

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



T E S I S

**Elección del tipo de sostenimiento según el comportamiento
geomecánico en la zona Norte de la mina Huacchara S.A.C., Ancash**

2023

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Jackelyn Roxasa BARONA BERNABE

Asesor:

Mg. Edgar ALCÁNTARA TRUJILLO

Cerro de Pasco – Perú – 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



T E S I S

**Elección del tipo de sostenimiento según el comportamiento
geomecánico en la zona Norte de la mina Huacchara S.A.C., Ancash**

2023

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Joel Enrique OSCUVILCATAPIA
PRESIDENTE

Mg. Vicente Cesar DÁVILA CÓRDOVA
MIEMBRO

Mg. Wenceslao Julio LEDESMA VELITA
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Facultad de Ingeniería de Minas
Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas



INFORME DE ORIGINALIDAD N° 028-2024

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Originality, que a continuación se detalla:

Presentado por:

Bach. BARONA BERNABE, Jackelyn Roxasa

Escuela de Formación Profesional
Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:
Tesis

Título del trabajo
“Elección del tipo de sostenimiento según el comportamiento geomecánico en la zona Norte de la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023.

Asesor:
Mg. Edgar ALCÁNTARA TRUJILLO

Índice de Similitud: **12%**

Calificativo
APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 10 de julio de 2024.

Sello y Firma del responsable
de la Unidad de Investigación

DEDICATORIA

Con el más profundo sentimiento de gratitud y amor, dedico este trabajo a Dios, fuente de mi fortaleza e inspiración para vencer los obstáculos y perseguir mis sueños. A mis padres Marcelino Barona y Eulalia Bernabe, pilares de mi vida, que me brindan su apoyo incondicional enseñándome a superar los desafíos y a enfocarme en cumplir mi propósito. A mis hermanos Kevin, Zharick y Sharlot, quienes me brindan su aliento y me acompañan en cada etapa de mi vida hacia el éxito.

BARONA BERNABE, Jackelyn Roxasa

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión y a la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas, debido a la educación de calidad que me proporcionaron en mi formación como profesional. De igual manera agradezco a los ingenieros del área de operaciones de la mina Huacchara por brindarme su apoyo ante cualquier incertidumbre, para realizar el presente trabajo de investigación.

También expreso mi gratitud hacia los ingenieros María Chaupis y Keler Sobero y a mi asesor Edgar Alcántara Trujillo, por su contribución apoyo contante, dado el aporte de sus conocimientos para la ejecución de este trabajo.

BARONA BERNABE, Jackelyn Roxasa

RESUMEN

Este proyecto de investigación se desarrolló en la mina Huacchara de Glore Perú S.A.C., Ancash, y se enfoca en analizar la importancia de la evaluación geomecánica en la elección del tipo de sostenimiento. El objetivo principal es determinar cómo la evaluación del comportamiento geomecánico influye en el proceso de elección de sostenimiento de la zona Norte de la mina Huacchara, ubicada en Ancash. Por ello, en base a la hipótesis general, el comportamiento geomecánico desempeña un papel fundamental en la elección del tipo de sostenimiento en la mina Huacchara. En efecto, se realizó una investigación científica, descriptiva y aplicada, de modo que los datos se obtuvieron en el campo siendo documentados, además se utilizó el software rocscience (Dips y RocData). La población de estudio abarca todos los niveles de sostenimiento implementados en la mina mencionada, mientras que la muestra se enfoca en los niveles de sostenimiento específicamente utilizados. De esta forma, de acuerdo con la evaluación del comportamiento geomecánico, en la zona Norte de la mina Huacchara se determinó que las rocas pobres (rocas malas) de tipo IVA-IVB, con un (RMR 35-25) son las más predominantes con un 60% y la roca regular IIIB (RMR 42) con un 20%, con tres familias de discontinuidades (Familia 1: 67/145, Familia 2: 52/247, Familia 3: 75/260). Asimismo, del índice de resistencia geológica (GSI) se obtuvo como resultado el MF/P (muy fracturado a pobre) con 11-20 fracturas/metro, moderadamente trabada, parcialmente disturbado, bloques angulosos y presencia de discontinuidades. Además, presenta una superficie lisa, planos con estrías, abierto 5 mm a 1 cm con recubrimiento de sericita y caolín con relleno compacto o con fragmento de roca. Mientras que, el IF/P (intensamente fracturado a regular) se presenta con más de 20 fracturas/metro, plegamiento y/o fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando fragmentos angulosos con superficies lisas, planas con estrías, abierto 5 mm a 1 cm con recubrimiento de sericita y caolín, relleno compacto o con fragmento de roca.

En consecuencia, se determinó que para la zona Norte de la mina Huacchara, es necesario utilizar malla electrosoldada más perno expansivo de 7' espaciados a 1.5 x 1.6 m y/o cuadro de madera de 8" o 9" con espaciado de 1.2 a 1.5m y 1.0 a 1.2m respectivamente, para el tipo de roca IVA y IVB. Además, se recomienda para el tipo de roca IIIB un sostenimiento con malla electrosoldada más perno expansivo de 5' o 7' con espaciados de 1.6 x 1.6 m.

Palabras clave: macizo rocoso, comportamiento geomecánico y tipo de sostenimiento.

ABSTRACT

This research project was developed at the Huacchara mine of Glore Perú S.A.C., Ancash, and focuses on analyzing the importance of geomechanical evaluation in the choice of the type of support. The main objective is to determine how the evaluation of geomechanical behavior influences the process of choosing support for the northern zone of the Huacchara mine, located in Ancash. Therefore, based on the general hypothesis, geomechanical behavior plays a fundamental role in the choice of the type of support at the Huacchara mine. In fact, a scientific, descriptive and applicative research was carried out, so that the data were obtained in the field and documented, in addition to using the rocscience software (Dips and RocData). The study population encompasses all levels of sustainment implemented at the aforementioned mine, while the sample focuses on the levels of sustainment specifically used. Thus, according to the evaluation of the geomechanical behavior, in the northern zone of the Huacchara mine, it was determined that the poor rocks (bad rocks) of type IVA-IVB, with an (RMR 35-25) are the most predominant with 60% and the regular rock IIIB (RMR 42) with 20%, with three families of discontinuities (Family 1: 67/145, Family 2: 52/247, Family 3: 75/260). Likewise, the geological resistance index (GSI) resulted in MF/P (very fractured to poor) with 11-20 fractures/meter, moderately locked, partially disturbed, angular blocks and presence of discontinuities. In addition, it has a smooth, flat surface with grooves, open 5 mm to 1 cm with sericite and kaolin coating with compact filling or with rock fragment. On the other hand, the IF/P (intensely fractured to regular) presents with more than 20 fractures/meter, folding and/or faulting with many intersected discontinuities forming angular fragments with smooth, flat surfaces with striations, open 5 mm to 1 cm with sericite and kaolin coating, compact fill or with rock fragment. Consequently, it was determined that for the North zone of the Huacchara mine, it is necessary to use electrowelded mesh plus 7' expanding bolt spaced at 1.5 x 1.6 m and/or 8" or 9" wood frame with spacing from 1.2 to 1.5m and 1.0 to

1.2m respectively, for rock type IVA and IVB. In addition, it is recommended for rock type IIIB a support with electrowelded mesh plus an expanding bolt of 5' or 7' with spacings of 1.6 x 1.6 m.

Key words: rock mass, geomechanical behavior and type of support.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación titulado “**Elección del tipo de sostenimiento según el comportamiento geomecánico en la zona Norte de la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023**” se fundamenta en realizar la evaluación del comportamiento geomecánico del macizo rocoso para determinar el tipo de sostenimiento que se requiere para la zona Norte de la mina Huacchara.

En la minería, los índices geomecánicos son parámetros y métodos utilizados en el diseño de la industria minera, en este caso el uso del índice RMR (índice de Bieniawski basado en relacionar los indicadores del macizo rocoso con los parámetros geomecánicos), GSI (índice de resistencia geológica de Hoek-Brown) y Q de Barton (evaluación numérica del sistema de clasificación de macizo rocoso) fueron fundamentales para determinar el tipo de sostenimiento. Es decir, las clasificaciones geomecánicas fueron creadas con el fin de cuantificar previamente las características del macizo rocoso, para la estimación del sostenimiento en la excavación para que se empleen en la evaluación de las propiedades del macizo rocoso.

El sostenimiento es para controlar y mantener estable la excavación, con el fin de proporcionar zonas seguras de trabajo y proporcionar acceso a las diferentes labores mineras. Los tipos de sostenimiento que se tuvo en consideración fueron perno de anclaje (expansivos), malla electrosoldada, cuadros de madera y cimbras, según el estudio del comportamiento geomecánico del macizo de la zona Norte de la mina Huacchara.

El Capítulo I, expone la identificación del tema, la delimitación de los límites de la investigación, la formulación tanto del problema principal como de los problemas específicos. Asimismo, se plantean los objetivos generales y específicos que buscan respaldar la justificación de la investigación. Finalmente, se detallan las limitaciones que pueden influir en el desarrollo y los resultados de esta de investigación.

En el Capítulo II, se aborda el marco teórico que incluye los antecedentes relevantes, detallando las bases teórico-científicas que fundamentan la investigación. Asimismo, se formula la hipótesis general y las hipótesis específicas, se identifican las variables y se definen términos fundamentales para comprender el estudio. Además, se establece la definición operativa de variables e indicadores para facilitar la comprensión dentro del contexto de la investigación.

El Capítulo III, se enfoca en la metodología y técnicas de investigación, abordando aspectos como el tipo y nivel de investigación, el método utilizado, el diseño de la investigación, la población y muestra estudiada, así como las técnicas e instrumentos empleados para recolectar datos. También se detalla el tratamiento estadístico aplicado y se consideran las implicaciones éticas de la investigación.

En el Capítulo IV, se presentan los resultados y la discusión, en la que se detalla la descripción del trabajo de campo y se explica la presentación, análisis e interpretación de los resultados obtenidos. Además, se incluye la aplicación de pruebas de hipótesis y se desarrolla la discusión en torno a dichos resultados.

Finalmente, se ofrecen las conclusiones, las recomendaciones, así como las referencias bibliográficas y los anexos.

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	
ÍNDICE DE FIGURA	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE CUADROS	
ÍNDICE DE PLANOS	

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema	1
1.2. Delimitación de la investigación	2
1.3. Formulación del problema.....	2
1.3.1. Problema general	2
1.3.2. Problemas específicos	2
1.4. Formulación de Objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivo general	3
1.5. Justificación de la investigación	3
1.5.1. Justificación teórica	4
1.5.2. Justificación metodológica.....	4
1.5.3. Justificación práctica	4
1.6. Limitaciones de la investigación.....	5

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio	6
2.1.1. Antecedentes Internacionales	6
2.1.2. Antecedentes Nacionales	8
2.2. Bases teóricas – científicas.....	10
2.1.1. Generalidades	10
2.2.2. Caracterización Geomecánica.....	11
2.2.3. Evaluación de Sostenimiento	44
2.2.4. Selección de la mejor alternativa de sostenimiento	51
2.3. Definición de términos básicos	52
2.4. Formulación de Hipótesis.....	54
2.4.1. Hipótesis general.....	54
2.4.2. Hipótesis Específicas	54
2.5. Identificación de Variables	54
2.5.1. Variable Independiente:.....	54
2.5.2. Variable Dependiente:	55
2.6. Definición Operacional de variables e indicadores	55

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE LA INVESTIGACION

3.1. Tipo de Investigación	57
3.2. Nivel de Investigación	57
3.3. Métodos de investigación	58
3.4. Diseño de investigación	58
3.5. Población y muestra	58
3.6. Técnicas e instrumento recolección de datos.....	58

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	59
3.8. Tratamiento Estadístico	59
3.9. Orientación ética filosófica epistémica	59

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	60
4.1.1. Ubicación geográfica y accesibilidad de la Mina Huacchara.....	60
4.1.2. Aspectos geológicos del yacimiento Minero	61
4.1.3. Labores Mineras.....	65
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	66
4.2.1. Caracterización Geomecánica del macizo rocoso	66
4.2.2. Elección del tipo de sostenimiento.....	82
4.3. Prueba de Hipótesis.....	93
4.3.1. Comprobación de la Hipótesis General	93
4.3.2. Comprobación de las Hipótesis Especificas	95
4.4. Discusión de resultados.....	99

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1: Relación de k de la Variación del esfuerzo vertical y horizontal con la profundidad del modelo de Sheorey (1994)	16
Figura 2: Evaluación del valor del RQD de un testigo	20
Figura 3: Relación entre el RQD y el Espaciamiento de la discontinuidad.....	22
Figura 4: Espaciamiento del macizo rocoso	26
Figura 5: Perfiles Típicos de rugosidad	30
Figura 6: Software RocData	44
Figura 7: Pernos de Anclaje.....	48
Figura 8: Diseño de sostenimiento práctico en las labores mineras subterráneas (SPM)	50
Figura 9: Plano de ubicación y accesibilidad a la Unidad Minera Huacchara S.A.....	61
Figura 10: Zonas colindantes del Proyecto Huacchara	62
Figura 11: Mineralización de Huacchara	64
Figura 12: Falla Huacchara.....	65
Figura 13: Estereografía para determinar número de familias.....	67
Figura 14: Resultado de macizo rocoso con el software RocData.....	69
Figura 15: Porcentaje del Macizo rocoso de acuerdo a su clasificación	81
Figura 16: Ábaco del SPM (Aplicación del De, RMR y GSI)	87
Figura 17: Recomendación del sostenimiento Minera Huacchara.....	89
Figura 18: Precio Unitario del sostenimiento con cuadro de madera.....	90
Figura 19: Precio Unitario del sostenimiento con cimbra.....	91
Figura 20: Precio Unitario del sostenimiento con malla electrosoldada	92
Figura 21: Correlación de RMR y Q	94
Figura 22: Correlación de RMR con la clasificación geomecánica	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Interpretación de los valores RQD	19
Tabla 2: Clasificación del RQD según (Priest & Hudson)	21
Tabla 3: Interpretación de los valores de RMR, (Bieniawski, 1989)	24
Tabla 4: Resistencia del macizo rocoso	25
Tabla 5: Valor de la calidad de la roca (RQD)	26
Tabla 6: Espaciamientos de las discontinuidades.....	27
Tabla 7: Valores de la continuidad o persistencia de las discontinuidades	28
Tabla 8: Valores de apertura de las discontinuidades	29
Tabla 9: Valores de rugosidad de las discontinuidades	31
Tabla 10: Valores del relleno de las discontinuidades	31
Tabla 11: Valores de la alteración de las discontinuidades.....	32
Tabla 12: Parámetros de la presencia del agua	32
Tabla 13: Clasificación y Valores para determinar el buzamiento.....	33
Tabla 14: Valoración para túneles y minas.....	34
Tabla 15: Valoración para Cimentaciones	34
Tabla 16: Valoración para taludes	35
Tabla 17: Clasificación del macizo rocoso a partir del RMR	36
Tabla 18: Cartilla para el valor de estimación del GSI	38
Tabla 19: Cuadro de resistencia de compresión simple o uniaxial de la matriz rocosa...39	
Tabla 20: Valores de la constante “mi” de la matriz rocosa	41
Tabla 21: Parámetros de la relación entre el macizo rocoso y las constantes mb, s.....	42
Tabla 22: Descripción del factor de alteración “D”	43
Tabla 23: Tipo de pernos y la descripción de sus características	48
Tabla 24: Valores de ESR definiendo el tipo de excavación	50
Tabla 25: Lista de alternativas para la elección del sostenimiento.....	52

Tabla 26: Resistencia a la compresión simple con picota de geólogo	71
Tabla 27: Valoración de la Resistencia a la compresión simple (con picota)	72
Tabla 28: Valoración del RQD	73
Tabla 29: Valoración del espaciado.....	73
Tabla 30: Valoración de la presencia de agua.....	75
Tabla 31: Orientación de la discontinuidad de la zona mapeada	75
Tabla 32: Valoración de la excavación	76
Tabla 33: Tipo de excavación de la zona Norte de la mina Huacchara.....	83
Tabla 34: GSI según la descripción geomecánica de la Mina Huacchara.....	85

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Cuadro de operacionalización de variables e indicadores	56
Cuadro 2: valoración de las condiciones de discontinuidades.....	74
Cuadro 3: Mapeo geomecánico de la zona Norte	80
Cuadro 4: Estimación del macizo rocoso de la zona Norte	81
Cuadro 5: Cálculo de la dimensión equivalente de excavación “De”	84
Cuadro 6: Cálculo del RMR de Bieniawski según Q de Barton (SPM)	94
Cuadro 7: Precio unitario y capacidad portante por tipo de sostenimiento	98

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1: Mapeo geomecánico de la zona Milagros	77
Plano 2: Mapeo geomecánico Nv. 0.....	78
Plano 3: Mapeo geomecánico Nv. 35.....	79

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

La Mina Huacchara está ubicada en el distrito de Pampas, Provincia Pallasca departamento de Ancash. Es parte del Consorcio Minero Glore Perú S.A.C, dedicado a la explotación de minas y canteras. En esta Unidad Minera, desde el inicio de sus operaciones, debido a su clasificación intermedia del macizo rocoso, ocurrieron problemas con el sostenimiento de las labores.

Por ende, se aplicaron constantemente parámetros geomecánicos para ayudar a determinar el tipo de sostenimiento para resolver la inestabilidad del macizo rocoso, que generalmente dificultaba el avance operativo de la mina. En tal sentido, la inestabilidad del macizo rocoso en las operaciones de minado debía ser controlada para proteger la vida de los trabajadores y el flujo operativo.

La presente investigación fue una aplicación efectiva de la evaluación geomecánica integrada a la explotación minera.

Por ello, este estudio se enfocó en la operación subterránea de la Unidad Minera Huacchara, y tuvo el objetivo de evaluar las características geomecánicas para las distintas labores de exploración, desarrollo, preparación y explotación ya

que se tienen buzamientos en las vetas que oscilan entre 25 a 75 grados; pero se consideraron los costos del sostenimiento. Por tales razones, se expuso el siguiente problema de investigación: Elección del tipo de sostenimiento según el comportamiento geomecánico en la zona Norte de la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023.

1.2. Delimitación de la investigación

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la Mina Huacchara que se encuentra ubicado en el anexo Pelagatos del distrito de Pampas en la provincia de Pallasca, región Ancash.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿De qué manera el comportamiento geomecánico del macizo rocoso influye en la elección del tipo de sostenimiento en la zona Norte de la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023?

1.3.2. Problemas específicos

1. ¿Cómo influye la caracterización geomecánica del macizo rocoso en la evaluación del sostenimiento a aplicarse en la zona Norte de la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023?
2. ¿En qué medida la caracterización geomecánica del macizo rocoso influye en la selección de la mejor alternativa de sostenimiento en la zona Norte de la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar como el comportamiento geomecánico del macizo rocoso influye en la elección del tipo de sostenimiento en la zona Norte de la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023.

1.4.2. Objetivo general

Analizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso para la evaluación del sostenimiento a aplicarse en la zona Norte de la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023.

Considerar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso para la elección de la mejor alternativa de sostenimiento en la zona Norte de la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023.

1.5. Justificación de la investigación

En la minería es fundamental conocer el comportamiento geomecánico del macizo rocoso de todas las labores subterráneas; es decir; frentes de avance, cruceros, piques, chimeneas, etc. Por ello, además de brindar seguridad a los trabajadores era necesario garantizar un tipo de sostenimiento adecuado para alcanzar las metas proyectadas en el plan de minado.

De igual forma, en todo proyecto minero es indispensable tener en cuenta los diversos modelos de sostenimiento tales como pasivos y activos. Por ende, era necesario realizar los diversos estudios de las características del macizo rocoso.

La justificación de este proyecto de investigación tenía como prioridad analizar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso de la Mina Huacchara con el objetivo de mejorar la estabilidad de las labores; para lo cual, se planteó el mejor método de sostenimiento, debido a que de esta forma se evitaban accidentes ocasionados por caída de rocas.

1.5.1. Justificación teórica

La presente tesis se fundamentó en el conocimiento de la geomecánica aplicada, específicamente en la minería. En ese sentido es indispensable definir, explicar y plantear un buen sustento teórico sobre los tipos de sostenimientos que serían aplicados en el campo, es decir en la Unidad Minera Huacchara. Además, toda la información reunida y procesada forma parte de la sustentación de la presente tesis.

Por ello, considero que este proyecto de investigación será de apoyo para otros trabajos que requieran de indagación, puesto que el marco teórico es enriquecedor de conocimientos sobre el tema en mención.

1.5.2. Justificación metodológica

El presente estudio cumple el método científico que utiliza una metodología, para tener un buen proyecto investigativo que ayudará a exponer conclusiones objetivas y reales.

1.5.3. Justificación práctica

Se identifico el método de sostenimiento adecuado en la Mina Huacchara para proveer seguridad en las labores a bajo costo y así evitar accidentes. Igualmente, aportando conocimientos precisos en el estudio minero con el objetivo de que esta tesis pueda ayudar a futuros proyectos investigativos.

En relación a los objetivos propuestos, se hallarán soluciones planteadas al problema del comportamiento geomecánico, con el fin de conocer las características del macizo rocoso para tener la mejor alternativa de sostenimiento. En tal sentido, el proyecto de investigación fue de carácter práctico. Es decir, la variable independiente trabajó con respecto a la variable dependiente.

