). (2015). *Guía sobre control geotécnico en minería subterránea*. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/mineria/Seguridad/Guias/Gu%C3%ADas/Guia-control-geotecnico-mineriasubterranea.pdf
- Machado, J. (2022). TOPOGRAFÍA BÁSICA EN ESPAÑOL. <u>https://repository.ufrpe.br/bitstream/123456789/3379/1/Livro\_topografiabasicaenes</u> <u>panol.pdf</u>
- Milagros, L., & Amado, D. (2021). Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de un sostenimiento adecuado en mina Chaparra, Caravelí, Arequipa 2021. Arequipa: Universidad Tecnológica del Perú. <a href="https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/5732/M.Cotrado\_D.A">https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/5732/M.Cotrado\_D.A</a> <a href="mado\_Tesis\_Titulo\_Profesional\_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y">mado\_Tesis\_Titulo\_Profesional\_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y</a>

- Orellana Mendoza, E, E. (2016). Influencia de la calidad del macizo rocoso en accidentes por caídas de rocas en minas subterráneas. (Trabajo de Posgrado, Maestro en Seguridad y Medio Ambiente). Universidad Nacional del centro de Perú. <u>https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4598/Orellana%20</u> <u>Mendoza.pdf?sequence=1&isAllowed=y</u>
- Orozco Centeno, W. P., Branch Bedoya, J. W., & Jiménez Builes, J. A. (2014). Clasificación de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas de grano fino mediante programación estructurada. Boletín De Ciencias De La Tierra (36), pp. 5-9. <u>https://www.redalyc.org/pdf/1695/169532839001.pdf</u>
- Pérez, M. et. al. (2018). Estudio comparativo entre sistemas de clasificación geomecánica en un depósito tipo Pórfido. Boletín de Ciencias de la Tierra, (43), 34-44. <u>https://www.redalyc.org/journal/1695/169555640004/html/</u>
- Pérez, F. (29 de Noviembre de 2021). Mecanización del sostenimiento de roca en minería subterránea. Interempresas. <u>https://www.interempresas.net/Mineria/Articulos/368007-Mecanizacion-delsostenimiento-de-roca-en-mineria-subterranea.html</u>
- Ramírez, P. & Monge, L. (2004). Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes. https://oa.upm.es/14183/1/MECANICA\_DE\_ROCAS\_1.pdf
- Rojas, S. (2011). Modelamiento geoestadístico de los depósitos fluviales de la zona cformación mugrosa en el área de la Cira-Este del campo La Cira.
- Ruilova, R. (2020). LEVANTAMIENTO DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS A ESCALA 1:10.000 DE LA PARROQUIA PACCHA, CANTÓN ATAHUALPA, PROVINCIA EL ORO. https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23733/1/RonnyPatricio\_Ruilo vaVasquez.pdf
- Sandoval, F. (2001). *La Pequeña Minería en el Ecuador*. N.75. https://www.iied.org/sites/default/files/pdfs/migrate/G00721.pdf
- Viana, R. (2018). Minería en América Latina y el Caribe, un enfoque socioambiental.
  Revista U.D.C.A Actualidad & DivulgacióN CientíFica/Revista Udca Actualidad
  & DivulgacióN CientíFica, 21(2). https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1066
- Williams, H., Turner, F., & Gilbert, C. (1982). Petrography: an introduction to the study of rocks in thin section. Freeman and Company.

11. Anexos

Anexo Nro. 1. Ubicación del área minera "El Condado"

Anexo Nro. 2. Geologia Regional

Anexo Nro. 3. Geomorfologia del área minera "El Condado"

Anexo Nro. 4. Ubicación de afloramientos

Anexo Nro. 5. Ubicación de estaciones litológicas interior mina

Anexo Nro. 6. Ubicación de recolección de muestras de las propiedades índices

**Anexo Nro. 7.** Formulario aplicado en la determinación de las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas de las rocas.

#### 1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas nos permitieron determinar las características de las rocas. Estas propiedades fueron determinadas en laboratorio.

Para ello se aplicaron las siguientes formulas:

# Contenido de humedad

$$\boldsymbol{C}.\boldsymbol{H} = \frac{\boldsymbol{w} - \boldsymbol{w}_{\text{seco}}}{\boldsymbol{w}_{\text{seco}}} * 100$$

Donde:

w<sub>seco</sub> = peso de la muestra seca

w = peso de la muestra

**Peso específico aparente:** es la fuerza que el cuerpo va a ejercer sobre el cuerpo que lo sostenga.

$$\rho a = \frac{w_{seco}}{w_{saturado} - w_{sumergido}} * \rho w$$

Donde:

w<sub>seco</sub> = peso de la muestra seca

 $w_{saturado} = peso \ de \ la \ muestra \ saturada \ en \ agua$ 

 $w_{sumergido} = peso de la muestra sumerguida en agua$ 

 $\rho w = densidad del agua$ 

Peso específico real: es el peso real de la muestra.

$$\rho r = \frac{w_{pulverizado}}{(w_2 + w_{pulverizado}) - w_1} * \rho w$$

Donde:

 $w_{pulverizado} = peso \ de \ la \ muestra \ pulverizada$  $w_2 = peso \ del \ picnometro + muestra + agua$  $w_1 == peso \ del \ picnometro + muestra$  $\rho w = densidad \ del \ agua$ 

**Coeficiente de absorción:** es aplicada para poder definir la capacidad de un cuerpo a absorber una sustancia.

$$\mathbf{c_{abs}} = \frac{\mathbf{w_{saturado}} - \mathbf{w_{seco}}}{\mathbf{w_{seco}}} * 100$$

Donde:

 $w_{seco} = peso \ de \ la \ muestra \ seca$  $w_{saturado} = peso \ de \ la \ muestra \ saturada \ en \ agua$ 

# 2. Propiedades Hidráulicas

Las propiedades hidráulicas de las rocas realizadas en el laboratorio son las siguientes:

Porosidad total: es el cociente entre el volumen de espacios porosos y el volumen total.

$$\eta = \left(1 - \frac{\rho a}{\rho r}\right) * 100$$

Donde:

 $\rho a = peso esfecifico aparente$ 

 $ho r = peso \ especifico \ real$ 

Compacidad: relación de compactación o espacios vacíos.

$$\mathbf{c} = 100 - \eta$$

Donde:

 $\eta = porosidad total$ 

**Anexo Nro. 8.** Formulario aplicado al cálculo de cerchas metálicas: Metodologia de los arcos hiperestáticos y modulo plástico del elemento.

METODOLOGIA DE LOS ARCOS HIPERESTATICOS		MODULO PLASTICO DEL ELEMENTO	
Carga	$qt = \alpha * L * \gamma * a$ <b>Donde:</b> qt = Carga $\alpha = 0.5$ condiciones normales $\alpha = 1 - 2$ condiciones dificiles L = Ancho de la galeria $\gamma = Peso específico$ a = Distancia de separacion entre arcos metalicos	Carga	$qt = \alpha * L * \gamma * a$ <b>Donde:</b> qt = Carga $\alpha = 0.5$ condiciones normales $\alpha = 1 - 2$ condiciones dificiles L = Ancho de la galeria $\gamma = Peso específico$ a = Distancia de separacion entre arcos metalicos
Reacciones	$Ay = By$ $Ay = By = Ton$ $Ay = \frac{(0.7858h + 0.666r) qt r^{3}}{0.666h^{3} + \pi rh^{2} + 4hr^{2} + 1.57r^{3}}$ $r = radio \ de \ galeria$	Modulo Plástico del Elemento	$fyd = \frac{Fy}{Fs}$ Fy = 250 MPa (ASTM A36) Fs = Factor de Seguridad
Momento Elector	$M = 0.5 qt r^2 - Ay(h+r)$ $M_{Max} = -Ay(h+0.5\frac{Ay}{qt})$	Momento Flector	$M = -0.09 * qt * r^{2}$ $M = 0.075 * qt * r^{2}$ $M = 0.09 * qt * r^{2}$
Esfuerzo Axial	N = -Ay - qt r	Esfuerzo Cortante	$V = \frac{4}{3} * \frac{qr * r}{\pi}$ $V = 0.23 * qr * r$ $V = -0.23 * qr * r$
<b>Angulo</b>	$\varphi = \sin \frac{Ay}{qt r}$	Modulo Plástico	$Ryd = fyd * Wply$ $Wply = \frac{Ryd}{fyd}$ $Ryd = Momento Flector Maximo$
Modulo Plástico	$ \mathcal{E}  = \frac{qt r}{F} + \frac{Ay(h+0.5\frac{Ay}{qt r})}{w} = 25493\frac{Tn}{m^2}$ $F = 0.149w + 9.78$ $25493\frac{Tn}{m^2} = 250MPa$ Limite de efluencia del acero = Noram ASTM A36 = 250 MPa		