1.6. Limitaciones de la investigación

En este proyecto de investigación no se tuvo limitaciones, puesto que se contó con el apoyo de la Unidad Minera Huacchara.

Importancia y alcance de la investigación

La importancia del presente trabajo de investigación se centró en realizar una detallada evaluación del comportamiento geomecánico del macizo rocoso para garantizar una adecuada elección de sostenimiento, con la finalidad de proteger la seguridad del personal.

Este proyecto de tesis tiene un gran alcance, ya que brinda una explicación detallada e interesante para todos aquellos que se quieran involucrar en la industria de la minería.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

Continuamente se realizan investigaciones sobre la aplicación de la Geomecánica en la ingeniería de minas las cuales se han revisado para elaborar el presente trabajo. A continuación, se citan algunas tesis a nivel internacional y nacional.

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Hergenrether Pérez, Daniel (2017) publicó la tesis “Consideraciones mecánicas en el diseño de secciones tipo para un túnel minero”¹.

Esta tesis tiene como objetivo *“reconocer, predecir y controlar el comportamiento tanto del macizo rocoso como del sostenimiento ante la acción de los diferentes tipos de acciones a las que previsiblemente se verá expuesto el túnel durante su ejecución (...)*²”

¹ Tesis para optar el Grado de Máster Universitario en Recursos Geológicos e Ingeniería Geológica, Universidad de Oviedo.

² (Hergenrether, 2017, p. 19)

De igual forma, el autor realiza la evaluación de conceptos, ejecutando balances en el diseño de secciones para el sostenimiento de un túnel minero, el cual está direccionado en un contexto geológico con el uso de anisotrópicos.

En ese sentido Hergenrether (2017) concluyó lo siguiente:

“La aplicación de métodos de cálculo numéricos actuales propicia un reajuste indispensable de los diseños de sostenimiento, permitiendo verificar y controlar los factores que intervienen en la estabilidad de una excavación y que estará fuertemente condicionado por el nivel de conocimiento y capacidad de estudio de los factores geológicos”³.

Esta tesis es un excelente referente sobre conceptos geomecánicos, los cuales son utilizados en el diseño de sostenimiento a diferentes profundidades; y también muestra recomendaciones según la longitud y método de excavación, considerando el comportamiento del macizo rocoso.

Asimismo, Castillo (2017) aborda el tema de “Análisis de la estabilidad de macizos rocosos mediante el uso de SIG y su aplicación al sector Lucarqui (Loja, Ecuador)”⁴.

La tesis de Castillo (2017) tiene como finalidad *“realizar los mapas de susceptibilidad cinemática al deslizamiento por rotura plana, (...), mediante la utilización de herramientas de SIG para analizar e identificar zonas vulnerables a la rotura y caída de rocas en las carreteras”* (p.4). Es decir, el autor hace un análisis exhaustivo de la estabilidad del macizo rocoso. Utilizando conocimientos fundamentales de la geomecánica y cinemática, empleando el uso de equipos de campo y de laboratorio como parte de la evaluación de propiedades físico-mecánicas.

³ (p.118)

⁴ Tesis para la obtención de Maestría en Ingeniería Vial de la Universidad Técnica de Loja.

En definitiva, Castillo (2017) asevera lo siguiente:

“Los mapas de susceptibilidad a la rotura encontrados mediante la caracterización SMR y herramientas de SIG, facilitan el análisis cinemático, diferenciando entre susceptibilidad a rotura planar, en cuña y por vuelco, el detalle de esta caracterización geomecánica depende de la definición de las zonas litoestructurales. subzonas y estaciones”⁵.

De esta investigación la información relevante es el análisis de estabilidad de macizos rocosos con el uso de SIG y la caracterización de la geomecánica en el que se utilizan ecuaciones continuas para la automatización de los cálculos y representación en SIG de la caracterización geomecánica para determinar el factor de seguridad de la estabilidad del sostenimiento.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Herrera E. (2020).” Caracterización geomecánica del macizo rocoso aplicado al análisis de estabilidad de taludes en el yacimiento Jésica, Ocuvi - Lampa - Puno - 2015 - 2016”⁶.

Esta investigación delimita cuál es la importancia de la caracterización geomecánica del macizo rocoso en una alteración hidrotermal para determinar la calidad de la roca y la estabilidad de los taludes en la explotación de un yacimiento minero de elevada sulfuración a tajo abierto⁷.

Por ello, Herrera (2020) refiere:

“Se ha determinado que el factor de seguridad de los taludes disminuye si se realiza un análisis de estabilidad anisotrópico, la prueba de hipótesis demuestra que hay una correlación positiva muy fuerte entre las variables,

⁵ (p. 72)

⁶ Tesis para optar el Grado Académico de Magíster en Geología mención en Geotecnia. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

⁷ (Herrera, 2020, p. 5)

*(...) indica que altos valores de factor de seguridad en el macizo rocoso isotrópico se asocian con altos valores de factores de seguridad en el macizo rocoso anisotrópico*⁸.

Esta tesis nos brinda información relevante concerniente a la influencia que ejerce el tipo de alteración de la roca, en la calidad del macizo rocoso que afecta la estabilidad de taludes. Del mismo modo, muestra el cálculo de factor de seguridad que realiza en el análisis de estabilidad anisotrópica.

En 2015, Rojas publicó “Evaluación geomecánica para el diseño de una labor de exploración, al sistema de vetas de la Mina Orion Chala Arequipa”⁹.

Esta tesis permite *“conocer las bondades y las características del macizo rocoso para desarrollar una labor de exploración, del mismo modo el diseño recomendado será de gran valía para la extracción del mineral cubicado*”¹⁰.

Igualmente, el autor determina cuales son las condiciones geológicas y geotécnicas a considerar en el diseño de una rampa. Asimismo, evalúa los efectos del macizo rocoso a partir de su comportamiento.

En efecto, Aranda (2015) refiere, lo siguiente:

“Por el análisis cuantitativo de la investigación y haciendo una evaluación de la muestra que se determinó en su debido momento como no probabilística por decisión del grupo de interés y determinando por razones técnicas los puntos a considerar para la viabilidad del proyecto (...)”¹¹.

⁸ (p.135)

⁹ Título para optar el Grado profesional de Ingeniero de Minas. Universidad Nacional del Centro del Perú

¹⁰ (Aranda, 2015, p. 3)

¹¹ (p. 100)

Por ello, esta investigación aporta la descripción y análisis de las condiciones geomecánicas de la mina Orión y el estudio geológico realizado para tener una eficiente producción.

2.2. Bases teóricas – científicas

Para la tesis presente nos hemos basado de los siguientes estudios:

2.1.1. Generalidades

2.2.1.1. Labores Mineras

Las labores mineras buscan los cuerpos mineralizados. Por ende, se realizan diferentes labores como: exploración, preparación, desarrollo y la explotación¹².

a) Exploración

Es el estudio de los primeros indicios de mineralización. Por tal motivo se realizan labores verticales y horizontales como: cruceros, estocadas y cámaras de pozos de sondeos. Para constatar la presencia y la continuidad de las vetas de modo que se prosiga el desarrollo.

b) Desarrollo

Tienen como objetivo avanzar hacia el depósito mineralizado, para delimitar el tonelaje, sus leyes y reservas. Por lo que se realizan subniveles, chimeneas, galerías y rampas.

c) Preparación

Son labores como chimeneas y galerías, las cuales están acondicionadas para el acceso a la extracción de los bloques de mineral.

d) Explotación

¹² Oriendo, 2018

Es la labor final, denominada “tajeo”, en la que el recurso, se encuentra preparado para ser extraído. Con la secuencia: Perforación, voladura, ventilación, desate, limpieza, carguío, acarreo y sostenimiento.

2.2.2. Caracterización Geomecánica

La geomecánica es una ciencia que se encarga de estudiar la estructura de la roca a profundidad. Asimismo, se especializa en analizar el comportamiento mecánico de la roca, con el objetivo de mostrar el resultado de la excavación subterránea perteneciente a las fuerzas inducidas, en ese sentido provee mayor sostenimiento en los trabajos de minería, de modo de evitar accidentes¹³.

2.2.2.1. Parámetros geomecánicos

Son los elementos que intervienen en el comportamiento de la roca e influyen en la estabilidad de las excavaciones subterráneas de las labores por ello se han agrupado en 3 parámetros¹⁴:

1. Parámetros de matriz rocosa: es aquella que define las propiedades específicas de la matriz rocosa, y la que no presenta discontinuidades en el material rocoso.

- **Litología**

La litología constituye parte de la geología, dado que estudia las características de la roca tales como: textura, tamaño, color, composición mineralógica y resistencia. Es decir, sus propiedades físicas y químicas, siendo así un factor importante para la formación del relieve¹⁵.

¹³ Vilcapoma, 2020. pp.42-43

¹⁴ Muñoz y Gonzales, 1987

¹⁵ Delgado y Godoy, 2009

- **Mineralogía**

La mineralogía es la ciencia que se encarga de estudiar a las sustancias cristalinas (minerales) analizando su origen, formación, clasificación, distribución, uso y las propiedades físicas y químicas, que se encuentran en la superficie e interior de la tierra¹⁶.

2. Parámetros del macizo rocoso: es la matriz rocosa que está demarcada por discontinuidades y alteraciones con una condición anisotrópica y heterogénea, esto le designa su comportamiento mecánico e hidráulico. Asimismo, analizan la interacción entre los bloques de matriz rocosa y las discontinuidades que los atraviesan, así como la influencia de factores geológicos y naturales externos al macizo rocoso.

- **Discontinuidades**

Monte (2020) afirma “*Se denomina discontinuidad a la variedad de estructuras geológicas, definidas por un plano de debilidad de diversa magnitud, que alteran la uniformidad del material rocoso, pudiendo favorecer el desplazamiento entre bloques (...)*” (p. 6).

Estas estructuras tienen características que nos proporcionan información del comportamiento del macizo rocoso, es decir:

- Número de familias
- Orientación
- Espaciado
- Continuidad Espacial
- Anchura

¹⁶ Wolfgang, 2020

- Rugosidad y ondulación de los Planos
- Alteración de las Paredes
- Rellenos
- **RQD**

Es el índice que determina la calidad inicial del macizo rocoso, por medio de sondeos geológicos se extraen los testigos. A partir de ello, se eligen trozos de longitudes mayores a 10 cm que al sumarlos son divididas entre el total de toda la muestra, obteniendo el resultado en porcentaje (%)¹⁷.
- **Tamaño y forma de los bloques de matriz rocosa**

El tamaño y la forma de los bloques de la matriz rocosa está delimitada por el espaciamiento, la cantidad y forma de las discontinuidades¹⁸.
- **Condiciones Hidrogeológicas**

Este parámetro es influenciado por la formación litológica, la cantidad de fluido que ingresa y que está retenido en el macizo rocoso, esto nos permitirá determinar cómo se comporta el macizo rocoso frente a estas condiciones¹⁹.
- **Estado de esfuerzos**

Los esfuerzos son aquellas fuerzas aplicadas en un área específica donde se encuentra el macizo rocoso, éstas se presentan de

¹⁷ Maldonado, 2020

¹⁸ Leandro R. Alejano, Javier Arzúa y María Veiga, 2018

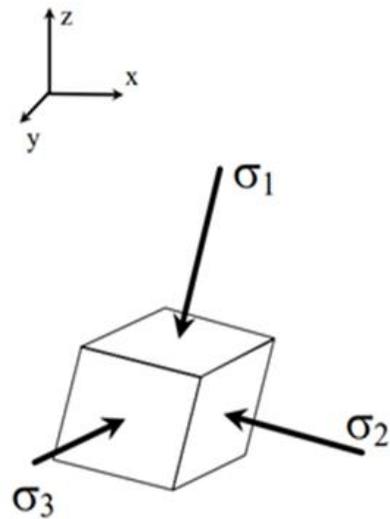
¹⁹ Rodríguez, 2003

manera in situ y cuando se empieza las labores de excavación de manera inducida²⁰.

- **Esfuerzo In situ:**

Son aquellos esfuerzos o tensiones gravitacionales, tectónicos, topográficos, etc. que está sujeto la estructura del macizo rocoso.

En el macizo rocoso por naturaleza actúa el esfuerzo que ejerce su propio peso, es decir la gravitacional o vertical, también se tiene los esfuerzos horizontales, siendo estos dos los esfuerzos primordiales. Estos esfuerzos o tensiones se expresan de la siguiente manera:



$$\sigma_1 = \sigma_v ; \quad \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_H$$

Para lo cual, según Hoek y Brown (1978), nos da a conocer que la estimación de un esfuerzo in situ es el producto de la profundidad

²⁰ Diaz, 2015

en la que se encuentra el macizo rocoso, es decir, el esfuerzo que genera el peso (esfuerzo vertical) por la densidad del mismo.

$$\sigma_v = \gamma * Z$$

Donde:

σ_v = Esfuerzo del peso del macizo rocoso (Pa)

γ = Densidad del macizo rocoso

Z = Profundidad donde se encuentra el macizo rocoso (M)

Para los esfuerzos horizontales consideramos el modelo de Sheorey (1994), que se aplica cuando la formación del macizo rocoso es suave, débil y muy fracturada, teniendo en cuenta que depende del valor de la elasticidad del macizo rocoso. Por ello, Sheorey plantea la siguiente ecuación:

$$\sigma_h = k * \sigma_v = k * \gamma * Z = \left(\frac{v}{1-v} \right) * \sigma_v$$

$$K = 0.25 + 7 (E_h) \left(0.001 + \frac{1}{Z} \right)$$

Donde:

σ_v = Esfuerzo vertical

σ_h = Esfuerzo horizontal

E_h = Modulo de deformación horizontal (MPa)

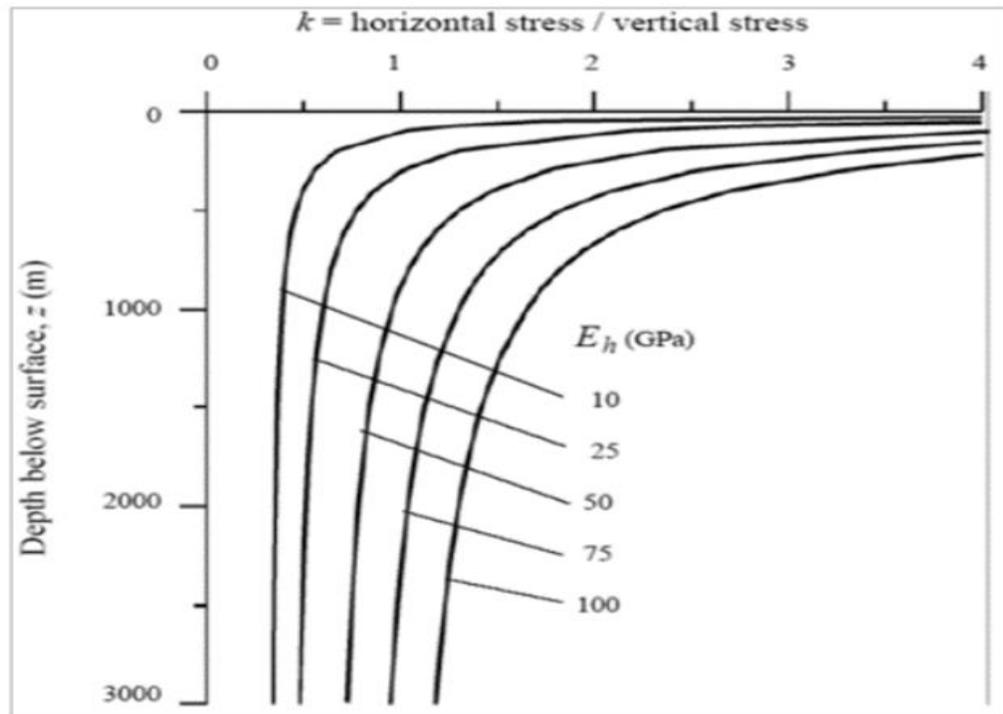
v = Coeficiente de Poisson

γ = Densidad del macizo rocoso

Z = Profundidad donde se encuentra el macizo rocoso (M)

Figura 1:

Relación de k de la Variación del esfuerzo vertical y horizontal con la profundidad del modelo de Sheorey (1994)



Fuente: Criterios de Análisis y Validación del Comportamiento de los Túneles con Squeezing en Rocas (2017).

Por ello, es indispensable conocer en primera instancia todos los esfuerzos naturales que está sometida el macizo rocoso, para tener una buena estabilidad, ya que de esta depende la orientación y la magnitud de estos esfuerzos.

- **Esfuerzo Inducido:**

Al empezar las labores de excavación y estar en constante avance, los esfuerzos naturales sufren cambios y estos se pueden presentar en distintas zonas del macizo rocoso, como también se pueden concentrar en un solo dado generando así inestabilidad, por ello, este control es indispensable.

3. Parámetros geotécnicos: estudia a las fuerzas naturales y las inducidas que se ocasionan en las excavaciones subterráneas de la roca, de modo que estas producen cambios en el estado tensional existente.

- Sistema de excavación
- Tiempo de instalación
- Presencia de excavación adyacentes
- Geometría y dimensión de la excavación

2.2.2.2. Red estereográfica de datos estructurales

La proyección estereográfica o equiangular es aquella representación de las características estructurales (diaclasas, fallas o fracturas) que involucran al macizo rocoso. Estos datos son obtenidos en el mapeo geomecánico mediante el uso de una brújula, determinando la dirección del material que se desea medir. Por tal razón, se toma como base al norte magnético y un clinómetro favoreciendo al ángulo que forma el material que se requiere medir con respecto al plano horizontal. Es decir, el rumbo y buzamiento, con el propósito de plasmarlo en una esfera sobre un plano; esto puede ser expresado de forma manual. Asimismo, por medio del DIPS, el cual es un software que analiza y visualiza los datos estructurales del macizo rocoso, fundamentado en la orientación, realizando el análisis de la estructura del macizo rocoso²¹.

2.2.2.3. Clasificación geomecánica

La finalidad de la clasificación geomecánica es proporcionar información de las características y comportamiento observadas en el

²¹ Gutierrez, 2013

campo del macizo rocoso. Es instrumento importante para describir y clasificar los diferentes tipos de rocas que el terreno que se presentan²².

Con el objetivo de evaluar la resistencia para una mejor estabilidad y los criterios de selección del tipo de sostenimiento apropiado, se plantearon varios índices de clasificación geomecánica, los más empleados en el sector minero son:

- índice RQD (Rock Quality Designation) desarrollado por John Deere entre los años 1963 y 1967, siendo un sistema que nos da a conocer la calidad y resistencia de la masa rocosa.
- índice RMR (Rock Mass Rating) desarrollado por Zdzisław Tadeusz Bieniawski entre los años 1972 a 1989, en la que se plantea 6 parámetros:
 - Resistencia uniaxial de la matriz rocosa
 - RQD de la roca
 - Espaciamiento entre las discontinuidades
 - Condiciones de las discontinuidades
 - Condiciones Hidrogeológicas
 - Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación, se forman para determinar la calidad y el comportamiento de la masa rocosa.
- índice Q desarrollado por Barton en el año de 1974, es la evaluación de parámetros geotécnicos de la masa rocosa para establecer un sostenimiento conveniente para túneles y otro tipo de excavación.

²² Soto, 2018; Lucas, 2019

- índice de resistencia geológica (GSI) desarrolló por Hoek en el año 1994, es la herramienta basada en la observación y la práctica de la matriz rocosa hasta el macizo rocoso (fracturada).

1. RQD (Rock Quality Designation)

El índice de calidad de la roca (RQD) califica desde un 0% (roca muy pobre) al 100% para una roca excelente, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1:
Interpretación de los valores RQD

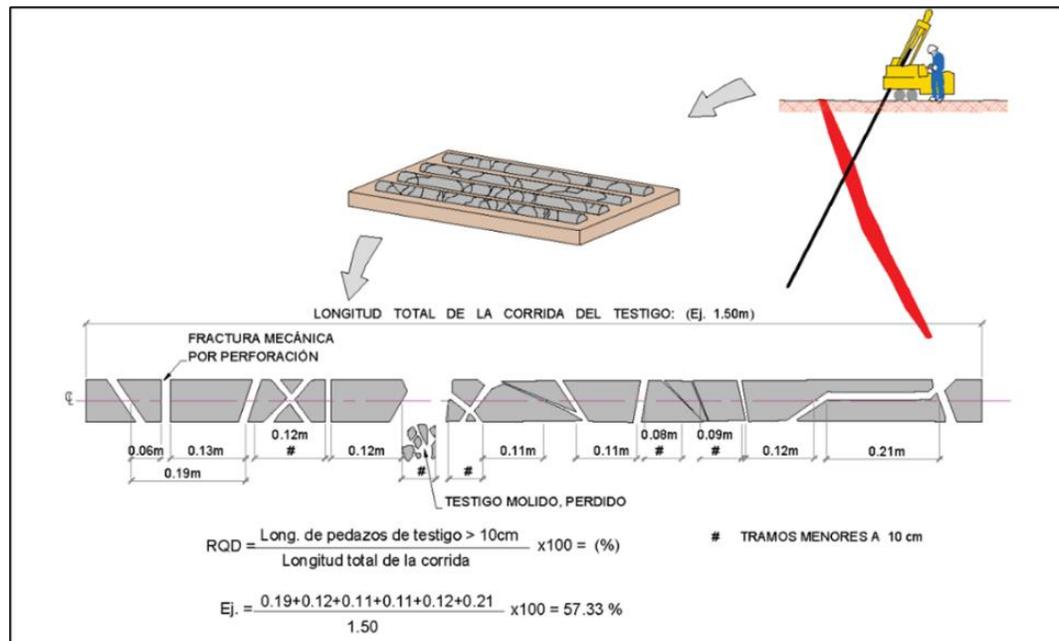
Descripción del índice de calidad de la roca	Valor del RQD
Muy pobre	0-25
Pobre	25-50
Regular	50-75
Buena	75-90
Muy buena	90-100

Fuente: Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas (p. 22), Osinergmin, 2017.