**Anexo Nro. 9.** Topografía Superficial del Área minera "El Condado" con código 30000934

Anexo Nro. 10. Topografía Subterránea de la Mina Alonzo Área minera "El Condado" código 30000934

#### Anexo Nro. 11. Descripción de afloramientos

Se realizo la descripción de seis afloramientos a lo largo del polígono de estudio delimitado dentro de la concesión, mediante la cual se correlaciono la información geológica del sector.

**Dacita:** La dacita presente en el área presenta textura afanítica y grano fino característica de esta roca dacita, con una coloración gris y minerales accesorios que incluyen la biotita y piroxeno.

### Afloramiento 1

El primer afloramiento descrito en el área de estudio con coordenadas X:640385 Y:9611555, con dirección 179°/42 SW, presenta un grado alto de meteorización, de origen antrópico, con una resistencia de matriz rocosa dura y en ella la presencia de una matriz arenosa y capa de suelo, con una potencia de 3 metros de ancho y 5 metros de alto donde existe presencia de arbustos y en su mayoría árboles. En base a su análisis petrológico se observa su composición dando como resultado una roca dacita con coloración gris de grano fino y textura afanítica, en la cual se observa la presencia de minerales accesorios como la biotita.



### Afloramiento 2

El segundo afloramiento ubicado en el norte del área de estudio con coordenadas X:640459 Y:9611701, con dirección 222°/52 NW, este al igual que el primer afloramiento presenta un grado medio de meteorización, producto del intemperismo y exposición a factores externos, de origen antrópico, con una resistencia de matriz rocosa dura y en ella la presencia de una matriz arenosa, con una potencia de 2.80 metros de ancho y 4 metros de alto donde existe presencia en su mayoría de árboles. Con base a su análisis petrológico se observa su composición dando como resultado una roca dacita con coloración gris de grano fino y de textura afanítica, con la presencia de minerales accesorios de biotita y piroxeno.



Andesita: La andesita presente en el área presenta textura afanítica y grano fino característica de esta roca, con una coloración gris y minerales accesorios que incluyen la biotita y fenocristales.

### Afloramiento 3

El tercer afloramiento de origen antrópico con coordenadas X:640374 Y:9611283, con dirección 155°/56 SW, se encuentra ubicado en un área donde existe presencia de árboles y arbustos, con una matriz meteorizada y un grado de resistencia suave de coloración marrón y una matriz arenosa, con una potencia de 2.80 metros de ancho y 10 metros de alto. Mediante el análisis petrológico se observó su composición microscópica dando como resultado una roca andesita de origen ígneo volcánico, con coloración gris de grano fino y de textura afanítica con la presencia de minerales accesorios como es la biotita.



### Afloramiento 4

El cuarto afloramiento ubicado en el este del área de estudio con coordenadas X:640055 Y:9611308, con dirección 220°/54 SE, presenta un grado de meteorización medio alto, producto de factores externos, con una resistencia dura en la matriz rocosa y una matriz arenosa, con una potencia de 10 metros de ancho y 6 metros de alto, ubicado en una zona de

pastos con un origen antrópico. Basándose en su composición microscópica se determina que es una roca andesita con coloración gris de grano fino y de textura afanítica, en la que se encuentra la presencia de biotita.



# Afloramiento 5

El quinto afloramiento descrito del área de estudio con coordenadas X:639936 Y:9611307, con dirección 254°/43 SE, de origen antrópico, presenta un grado alto de meteorización producto del intemperismo al que se encuentra expuesto, en el que se evidencia que posee una matriz rocosa dura con coloración marrón y gris y la presencia de arenas, este afloramiento se encuentra ubicado en una zona de pastos, con una potencia de 3 metros de ancho y 12 metros de alto, mediante el análisis petrológico en su composición microscópica se determinó una roca andesita que presenta una coloración gris, de grano fino y textura afanítica, en la que se encontrado la presencia de minerales accesorios como son la biotita y fenocristales.



Anexo Nro. 12. Fichas de descripción interior mina

Anexo Nro. 13. Fichas de descripción de rocas
Anexo Nro. 14. Geologia Local del Área minera "El Condado" con código 30000934

Anexo Nro. 15. Litología Interior mina de la Mina Alonzo del Nivel 1 de la Veta Negra del Área minera "El Condado" con código 30000934

Anexo Nro. 16. Corte Geológico de la Mina Alonzo del Área minera "El Condado" con código 30000934

Anexo Nro. 17. Cálculo de las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas de las rocas.

### 1. Propiedades físicas

Para ello se aplicaron las siguientes formulas:

### Contenido de humedad

$$\boldsymbol{C}.\boldsymbol{H} = \frac{\boldsymbol{w} - \boldsymbol{w}_{\text{seco}}}{\boldsymbol{w}_{\text{seco}}} * 100$$

Donde:

 $w_{seco} = peso \ de \ la \ muestra \ seca$ 

 $w = peso \ de \ la \ muestra$ 

Muestra 4

$$C.H = \frac{634,23 - 631,13}{631,13} * 100$$
$$C.H = 0,49$$

Muestra 5

$$C.H = \frac{420,78 - 418,68}{418,68} * 100$$
$$C.H = 0,50$$

Muestra 6

$$C.H = \frac{188,6 - 187,45}{187,45} * 100$$
$$C.H = 0,61$$

Muestra 7

$$C.H = \frac{343,27 - 341,91}{341,91} * 100$$
$$C.H = 0,40$$

Muestra 8

$$C.H = \frac{382,74 - 380,96}{380,96} * 100$$
$$C.H = 0,47$$

$$C.H = \frac{316,99 - 316,16}{316,16} * 100$$
$$C.H = 0,26$$

**Peso específico aparente:** es la fuerza que el cuerpo va a ejercer sobre el cuerpo que lo sostenga.

$$\rho a = \frac{w_{seco}}{w_{saturado} - w_{sumergido}} * \rho w$$

Donde:

 $\ensuremath{w_{seco}} = peso \ de \ la \ muestra \ seca$  $\ensuremath{w_{saturado}} = peso \ de \ la \ muestra \ saturada \ en \ agua$  $\ensuremath{w_{sumergido}} = peso \ de \ la \ muestra \ sumerguida \ en \ agua$  $\ensuremath{
how} = \ densidad \ del \ agua$ 

#### Muestra 4

$$\rho a = \frac{631,13}{634,47 - 407,39} * 0,9986$$
$$\rho a = 2,78$$

Muestra 5

$$\rho a = \frac{418,68}{421,08 - 270,33} * 0,9986$$
$$\rho a = 2,77$$

Muestra 6

$$\rho a = \frac{187,45}{188,69 - 121,24} * 0,9986$$
$$\rho a = 2,78$$

Muestra 7

$$\rho a = \frac{341,91}{343,67 - 220,96} * 0,9986$$
$$\rho a = 2,78$$

Muestra 8

$$\rho a = \frac{380,96}{383,14 - 246,21} * 0,9986$$
$$\rho a = 2,78$$

$$\rho a = \frac{316,16}{317,14 - 202,22} * 0,9986$$
$$\rho a = 2,75$$

Peso específico real: es el peso real de la muestra.

$$\rho r = \frac{w_{pulverizado}}{\left(w_2 + w_{pulverizado}\right) - w_1} * \rho w$$

Donde:

 $w_{pulverizado} = peso \ de \ la \ muestra \ pulverizada$  $w_2 = peso \ del \ picnometro + muestra + agua$  $w_1 == peso \ del \ picnometro + muestra$  $\rho w = densidad \ del \ agua$ 

Muestra 4

$$\rho r = \frac{30}{(147,98+30) - 167,26} * 0,9986$$
$$\rho r = 2,79$$

Muestra 5

$$\rho r = \frac{30}{(147,98+30) - 167,18} * 0,9986$$
$$\rho r = 2,77$$

Muestra 6

$$\rho r = \frac{30}{(147,98+30) - 167,36} * 0,9986$$
$$\rho r = \mathbf{2}, \mathbf{82}$$

Muestra 7

$$\rho r = \frac{30}{(147,98+30) - 167,23} * 0,9986$$
$$\rho r = 2,79$$

Muestra 8

$$\rho r = \frac{30}{(147,98+30) - 167,99} * 0,9986$$
$$\rho r = 3,00$$

$$\rho r = \frac{30}{(147,98+30) - 167,26} * 0,9986$$
$$\rho r = 2,79$$

**Coeficiente de absorción:** es aplicada para poder definir la capacidad de un cuerpo a absorber una sustancia.

$$\mathbf{c_{abs}} = \frac{\mathbf{w_{saturado}} - \mathbf{w_{seco}}}{\mathbf{w_{seco}}} * 100$$

Donde:

 $w_{seco} = peso \ de \ la \ muestra \ seca$ 

 $w_{saturado} = peso \ de \ la \ muestra \ saturada \ en \ agua$ 

### Muestra 4

$$\mathbf{c_{abs}} = \frac{634,47 - 631,13}{631,13} * 100$$
  
 $\mathbf{c_{abs}} = \mathbf{0}, \mathbf{53}$ 

Muestra 5

$$\mathbf{c_{abs}} = \frac{421.08 - 418,68}{418,68} * 100$$
$$\mathbf{c_{abs}} = \mathbf{0}, \mathbf{57}$$

Muestra 6

$$\mathbf{c_{abs}} = \frac{188,69 - 187,45}{187,45} * 100$$
  
 $\mathbf{c_{abs}} = \mathbf{0}, \mathbf{66}$ 

Muestra 7

$$\mathbf{c_{abs}} = \frac{343,67 - 341,91}{341,91} * 100$$
  
 $\mathbf{c_{abs}} = \mathbf{0}, \mathbf{51}$ 

$$\mathbf{c_{abs}} = \frac{383,14 - 380,96}{380,96} * 100$$
  
 $\mathbf{c_{abs}} = \mathbf{0}, \mathbf{57}$ 

$$\mathbf{c_{abs}} = \frac{317,14 - 316,16}{316,16} * 100$$
  
 $\mathbf{c_{abs}} = \mathbf{0}, \mathbf{31}$ 

### 2. Propiedades Mecánicas



COMENTARIOS: Las proetas fueron perfiladas por la contratant
--

		FECHA	LARGO	ANCHO	ALTURA	ÁREA	CARGA	RESIST.
#	MUESTRA	ENSAYO	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>
1	E-5 3	14-nov-24	5.01	5.06	4.92	25.35	33577.98	1324.54
2	E-6 1	14-nov-24	5.01	4.93	5.00	24.70	17818.55	721.42
3	E-6 2	14-nov-24	5.02	5.94	5.00	29.82	23995.92	804.72
4	E-6 3	14-nov-24	4.95	4.94	4.95	24.45	18297.66	748.28
5	E-6 4	14-nov-24	4.97	4.94	5.05	24.55	12813.46	521.89
6	E-7 1	14-nov-24	5.03	4.97	5.03	25.00	17461.77	698.50
7	E-7 2	14-nov-24	5.00	4.98	4.87	24.90	19612.64	787.66
8	E-7 3	14-nov-24	5.03	5.07	5.02	25.50	18053.01	707.90
9	E-7 4	14-nov-24	4.95	5.01	4.96	24.80	23476.04	946.63
10	E-8 1	14-nov-24	4.95	4.92	4.95	24.35	15739.04	646.26
11	E-8 2	14-nov-24	5.03	4.97	4.95	25.00	15341.49	613.68
12	E-8 3	14-nov-24	5.13	4.96	5.03	25.44	25800.20	1013.97
13	E-9 1	14-nov-24	5.08	4.96	4.93	25.20	20040.77	795.37
14	E-9 2	14-nov-24	4.96	4.95	4.92	24.55	18899.08	769.76
15	E-9 3	14-nov-24	4.90	4.97	4.95	24.35	11060.14	454.16



		a	<b>.</b>	Me	didas (	cm)	Área	Carga	Resistencia	Promedio
Muestra	Estación	Sección	Peso (g)	a	b	c	cm <sup>2</sup>	KN	MPa	MPa
M01		S 4.1	324.16	5	4.93	4.96	24.65	250.60	100.20	
M02	Est 001	S 4.2	325.95	4.99	4.95	4.94	24.70	232.70	93.10	88.37
M03		S 4.3	299.44	4.95	4.98	5.08	24.65	179.70	71.80	
<b>M04</b>		S 5.1	348.18	5.19	4.93	5.17	25.59	258.00	103.20	
M05	Est 002	S 5.2	351.87	4.96	4.97	5.02	24.65	343.70	137.40	123.50
M06		S 5.3	348.5	5.01	5.06	4.92	25.35	329.40	129.89	
<b>M07</b>	F ( 002	S 6.1	338.51	5.01	4.93	5.00	24.70	174.80	70.74	
<b>M08</b>		S 6.2	345	5.02	5.94	5.00	29.82	235.40	78.92	(9.5(
M09	Est 005	S 6.3	343.55	4.95	5.94	4.95	24.45	179.50	73.38	08.50
M10		S 6.4	346.72	4.97	5.94	5.05	24.55	125.70	51.18	
M11		S 7.1	339.76	5.03	4.97	5.03	25.00	171.30	68.50	
M12	E-4.004	S 7.2	337.44	5.00	4.98	4.87	24.90	192.40	77.24	77.00
M13	Est 004	S 7.3	342.89	5.03	5.07	5.02	25.50	177.10	69.42	//.00
M14		S 7.4	345.9	4.95	5.01	4.96	24.80	230.30	92.83	
M15		S 8.1	325.97	4.95	4.92	4.95	24.35	154.40	63.38	
M16	Est 005	S 8.2	329.61	5.03	4.97	4.95	25.00	150.50	60.18	74.33
M17		S 8.3	338.67	5.13	4.96	4.95	25.44	253.10	99.44	
M18		S 9.1	342.45	5.08	4.96	4.93	25.20	196.60	77.99	
M19	Est 006	S 9.2	337.33	4.96	4.95	4.92	24.55	185.40	75.49	66.01
M20		S 9.3	332.3	4.90	4.97	4.95	24.35	108.50	44.54	