Su análisis revisa los testigos, considerando solo aquellos que tienen una longitud mayor e igual a 10 cm dividiéndola con el total de longitud pertenecientes a las muestras que se tomaron. Dichas muestras son extraídas por tuberías de perforación (BQ y NQ) de un diámetro de 47.6 mm y 50.5 mm respectivamente.

En la Figura N.º 2 se muestra la fórmula y el proceso de cómo aplicar lo mencionado en los testigos extraídos (sondaje diamantino).

Figura 2:
Evaluación del valor del RQD de un testigo



Fuente: Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas (p. 23), Osinergmin, 2017.

Cuando se tiene un macizo rocoso que aflora, y donde podemos tener acceso para evaluar esa zona, no es necesario utilizar testigos. Dado que, con este mapeo realizado por celdas o líneas detalladas del terreno, se proporciona una mejor visualización del macizo rocoso. A continuación, se da a conocer dos métodos para estimar el RQD:

a. Mapeo de línea de detalle: se obtiene trazando una línea horizontal en la zona expuesta, con cierta medida (1m) para contar la cantidad de fracturas que esta presenta (número de discontinuidades) (λ), ello corresponde a lo desarrollado por Priest y Hudson (1976) donde proporciona la siguiente fórmula para estimar el RQD:

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

Donde:

λ : es el número de fracturas (discontinuidad)

$\lambda=1/$ (frecuencia de discontinuidades)

Aplicando la fórmula y obteniendo el resultado lo asociamos con la siguiente Tabla N.º 2:

Tabla 2:
Clasificación del RQD según (Priest & Hudson)

Calidad de masa rocosa	RQD (%)
Muy mala (>27 fracturas por m)	0-25
Mala (20-27 fracturas por m)	25-50
Regular (13-19 fracturas por m)	50-75
Buena (8-12 fracturas por m)	75-90
Excelente (0-7 fracturas por m)	90-100

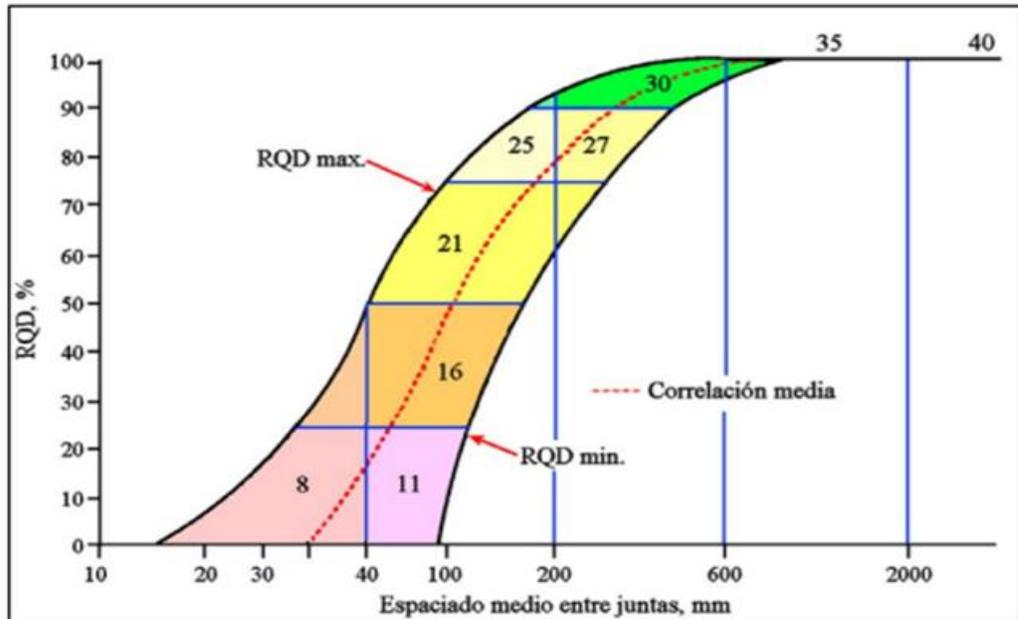
Fuente: Evaluación numérica del sistema de clasificación de macizo rocoso Q de Barton en granodiorita (p.20), Carlos Vega Vera 2018.

Bieniawski ha relacionado el RMR de espaciamiento con las discontinuidades al RQD, debido a que existía una cierta relación entre espaciado y el índice RQD (ver Figura N.º 3). En ese sentido se tiene en cuenta los parámetros más esenciales para determinar la calidad del macizo rocoso, es importante mencionar que el RQD máximo fue formulado por Priest y Hudson²³.

²³ Mamani, 2022

Figura 3:

Relación entre el RQD y el Espaciamiento de la discontinuidad



Fuente: Evaluación geotécnica según los métodos RMR y Q de Barton en la construcción del túnel trasandino en el Distrito de San Bartolomé-Lima (p.30), Mamani, 2022.

- b. Mapeo por celdas:** también llamado volumétrico, es ubicar un volumen de roca (m^3) para determinamos el número de juntas (J_v):

$$J_v = \sum \frac{1}{s_1}$$

Donde:

S: espaciamiento de juntas en un volumen de roca.

Aplicamos la siguiente fórmula que se incorporó en el índice Q (1974):

$$RQD = 115 - 3.3 * J_v$$

RQD = 100% cuando $J_v \leq 4.5$

RQD=0% cuando $J_v > 35$

Luego Brown (1985) la actualizo dándole un enfoque más completo:

$$RQD = 110 - 2.5 * Jv$$

RQD = 100% cuando $Jv \leq 4$

RQD = 0% cuando $Jv > 44$

Los valores que podemos obtener del RQD por medio del método clásico, es con el sondeo y los métodos alternativos mencionados que nos brinda la herramienta necesaria para dar a conocer resultados confiables para la geomecánica (Guerra, Navarro & Toribio, 2021).

2. RMR (Rock Mass Rating)

Es el índice desarrollado por Zdzisław Tadeusz Bieniawski en 1973 y actualizado en los años 1979 y 1989. Está basado en relacionar los indicadores del macizo rocoso con los parámetros geomecánicos evaluados en la práctica.

Carrillo et al. (2002) refieren que *“Este método permite, de forma sencilla, estimar la calidad del macizo rocoso, mediante la cuantificación de parámetros de fácil medición, los cuales se establecen en el campo de manera rápida (...)”* (pp. 91-96). Asimismo, el cálculo del RMR consta de sumar los puntos que van de 0 a 100 que resultan de los 6 parámetros geomecánicos.

RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) - orientación de discontinuidades

Al obtener el RMR del puntaje de los 6 parámetros definidos, esta se clasifica, de acuerdo a la Tabla N.º 3.

Tabla 3:

Interpretación de los valores de RMR, (Bieniawski, 1989)

Descripción	RMR	Clase de Macizo Rocosó
Roca muy buena	81-100	I
Roca buena	61-80	II
Roca regular	41-60	III
Roca mala	21-40	IV
Roca muy mala	0-20	V

Fuente: Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas (p. 26), Osinergmin, 2017.

Para obtener el valor del RMR, se tiene que resolver una serie de condiciones para la puntuación o valoración de cada parámetro (6) que se detalla a continuación²⁴.

a. Resistencia de la matriz rocosa

El cálculo se obtiene con la carga puntual en donde se trabaja con los testigos (sondajes) y el ensayo de compresión simple(uniaxial) para determinar la resistencia ante los esfuerzos, utilizando como instrumento el martillo Schmidt que determina la cantidad de rebotes que está relacionado con la resistencia. Al realizar este cálculo, se muestran las valoraciones que se obtienen con el resultado, véase en la Tabla N.º 4.

²⁴ Guerra, Navarro & Toribio, 2021

Tabla 4:
Resistencia del macizo rocoso

Descripción	Resistencia a la compresión simple	Ensayo de carga puntual (MPa)	Valoración
Extremadamente dura	>250	>10	15
Muy dura	100-250	4-10	12
Dura	50-100	2-4	7
Moderadamente dura	25-50	1-2	4
Blanda	5-25		2
Muy blanda	1-5	<1	1
	<1		0

Fuente: Evaluación geomecánica para implementar el sistema de sostenimiento con fines de seguridad, Galería Mercedes Mina Artesanal Suirupata - Acopalca (p.32), Guerra, Navarro & Toribio, 2021.

b. RQD

Determinamos la calidad de roca de la siguiente manera:

- Por sondeos diamantinos, solo se colocan las medidas de los testigos mayores a 10 cm y aplicamos la fórmula.
- Mapeo por línea de detalle (número de fracturas) y el de celdas es la cantidad de juntas (Jv) que se muestra en un metro cúbico.
- Mediante cada método planteado se obtiene un resultado con la que se determinará la valoración tal como se muestra en la Tabla N.º 5 y 3 si el RQD es 25% y 20 si es 90%.

Tabla 5:

Valor de la calidad de la roca (RQD)

Índice de calidad de la roca - RQD (%)	Calidad	Valoración
0-25	Muy mala	3
25-50	Mala	8
50-75	Regular	13
75-90	Buena	17
90-100	Muy buena	20

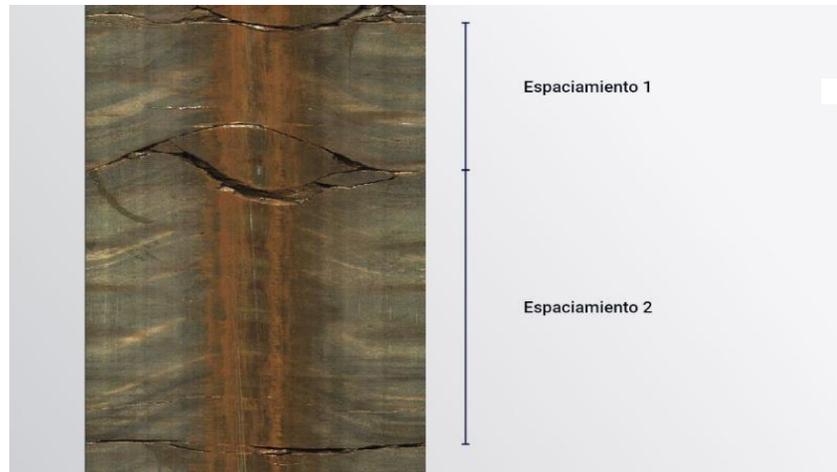
Fuente: Evaluación geomecánica para implementar el sistema de sostenimiento con fines de seguridad, Galería Mercedes Mina Artesanal Suirupata - Acopalca (p.34), Guerra, Navarro & Toribio, 2021.

c. Espaciamiento entre juntas o discontinuidades

El espaciamiento es la longitud entre discontinuidades o fracturas (ver Figura N.º 4), esta longitud es la que muestra la medida de los bloques de la matriz rocosa (Boretek, 2021).

Figura 4:

Espaciamiento del macizo rocoso



Fuente: Determinación del espaciamiento de discontinuidades, Boretek S.A.C., 2021.

De acuerdo al espaciamiento, se muestra la valoración en la Tabla N.º 6.

Tabla 6:
Espaciamientos de las discontinuidades

Descripción	Espaciado de las juntas	Tipo de maciso rocoso	Valoración
Muy separadas	>2m	Sólido	20
Separadas	0.6-2m	Masivo	15
Moderadamente juntas	0.2-0.6 m	En bloques	10
Juntas	0.06-0.02 m	Fracturado	8
Muy juntas	<0.06 m	Machacado	5

Fuente: Evaluación geomecánica para implementar el sistema de sostenimiento con fines de seguridad, Galería Mercedes Mina Artesanal Suirupata - Acopalca (p.36), Guerra, Navarro & Toribio, 2021.

d. Estado de las discontinuidades

Para este cálculo se describe cada característica de las discontinuidades y se aplica lo mapeado para determinar su puntuación o valoración, para ello, cada una de ellas planteadas en las siguientes tablas.

- **Persistencia:** Amplitud o longitud de una discontinuidad en un afloramiento, el resultado de valoración se obtendrá en base a la Tabla N.º 7.

Tabla 7:

Valores de la continuidad o persistencia de las discontinuidades

Grado	Descripción	Continuidad	Valoración
1	Muy baja	<1 m	6
2	Baja	1-3 m	4
3	Media	3-10 m	2
4	Alta	10-20 m	1
5	Muy alta	>20 m	0

Fuente: Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente Unidad Minera Yauricocha - Sociedad Minera Corona S. A. (p.26), Salazar ,2020.

- **Apertura:** aquella discontinuidad que puede ser cerrada y abierta, en ese caso se genere una estabilidad, debido a que al estar muy amplia a la discontinuidad genera que el ingreso de agua y materiales arcillosos, causen la disminución de resistencia en el macizo rocoso. Se observa la valoración en relación a la apertura de las discontinuidades en la Tabla N.º 8.

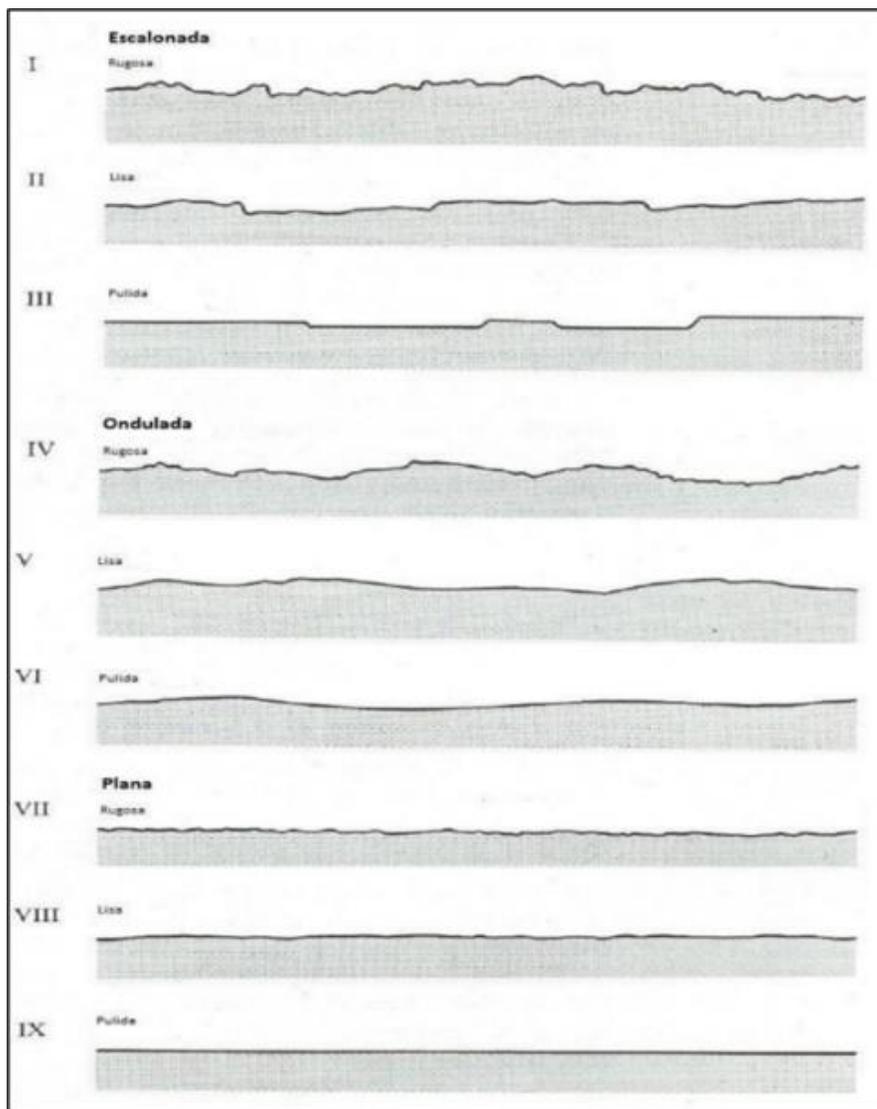
Tabla 8:
Valores de apertura de las discontinuidades

Grado	Descripción	Sepación de las caras	Valoración
1	Abierta	>5 mm	0
2	Moderadamente abierta	1-5 mm	1
3	Cerrada	0.1-1 mm	4
4	Muy cerrada	<0.1 mm	5
5	Ninguna	0	6

Fuente: Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente Unidad Minera Yauricocha - Sociedad Minera Corona S. A. (p.26), Salazar, 2020.

- **Rugosidad:** son las irregularidades de los lados de la discontinuidad y ondas que está determinada por una escala métrica, tal como se observa en la Figura N.º 5. Para registrar los resultados de rugosidad se debe tomar las siguientes descripciones:

Figura 5:
Perfiles Típicos de rugosidad



Fuente: Importancia de rugosidad en la estabilidad de bloques de roca (p. 12),
García, 2017.

En la Tabla N.º 9 se observa la valoración de la rugosidad de las discontinuidades.

Tabla 9:

Valores de rugosidad de las discontinuidades

Grado	Descripción	Valoración
1	Muy rugosa	6
2	Rugosa	5
3	Ligeramente rugosa	3
4	Lisa	1
5	Plana (espejo de falla)	0

Fuente: Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente Unidad Minera Yauricocha - Sociedad Minera Corona S. A. (p.26), Salazar, 2020.

- **Relleno:** es el material contenido entre las paredes de la discontinuidad. Asimismo, si el relleno es de un material blando el macizo rocoso es inestable, pero si es duro se puede afirmar que es estable, de esa manera en la Tabla N.º 10 se observa la valoración del relleno de las discontinuidades.

Tabla 10:

Valores del relleno de las discontinuidades

Grado	Descripción	Valoración
1	Blando > 5mm	0
2	Blando < 5mm	2
3	Duro > 5mm	2
4	Duro < 5mm	4
5	Ninguno	6

Fuente: Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente Unidad Minera Yauricocha - Sociedad Minera Corona S. A. (p.26), Salazar, 2020.

- **Alteración de las discontinuidades**

En la Tabla N.º 11 se observa la valoración de alteración de las discontinuidades.

Tabla 11:

Valores de la alteración de las discontinuidades

Grado	Descripción	Valoración
1	Descompuesto	0
2	Muy alterada	1
3	Moderadamente alterada	3
4	Ligeramente alterada	5
5	No alterada	6

Fuente: Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente Unidad Minera Yauricocha - Sociedad Minera Corona S. A. (p. 27), Salazar, 2020.

e. Presencia del agua (hidrogeología)

El agua es un agente que genera inestabilidad, alteración y desgaste en el macizo rocoso. Los detalles de valoración se presentan en la Tabla N.º 12.

Tabla 12:

Parámetros de la presencia del agua

Caudal por 10m de tunel	Relación agua-tensión PPAL mayor	Descripción	Valoración
Nulo	0	Seco	15
<10 litros/min	<0.1	Ligeramente húmedo	10
10-25 litros/min	0.1-0.2	Húmedo	7
25-125 litros/min	0.2-0.5	Goteando	4
>125 litros/min	>0.5	Fluyente	0

Fuente: Evaluación geomecánica para implementar el sistema de sostenimiento con fines de seguridad, Galería Mercedes Mina Artesanal Suirupata - Acopalca (p.40), Guerra, Navarro & Toribio, 2021.

f. Orientación de las discontinuidades

Para este parámetro supongamos un plano horizontal, establecemos los puntos cardinales (norte, sur, este y oeste), luego se coloca la brújula nivelada con respecto al plano teniendo como resultado la línea de dirección de la discontinuidad que está representada por el azimut y rumbo, para el buzamiento se coge un material pequeño esférico y se suelta generando la línea de máxima pendiente que al proyectarla con el plano horizontal se crea un ángulo que forman ambas líneas siendo este el buzamiento, tenemos que tener en cuenta que el buzamiento puede ir a favor de la discontinuidad o en contra, para ello se establece los siguientes valores como se observa en la Tabla N.º 13.

Tabla 13:

Clasificación y Valores para determinar el buzamiento

Dirección perpendicular al eje de la obra				Dirección paralelo al eje de la obra		Buzamiento 0-20° cualquier dirección
Excav. Con buzamiento		Excav. Contra buzamiento				
Buz 45°-90°	Buz 20°-45°	Buz 45°-90°	Buz 20°-45°	Buz 45°-90°	Buz 20°-45°	
Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable	Medio	Desfavorable

Fuente: Evaluación geomecánica para implementar el sistema de sostenimiento con fines de seguridad, Galería Mercedes Mina Artesanal Suirupata - Acopalca (p.41), Guerra, Navarro & Toribio, 2021.

En la Tabla N.º 14 se detalla la valoración según la orientación de discontinuidades para obras de minería y túneles.