### 3. Propiedades Hidráulicas

Las propiedades hidráulicas realizadas en el laboratorio son las siguientes:

Porosidad total: es el cociente entre el volumen de espacios porosos y el volumen total.

$$\eta = \left(1 - \frac{\rho a}{\rho r}\right) * 100$$

Donde:

 $\rho a = peso esfecifico aparente$ 

 $\rho r = peso \ especifico \ real$ 

Muestra 4

$$\eta = \left(1 - \frac{2,78}{2,79}\right) * 100$$
$$\eta = 0,69$$

Muestra 5

$$\eta = \left(1 - \frac{2,77}{2,77}\right) * 100$$
$$\eta = \mathbf{0}, \mathbf{02}$$

Muestra 6

$$\eta = \left(1 - \frac{2,78}{2,82}\right) * 100$$
$$\eta = 1,62$$

104

Muestra 7

$$\eta = \left(1 - \frac{2,78}{2,79}\right) * 100$$
$$\eta = 0, 16$$

Muestra 8

$$\eta = \left(1 - \frac{2,78}{3,00}\right) * 100$$
$$\eta = 7,35$$

Muestra 9

$$\eta = \left(1 - \frac{2,75}{2,79}\right) * 100$$
$$\eta = 1,69$$

**Compacidad:** relación de compactación o espacios vacíos.

$$c = 100 - \eta$$

Donde:

## $\eta = \text{porosidad total}$

Muestra 4

$$c = 100 - 0,69$$
  
 $c = 99,31$ 

Muestra 5

$$c = 100 - 0.02$$
  
 $c = 99.98$ 

Muestra 6

$$c = 100 - 1,62$$
  
 $c = 98,38$ 

Muestra 7

$$c = 100 - 0,16$$
  
 $c = 99,84$ 

Muestra 8

$$c = 100 - 7,35$$
  
 $c = 92,65$ 

Muestra 9

c = 100 - 1,69 c = **98**, **31**  Anexo Nro. 18. Cálculo de la clasificación geomecánica RMR

### • **RMR**<sub>14</sub>

Se clasifico el macizo rocoso mediante la aplicación del RMR14, donde se aplicó la siguiente formula:

$$RMR14 = (RMR_b + F_0) * F_e * F_s$$

 $RMR_b$  = RMR básico del macizo rocoso

Primero se calculó el RMR básico para ello se tomó en cuenta:

- Resistencia de comprensión simple
- Numero de discontinuidades
- Resistencia de las discontinuidades
- Presencia de agua
- Alterabilidad

### Estación 4

	1									
1			Resistencia de	e la matriz rocosa	l .		8			
1			Pur	ntuacion			0			
2	Numero de Discontinuidades									
4	Puntuacion									
		Continuidad	<1m	1-3m	3-10m	>10m	4			
3		Puntuacion	5	4	2	0	-			
	le las ades	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Suave	Superficies de deslizamiento	3			
	encia d ntinuid	Puntuacion	5	3	1	0				
		Relleno	Relleno duro	Relleno duro	Relleno	Relleno blando				
	sist scol		<5mm	>5mm	blando<5mm	>5mm	5			
	di Re	Puntuacion	5	2	2	0				
		Alteracion	Inalterada	Poco Alterado	Muy alterada	Descompuesta				
		Puntuacion	5	3	1	0	1			
4	Presencia de agua	Seco	Ligeramente humedo	Humedo	Goteando	Agua fluyendo	4			
	Puntuacion	15	10	7	4	0				
-	Alter	abilidad	>85	60-85	30-60	<30	10			
5	Pun	tuacion	10	8	4	0	10			
	Puntuacion	(81100)	(6180)	(4160)	(2140)	(<20)				
Clasificacion	Clase	Tipo l	Tipo ll	Tipo Ill	Tipo IV	Tipo V	51			
	Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala				

1			Resistencia de	e la matriz rocosa			9.5				
		Numero de Discontinuidades									
2			Pun				23				
		Continuidad	<1m	1-3m	3-10m	>10m					
		Puntuacion	5	4	2	0	5				
	de las lades	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Suave	Superficies de deslizamiento	3				
3	Resistencia ( discontinuid	Puntuacion	5	3	1	0					
		Relleno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando<5mm	Relleno blando >5mm	5				
		Puntuacion	5	2	2	0					
		Alteracion	Inalterada	Poco Alterado	Muy alterada	Descompuesta	1				
		Puntuacion	5	3	1	0	1				
4	Presencia de agua	Seco	Ligeramente humedo	Humedo	Goteando	Agua fluyendo	4				
	Puntuacion	15	10	7	4	0					
5	Alter	abilidad	>85	60-85	30-60	<30	10				
3	Pun	tuacion	10	8	4	0	10				
	Puntuacion	(81100)	(6180)	(4160)	(2140)	(<20)					
Clasificacion	Clase	Tipo 1	Tipo ll	Tipo lll	Tipo IV	Tipo V	60.5				
	Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala					

1		Resistencia de la matriz rocosa Puntuacion								
	I unuación Numero de Discontinuidados									
2			Pun				17.5			
		Continuidad	<1m	1-3m	3-10m	>10m				
		Puntuacion	5	4	2	0	5			
3	de las lades	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Suave	Superficies de deslizamiento	3			
	Resistencia ( discontinuid	Puntuacion	5	3	1	0				
		Relleno	Relleno duro	Relleno duro	Relleno	Relleno blando	5			
			<5mm	>5mm	blando<5mm	>5mm	5			
		Puntuacion	5	2	2	0				
		Alteracion	Inalterada	Poco Alterado	Muy alterada	Descompuesta	- 3			
		Puntuacion	5	3	1	0				
4	Presencia de agua	Seco	Ligeramente humedo	Humedo	Goteando	Agua fluyendo	10			
	Puntuacion	15	10	7	4	0				
5	Alter	abilidad	>85	60-85	30-60	<30	10			
5	Pun	tuacion	10	8	4	0	10			
	Puntuacion	(81100)	(6180)	(4160)	(2140)	(<20)	1			
Clasificacion	Clase	Tipo 1	Tipo ll	Tipo lll	Tipo IV	Tipo V	60			
	Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala				

# Estación 7

1			Resistencia de	e la matriz rocosa	L		7				
1			Pun	tuacion			1				
2		Numero de Discontinuidades									
2	Puntuacion										
		Continuidad	<1m	1-3m	3-10m	>10m	4				
3		Puntuacion	5	4	2	0	4				
	de las lades	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Suave	Superficies de deslizamiento	1				
	Resistencia discontinuid	Puntuacion	5	3	1	0					
		Relleno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando<5mm	Relleno blando >5mm	5				
		Puntuacion	5	2	2	0					
		Alteracion	Inalterada	Poco Alterado	Muy alterada	Descompuesta	2				
		Puntuacion	5	3	1	0	3				
4	Presencia de agua	Seco	Ligeramente humedo	Humedo	Goteando	Agua fluyendo	7				
	Puntuacion	15	10	7	4	0					
5	Alter	abilidad	>85	60-85	30-60	<30	10				
	Pun	tuacion	10	8	4	0	10				
	Puntuacion	(81100)	(6180)	(4160)	(2140)	(<20)					
Clasificacion	Clase	Tipo 1	Tipo ll	Tipo lll	Tipo IV	Tipo V	57				
	Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala					

1	Resistencia de la matriz rocosa Puntuacion									
			Pur	ituacion						
2	Numero de Discontinuidades									
	Puntuacion									
		Continuidad	<1m	1-3m	3-10m	>10m	4			
3		Puntuacion	5	4	2	0	-			
	de las dades	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Suave	Superficies de deslizamiento	1			
	Resistencia discontinuid	Puntuacion	5	3	1	0				
		Relleno	Relleno duro	Relleno duro	Relleno	Relleno blando				
			<5mm	>5mm	blando<5mm	>5mm	2			
		Puntuacion	5	2	2	0				
		Alteracion	Inalterada	Poco Alterado	Muy alterada	Descompuesta	1			
		Puntuacion	5	3	1	0	1			
4	Presencia de agua	Seco	Ligeramente humedo	Humedo	Goteando	Agua fluyendo	0			
	Puntuacion	15	10	7	4	0				
5	Alter	abilidad	>85	60-85	30-60	<30	10			
5	Pun	tuacion	10	8	4	0	10			
	Puntuacion	(81100)	(6180)	(4160)	(2140)	(<20)	40			
Clasificacion	Clase	Tipo 1	Tipo ll	Tipo lll	Tipo IV	Tipo V				
	Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala				

1		Resistencia de la matriz rocosa Puntuacion								
2	Numero de Discontinuidades									
4	Puntuacion									
3		Continuidad	<1m	1-3m	3-10m	>10m	4			
		Puntuacion	5	4	2	0	4			
	de las lades	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Suave	Superficies de deslizamiento	1			
	Resistencia discontinui	Puntuacion	5	3	1	0				
		sisteno Relleno	Relleno duro	Relleno duro	Relleno	Relleno blando				
			<5mm	>5mm	blando<5mm	>5mm	5			
		Puntuacion	5	2	2	0				
		Alteracion	Inalterada	Poco Alterado	Muy alterada	Descompuesta	2			
		Puntuacion	5	3	1	0	5			
4	Presencia de agua	Seco	Ligeramente humedo	Humedo	Goteando	Agua fluyendo	4			
	Puntuacion	15	10	7	4	0				
=	Altera	abilidad	>85	60-85	30-60	<30	10			
3	Pun	tuacion	10	8	4	0	10			
	Puntuacion	(81100)	(6180)	(4160)	(2140)	(<20)				
Clasificacion	Clase	Tipo 1	Tipo ll	Tipo lll	Tipo IV	Tipo V	51			
	Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala				

### Estación 10

1	1 Resistencia de la matriz rocosa						0			
			Pun	tuacion			, ,			
2			Numero de I	Discontinuidades						
-	Puntuacion									
		Continuidad	<1m	1-3m	3-10m	>10m	0			
		Puntuacion	5	4	2	0	U			
3	de las lades	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Suave	Superficies de deslizamiento	0			
	Resistencia discontinuic	Puntuacion	5	3	1	0				
		Relleno	Relleno duro	Relleno duro	Relleno	Relleno blando				
			<5mm	>5mm	blando<5mm	>5mm	0			
		Puntuacion	5	2	2	0				
		Alteracion	Inalterada	Poco Alterado	Muy alterada	Descompuesta	•			
		Puntuacion	5	3	1	0	U			
4	Presencia de agua	Seco	Ligeramente humedo	Humedo	Goteando	Agua fluyendo	0			
	Puntuacion	15	10	7	4	0				
-	Alter	abilidad	>85	60-85	30-60	<30				
5	Pun	tuacion	10	8	4	0	U			
	Puntuacion	(81100)	(6180)	(4160)	(2140)	(<20)				
Clasificacion	Clase	Tipo l	Tipo ll	Tipo lll	Tipo IV	Tipo V	0			
	Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala				

Calculado el **RMR básico** se procedió a calcular los siguientes factores:

 $F_{\theta}$  =Factor de corrección de la orientación del túnel

Para el cálculo de este factor se tomó en cuenta la orientación de las discontinuidades presentes en la galería de estudio.

STRIKE PERP	ENDICULA	R TO TU	NNEL AXIS	Strike paral	lel		
Drive with dip		Drive against dip		to Tunnel A	xis	Irrespective of Strike Di	
Dip 45-90	Dip 20-45	Dip 45-90	Dip 20-45	Dip. 45-90	Dip 20-45	0°-20°	
Very favorable	Favorable	Medium	Unfavorable	Very unfavorable	Medium	Medium	
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5	

 $F_e$  =Factor del comportamiento del macizo cuando se realiza la excavación con tuneladoras Para el cálculo de este factor se aplicaron las siguientes formulas en función del RMR básico obtenido previamente.

$$paraRMR < 40: \quad F_e = 1 + 2 \cdot \left(\frac{RMR}{100}\right)^2$$

$$paraRMR > 40: \quad F_e = 1.32 - \frac{\sqrt{(RMR - 40)}}{25}$$

**F**<sub>s</sub> =Factor de plastificación del macizo

Para determinar el factor de plastificación se aplicaron las siguientes formulas

$$paraK_{0} \le 1: ICE = \frac{3704\sigma_{cl} \cdot e^{\frac{RMR-100}{24}}}{(3 - K_{0}) \cdot H} \cdot f$$

$$paraK_{0} \ge 1: ICE = \frac{3704\sigma_{cl} \cdot e^{\frac{RMR-100}{24}}}{(3K_{0} - 1) \cdot H} \cdot f$$

Donde:

 $K_0$ : Coeficiente de reparto de las tensiones naturales.

H : Profundidad a la que se encuentra el frente del túnel (m).

F : Factor de forma del túnel, definido en la Tabla VI.

TIPO DE EXCAVACIÓN SUBTERRÁNEA	F
Túnel circular de 6 m de diámetro.	1,3
Túnel circular de 10 m de diámetro.	1,0
Túnel convencional de 14 m de anchura.	0,75
Cavernas (25 m de ancho x 60 m de alto)	0,55

Donde a cada variable se le asigno los siguientes valores:

Resistencia	K <sub>0</sub>	Н	F
88.37	0.9	50	1.3
123.50	0.9	50	1.3
68.56	0.9	50	1.3
77.00	0.9	50	1.3
74.33	0.9	50	1.3
66.01	0.9	20	1.3

Una vez obtenido el valor de ICE, este nos indica el comportamiento que este tendrá frente al túnel.

ICE	Comportamiento del frente del túnel
> 130	Completamente elástico
70-130	Elástico con incipiente plastificación
40-69	Moderadamente plastificado
15-39	Intensamente plastificado
< 15	Totalmente plastificado

Conocido este valor se aplicó y dio valor al  $F_s$  en función del valor que se obtuvo del cálculo ICE.

- *ICE* < 15: 
$$F_s = 1,3$$
  
- 15<*ICE*<70:  $F_s = 1,3-0,6\left(\frac{ICE}{100}\right)^2$ 

- <i>ICE</i> > 70:	
--------------------	--

Obtenidos estos factores se aplicó la formula del cálculo del RMR14.