Tabla 14:

Valoración para túneles y minas

Calificativo	Valoración
Muy favorable	0
Favorable	-2
Medio	-5
Desfavorable	-10
Muy desfavorable	-12

Fuente: Evaluación geomecánica para implementar el sistema de sostenimiento con fines de seguridad, Galería Mercedes Mina Artesanal Suirupata - Acopalca (p.41), Guerra, Navarro & Toribio, 2021.

En la Tabla N.º 15 se muestra la valoración en la orientación de discontinuidades para cimentaciones.

Tabla 15:

Valoración para Cimentaciones

Calificativo	Valoración
Muy favorable	0
Favorable	-2
Medio	-7
Desfavorable	-15
Muy desfavorable	-25

Fuente: Evaluación geomecánica para implementar el sistema de sostenimiento con fines de seguridad, Galería Mercedes Mina Artesanal Suirupata - Acopalca (p.42) por Guerra, Navarro & Toribio, 2021.

En la Tabla N.º 16 se muestra la valoración en el caso de discontinuidades para taludes.

Tabla 16:
Valoración para taludes

Calificativo	Valoración
Muy favorable	0
Favorable	-5
Medio	-25
Desfavorable	-50
Muy desfavorable	-60

Fuente: Evaluación geomecánica para implementar el sistema de sostenimiento con fines de seguridad, Galería Mercedes Mina Artesanal Suirupata - Acopalca (p.42), Guerra, Navarro & Toribio, 2021.

El índice RMR es un sistema sencillo, ya que se trabaja con sondeos o una buena investigación en campo, realizando así el cálculo de cada parámetro que se mencionó y explicó anteriormente, teniendo como resultado final, la clasificación y otros aspectos importantes como se plasma en la Tabla N.º 17.

Tabla 17:
Clasificación del macizo rocoso a partir del RMR

ROCK MASS RATING (RMR)					
Clasificación de la roca	100-81 Muy buena	80-61 Buena	60-41 Media	40-21 Pobre	20-0 Muy pobre
Tiempo promedio de autosoporte	10 años para 15m de luz	6 meses para 8m de luz	1 semana para 5m de luz	10 horas para 2.5m de luz	30 min para 1m de luz
Cohesión del macizo rocoso	>0.4 (MPa)	0.3-0.4 (MPa)	0.2-0.3 (MPa)	0.1-0.2 (MPa)	<0.1 (MPa)
Ángulo de fricción interna del macizo rocoso	<45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	15°

Fuente: “Determinación del tipo de sostenimiento mediante las clasificaciones geomecánicas GSI, RMR y q de Barton en las labores de la unidad minera San Antonio – Compañía Minera Chaspaya S.A.C. 2021” (p.17), Vega, 2021.

3.GSI (Geological Strength Index)

Hoek-Brown en 1995 desarrollaron el GSI (El índice de resistencia geológica), observaron irregularidades en el desarrollo del índice de RMR para el cálculo del macizo rocoso. Después del año 1998 este índice de resistencia geológica continuó actualizándose.

Asimismo, Vilcapoma (2020), refiere “*La clasificación GSI explicado se basa principalmente en la identificación de los parámetros de estructuras (fracturamiento por metro lineal) y condiciones de fracturamiento (Resistencia de la masa rocosa- condición de discontinuidades) (...)*” (p.67)

Para el resultado del índice de Resistencia Geológica se establecen dos márgenes, una vertical que nos brinda información del macizo

rocoso (fracturación) y la otra horizontal que nos proporciona las características de las discontinuidades.

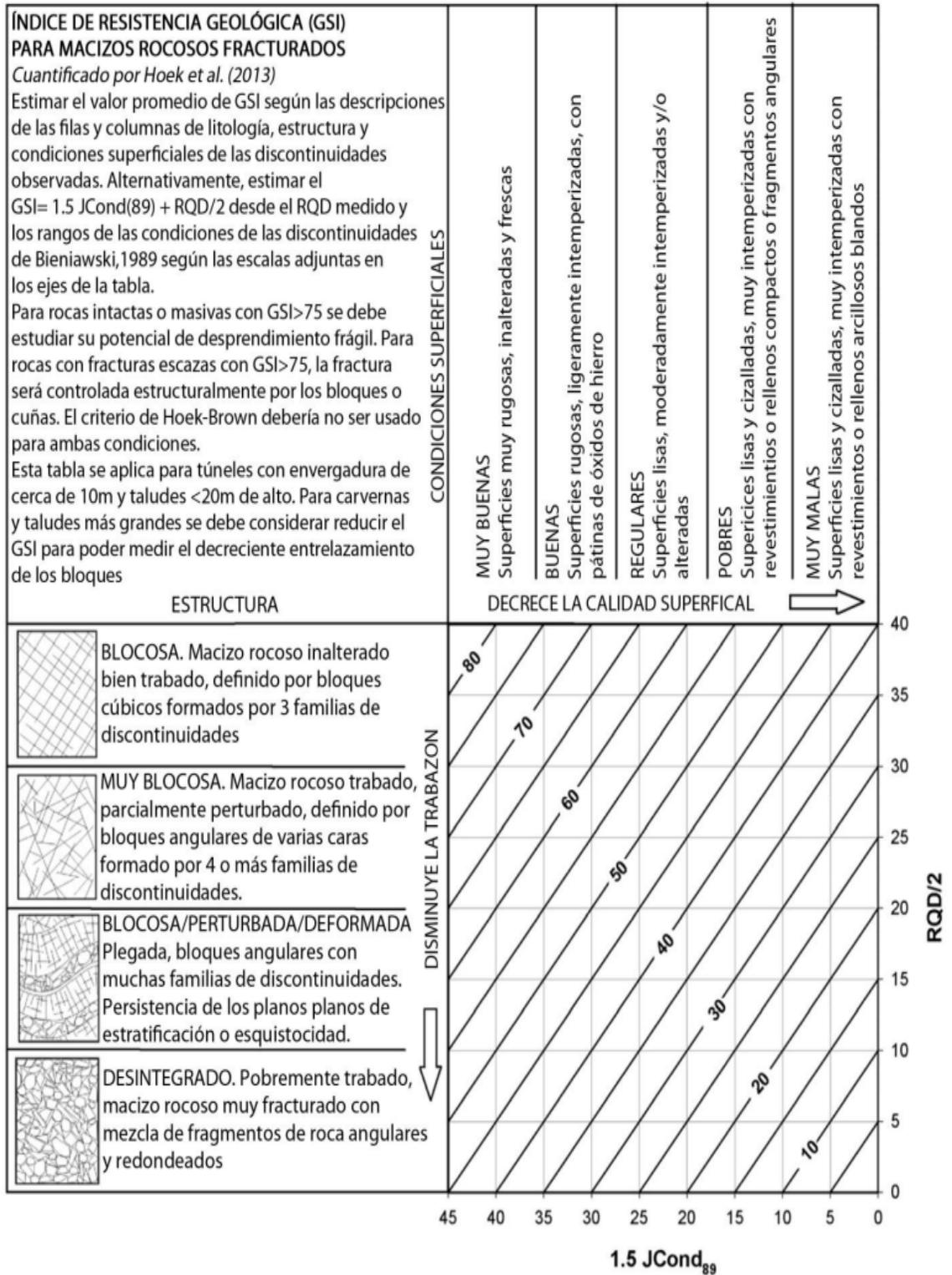
También podemos estimar el GSI trabajando con el RQD y las condiciones de discontinuidades, de esta manera se aplica la siguiente fórmula:

$$GSI = 1.5JCond_{89} + RQD/2$$

En la Tabla N.º 18 se muestra la margen vertical definida por el RQD/2 y la horizontal por $1.5JCond_{89}$ que es uno de los parámetros del RMR que se obtiene de la suma de las valoraciones de cada condición de las discontinuidades.

Tabla 18:

Cartilla para el valor de estimación del GSI



2.2.2.4 Propiedades de Resistencia

1. Compresión simple o uniaxial

La compresión simple, es la resistencia que tiene la matriz rocosa ante un esfuerzo, para ello, se obtiene una muestra cilíndrica de matriz rocosa, también en el afloramiento mediante la prueba con una navaja o el martillo de Schmidt. Con la finalidad de calcular la resistencia de rebote de la cara rocosa y de modo que se asocie a la resistencia a compresión simple²⁵. A raíz de ello se obtienen resultados de resistencia que se puede catalogar en la matriz rocosa teniendo como referencia la Tabla N. ° 19.

Tabla 19:

Cuadro de resistencia de compresión simple o uniaxial de la matriz rocosa

Grado	Descripción	Identificación de campo	Resistencia a compresión simple Mpa
R1	Roca muy blanda	Deleznable bajo fuertes golpes con la parte puntiaguda del martillo geólogo; puede desconcharse con una navaja.	1 - 5
R2	Roca blanda	Puede desconcharse con dificultad con una navaja; se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente la roca con la punta del martillo.	5 - 25
R3	Roca moderadamente dura	No se puede rayar o desconchar con una navaja; las muestras se pueden romper con un golpe firme con el martillo.	25 - 50
R4	Roca dura	Se necesita más de un golpe con el martillo geólogo para romper la muestra.	50 - 100
R5	Roca muy dura	Se necesitan muchos golpes con el martillo geólogo para romper la muestra.	100 - 250
R6	Roca extremadamente dura	Sólo se pueden romper esquirlas de la muestra con el martillo geólogo.	> 250

Fuente: Evaluación del suelo conformado por un macizo rocoso compuesto de andesita basáltica con fines de cimentación en edificaciones, Puno, 2022(p. 15), Callomamani, 2022.

²⁵ Callomamani, 2022

2. Criterios de Hoek & Brown

Para el cálculo de la Resistencia del macizo rocoso se considera el criterio de Hoek actualizado, en la cual se observa que la estructura de la fórmula base no se ha modificado, sino cuales son las nuevas variables a incluir, tal como se detalla a continuación.²⁶

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \times \left[m_b \times \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right]^\alpha$$

Donde:

σ_3' , σ_1' : esfuerzos

σ_{ci} : resistencia de compresión simple o uniaxial en la matriz rocosa

m_b : es la constante de Hoek-Brown, y se expresa de la siguiente manera:

$$m_b = m_i \times \exp \left[\frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right]$$

m_i : es la constante de Hoek-Brown del bloque de matriz rocosa, en la Tabla N.º 20 se detalla esta constante según el tipo de matriz rocosa.

²⁶ Gonzalez y Martinez, 2012

Tabla 20:

Valores de la constante “mi” de la matriz rocosa

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

Hoek y Brown, 1997. Los valores entre paréntesis son estimados.

(*) Valores obtenidos de ensayos en matriz rocosa con dirección de aplicación de la carga normal a los planos de foliación. El valor de m_i será significativamente diferente si la rotura ocurre a favor de los planos de debilidad.

Fuente: Caracterización geomecánica de suelos y rocas (p.11), Gonzales y Martinez, 2012.

- a, s: constante de las características del macizo rocoso (ver Tabla N.º 21). Expresadas de la siguiente manera:

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

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

Tabla 21:

Parámetros de la relación entre el macizo rocoso y las constantes mb, s

<p>Criterio de rotura empírico</p> $\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m\sigma_{ci}\sigma_3 + s\sigma_{ci}^2}$ <p>σ_1 y σ_3: esfuerzos principales mayor y menor σ_{ci}: esfuerzo compresivo uniaxial de la matriz rocosa m y s: constantes empíricas del macizo rocoso</p>	Constantes del material: m y s .	Rocas carbonatadas: dolomitas, calizas y mármol.	Rocas arcillosas: argillas, limolitas, lutitas y pizarras.	Rocas areniscosas: areniscas y cuarcitas	Rocas ígneas cristalinas de grano fino: andesitas, doleritas, diabasas y riolitas.	Rocas cristalinas ígneas de grano grueso y metamórficas: anfibolitas, gabros, gneises, granitos, micas y cuarzosdoradas.
Valores para el macizo rocoso alterado o afectado por voladoras (<i>disturbed</i>)						
Valores para el macizo rocoso sin alterar (<i>undisturbed</i>)						
Muestras de roca intacta						
Muestras de tamaño de probeta de laboratorio sin discontinuidades.	m	7,0	10,0	15,0	17,0	25,0
RMR = 100	s	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Q = 500	m	7,0	10,0	15,0	17,0	25,0
	s	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Macizo rocoso de muy buena calidad						
Bloque de roca sana. Juntas sin meteorizar y con espaciado de 1 a 3 m.	m	2,40	3,43	5,14	5,82	8,56
RMR = 85	s	0,082	0,082	0,082	0,082	0,082
Q = 100	m	4,10	5,85	8,78	9,95	14,63
	s	0,189	0,189	0,189	0,189	0,189
Macizo rocoso de calidad buena						
Bloques de roca sana o ligeramente meteorizada, con juntas espaciadas de 1 a 3 m.	m	0,575	0,821	1,231	1,395	2,052
RMR = 65	s	0,00293	0,00293	0,00293	0,00293	0,00293
Q = 10	m	2,006	2,865	4,298	4,871	7,163
	s	0,0205	0,0205	0,0205	0,0205	0,0205
Macizo rocoso de calidad media						
Varias familias de discontinuidades moderadamente meteorizadas con espaciados de 0,3 a 1 m.	m	0,128	0,183	0,275	0,311	0,458
RMR = 44	s	0,00009	0,00009	0,00009	0,00009	0,00009
Q = 1	m	0,947	1,353	2,030	2,301	3,383
	s	0,00198	0,00198	0,00198	0,00198	0,00198
Macizo rocoso de calidad mala						
Numerosas juntas meteorizadas con algo de relleno. Brechas compactas sin rellenos. Espaciado de 0,03 a 0,5 m.	m	0,029	0,041	0,061	0,069	0,102
RMR = 23	s	0,000003	0,000003	0,000003	0,000003	0,000003
Q = 0,1	m	0,447	0,639	0,959	1,087	1,598
	s	0,00019	0,00019	0,00019	0,00019	0,00019
Macizo rocoso de calidad muy mala						
Numerosas juntas intensamente meteorizadas con rellenos. Espaciado < 0,05 m. Brechas con rellenos arcillosos.	m	0,007	0,010	0,015	0,017	0,025
RMR = 3	s	0,0000001	0,0000001	0,0000001	0,0000001	0,0000001
Q = 0,01	m	0,219	0,313	0,469	0,532	0,782
	s	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002

Fuente: Caracterización geomecánica de suelos y rocas (p.12), Gonzales y Martinez, 2012.

En las ecuaciones de “ mb, s y a ” se detalla el GSI (Índice de Resistencia Geológica), parámetro que influye en estas variables, detallando la caracterización del macizo rocoso.

Por otro lado, es indispensable mencionar que el factor “D” también está incluido, pues es un valor que define el grado de disturbación del macizo rocoso, a raíz de la voladura o la

excavación realizada. Por otro lado, en la Tabla N.º 22 se detalla, si “D” fuese 0, entonces la excavación no tiene deformaciones. Asimismo, si “D” está valuada en 1, se evidencia que ha sido afectada durante el proceso de excavación, de modo que presenta, alteraciones y rajaduras.

Tabla 22:
Descripción del factor de alteración “D”

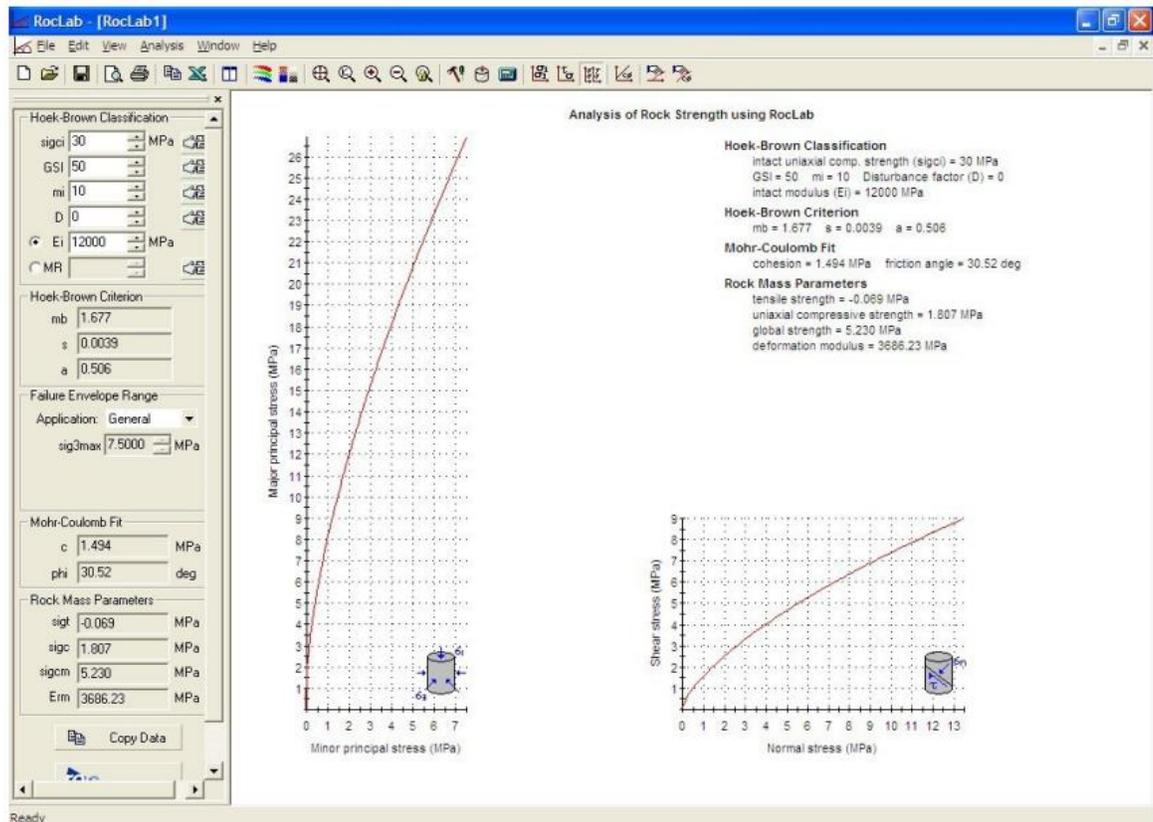
APARIENCIA DEL MACIZO ROCOSO	DESCRIPCION DEL MACIZO ROCOSO	VALOR SUGERIDO DE D
	Excelente calidad por voladura controlada o excavación con tuneladora, TBM, resultando en la perturbación mínima del macizo alrededor del túnel	D=0
	Excavación mecánica o manual en macizo de mala calidad (sin voladura) resultando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

Fuente: Variabilidad de la estabilidad estática en talud de rajo considerando la propagación de daño por tronaduras de producción. (p. 11), Moscoso, 2021.

Tal como se puntualizó anteriormente, los indicadores de resistencia, GSI, las constantes del macizo rocoso (mb, s, a) y

el factor de disturbación (D). Al ingresar los datos obtenidos en campo o laboratorio, el programa RocData (ver Figura N.º 6) determina los parámetros de resistencia en base a Hoek & Brown.

Figura 6:
Software RocData



Fuente: Caracterización geomecánica de suelos y rocas (p.8) por Gonzales y Martinez, 2012.

2.2.3. Evaluación de Sostenimiento

2.2.3.1. Sostenimiento

Es una de etapas del ciclo de minado que tiene como propósito reducir la inestabilidad del macizo rocoso, para evitar accidentes e impedir que las excavaciones subterráneas se dilaten²⁷.

²⁷ Salazar, 2020

Igualmente, para su aplicación se debe tener en cuenta el comportamiento y características del macizo rocoso. Asu vez el sostenimiento al ser ejecutado, debe tener la capacidad de soportar todos los esfuerzos, tales como: naturales, inducidos, la forma y dimensión de la excavación, ejerce el macizo rocoso. En ese sentido este “soporte” se clasifica en sostenimiento pasivo y activo.

1. Sostenimiento Pasivo:

Son aquellos materiales que van externamente al macizo rocoso, es decir, los llamados “soportes” ya que, tienen el objetivo de resistir a los movimientos y deformaciones de la roca. Estos se clasifican de la siguiente manera: cuadros de madera, cimbras metálicas, malla metálica, shotcrete, etc.

2. Sostenimiento con cuadro de madera:

Es aquella estructura que se emplea en un RMR de 40 MPa, debido a que tiene una buena resistencia a aquellas presiones que ejercen las excavaciones. Del mismo modo en los postes y sombreros, asimismo una de sus ventajas es que al situarlo se requiere únicamente de 3 personas y el avance es de 1.8 m por ambas guardias. En este sostenimiento se emplean 3 tipos de cuadros de madera: rectos, cónicos y cojos. No obstante, una de sus desventajas es que la madera se humedece generando inestabilidad²⁸.

3. Sostenimiento de cimbras metálicas:

Sostenimiento aplicado para rocas muy fracturadas y débiles, donde el terreno presenta altos niveles de esfuerzos. Por ello, son empleados

²⁸ Mendieta, 2014

debido a su resistencia mecánica y su resistencia ante esfuerzos o deformaciones, puesto que es un material de acero y sus dimensiones son requeridas con respecto a la sección de cada excavación. Las más recurrentes se presentan en forma de baúl, herradura o también en forma circular²⁹.

Tipos de cimbras:

- **Rígidas:** se presentan en forma de **W, H, I** con 2 a 3 segmentos, donde son unidas con platinas, pernos y tuercas.
- **Deslizantes o fluyentes:** se presentan en forma de **V, U** con 3 segmentos, los cuales están sujetos con tornillos.

4. Sostenimiento con shotcrete

Es la compactación del concreto emitido en el área a sostener, en efecto la aplicación del método de soporte con shotcrete evita el deslizamiento o desprendimiento de rocas. Además, el shotcrete tiene dos técnicas: vía seca y vía húmeda. Estos sostenimientos se realizan en rampas de acceso, galerías de desarrollo y producción³⁰.

5. Sostenimiento con malla metálica

La malla metálica es un material realizado a partir de alambres de acero con alta resistencia, existen dos tipos de mallas: electrosoldada y eslabonada.

Se comportan como un “manto” con el fin de evitar la caída o desprendimiento de rocas. De igual forma, son utilizados como refuerzo para el sostenimiento de shotcrete. Es importante detallar que estas

²⁹ Giraldo, 2020

³⁰ Bujaico, 2020

mallas son sostenidas con pernos para brindar mayor estabilidad y seguridad³¹.

6. Sostenimiento Activo:

Son aquellos materiales conocidos como refuerzos con el propósito de unirse al interior del macizo rocoso, para garantizar la estabilidad de la excavación. En este sentido, los pernos de anclaje forman parte de ello.

7. Sostenimiento con Perno de anclaje

Son aquellos materiales que disminuyen las deformaciones de los esfuerzos inducidos en las excavaciones, bloqueando los movimientos de macizos rocosos adyacentes. Por ello cuando el macizo rocoso es moderadamente fracturado, los pernos tienen como objetivo mantener la estabilidad de los bloques y de las cuñas que se presentan inestables, a esta aplicación se le llama “efecto cuña”. También existe el “efecto viga o columna” en la que se colocan los pernos cuando los estratos están en movimiento, ayudando a resistir los desplazamientos que estas pueden presentar. En definitiva, en el efecto arco los pernos actúan de forma circular controlando la estabilidad de la excavación³².

Tipos de pernos de anclaje

Existen diferentes tipos de pernos, tales como los que están anclados mecánicamente, pernos con varillas cementadas o aquellos que son utilizados con resina y los que están anclados por fricción (ver Tabla N.º 23). Cabe resaltar que cada uno tiene una técnica distinta de instalación en el macizo rocoso, pues depende de la necesidad de este³³.

³¹ Lucas, 2019

³² Orellana, 2020

³³ Vega, 2018

Tabla 23:

Tipo de pernos y la descripción de sus características

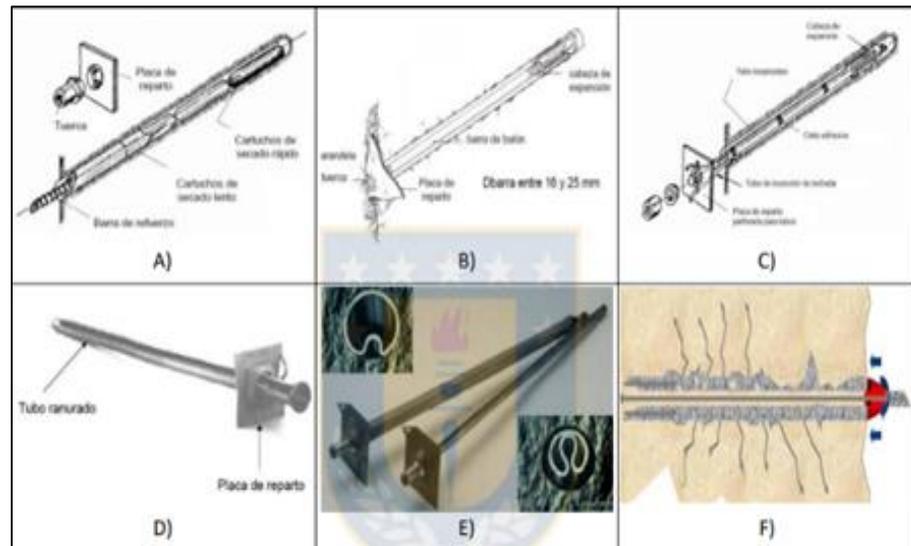
Tipo de perno	Características
Adherencia con resina	Alta capacidad de carga y resistencia a vibraciones por tronadura.
Fricción de anclaje mecánico	Provee esfuerzo inmediato y es adecuado para roca masiva.
Fricción de anclaje mecánico y lechado	Usado en ambientes altamente corrosivos o cuando se necesita refuerzo permanente.
Fricción de baja carga (Split set y Swellex)	Capacidad de carga generada mediante la fricción a lo largo del perno.
Auto-perforantes	Usado en malas condiciones de terreno, genera refuerzo inmediato.

Fuente: Evaluación numérica del sistema de clasificación de macizo rocoso Q, de Barton en granodiorita (p. 17), Vega, 2018.

En la Figura N.º 7 se muestra los diferentes pernos de anclaje: A) Con resina. B) Fricción. C) mecánico. D) split set E) Swellex. F) auto-perforante

Figura 7:

Pernos de Anclaje



Fuente: Evaluación numérica del sistema de clasificación de macizo rocoso Q de Barton en granodiorita (p.17), Vega, 2018.

2.2.3.2. Tipo de sostenimiento

1. Sostenimiento práctico en las labores mineras subterráneas (SPM)

El sostenimiento práctico minero que fue planteado y desarrollado del método noruego (NTM), en la que se considera la dimensión equivalente de la excavación (D_e), tal como se observa en la Figura N.º 8, se incorporó nuevas pautas como la dimensión de los pernos tomando en cuenta la medida de la labor y la utilización del sostenimiento con madera.³⁴

Por ello, plantearon que para estimar el tipo de sostenimiento se debe tener en cuenta estos dos puntos:

- Dimensión Equivalente de la excavación “ D_e ” y se expresa de la siguiente forma:

$$D_e = \frac{\text{Ancho, diámetro o altura de la excavación (m)}}{\text{Relación de soporte de la excavación}}$$

- Índice ESR “Excavation Support Ratio”, es aquel valor que nos indica el detalle del tipo de excavación tal como se aprecia en la Tabla N.º 24.

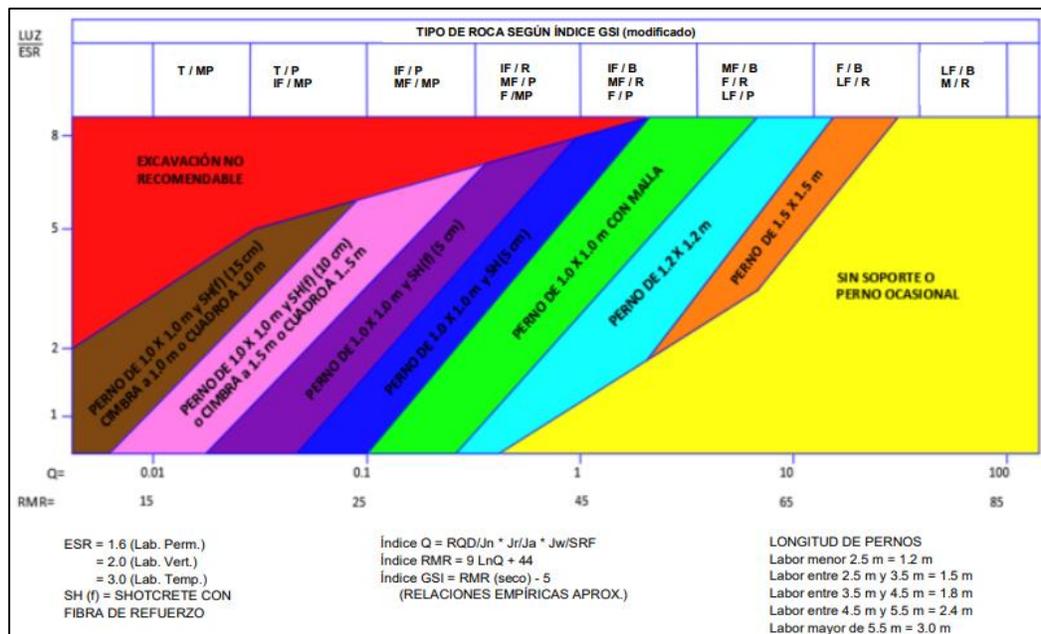
³⁴ Goicochea, 2021

Tabla 24:
Valores de ESR definiendo el tipo de excavación

Tipos de excavación	ESR
A. Excavaciones mineras temporales.	3-5
B. Piques verticales	
i) sección circular	2.5
ii) sección cuadrada y rectangular	2.0
C. Excavaciones mineras permanentes: túneles de conducción de aguas para hidroeléctricas, (con la excepción de las cámaras de alta presión para compuertas), túneles pilotos (exploración), excavaciones parciales para cámaras subterráneas grandes.	1.6
D. Cámaras de almacenamiento, plantas subterráneas para el tratamiento de aguas, túneles carreteros y ferrocarriles pequeños, cámaras de alta presión.	1.3
E. Casas de máquinas, Túneles carreteros y ferrocarriles mayores, refugios de defensa civil, portales y cruces de túnel.	1
F. Estaciones nucleares subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones para deportes y reuniones, fábricas.	0.8
G. Cavernas y túneles muy importantes de una gran vida útil, túneles para cañerías de gas.	0.5

Fuente: Geomecánica aplicada al control de las labores mineras para la minimización de la caída de rocas en la mina paredones nivel 5 (p. 26), Aceijas, 2019.

Figura 8:
Diseño de sostenimiento práctico en las labores mineras subterráneas (SPM)



Fuente: comportamiento geomecánico mediante la valoración RMR89 para determinar los sostenimientos en mina cajamarca de Paccha, Bambamarca – Cajamarca 2020 (p.19), Goicochea, 2021.

2.2.4. Selección de la mejor alternativa de sostenimiento

2.2.4.1. Costos de sostenimientos

El sostenimiento como servicio en minería es aquella actividad muy importante tanto para el avance y como para la seguridad , su costo es alto, por tal motivo se plantea alternativas de tipos de sostenimiento en la que el punto de inicio es la eficiencia indagación en las características del macizo rocoso y todo lo que implique en ella , de esta forma al tener un resultados previamente analizarlos con los parámetros existentes de sostenimiento y evaluando las partida o "P.U. (precio unitario), podemos tener la alternativa adecuada para la elección del sostenimiento³⁵.

Análisis de Precios unitarios (A. P.U)

Es un registro matemático donde se plasma los costos por unidad de medida de cada partida o" P.U", de un trabajo por ejecutar, teniendo el propósito de que esto es un medio de pago por el avance de trabajo a realizarse.

Los puntos para detallar los precios unitarios con los siguientes:

- Parámetro de cálculo
- Mano de obra
- Implemento de Seguridad
- Herramientas/Materiales
- Equipos

2.2.4.2. Elección de alternativas de sostenimiento

Para este proyecto de investigación se va analizar los diferentes P.U de los tipos de sostenimientos que se detalla en la Tabla N.º 25 tanto

³⁵ Torres, 2016

pasivo como activo, con la finalidad de determinar la mejor elección de sostenimiento teniendo en cuenta el estudio del macizo rocoso y el costo de sostenimiento que implica da una de ellas.

Tabla 25:

Lista de alternativas para la elección del sostenimiento

ALTERNATIVAS DE SOSTENIMIENTO PARA ESTIMAR LOS COSTO CON EL "P.U."	
Sostenimiento Pasivo	Sostenimiento Activo
Cuadro de madera	Pernos de anclaje (expansivo)
Malla electrosoldada	
Cimbra	

Fuente: Elaboración propia

2.3. Definición de términos básicos

1. Anisotrópico:

Es una característica del macizo rocoso en la que las propiedades varían en las diferentes direcciones que esta presenta, por ende, su comportamiento es distinto en cada uno de ellas (González et al., 2004).

2. Buzamiento:

Ángulo que se forma con la proyección del plano horizontal del material a estudiar y su máxima pendiente de la misma (González et al., 2004).

3. Diaclasa:

Son fisuras o fracturas que se encuentran en rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas en la que no presenta desplazamiento diferenciándose así de las fallas (González et al., 2004).

4. Discontinuidades:

Son fracturas presentes en el macizo rocoso que al analizar sus características podemos precisar el comportamiento del macizo rocoso (Romero, 2022).

5. Factor de Seguridad:

Valor numérico obtenido de dividir las cantidades de fuerzas resistentes máximas entre las fuerzas que actúan en el material con la finalidad de evaluar la estabilidad de esta (Parra, 2015).

6. Geomecánica:

Es el estudio de las características, resistencia y deformabilidad de la roca por medio de evaluaciones que se realiza en el campo como minería subterránea y tajo abierto (González et al., 2004).

7. Geotecnia:

Es la aplicación del estudio de las propiedades y capacidades de los suelos y de las rocas (Baquerizo, 2015).

8. In situ:

Aquello que es natural o perteneciente de un lugar, resaltando sus características y propiedades reales (Galarce, 2014).

9. Isotrópico:

Material que presenta las mismas propiedades y comportamiento en todas sus direcciones, es propia de la matriz rocosa (Huillca, 2018).

10. Macizo rocoso:

Material en la que se ve la roca intacta más las discontinuidades que esta pueda presentar (Barbosa, 2021).

11. Pilar minero:

Son bloques o estructuras de roca que tienen como propósito sostener y resistir las cargas existentes (Castro et al., 2019).

12. Roca intacta:

Conocida también como matriz rocosa, es un bloque continuo, isótropo y homogéneo exento de discontinuidades comúnmente ubicada entre estas (Salinas, 2018).

13. Sostenimiento en minería subterránea:

Son los diferentes materiales de soporte y refuerzo que se instala cuando se realiza una excavación subterránea con la finalidad de disminuir los accidentes por caída de rocas y mejore la estabilidad de la roca (Martinez, 2013).

14. Testigo:

Es el corte de la roca de forma cilíndrica que se extrae por perforaciones diamantinas para recopilar datos de la muestra (Muñasqui, 2022).

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El comportamiento geomecánico del macizo rocoso influye en la elección del tipo de sostenimiento en la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023.

2.4.2. Hipótesis Específicas

- a) La caracterización geomecánica del macizo rocoso permite la evaluación del sostenimiento a aplicarse en la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023.
- b) El comportamiento geomecánico del macizo rocoso definirá la elección de la mejor alternativa de sostenimiento en la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023.

2.5. Identificación de Variables

2.5.1. Variable Independiente:

Comportamiento Geomecánico del macizo rocoso

2.5.2. Variable Dependiente:

Elección del tipo de sostenimiento en la Mina Huacchara.

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

A continuación, se puede observar el cuadro N.º 1 de operación de variables:

Cuadro 1:
Cuadro de operacionalización de variables e indicadores

Elección del tipo de sostenimiento según el comportamiento geomecánico en la zona Norte de la mina Huacchara S.A.C. , Ancash 2023.				
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO	Se enfoca en estudiar los materiales geológicos, principalmente las rocas y suelos. Es decir explica de forma mecánica como es la reacción de una roca ante condiciones de carga y esfuerzos. En efecto es imprescindible para la eficaz evaluación de la estabilidad de un terreno.	Se escribe y cuantifica propiedades de las rocas, a partir de parámetros que advierten y pronostican de qué manera las rocas se deforman y muestra su comportamiento bajo diferentes condiciones de carga, de modo que se mitiguen riesgos geotécnicos en la minería.	GENERALIDADES DE LA MINA HUACCHARA	Ubicación geográfica y accesibilidad de la Mina Huacchara Aspectos geológicos del yacimiento Minero Labores Mineras: • Preparación • Desarrollo • Explotación
			CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA	Parámetros Geomecánicos: •Parámetros de Matriz rocosa •Parámetros de macizo rocoso •Parámetros de geotecnica Análisis Estereográfico de datos Estructurales Clasificación Geomecánica Propiedades de Resistencia
VARIABLE DEPENDIENTE ELECCIÓN DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO EN LA MINA HUACCHARA	Elementos, métodos y sistemas manipulados que garantizan la estabilidad en las excavaciones subterráneas. Con el objetivo de asegurar un sostenimiento adecuado mediante el soporte estructural, de modo que se prevengan colapsos de rocas o suelos circundantes.	Es el proceso en el que se selecciona sistemas y métodos como la evaluación, identificación y opciones de sostenimiento para su diseño adecuado. Por ello se realiza la evaluación geotécnica de posibles riesgos, de modo que se busca la estabilidad en las excavaciones subterráneas.	EVALUACIÓN DEL SOSTENIMIENTO	Sostenimientos activo y pasivo Tipo de sostenimiento •Sostenimiento práctico en las labores mineras subterráneas (SPM)
			SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE SOSTENIMIENTO	Costos de sostenimientos Elección de alternativas de sostenimiento

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE LA INVESTIGACION

3.1. Tipo de Investigación

1. En función del propósito: investigación básica y aplicada
2. Por su nivel de profundidad: es descriptivo y explicativo
3. Por la naturaleza de los datos y la información es una investigación cuantitativa
4. Por los medios para obtener los datos: es investigación de campo y documental
5. Por la manipulación de variables: es investigación no experimental
6. Según el tipo de inferencia: es analítico y deductivo
7. Según el periodo de tiempo en el que se realiza la tesis es transversal (año 2023)

3.2. Nivel de Investigación

La investigación para esta tesis se basó en un enfoque descriptivo y explicativo. En primer lugar, se describieron las características y parámetros del comportamiento del macizo rocoso. Para explicar cómo se realiza la elección del sostenimiento en relación a esta descripción.

3.3. Métodos de investigación

El método de investigación para un proceso cuantitativo partió de la recopilación de información desde informes técnicos de datos de campo, base de datos estadístico de la empresa, proceso de la investigación, análisis y discusión de resultados, entre otros.

3.4. Diseño de investigación

Cuantitativo, no experimental, transversal con recolección de datos en un momento único.

3.5. Población y muestra

1. La población comprende a todos los tipos de sostenimiento que se aplican en la minera Huacchara
2. La muestra comprende a cinco tipos de sostenimiento utilizados en la zona Norte de la Mina Huacchara (madera, malla, split set, perno expansivo y shotcrete).

3.6. Técnicas e instrumento recolección de datos

1. **Observación:** comprende la atención voluntaria e inteligente dirigida hacia un determinado sostenimiento con el fin de obtener información.
2. **Análisis documental:** con los cuales se recolectaron datos de la variable de interés de fuentes relacionadas al comportamiento del macizo rocoso y el tipo de sostenimiento.
3. **Informes técnicos:** documentos relacionados con los datos de campo, relacionado con las características geomecánicas del macizo rocoso y el uso de la tabla geomecánica con el fin de evaluar y definir el tipo de sostenimiento, fueron evaluados y definidos.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento de datos se recolectaron datos de campo, se seleccionaron por tipo de variables e indicadores, y se utilizaron softwares estadísticos y de diseño para su análisis correspondiente.

3.8. Tratamiento Estadístico

Para el tratamiento estadístico, se utilizó la estadística descriptiva para la variable cuantitativa y estadística inferencial para la interpretación de resultados y proyecciones con los cuales se describieron los resultados y se permitió el análisis e interpretación de los mismos.

3.9. Orientación ética filosófica epistémica

El trabajo de investigación respetó el código de ética y la probidad académica tanto de la institución de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión como de la Mina Huacchara. Asimismo, toda la información del campo se recopiló en adelante para efecto de esta tesis fue confiable y además se respetaron opiniones y otros.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Ubicación geográfica y accesibilidad de la Mina Huacchara

La mina Huacchara, se encuentra ubicada en las coordenadas 192500E - 9093500N, en el Cerro Huacchara, a una altitud promedio de 4600 m.s.n.m. Se extiende aproximadamente 250 kilómetros cuadrados. Pertenece al anexo Pelagatos, en el distrito de Pampas y provincia Pallasca, región Ancash (ver Figura N.º 9). El acceso es a través de un viaje de 6 horas de Lima a Chimbote, luego 5 horas hasta el distrito de Pampas y 2 horas hasta llegar a la mina Huacchara.

Figura 9:

Plano de ubicación y accesibilidad a la Unidad Minera Huacchara S.A.



Fuente: Mapa nacional del Perú

4.1.2. Aspectos geológicos del yacimiento Minero

4.1.2.1. Geología Regional

El distrito minero, con magmas que datan de 9 a 15 millones de años, ha sido la fuente de una rica mineralización. Entre los minerales presentes se encuentran el Oro, la Plata, el Cobre, el Molibdeno, el Tungsteno, el Plomo, el Zinc, el Estaño y el Titanio, entre otros.