				RM	R14		
ESTACIÓN	RMRb	$\mathbf{F}_{0}$	Fe	$\mathbf{F}_{\mathbf{s}}$	RMR14	CLASE	CALIDAD
Est 004	51	-5	1.19	1	55	Tipo III	Media
Est 005	57.5	-5	1.15	1	61	Tipo II	Buena
Est 006	61.5	-5	1.13	1	64	Tipo II	Buena
Est 007	57	-5	1.16	1	60	Tipo II	Buena
Est 008	39.5	-5	1.31	1	45	Tipo III	Media
Est 009	51	-5	1.19	1	55	Tipo III	Media
Est 010	0	0	0	0	0	Tipo V	Muy Mala

Anexo Nro. 19. Clasificación Geomecanica RMR del Nivel 1 de la Veta Negra de la Mina Alonzo del Área minera "El Condado" con código 30000934 Anexo Nro. 20. Cálculo de la clasificación geomecánica Q de Barton

### 1. Q de Barton

Para la clasificación mediante Q se aplicó la siguiente formula

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

Donde:

RQD= Designación de calidad de roca

1 INDICE DE CAL	IDAD DE LA ROCA			
Descripción RQD %			N de Diaclasas	RQD
MUY POBRE	0 - 25	1	16	62.2
POBRE	25 - 50	-	10	02.2
REGULAR	50 - 75	2	9	85.3
BUENA	75 - 90	3	15	65.5
EXCELENTE	90 - 100			
Nota:		4	11	78.7
ii ) En este caso, no se dispone de testigos		5	18	55.6
RQD = 115 - 3.3 Jv Do	onde: Jv: N° de Diaclasas	6	14	68.8

 $J_n$  = Relacionado con los conjuntos de juntas en el suelo

Desc	ription	Rating	Observations
А.	Massive, no or few joints	0.5-1.0	Note:
В.	One joint set	2	(i) For intersections use
C.	One joint set plus random	3	$(3.0 \times J_n)$ (ii) For portols use $(2.0 \times I_n)$
D.	Two joint sets	4	(ii) For portais use $(2.0 \times J_n)$
E.	Two joint sets plus random	6	
F.	Three joint sets	9	
G.	Three joint sets plus random	12	
H.	Four or more joint sets, random, heavily jointed, "sugar cube", etc.	15	
J.	Crushed rock, earthlike	20	

## $J_r$ = Asociado a la rugosidad de las juntas

Desc	riþtion	Rating	Observations
A. B. C. D. E. F. G.	<ul> <li>(a) Rock wall contact and</li> <li>(b) Rock wall contact before 10 cm shear</li> <li>Discontinuous joints</li> <li>Rough or irregular, undulating</li> <li>Smooth, undulating</li> <li>Slickensided, undulating</li> <li>Rough or irregular, planar</li> <li>Smooth, planar</li> <li>Slickensided, planar</li> <li>(c) No rock wall contact when sheared</li> </ul>	4 3 2 1.5 1.5 1.0 0.5	<ul> <li>Note:</li> <li>(i) Add 1.0 if the mean spacing of the relevant joint set is greater than 3 m</li> <li>(ii) J<sub>r</sub>=0.5 can be used for planar slickensided joints having lineations, provided the lineations are favourably orientated</li> </ul>
H.	Zone containing clay minerals thick enough to prevent rock wall contact	1.0 (nominal)	
J.	prevent rock wall contact Sandy, gravelly or crushed zone thick enough to	1.0 (nominal)	

Descrip	tion	Rating	Observations
	(a) Rock wall contact		
A.	Tightly healed, hard, non-softening, impermeable filling i.e., quartz or epidote	0.75	
B.	Unaltered joint walls, surface staining only	1.0	
C.	Slightly altered joint walls. Non-softening mineral coatings, sandy particles, clay-free disintegrated rock etc.	2.0	
D.	Silty-, or sandy-clay coatings, small clay-fraction (non-softening)	3.0	
E.	Softening or low friction clay mineral coatings, i.e., kaolinite, mica. Also chlorite, talc, gypsum and graphite etc., and small quantities of swelling clays. (Discontinuous coatings, 1–2 mm or less in thickness)	4.0 (8°–16°)	Note: (i) Values of (φ), are intended as an approximate guide to the mincralogical properties of the alteration products, if present
	(b) Rock wall contact before 10 cms shear		prosent
E.	Sandy particles, clay-free disintegrated rock etc.	4.0 (25°–30°)	
G.	Strongly over-consolidated, non-softening clay mineral fillings (Continuous, < 5 mm in thickness)	6.0 (16°–24°)	
H.	Medium or low over-consolidation, softening, clay mineral fillings. (Continuous, <5 mm in thickness)	8.0 (12°–16°)	
J.	Swelling clay fillings, i.e., mont-morillonite (Continuous, $<5$ mm in thickness). Value of $J_a$ depends on percent of swelling clay-size particles, and access to water etc.	8.0–12.0 (6°–12°)	
K,L,M.	Zones or bands of disintegrated or crushed rock and clay (see G, H, J for description of clay condition)	6.0, 8.0 (6°–24°) or 8.0–12.0	
N.	Zones or bands of silty- or sandy clay, small clay fraction (non-softening)	5.0	
O,P,R.	Thick, continuous zones or bands of clay (see G, H, J for description of clay condition)	10.0, 13.0 (6°–24°) or 13.0–20.0	

# $J_a$ = Relacionado con el grado de alteración a lo largo de las articulaciones

# $J_w$ = Factor de reducción por presencia de agua en las juntas

Desc	ription	Rating		Observations			
A.	Dry excavations or minor inflow i.e., <5 I/min. locally	1.0	<1	Note: (i) Factors C to F are crude estimates. Increase J <sub>w</sub> if drainage measures are installed (ii) Special problems caused by ice formation are not considered			
В.	Medium inflow or pressure occasional outwash of joint fillings	0.66	1.0–2.5				
C.	Large inflow or high pressure in competent rock with unfilled joints	0.5	2.5-10.0				
D.	Large inflow or high pressure, considerable outwash of joint fillings	0.33	2.5-10.0				
E.	Exceptionally high inflow or water pressure at blasting, decaying with time	0.2–0.1	>10.0				
F.	Exceptionally high inflow or water pressure continuing without noticeable decay	0.1-0.05	>10.0				

SRF= Factor de reducción de tensiones debido al nivel del campo de tensiones in situ

Description	Rating	Observations
(a) Weakness zones intersecting excavation, which may cause loosening of rock mass when tunnel is excavated		Note: (i) Reduce these values of SRF
A. Multiple occurrences of weakness zones containing clay or chemically disintegrated rock, very loose surrounding rock (any depth)	10.0	by 25–50% if the relevant shear zones only influence but do not intersect the
B. Single weakness zones containing clay, or chemically disintegrated rock (depth of excavation $\leq 50m$ )	5.0	excavation
C. Single weakness zones containing clay, or chemically disintegrated rock (depth of excavation > 50 m)	2.5	
D. Multiple shear zones in competent rock (clay free), loose surrounding rock (any depth)	7.5	
E. Single shear zones in competent rock (clay free) (depth of excavation $\leq 50m$ )	5.0	
F. Single shear zones in competent rock (clay free) (depth of excavation > 50 m)	2.5	
G. Loose open joints, heavily jointed or "sugar cube" etc. (any depth)	5.0	
(b) Competent rock, rock stress problems $\sigma_c/\sigma_1 \sigma_t/\sigma_1$		(ii) For strongly anisotropic
H. Low stress, near surface >200 >13	2.5	stress field (if measured):
J. Medium stress 200–10 13–0.66	1.0	when $5 \leq \sigma_1 / \sigma_3 \leq 10$ ,
K. High stress, very right structure (Usually favorable to stability, may be unfavorable to wall stability) 10–5 0.66–0.33	0.5–2.0	and 0.8 $\sigma_c$ ; when $\sigma_1/\sigma_3 > 10$ , reduce $\sigma_c$ and $\sigma_c to 0.6 \sigma_c$
L. Mild rock burst (massive rock) 5-25 0.33-0.16	5-10	and 0.6 $\sigma$ , where:
M. Heavy rock burst (massive rock) <2.5 <0.16	10–20	$\sigma_c$ = unconfined compression strength, $\sigma_c$ = tensile strength (point load), $\sigma_1$ and $\sigma_3$ = major and minor principal stresses
(c) Squeezing rock; plastic flow of incompetent rock under the influence of high rock pressures		<li>(iii) Few case records available where depth of crown</li>
N. Mild squeezing rock pressure	5-10	below surface is less than
O. Heavy squeezing rock pressure	10-20	span width. Suggest SRF
(d) Swelling rock; chemical swelling activity depending on presence of water		such cases (see H)
P. Mild swelling rock pressure	5-10	
R. Heavy swelling rock pressure	10-15	

# Conocidos estos valores se calcula Q.

	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	Q`	Q
1	62.2	9	3	1	1	2.5	8.29	20.73	REGULAR
2	85.3	9	3	1	1	2.5	11.37	28.43	BUENA
3	65.5	9	4	1	1	2.5	11.64	29.11	BUENA
4	78.7	4	4	1	1	2.5	31.48	78.70	BUENA
5	55.6	4	2	1	0.66	2.5	7.34	27.80	REGULAR
6	68.8	6	2	1	1	2.5	9.17	22.93	REGULAR
7	0	0	0	0	0	0	0	0	EXCEPCIONALMENTE POBRE

Anexo Nro. 21. Clasificación Geomecanica Q del Nivel 1 de la Veta Negra de la Mina Alonzo del Área minera "El Condado" con código 30000934 Anexo Nro. 22. Fichas de la clasificación geomecánica

### 1. GSI

La clasificación GSI se realizó mediante la observación en campo, la presencia de fracturas en las paredes del macizo.