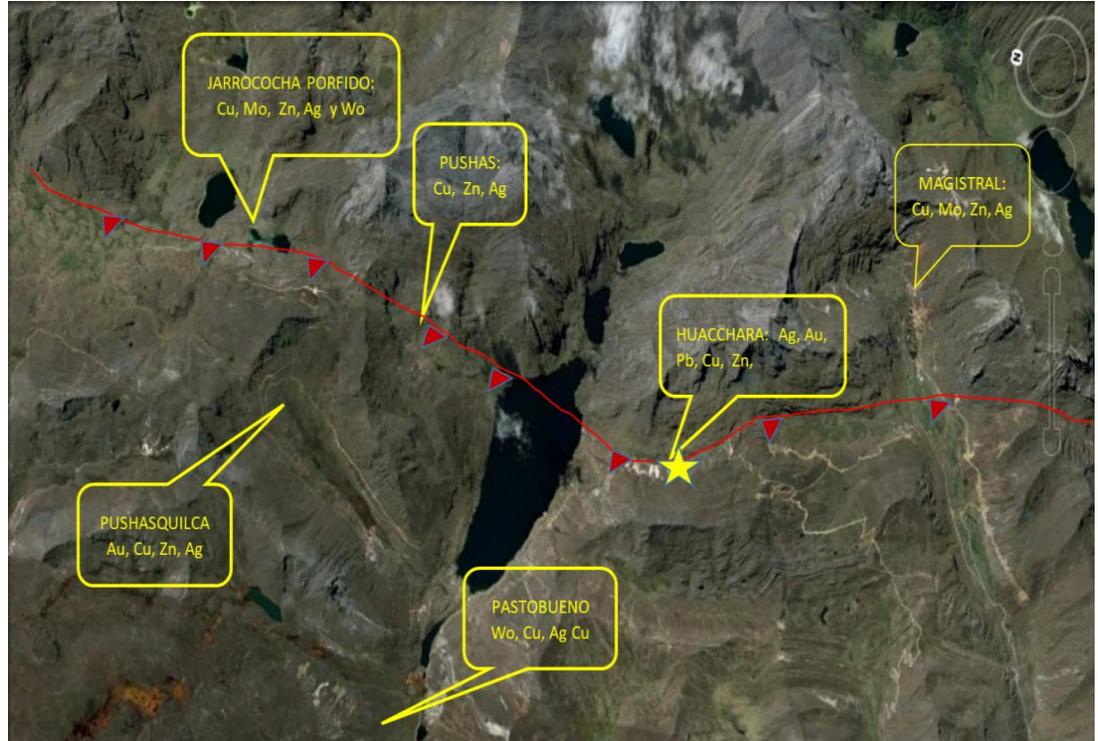
La zona de Huacchara colinda (Figura N.º 10) con:

- a. Limita al noreste con Pasto Bueno, una zona reconocida por su rica mineralización de Tungsteno.
- b. Pushaquilca es una zona rica en oro, donde se ha descubierto un pórfido de Cobre-Molibdeno (Cu-Mo).

- c. Las zonas de Pushas, Gatito y Jarrococha también se caracterizan por tener ricas áreas de Skarn con alto contenido en cobre y otros minerales.
- d. El Proyecto Magistral, que se encuentra lindante con otro proyecto que involucra los elementos Cu y Mo.

La Falla Huacchara, que tiene una longitud de 8 km, atraviesa desde la zona sur, donde se encuentra el Proyecto Magistral, hasta la zona norte, donde está ubicado el proyecto Gatito. En la zona del Proyecto, la caja techo está compuesta por las cuarcitas Chimú, mientras que las Calizas Jumasha conforman la caja piso, ambas son favorables para la mineralización.

Figura 10:
Zonas colindantes del Proyecto Huacchara



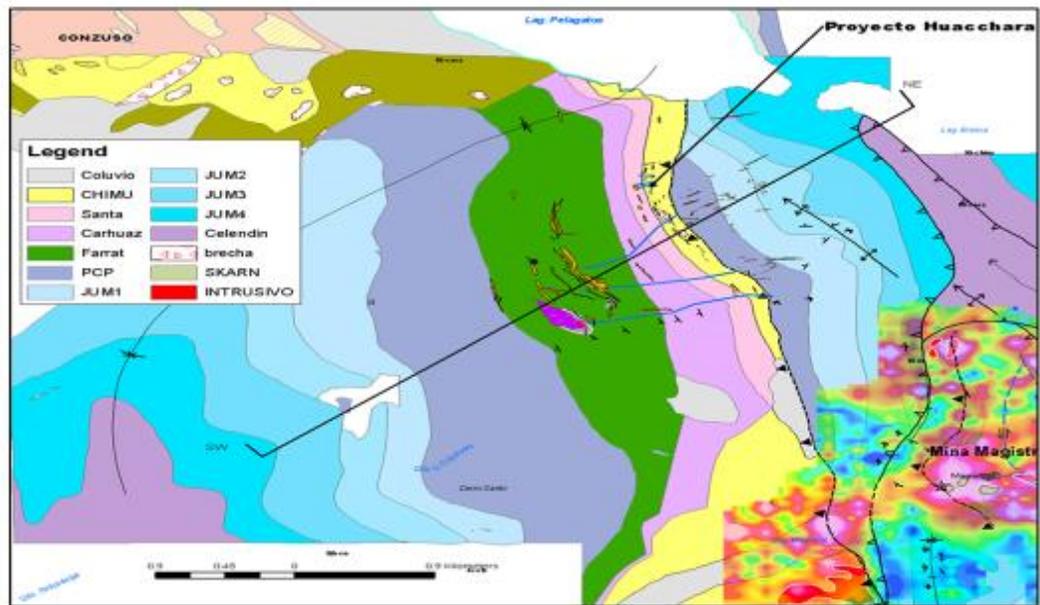
Fuente: Área de geología – Mina Huacchara

4.1.2.2. Geología Local

En la zona, se pueden observar afloramientos de rocas del mesozoico, como las cuarcitas de la Formación Chimú y las calizas de la Formación Jumasha. Estas rocas están intruidas por formaciones ígneas del paleógeno-neógeno, que se presentan en forma de diques y sills. El contacto entre las calizas Jumasha (cretáceo superior) y la Formación Chimú (cretácico inferior) está separado por una falla regional inversa conocida como Huacchara. Esta falla juega un papel importante en la formación de depósitos minerales en la zona.

El Proyecto, ubicado en el corredor estructural Huacchara, presenta una mineralización rica en plata, oro y plomo. Las vetas se encuentran en las cuarcitas Chimú y también hay zonas de brechas con mineralización de Plata (Ag), Plomo (Pb) y Zinc (Zn). Además, se pueden encontrar minerales diseminados en areniscas y cuarcitas, así como en rocas volcánicas andesíticas pre-minerales y microgabro-dioritas porfiríticas, que son parte de eventos magmáticos del neógeno.

Figura 11:
Mineralización de Huacchara



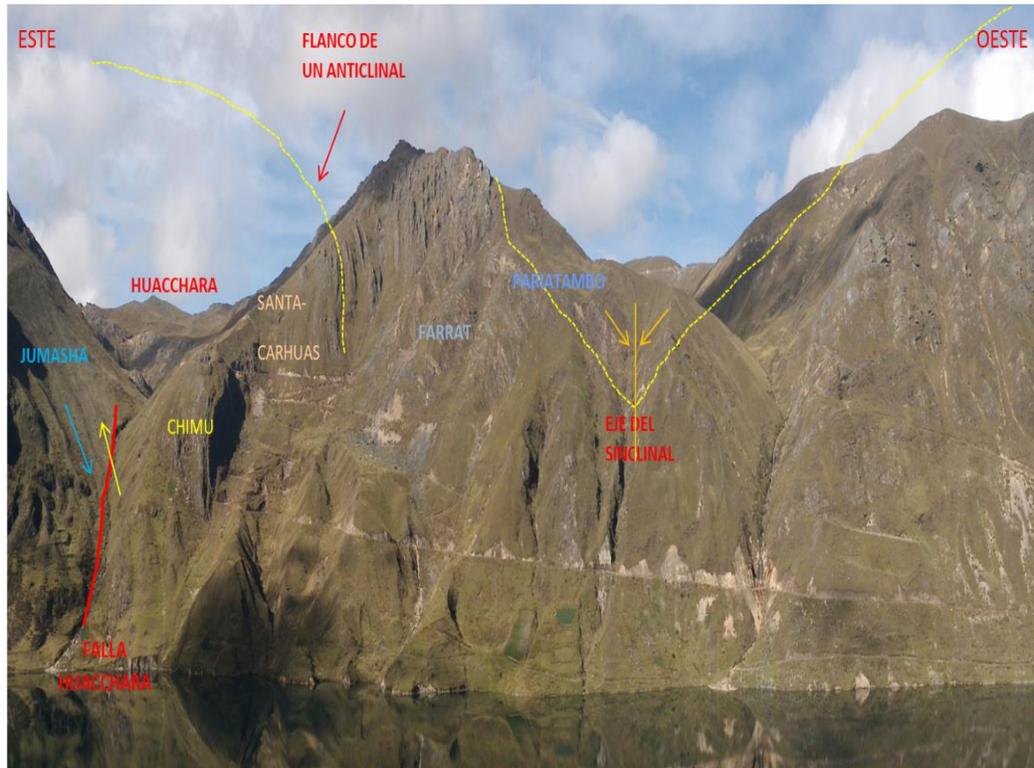
Fuente: Área de geología – Mina Huacchara

4.1.2.3. Geología Estructural

La estructura principal en el área es la falla inversa Huacchara, la cual es un corredor estructural regional de 8 km de longitud. En su traza sur, tiene una dirección de N 10° W, mientras que en su traza central presenta una inflexión de N 10° E. Esta falla contiene mineralizaciones económicas en la franja polimetálica de cobre (Cu), oro (Au), plata (Ag), plomo (Pb) y zinc (Zn). Estas mineralizaciones están asociadas a pórfidos de cobre y oro (Cu-Au), molibdeno (Mo) y skarn de cobre en la cordillera blanca. Cabe destacar que estas mineralizaciones presentan diferentes geometrías y yacimientos.

El proyecto Huacchara se encuentra dentro del corredor estructural Huacchara, en un anticlinal fallado formado por las cuarcitas Chimú. Estas cuarcitas están en contacto con las calizas de la Formación Jumasha debido a un fallo inverso conocido como falla Huacchara.

Figura 12:
Falla Huacchara



Fuente: Área de geología – Mina Huacchara

4.1.3. Labores Mineras

La mina Huacchara es una mina semi mecanizada que se divide en dos zonas principales norte con leyes de 35 onzas de plata, 7% de plomo y 4% de zinc y sur donde se encuentra vetas de baja ley como, 20 onzas promedio de plata, 3% de plomo, 3% zinc.

La mina tiene 2 niveles; nivel 35 al nivel 0, con producción a nivel -50 y +75. La mina cuenta con dos accesos principales, cada uno con un túnel que intercepta la veta que está a su vez es transportada con dumpers.

Además, la mina tiene una flota de 10 volquetes de 25 TN (tercializadas) para el transporte del mineral hasta la planta de beneficio Chimbote que son 240 Km aproximadamente, donde se procesa y se obtiene el concentrado final. La mina

aplica dos métodos de explotación: uno convencional (limpieza con winche eléctrico) para la zona de vetas angostas, semi mecanizado (scoop 2.5 yd), para la zona de cuerpos. La mina cuenta también con instalaciones industriales, ubicadas en el campamento consuzo.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Caracterización Geomecánica del macizo rocoso

Para la caracterización geomecánica del macizo rocoso en la mina Huacchara, se recopilaron los datos de la zona Norte a través de los mapeos en campo. A partir de ello, hemos definido los siguientes parámetros del macizo rocoso (roca intacta y discontinuidades), el análisis estereográfico de datos estructurales, la clasificación geomecánica, propiedades de resistencia y la evaluación de estabilidad del macizo rocoso.

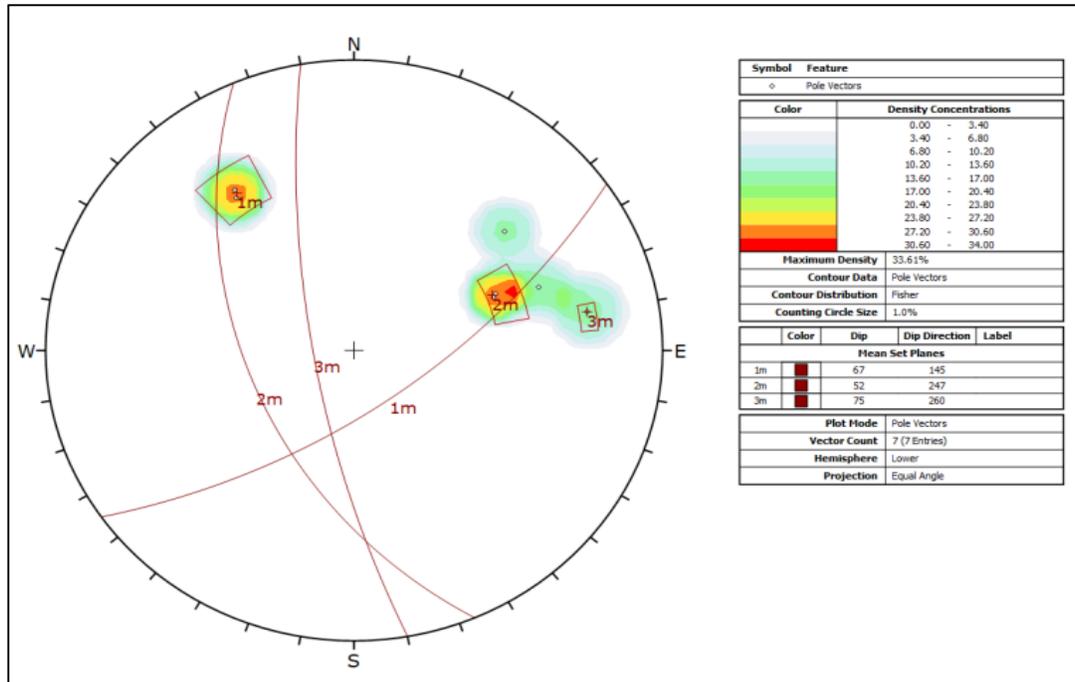
4.2.1.1. Comportamiento geomecánico del macizo rocoso

- **Roca matriz (roca intacta):** está compuesta por cuarcitas silicificadas y brechadas, así como andesitas de forma irregular; los cuarzos tienen una dureza variable (desde suave a dura en algunas áreas, especialmente a mayor profundidad).
- **Nivel Freático:** basándonos en las propiedades de permeabilidad natural e inducida en las rocas, podemos afirmar que existen condiciones desfavorables, como la presencia de humedad, mojado y goteo, debido a la infiltración del agua durante los períodos de lluvia. Tenemos en cuenta que el material en contacto con el agua se vuelve muy elástico (panizado), lo que resulta en la liberación y relajación del macizo rocoso.

- Discontinuidades:** Para este análisis, se utilizó el software DIPS, v6.103 de Rocscience. Se empleó la técnica de proyección estereográfica equiangular para realizar el levantamiento de orientación de dirección de las discontinuidades en la zona Norte de la mina Huacchara. Se obtuvieron 80 datos que fueron ingresados en el software DIPS. A partir de esto, se realizó un análisis estadístico que muestra las 3 familias (Familia 1: 67/145, Familia 2: 52/247 y Familia 3: 75/260) principales de discontinuidades presentes. Estos resultados se pueden observar en la Figura N.º 13.

Figura 13:

Estereografía para determinar número de familias



Fuente: Área de geomecánica – Mina Huacchara

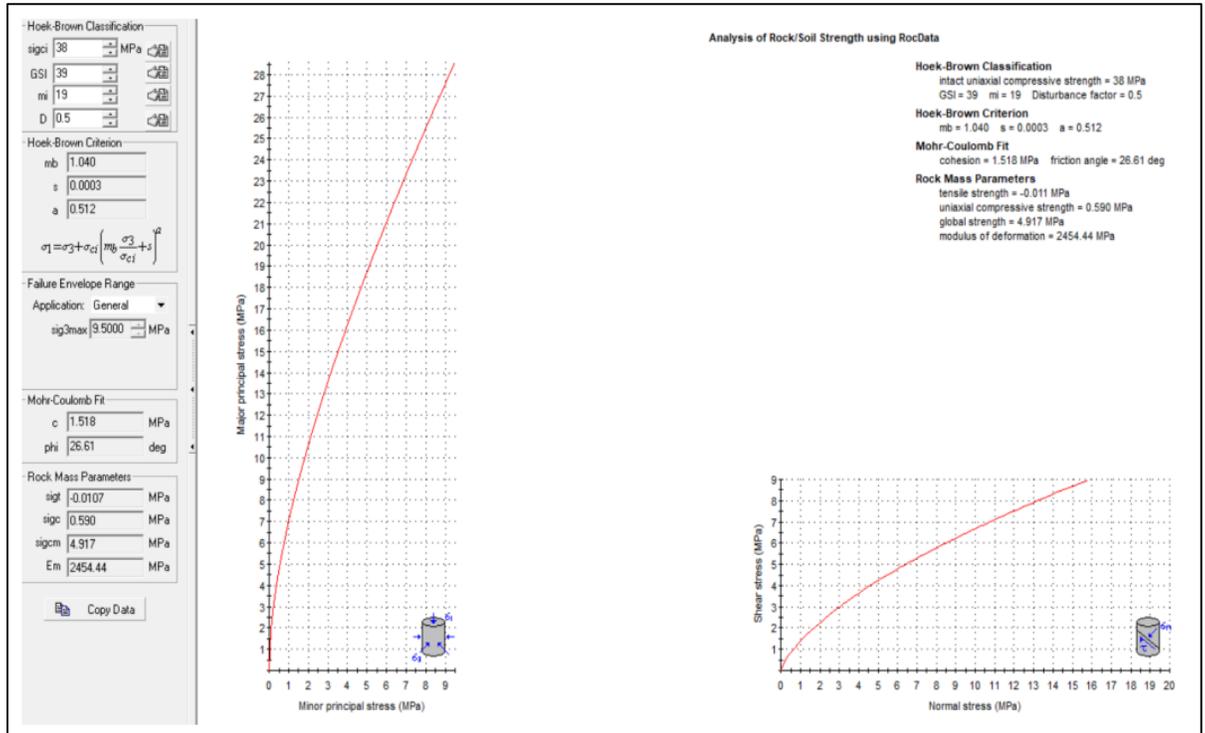
En el análisis estereográfico se observa que la intersección de los círculos máximos de cada familia de discontinuidades se encuentra fuera del

centro. Esto indica la posible presencia de una falla por deslizamiento, lo cual requiere un estudio adecuado para determinar las medidas de sostenimiento necesarias.

- **Resistencia del macizo rocoso:** Se ha realizado un análisis estadístico de los cálculos aplicando los criterios de "Hoek & Brown: 2002-2006" según los procedimientos sugeridos por la "ISRM" y las normas "ASTM" para determinar la resistencia del macizo rocoso. En la Figura N.º 14 se presenta un resumen de las propiedades de resistencia del macizo rocoso utilizadas en el estudio, el cual se apoyó en el software RocData de Rocscience. Se utilizaron los siguientes valores: UCS (Compresión uniaxial simple) = 38 MPa, GSI (Índice geológico) = 39, mi (constante de Hoek-Brown de la matriz rocosa) = 19 (brecha) y D (Grado de disturbación del macizo rocoso) = 0.5 (afectación por voladura). Los resultados obtenidos para los valores de la masa rocosa son: $m_b = 1.040$, $S = 0.0003$ y $a = 0.512$.

Figura 14:

Resultado de macizo rocoso con el software RocData



Fuente: Área de geomecánica – Mina Huacchara

- **Estado tensional o de esfuerzo del macizo rocoso**

Se ha calculado el esfuerzo vertical utilizando el criterio de carga litostática (Hoek & Brown, 1978), tomando en cuenta que la explotación alcanza una profundidad de 100 m. Para determinar los esfuerzos in-situ, hemos utilizado el criterio gravitacional; por lo que, el esfuerzo vertical (σ_v) se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\sigma_v = \gamma * Z$$

Donde z es la profundidad y es 100 m y “ γ ” la densidad del material de cobertura el cual se considera 0.027 MPa/m

$$\sigma_v = 0.027 \times 100$$

$$\sigma_v = 2.7 \text{ MPa}$$

Las determinaciones de los esfuerzos horizontales actuantes son más difíciles de estimar. Normalmente la relación entre el esfuerzo horizontal y el esfuerzo vertical es denotada por la letra k como:

$$\sigma_h = k\sigma_v$$

Sheorey (1994) nos proporciona una ecuación que se utilizó para estimar la relación entre el esfuerzo horizontal y vertical K. Esta ecuación es:

$$K=0.25+7 (E_h) (0.001+\frac{1}{z})$$

Donde Eh (GPa) es el promedio del módulo de deformación del material de cobertura sobre la excavación que es 9.39 GPa. y z= 100 m.

$$K=0.25+7 (9.39) (0.001+\frac{1}{100})$$

$$K= 0.97$$

Por tanto, el esfuerzo horizontal es:

$$\sigma_h = (0.97) * (2.7)$$

$$\sigma_h = 2.62 \text{ MPa}$$

4.2.1.2. Clasificación geomecánica con el RMR de Bieniawski

El proceso de esta clasificación del macizo rocoso implica “analizar e interpretar” la información de campo para ser registrado en cada uno de los seis parámetros del RMR de Bieniawski.

- **Parámetro 1**

Para estimar la resistencia de la matriz rocosa, se realizaron una serie de ensayos en campo (**resistencia a compresión simple usando la picota de geólogo**), Tabla N.º 26.

Tabla 26:

Resistencia a la compresión simple con picota de geólogo

Grado	Descripción	Identificación de campo	Resistencia a compresión simple MPa
R1	Roca muy blanda	Deleznable bajo fuertes golpes con la parte puntiaguda del martillo geólogo; puede desconcharse con una navaja.	1 - 5
R2	Roca blanda	Puede desconcharse con dificultad con una navaja; se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente la roca con la punta del martillo.	5 - 25
R3	Roca moderadamente dura	No se puede rayar o desconchar con una navaja; las muestras se pueden romper con un golpe firme con el martillo.	25 - 50
R4	Roca dura	Se necesita más de un golpe con el martillo geólogo para romper la muestra.	50 - 100
R5	Roca muy dura	Se necesitan muchos golpes con el martillo geólogo para romper la muestra.	100 - 250
R6	Roca extremadamente dura	Sólo se pueden romper esquirlas de la muestra con el martillo geólogo.	> 250

Fuente: Evaluación del suelo conformado por un macizo rocoso compuesto de andesita basáltica con fines de cimentación en edificaciones, Puno, 2022(p. 15), Callomamani, 2022.

La roca intacta no puede ser cortada con una navaja, pero se fractura al golpearla con un martillo, por lo tanto, su resistencia se encuentra en un rango de 25 a 50 MPa. En nuestro caso de estudio, se tomó un promedio de RMR (con picota) de 38 MPa. También es importante mencionar que, en otro lugar del estudio, se observó una resistencia RMR (con picota) de 75 MPa, ya que el macizo rocoso requiere varios golpes de martillo para romperse.

De esta manera dimos la valoración en la Tabla N.º 27.

Tabla 27:

Valoración de la Resistencia a la compresión simple (con picota)

Descripción	Resistencia a la compresión simple	Valoración
Extremadamente dura	>250	15
Muy dura	100-250	12
Dura	50-100	7
Moderadamente dura	25-50	4
Blanda	5-25	2
Muy blanda	1-5	1
	<1	0

Fuente: Evaluación geomecánica para implementar el sistema de sostenimiento con fines de seguridad, Galería Mercedes Mina Artesanal Suirupata - Acopalca (p.32), Guerra, Navarro & Toribio, 2021.

- **Parámetro 2**

El **Índice de calidad de la roca (RQD)** se ha determinado por el registro de celdas o volumétrico, de discontinuidades, utilizando la relación propuesta por Palmstrom.

Donde J_v (fracturas/metro) de 31 fracturas.

$$RQD=110 - 2.5J_v$$

$$RQD= 110 - 2.5 (31)$$

$$RQD= 32.5\%$$

Tabla 28:
Valoración del RQD

Índice de calidad de la roca - RQD (%)	Calidad	Valoración
0-25	Muy mala	3
25-50	Mala	8
50-75	Regular	13
75-90	Buena	17
90-100	Muy buena	20

Fuente: Evaluación geomecánica para implementar el sistema de sostenimiento con fines de seguridad, Galería Mercedes Mina Artesanal Suirupata - Acopalca (p.34), Guerra, Navarro & Toribio, 2021

En la Tabla N.º 28 nos muestra el resultado con una valoración de 8 equivalente al 32.5% de RQD en una roca mala.

- **Parámetro 3**

En la Tabla N.º 29 se muestra el **tipo de discontinuidades**, donde el registro de la zona mapeada que presentó un espaciado de 0.06 m. con un tipo de macizo rocoso machacado, muy poca visibilidad de roca intacta. Las discontinuidades están muy juntas o superpuestas.

Tabla 29:
Valoración del espaciado

Descripción	Espaciado de las juntas	Tipo de macizo rocoso	Valoración
Muy separadas	>2m	Sólido	20
Separadas	0.6-2m	Masivo	15
Moderadamente juntas	0.2-0.6 m	En bloques	10
Juntas	0.06-0.02 m	Fracturado	8
Muy juntas	<0.06 m	Machacado	5

Fuente: Evaluación geomecánica para implementar el sistema de sostenimiento con fines de seguridad, Galería Mercedes Mina Artesanal Suirupata - Acopalca (p.36), Guerra, Navarro & Toribio, 2021.

- **Parámetro 4**

En el Cuadro N.º 2 se observa la **valoración de las condiciones de discontinuidades** de la zona mapeada por el área de geomecánica.

Cuadro 2:

valoración de las condiciones de discontinuidades

Condiciones de discontinuidades																								
Persistencia		Apertura		Rugosidad					Relleno		Alteración													
6	4	2	1	0	6	5	3	1	0	6	4	2	1	0										
1. < 1m	2. 1-3m	3. 3-10m	4. 10-20m	5. > 20m	1. Cerrada 0	2. Muy angosta < 0.1 mm	3. Angosta 0.1-1.0 mm	4. Abierta 1.0-5.0 mm	5. Muy abierta > 5.0 mm	1. Muy rugosa	2. Rugoso	3. Ligeramente rugoso	4. Lisa	5. Muy lisa	1. Ninguna	2. Relleno duro < 5mm	3. Relleno duro > 5mm	4. Relleno blando < 5mm	5. Relleno blando > 5mm	1. No alterada	2. Ligeramente	3. Moderadamente	4. Altamente alterada	5. Descompuesta

Fuente: Área de geomecánica – Mina Huacchara

La persistencia del macizo rocoso es de 3 a 10 m; apertura es angosta de 0.1 a 1.0 mm; la rugosidad se considera como ligeramente rugosa; el relleno de las discontinuidades es blandos menores a 5mm (panizo) y presentan una alta alteración.

- **Parámetro 5**

En la Tabla N.º 30 se muestra la **valoración de la presencia de agua**.

Tabla 30:

Valoración de la presencia de agua

Caudal por 10m de tunel	Relación agua-tensión PPAL mayor	Descripción	Valoración
Nulo	0	Seco	15
<10 litros/min	<0.1	Ligeramente húmedo	10
10-25 litros/min	0.1-0.2	Húmedo	7
25-125 litros/min	0.2-0.5	Goteando	4
>125 litros/min	>0.5	Fluyente	0

Fuente: Evaluación geomecánica para implementar el sistema de sostenimiento con fines de seguridad, Galería Mercedes Mina Artesanal Suirupata - Acopalca (p.40), Guerra, Navarro & Toribio, 2021.

Según la Tabla N.º 30 el macizo rocoso en estudio presente una valoración de presencia de agua de 10 a 25 litros/minuto, valoración 7, húmedo.

- **Parámetro 6**

En la Tabla N.º 31 se observa la **valoración de la orientación de la discontinuidad**, cuyo registro es de 20° a 45° siendo esto favorable. De igual manera, en la Tabla N.º 32 se registró la **valoración de la excavación** cuyo registro es -2, favorable.

Tabla 31:

Orientación de la discontinuidad de la zona mapeada

Dirección perpendicular al eje de la obra		Dirección paralelo al eje de la obra		Buzamiento 0-20° cualquier dirección		
Excav. Con buzamiento	Excav. Contra buzamiento	obra				
Buz 45°-90°	Buz 20°-45°	Buz 45°-90°	Buz 20°-45°		Buz 45°-90°	Buz 20°-45°
Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable	Medio	Desfavorable

Fuente: Evaluación geomecánica para implementar el sistema de sostenimiento con fines de seguridad, Galería Mercedes Mina Artesanal Suirupata - Acopalca (p.41), Guerra, Navarro & Toribio, 2021.

Tabla 32:

Valoración de la excavación

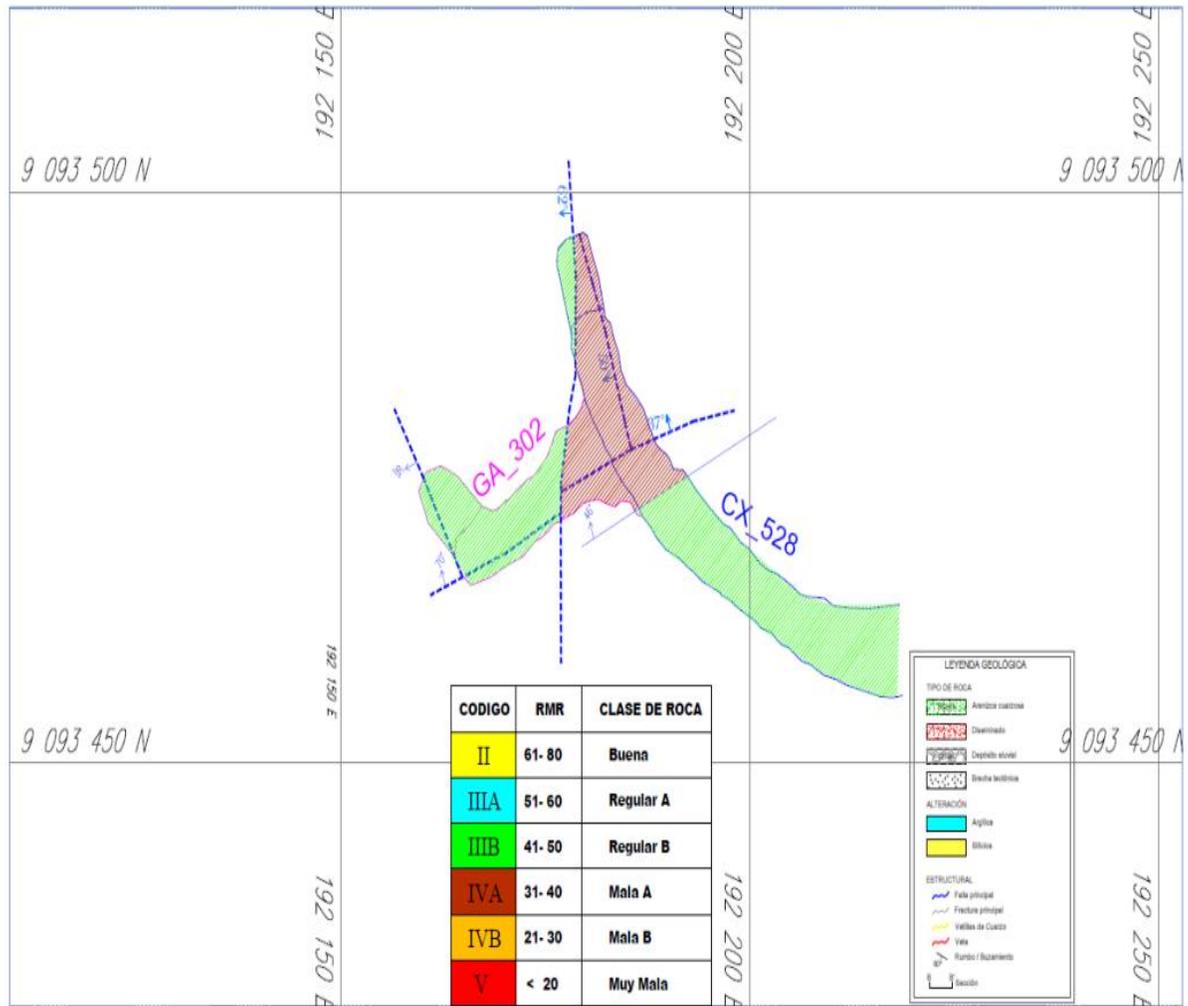
Calificativo	Valoración
Muy favorable	0
Favorable	-2
Medio	-5
Desfavorable	-10
Muy desfavorable	-12

Fuente: Evaluación geomecánica para implementar el sistema de sostenimiento con fines de seguridad, Galería Mercedes Mina Artesanal Suirupata - Acopalca (p.41), Guerra, Navarro & Toribio, 2021.

Mapeo geomecánico del macizo rocoso

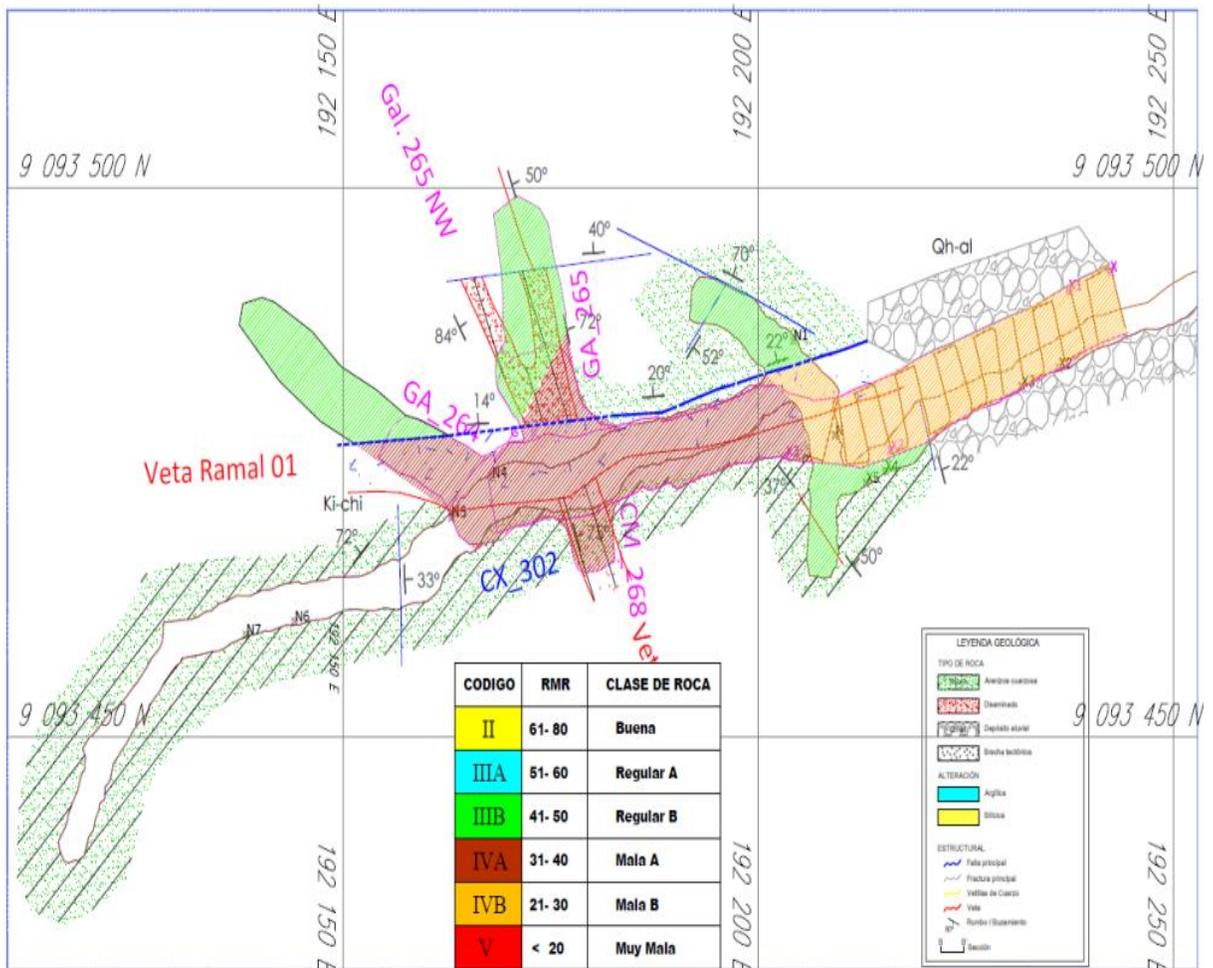
Se realizó el mapeo geomecánico en el Nv 0, Zona Milagros en las labores Cx-528 y GA-302, Cx-302, GA-265, GA-264, CM-268, Veta ramal 01 para determinar la calidad del macizo rocoso, cuyos resultados se observan en los Planos N.º 1 y 2. Asimismo, se realizó el mapeo geomecánico en el Nv 35 en las labores GA-402, CX-401, GA-401, GA-422, SN-411, SN-412, CM-401, BP-442, SN-135, cuyos resultados se observan en el Plano N.º 3.

Plano 1:
Mapeo geomecánico de la zona Milagros



	UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN		
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS			
TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE INGENIERÍA DE MINAS			
PRESENTADO POR: BARONA BERNABE, Jackelyn Roxasa			
Dibujado por:	Geomecánica mina	Escala:	1: 250
Proyección:	UTM 18° N	Fecha:	17-Jul-23
		Plano N° 1 PLANO GEOMECAÁNICO Nv 0 Zona Milagros-Mina Huacchara	

Plano 2:
Mapeo geomecánico Nv. 0



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

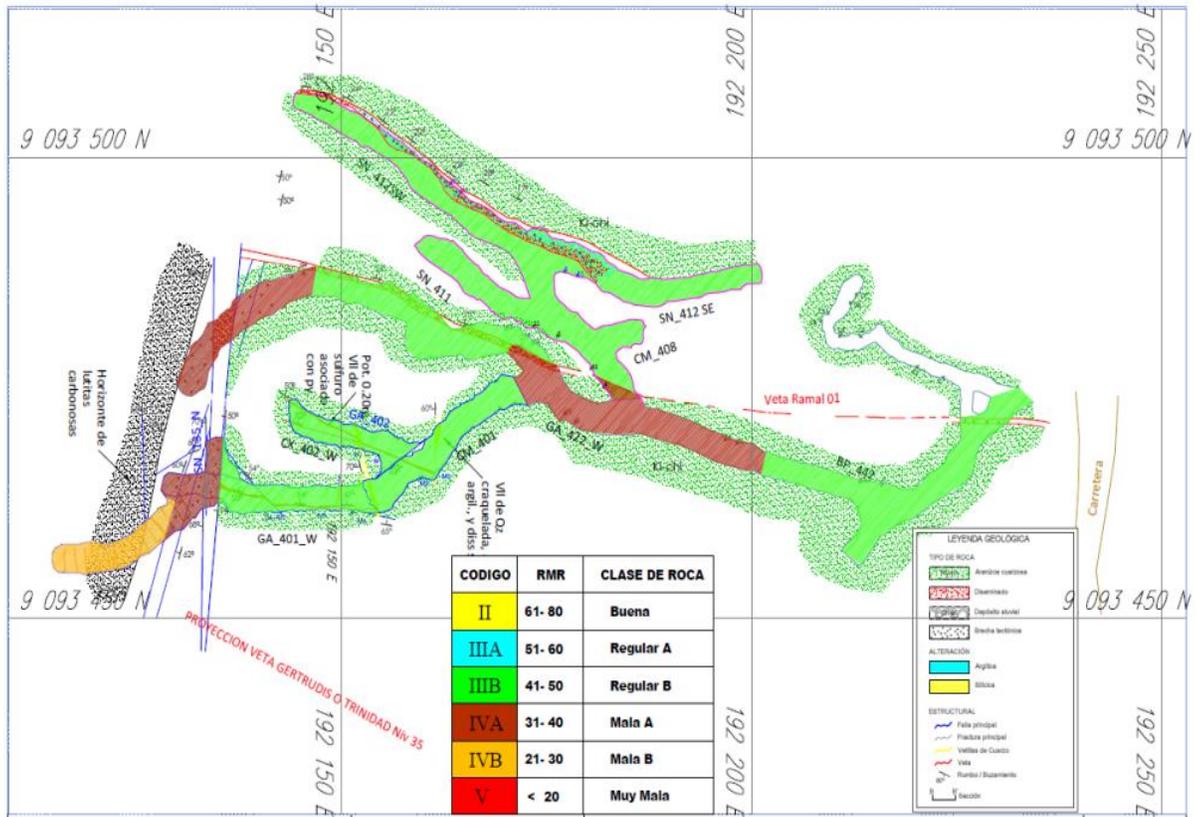
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE INGENIERÍA DE MINAS

PRESENTADO POR: BARONA BERNABE, Jackelyn Roxasa

Dibujado por:	Geomecánica mina	Escala:	1: 250	Plano N° 2
Proyección:	UTM 18° N	Fecha:	17-Jul-23	PLANO GEOMECAÍNICO Nv 0 - Mina Huacchara

Plano 3:
Mapeo geomecánico Nv. 35



	UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN		
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS			
TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE INGENIERÍA DE MINAS			
PRESENTADO POR: BARONA BERNABE, Jackelyn Roxasa			
Dibujado por:	Geomecánica mina	Escala:	1: 250
Proyección:	UTM 18° N	Fecha:	17-Jul-23
		Plano N° 3	
		PLANO GEOMECÁNICO Nv 35 - Mina Huacchara	

En el siguiente Cuadro N° 3 se resume todo el registro de campo de la zona Norte, Nv 0, donde observamos los 6 parámetros de RMR, detallando el tipo de roca de cada labor.