### Estación 4





Pick GSI V	alue						×
Rock Typ	e: General 💌		VERY GOOD GOOD FAIR POOR VERY POOR DECREASING SURFACE QUALITY				
GSI Selec	tion: 67 OK		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
	STRUCTURE	DECRE	ASING SU	RFACE QU	JALITY	Ų	
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	ECES	90			N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked un- disturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	OF ROCK PIE		70 <mark>67</mark> 60			
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	ERLOCKING		5			
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	REASING INT			40	30	//
	DISINTEGRATED - poorly inter- locked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	EC EC				20	//
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	•	N/A	N/A			10

Pick GSI V	alue								×			
Rock Typ	e:	General	•		SURFACE CONDITIONS							
GSI Selec	tion:	57	ОК		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR			
	STRUCT	URE		DECREASING SURFACE QUALITY								
$\backslash$	INTACT rock spe situ rock discontin	OR MASSIV cimens or m with few wid uities	/E - intact assive in dely spaced	ECES	90			N/A	N/A			
	BLOCKY disturbed of cubica intersecti	- well interk rock mass l blocks form ng discontin	ocked un- consisting ned by three uity sets	OF ROCK PIE		70 60						
	VERY BL partially of multi-face formed by	OCKY- inter disturbed ma ated angular y 4 or more	rlocked, ass with blocks joint sets	ERLOCKING		57 5	50					
	BLOCKY - folded formed by discontin of beddin	/DISTURBE with angular y many inter uity sets. Pe g planes or	D/SEAMY blocks secting rsistence schistosity	REASING INTI			40	30				
	DISINTE locked, h with mixturounded	GRATED - p eavily broke ure of angula rock pieces	ooorly inter- n rock mass ar and					20				
	LAMINAT of blockin of weak s	ED/SHEAR tess due to o schistosity or	ED - Lack close spacing shear planes		N/A	N/A			10			

Pick GSI V	/alue								×			
Rock Typ	ie:	General	•		SURFACE CONDITIONS							
GSI Selection: 39 OK					VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR			
	STRUCT	URE		DECREASING SURFACE QUALITY								
$\mathbb{N}$	INTACT rock spectrock situ rock discontin	OR MASSIVE cimens or ma with few wide uities	E - intact ssive in ely spaced	ECES	90			N/A	N/A			
	BLOCKY disturbed of cubical intersection	- well interloo rock mass c l blocks forme ng discontinu	cked un- onsisting ed by three ity sets	OF ROCK PIE		70 60						
	VERY BL partially d multi-face formed by	OCKY- interle listurbed mase ted angular l y 4 or more jo	ocked, is with blocks bint sets	ERLOCKING			50					
	BLOCKY - folded y formed by disconting of beddin	/DISTURBED with angular b y many inters uity sets. Per g planes or s	D/SEAMY blocks ecting sistence chistosity	REASING INTI			40	30	25			
	DISINTE locked, h with mixtu rounded i	GRATED - po eavily broken ure of angula rock pieces	oorly inter- rock mass r and	EC BEC		$\square$		20	//			
	LAMINAT of blockin of weak s	ED/SHEARE less due to cl schistosity or	D - Lack ose spacing shear planes	v	N/A	N/A			10			

Pick GSI V	alue	l'ar lèlè - La	6   ' Y ' YA	1.64					×					
Rock Typ	e:	General	•		SURFACE CONDITIONS									
GSI Selection:		46	ОК		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR					
	STRUCT	URE		DECREASING SURFACE QUALITY										
	INTACT ( rock spec situ rock discontin	OR MASSIVE cimens or ma with few wide uities	E - intact ssive in ely spaced	CES	90			N/A	N/A					
	BLOCKY disturbed of cubical intersection	- well interloc rock mass co blocks forme ng discontinu	cked un- onsisting ed by three ity sets	OF ROCK PIE		70 60								
	VERY BL partially d multi-face formed by	OCKY- interle listurbed mas eted angular b y 4 or more jo	ocked, s with blocks int sets	ERLOCKING			50 46		$\left[\right]$					
	BLOCKY - folded w formed by discontine of beddin	/DISTURBED with angular b y many inters uity sets. Pers g planes or s	/SEAMY blocks ecting sistence chistosity	REASING INTE			40	30						
	DISINTE locked, he with mixtu rounded r	GRATED - po eavily broken ure of angular rock pieces	orly inter- rock mass and					20	//					
	LAMINAT of blockin of weak s	ED/SHEARE ess due to cle chistosity or s	D - Lack ose spacing shear planes	,	N/A	N/A			10					

Pick GSI Value	×						
Rock Type: General 💌	SURFACE CONDITIONS						
GSI Selection: 8 OK	VERY GOOD GOOD FAIR POOR VERY POOR						
STRUCTURE	DECREASING SURFACE QUALITY						
INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90 N/A N/A						
BLOCKY - well interlocked un- disturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	70 60						
VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	50						
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	40						
DISINTEGRATED - poorly inter- locked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	20						
LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes							

Anexo Nro. 23. Clasificación Geomecanica GSI del Nivel 1 de la Veta Negra de la Mina Alonzo del Área minera "El Condado" con código 30000934 **Anexo Nro. 24.** Zonificación Geomecanica del Nivel 1 de la Veta Negra de la Mina Alonzo del Área minera "El Condado" con código 30000934

	METODOLOGIA DE LOS ARCOS	HIPERESTATICOS
Carga	$qt = \alpha * L * \gamma * a$ <b>Donde:</b> qt = Carga $\alpha = 0.5$ condiciones normales $\alpha = 1 - 2$ condiciones dificiles L = Ancho de la galeria $\gamma = Peso específico$ a = Distancia de separacion entre arcos metálicos	$qt = 2 * 1.8 * 3.03 \frac{\text{Ton}}{m^3} * 0.75 \text{m}$ qt = 8.181  Ton
Reacciones	$Ay = By$ $Ay = By = Ton$ $Ay = \frac{(0.7858h + 0.666r) qt r^{3}}{0.666h^{3} + \pi rh^{2} + 4hr^{2} + 1.57r^{3}}$ $r = radio \ de \ galeria$	$Ay = \frac{(0.7858 * 1.8 + 0.666 * 0.9) 8.181 * 0.9^3}{0.666 * 1.8^3 + \pi * 0.9 * 1.8^2 + 4 * 1.8 * 0.9^2 + 1.57 * 0.9^3}$ $Ay = 0.6 Ton$
Momento Elector	$M = 0.5 qt r^2 - Ay(h+r)$ $M_{Max} = -Ay(h+0.5\frac{Ay}{qt})$	$M = 0.5 * 8.181 * 0.9^{2} - 0.6(1.8 + 0.9)$ $M = 1.69$ $M_{Max} = -0.6(1.8 + 0.5\frac{0.6}{8.181})$ $M_{Max} = -1.1$
Esfuerzo Axial	N = -Ay - qt r	N = -0.6 - 8.181 * 0.9 $N = 7.96 Ton$
Angulo φ	$\varphi = \sin \frac{Ay}{qt r}$	$\varphi = \sin \frac{0.6}{8.181 * 0.9}$ $\varphi = 4^{\circ}$
Modulo Plástico	$ \mathcal{E}  = \frac{qt r}{F} + \frac{Ay(h+0.5\frac{Ay}{qt r})}{w} = 25493\frac{Tn}{m^2}$ $F = 0.149w + 9.78$ $25493\frac{Tn}{m^2} = 250MPa$ Limite de efluencia del acero = Noram ASTM A36 = 250 MPa	$\begin{split}  \delta  &= \frac{8.181 * 0.9}{0.149w + 9.78} + \frac{0.6(1.8 + 0.5\frac{0.6}{8.181})}{w} = 25\ 493\ \frac{7n}{m^2} \\  \delta  &= \frac{7.36}{0.149w + 9.78} + \frac{1.1}{w} = 25\ 493\ \frac{7n}{m^2} \\ 7.36w + 1.1(0.149w + 9.78) = 25\ 493\ w(0.149w + 9.78) \\ 7.36w + 0.16w + 10.76 = 3798w^2 + 249321.54w \\ 3798w^2 + 249314.02w - 10.76 = 0 \\ x_1 &= 0.0000432\ m^3 \\ x_2 &= -65.64 \\ Wply &= 43.2\ cm^3 \end{split}$

CALCULO DEL MODULO PLASTICO DEL ELEMENTO									
	$qt = \alpha * L * \gamma * a$								
	Donde:								
	qt = Carga	Ton							
	$\alpha = 0.5$ condiciones normales	$qt = 2 * 1.8 * 3.03 \frac{1}{m^3} * 0.75 \text{m}$							
Carga	$\alpha = 1 - 2$ condiciones dificiles	<i>qt</i> = 8.181 <i>Ton</i>							
	L = Ancho de la galeria	$qt = 80.22 \ KN$							
	$\gamma = Peso especifico$								
	a = Distancia de separacion entre arcos metalicos								
	$f_{rad} = Fy$	$fyd = \frac{250 MPa}{12}$							
Madula Plástica dal Flomanta	$J yu = \frac{1}{Fs}$	1.2 fvd - 208 33 Mpg							
Widdio T lastico del Elemento	Fy = 250 MPa (ASTM A36)	јуи — 200.35 мри КN							
	$Fs = Factor \ de \ Seguridad$	$fyd = 208\ 330\ \frac{m^2}{m^2}$							
	$M = -0.09 \pm at \pm r^2$	$M = -0.09 * 80.22 \ KN * 0.9^2$							
	M = -0.09 * qt * T	M = -5.848 KN * m							
Momente Fleeter	$M = 0.075 + at + r^2$	$M = 0.075 * 80.22 \ KN * 0.9^2$							
Momento Fiector	M = 0.075 * qt * 1	$M = 4.87 \ KN * m$							
	$M = 0.09 \times at \times r^2$	$M = 0.09 * 80.22 \ KN * 0.9^2$							
	M = 0.09 * qt * t	M=5.848 KN * m							
	4 ar * r	$V = \frac{4}{7} * \frac{80.22 * 0.9}{1000}$							
	$V = \frac{1}{3} * \frac{1}{\pi}$	$3 \pi$							
		V = 50.04  M/							
Esfuerzo Cortante	V = 0.23 * qr * r	V = 0.23 * 60.22 * 0.9							
		V = 10.00  K/V							
	V = -0.23 * qr * r	V = -16.60 KN							
	Bud - fud * Wnly								
	Ryd – Jyd * Wpty Rvd	$Wply = \frac{5.848 \text{ KN} * m}{\text{KN}}$							
Modulo Plástico	$Wply = \frac{hyd}{fyd}$	$208.330 \frac{m^2}{m^2}$							
	Ryd = Momento Flector Maximo	$Wply = 28.07 \ cm^3$							

Con base en el cálculo de (w) se encontró la resistencia en *y* de la estructura del módulo de efluencia siendo:

# $Wply = 43.2 \ cm^3$

$$Wply = 28.07 \ cm^3$$

Con base en estos valores se escoge el perfil que mejor se adapte a estas características.

A = Area de la sección

- $S_x$  = Momento estático de media seccción, respecto a X.
- l<sub>x</sub> = Momento de inercia de la sección, respecto a X.
- $\mathsf{W}_x$  = 2l\_x : h. Módulo resistente a la sección, respecto a X.
- $i_x$  = (I\_x : A)½. Radio de giro de la sección, respecto a X.
- ${\sf I}_{\sf Y}$  = Momento de inercia de la sección, respecto a Y.
- $W_{\rm Y}$  = 2I\_{\rm Y} : b. Módulo resistente de la sección, respecto a Y.
- $i_Y = (I_Y : A) \frac{1}{2}$ . Radio de giro de la sección, respecto a Y. I $_{1} = Módulo de torsión de la sección.$
- $I_a = Módulo de alabeo de la sección.$
- u = Perímetro de la sección.
- a = Diámetro del agujero del roblón normal.
- w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros.
- h<sub>1</sub> = Altura de la parte plana del alma.

p = Peso por metro



4

	PERFILES HEB																		
	Dimensiones								Términos de la sección										
Porfil		b				h1		А	S <sub>x</sub>	l <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>		lγ	Wγ	iγ		l <sub>a</sub>		
renn	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm²	cm³	cm⁴	cm³	cm	cm⁴	cm³	cm	cm⁴	cm⁵		
HEB 100	100	100	6,0	10	12	56	567	26,0	52,1	450	90,0	4,16	167	33	2,53	9,34	3375		
HEB 120	120	120	6,5	11	12	74	686	34,0	82,6	864	144	5,04	318	53	3,06	14,9	9410		
HEB 140	140	140	7,0	12	12	92	805	43,0	123	1509	216,0	5,93	550	79	3,58	22,5	22480		
HEB 160	160	160	8,0	13	15	104	918	54,3	177	2492	311	6,78	889	111	4,05	33,2	47940		
HEB 180	180	180	8,5	14	15	122	1040	65,3	241	3831	426	7,66	1363	151	4,57	46,5	93750		
HEB 200	200	200	9,0	15	18	134	1150	78,1	321	5696	570	8,54	2003	200	5,07	63,4	171100		
HEB 220	220	220	9,5	16	18	152	1270	91,0	414	8091	736	9,43	2843	258	5,59	84,4	295400		

# Mgs. Mónica Jimbo Galarza

# CERTIFICO:

Haber realizado la traducción de Español – Inglés del resumen del Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniera en Minas titulado "Clasificación geomecánica del macizo rocoso que permite plantear las alternativas de refuerzo y sostenimiento en el nivel 1 de la veta Negra de la mina Alonzo, del área minera El Condado ubicada en la parroquia San Juan de Cerro Azul, Cantón Atahualpa, Provincia de El Oro" de autoría de Silvia Alexandra Arteaga Valencia CI: 1900552843

Se autoriza a la interesada hacer uso de la misma para los trámites que crea conveniente.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Emitida en Loja, a los 07 días del mes de abril 2025.



Mgs. Mónica Jimbo Galarza

# MAGÍSTER EN ENSEÑANZA DE INGLÉS COMO LENGUA EXTRANJERA REGISTRO EN LA SENECYT N° 1021-2018-1999861