Cuadro 3:
Mapeo geomecánico de la zona Norte

					FORMATO PARA LA CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE RMR										GP-GEOM-F-01		
					DIVISIÓN: GEOMECÁNICA										DEPARTAMENTO DE GEOMECÁNICA		
DATOS DE LABORES					Parámetro	SC	RQD	Espaciamiento entre Discontinuidades	Condiciones de discontinuidades					Agua Subterránea	Orientación discontin.	VALOR TOTAL RMR	TIPO DE ROCA
									Resistencia a la Compresión	Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno				
ESTACIÓN	FECHA	NIVEL	ZONA	LABOR	Val.	15 12 7 4 2	20 15 10 8 3	20 15 10 8 5	6 4 2 1 0	6 5 4 1 0	6 5 3 1 0	6 4 2 1 0	6 5 3 1 0	15 10 7 4 0	0 -2 -5 -10 -12		
						1. >250 Mpa 2. 100-250 Mpa 3. 50-100 Mpa 4. 25-50 Mpa 5. <25 Mpa	1. 90-100% 2. 75-90% 3. 50-75% 4. 25-50% 5. <25%	1. > 2m 2. 0.6-2m 3. 0.2-0.6m 4. 0.06-0.02m 5. < 0.06m	1. < 1m 2. 1-3m 3. 3-10m 4. 10-20m 5. > 20m	1. Cerrada 0 2. Muy angosta < 0.1 mm 3. Angosta 0.1-1.0 mm 4. Abierta 1.0-5.0 mm 5. Muy abierta > 5.0 mm	1. Muy rugosa 2. Rugoso 3. Ligeramente rugoso 4. Lisa 5. Muy lisa	1. Ninguna 2. Relleno duro < 5mm 3. Relleno duro > 5mm 4. Relleno blando < 5mm 5. Relleno blando > 5mm	1. No alterada 2. Ligeramente 3. Moderadamente 4. Altamente alterada 5. Descompuesta	1. Completamente seco 2. Húmedo 3. Mojado 4. Goteando 5. Fluyendo	1. Muy favorable 2. Favorable 3. Regular 4. Desfavorable 5. Muy desfavorable		
1	14/07/2023	0	Norte	GA 302	7	3	5	6	4	3	0	3	10	0	41	IIB	
2	14/07/2023	0	Norte	CX 302	7	3	5	6	1	5	1	1	10	2	37	IVA	
3	15/07/2023	35	Norte	GA 401	7	3	8	4	4	5	1	3	10	2	43	IIB	
4	15/07/2023	35	Norte	BP 442	4	8	5	2	4	3	1	1	7	2	33	IVA	
5	15/07/2023	35	Norte	CX 401	4	3	5	6	1	1	0	0	7	2	25	IVB	

Fuente: Área de geomecánica - Mina Huacchara

Se realizó una evaluación integral de la mina para estimar la composición del macizo rocoso en porcentajes, lo cual se resume en el Cuadro N.º 4. La mina se encuentra principalmente en áreas de roca con calidad mala (IVA) a muy mala (IVB), estas corresponden a cuarcita altamente fracturada o silicificada, así como estructuras con terreno muy alterado. Sin embargo, también se encontraron zonas de roca regular (IIIB), donde la cuarcita tiene una dureza regular.

Cuadro 4:

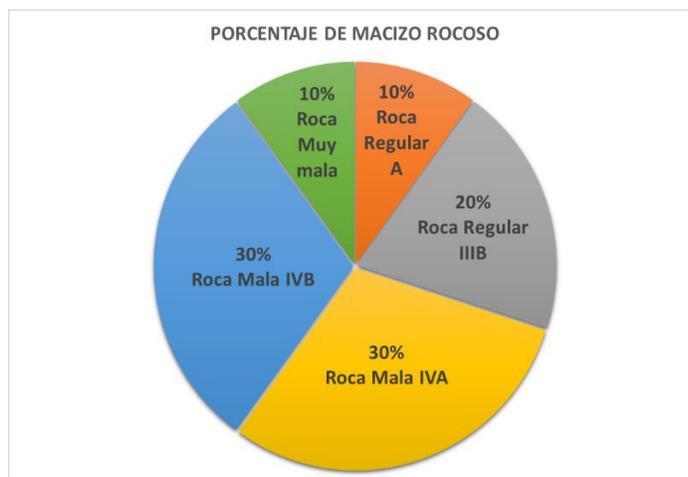
Estimación del macizo rocoso de la zona Norte

CÓDIGO	RANGO RMR	CLASE DE ROCA	PORCENTAJE DE MACIZO ROCOSO
II	80 - 61	Buena	0%
IIIA	60 - 51	Regular A	10%
IIIB	50 - 41	Regular B	20%
IVA	40 - 31	Mala A	30%
IVB	30 - 21	Mala B	30%
V	< 20	Muy mala	10%
TOTAL			100%

Fuente: Área geomecánica – Mina Huacchara

Figura 15:

Porcentaje del Macizo rocoso de acuerdo a su clasificación



Fuente: Área de geomecánica – Mina Huacchara

Según se puede observar en la Figura N.º 15 hay dos tipos de rocas bien definidas: roca regular IIIB y roca mala y muy mala (IVA-IVB); los que en cada caso requieren un determinado tipo de sostenimiento.

4.2.2. Elección del tipo de sostenimiento

Para determinar el sostenimiento se consideró el resultado del RMR, el resultado del GSI y la dimensión equivalente de la excavación (De) mostrado en el Cuadro N.º 5, aplicados en el ábaco SPM (Sostenimiento práctico en las labores mineras) con los que se elegirá el tipo de sostenimiento para cada uno de ellos (roca regular y roca mala/muy mala).

- Primero se ha definido el tipo de excavación ESR (Esfuerzo de Soporte del macizo rocoso) que se muestra en la Tabla N.º 33, la cual es indispensable para el sistema de soporte que se va instalar en la zona estudiada.
- En esta Tabla N.º 33 se puede observar excavaciones mineras temporales (ESR 3-5). Asimismo, se ve excavaciones mineras permanentes: túneles de conducción de aguas para hidroeléctricas, (con la excepción de las cámaras de alta presión para compuertas), túneles pilotos (exploración), excavaciones parciales para cámaras subterráneas grandes (ESR 1.6). También, cámaras de almacenamiento, plantas subterráneas para el tratamiento de aguas, túneles carreteros y ferrocarriles pequeños, cámaras de alta presión (ESR 1.3).

Tabla 33:

Tipo de excavación de la zona Norte de la mina Huacchara

Tipos de excavación	ESR
A. Excavaciones mineras temporales.	3-5
B. Piques verticales	
i) sección circular	2.5
ii) sección cuadrada y rectangular	2.0
C. Excavaciones mineras permanentes: túneles de conducción de aguas para hidroeléctricas, (con la excepción de las cámaras de alta presión para compuertas), túneles pilotos (exploración), excavaciones parciales para cámaras subterráneas grandes.	1.6
D. Cámaras de almacenamiento, plantas subterráneas para el tratamiento de aguas, túneles carreteros y ferrocarriles pequeños, cámaras de alta presión.	1.3
E. Casas de máquinas, Túneles carreteros y ferrocarriles mayores, refugios de defensa civil, portales y cruces de túnel.	1
F. Estaciones nucleares subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones para deportes y reuniones, fábricas.	0.8
G. Cavernas y túneles muy importantes de una gran vida útil, túneles para cañerías de gas.	0.5

Fuente: Geomecánica aplicada al control de las labores mineras para la minimización de la caída de rocas en la mina paredones nivel 5 (p. 26), Aceijas, 2019

- Luego se detalló la sección de labor mediante el SPAN (abertura o ancho de excavación) de la mina Huacchara, By Pass, galería y crucero con sección típica de 2.4 x 2.4 m; 3.0 x 3.0 m e intersección 4.5 x 3.0 m., así se obtuvo la dimensión equivalente de excavación teniendo en cuenta las labores que son temporales y permanentes.
- En el Cuadro N.º 5 se puede observar el cálculo de la dimensión equivalente de la excavación (De) en función a las dimensiones de la labor, tipo de sostenimiento (temporal y permanente), ancho de la labor; y el esfuerzo de soporte del macizo rocoso.

Cuadro 5:

Cálculo de la dimensión equivalente de excavación "De"

SECCIÓN	TIPO	SPAN	ESR	De
3.0 x 3.0 m	Permanente	3	1.6	1.9
2.4 x 2.4 m	Permanente	2.4	1.6	1.5
2.4 x 2.4 m	Temporal	2.4	3	0.8

Fuente:Área de geomecánica – Mina Huacchara

- Con el GSI que se muestra en la Tabla N.º 34 se identificaron las condiciones de fracturamiento por metro lineal y la resistencia de acuerdo a los golpes de picota, obteniendo así en las intersecciones MF/R (Muy fracturada a regular), MF/P (Muy fracturado a pobre) y IF/P (Intensamente fracturado a pobre), estas intersecciones son consideradas en el ábaco SPM (Sostenimiento practico en las labores mineras).

Tabla 34:

GSI según la descripción geomecánica de la Mina Huacchara

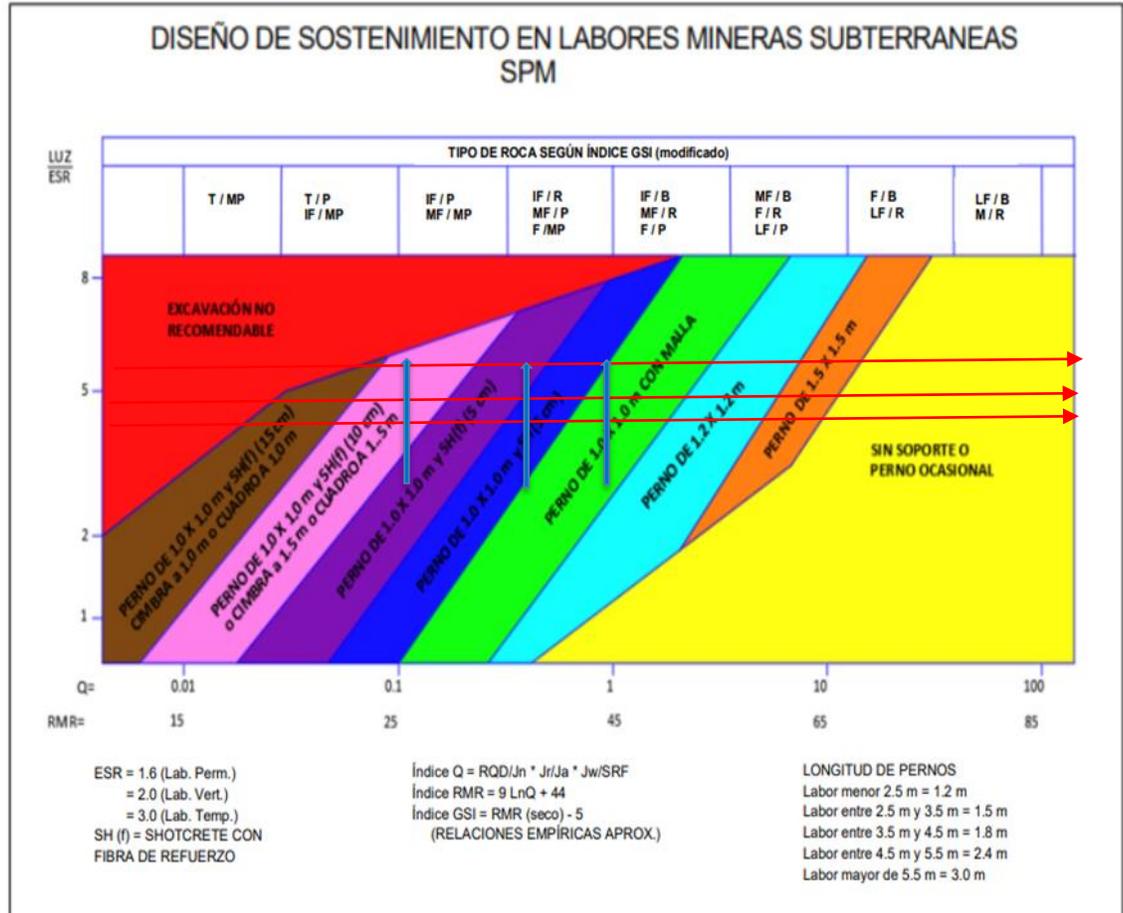
<p>CARTILLA GEOMECÁNICA - U.M. HUACCHARA GSI - VERSIÓN: 01</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>CÓDIGO</th> <th>RMR</th> <th>CLASE DE ROCA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>II</td> <td>61 - 80</td> <td>Buena</td> </tr> <tr> <td>IIIA</td> <td>51 - 60</td> <td>Regular A</td> </tr> <tr> <td>IIIB</td> <td>41 - 50</td> <td>Regular B</td> </tr> <tr> <td>IVA</td> <td>31 - 40</td> <td>Mala A</td> </tr> <tr> <td>IVB</td> <td>21 - 30</td> <td>Mala B</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td>< 20</td> <td>Muy Mala</td> </tr> </tbody> </table> <p>CONDICIÓN DE ESTRUCTURA</p>		CÓDIGO	RMR	CLASE DE ROCA	II	61 - 80	Buena	IIIA	51 - 60	Regular A	IIIB	41 - 50	Regular B	IVA	31 - 40	Mala A	IVB	21 - 30	Mala B	V	< 20	Muy Mala	<p>CONDICIÓN SUPERFICIAL - ESTRUCTURAS</p>			
CÓDIGO	RMR	CLASE DE ROCA																								
II	61 - 80	Buena																								
IIIA	51 - 60	Regular A																								
IIIB	41 - 50	Regular B																								
IVA	31 - 40	Mala A																								
IVB	21 - 30	Mala B																								
V	< 20	Muy Mala																								
		<p>BUENA (B) Discontinuidad rugosas y onduladas, presenta superficie con oxidación ligera, abierta 1-2 mm (Rc 100-250 MPa) (Se rompe con varios golpes de picota)</p>	<p>REGULAR (R) Discontinuidades lisas, onduladas con recubrimiento de sericita y clorita, moderadamente abierta de 2-5 mm (Rc 50-100 MPa) (Se rompe con uno o dos golpes de picota)</p>	<p>POBRE (P) Superficie lisas, planas con estrias, abierto 5 mm a 1 cm con recubrimiento de sericita y caolín. Relleno compacto o con fragmento de roca (Rc 25-50 MPa) (Se indenta superficialmente)</p>	<p>MUY POBRE (MP) Superficie pulida y estriada. Intensamente alterada y muy abierta > 1 cm, relleno de fragmentos en matriz blanda o panizo (Rc < 25 MPa) (Se disgrega o se indenta profundamente)</p>																					
	<p>FRACTURADA (F) 6-10 Fracturas/metro Muy bien trabada, no disturbado, bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales. (RQD 50 - 75)</p>	F/B	F/R	F/P																						
	<p>MUY FRACTURADO (MF) 11-20 Fracturas/metro Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o mas sistemas de discontinuidades. (RQD 25 - 50)</p>	MF/B	MF/R	MF/P	MF/MP																					
	<p>INT. FRACTURADA (IF) Mas de 20 Fracturas/metro Plegamiento y/o fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando fragmentos angulosos. (RQD 0 - 25)</p>		IF/R	IF/P	IF/MP																					
	<p>TRITURADA (T) Fracturas incontables Masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos facilmente disgregables, angulosos y redondeados en matriz arcillosa. (Sin RQD)</p>			T/P	T/MP																					

Fuente: Área de geomecánica – Mina Huacchara

En la Figura N.º 16 se muestra el ábaco SPM (Sostenimiento práctico en las labores mineras) que es una herramienta que permite estimar el tipo de sostenimiento de manera práctica para una labor minera subterránea. Ello permite analizar qué tipo de sostenimiento se necesita para evitar derrumbes, también, se puede observar dos situaciones: uno de una labor permanente, que tiene que durar bastante tiempo, y otro de una labor temporal, que se usa por corto tiempo. En la que se muestran los cálculos resultantes de la excavación equivalente para dos escenarios: una labor permanente con valores de 1.9 y 1.5, respectivamente, y otra labor temporal con un valor de 0.8; cada uno de estos valores se representan con líneas horizontales. Asimismo, la calidad de la roca es indicada mediante parámetros, en ese sentido a partir del GSI se obtuvo como resultado el MF/R, MF/P y IF/P, que se representan con líneas verticales. También con el parámetro RMR se obtienen los siguientes valores de 42, 35 y 25 promedio que se encuentran dentro del rango que corresponde a los valores de 25 a 45. Esto muestra que la evaluación realizada es coherente y el tiempo de sostenimiento elegido es confiable.

Figura 16:

Ábaco del SPM (Aplicación del De, RMR y GSI)



Fuente: comportamiento geomecánico mediante la valoración RMR89 para determinar los sostenimientos en mina cajamarca de Paccha, Bambamarca – Cajamarca 2020 (p.19), Goicochea, 2021.

Según la tabla geomecánica de la mina Huacchara (Tabla N.º 35), se puede recomendar el tipo de sostenimiento según la categoría de roca, valoración del RMR, GSI, tiempo de autoapoyo; de acuerdo al tipo de labor se determina el sostenimiento temporal o permanente, y de igual manera, en tajeos.

De acuerdo a esta tabla geomecánica el tipo de sostenimiento para labores temporales y permanentes son:

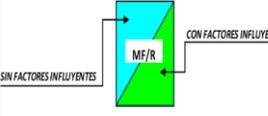
Para un RMR de 41-43 de tipo de roca IIIB en labores de avance (rampa, preparación, galerías, desarrollo y otros) de sección 2.4 x 3.0 m se recomienda, en

una labor temporal, un sostenimiento con malla electrosoldada más perno expansivo de 5' o 7' espaciados a 1.6 x 1.6 m. Para una labor permanente, se recomienda un sostenimiento con malla electrosoldada más perno expansivo de 5' o 7' espaciados a 1.6 x 1.6 m, que tienen un autoaporte mínimo de 20 días; y en el caso de tajeo se recomienda un sostenimiento con puntal de seguridad (palo redondo) 6" espaciado de 1.5 a 2.5 m y/o malla electrosoldada con pernos split set de 5' espaciado a 1.6 x 1.6 m.

Para un RMR de 33-37 de tipo de roca IVA para las mismas labores y de la misma sección se recomienda, en una labor temporal, un sostenimiento con malla electrosoldada más perno expansivo de 5' o 7' espaciados a 1.5 x 1.6 m; y para una labor permanente un sostenimiento con malla electrosoldada más perno expansivo de 5' o 7' espaciados a 1.5 x 1.6 m y/o cuadro de madera (palo redondo) 8" espaciados de 1.2 x 1.5 m con elementos de seguridad que tienen un autoaporte mínimo de 12 días; y en tajeos se recomienda un sostenimiento con puntal de seguridad (palo redondo) 6" espaciado de 1.0 a 1.5 m y/o malla electrosoldado con pernos split set de 5' espaciado a 1.6 x 1.6 m.

Para un RMR de 25 de tipo de roca IVB para las mismas labores y de la misma sección se recomienda, en una labor temporal, un sostenimiento con cuadro de madera con redondo de 8" espaciados de 1.2 x 1.5 m con guarda cabeza o marchavante hasta el tope. Para una labor permanente en el mismo tipo de roca un sostenimiento con cuadro de madera con redondo de 9" espaciados de 1.0 x 1.2 m con guarda cabeza o marchavante y/o cimbra metálica viga H4; y en caso de tajeos cuadro de madera con redondo de 8" espaciados de 1.2 x 1.5 m con todos sus elementos de seguridad.

Figura 17:
Recomendación del sostenimiento Minera Huacchara

TABLA GEOMECÁNICA				TIPO DE SOSTENIMIENTO		
CATEGORÍA	VALORACIÓN	GSI	TAS	AVANCES (Rampa, Preparación, Galeña, Desarrollo) -Sección: 2.4 x 3.0 m		EXPLOTACIÓN (EN TAJO)
				TEMPORAL	PERMANENTE	
IIIA	51 - 60	MF/B F/R	30 días	Sostenimiento con split set de 5' o 7' espaciados a 1.8 x 1.2 m.	Sostenimiento con perno expansivo de 5' o 7' espaciados a 1.5 x 1.1 m.	Sostenimiento con puntal de seguridad 6' con plantilla espaciado de 2.5 a 3.0 m y/o pernos split set de 5' espaciado a 1.8 x 1.2 m
IIIB	41 - 50	MF/R F/P	20 días	Sostenimiento con malla electrosoldada mas perno expansivo de 5' o 7' espaciados a 1.6 x 1.6 m.	Sostenimiento con malla electrosoldada mas perno expansivo de 5' o 7' espaciados a 1.6 x 1.6 m.	Sostenimiento con puntal de seguridad 6' con plantilla espaciado de 1.5 a 2.5 m y/o malla electrosoldada con pernos split set de 5' espaciado a 1.6 x 1.6 m
IVA	31 - 40	IF/R MF/P F/MP	12 días	Sostenimiento con malla electrosoldada mas perno expansivo de 5' o 7' espaciados a 1.5 x 1.6 m.	Sostenimiento con malla electrosoldada mas perno expansivo de 5' o 7' espaciados a 1.5 x 1.6 m y/o cuadro de madera de 8" espaciados de 1.2 a 1.5 m con todo sus elementos de seguridad.	Sostenimiento con puntal de seguridad 6' con plantilla espaciado de 1.0 a 1.5 m y/o malla electrosoldada con pernos split set de 5' espaciado a 1.5 x 1.6 m
IVB	21 - 30	IF/P MF/MP	Inmediato	Sostenimiento con cuadro de madera con redondo de 8" espaciados de 1.2 a 1.5 m, con guarda cabeza o marchavante hasta el tope.	Sostenimiento con cuadro de madera con redondo de 8" espaciados de 1.0 a 1.2 m, con guarda cabeza o marchavante y/o cimbra metálica de viga H4.	Sostenimiento con cuadro de madera con redondo de 8" espaciados de 1.2 a 1.5 m, con todo sus elementos de seguridad.
V	< 20	T/P IF/MP T/MP	Inmediato	Sostenimiento con cuadro de madera con redondo de 9" espaciados de 1.0 a 1.2 m, con guarda cabeza o marchavante..	Sostenimiento con cuadro de madera con redondo de 9" a 10" espaciados <=1.0 m, con guarda cabeza o marchavante y/o cimbra metálica de viga H4.	Sostenimiento con cuadro de madera con redondo de 9" espaciados de < 1.2 m, con todo sus elementos de seguridad.
				<p align="center">FACTORES INFLUYENTES</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. FLUJO DE AGUA 2. RELAJAMIENTO DE ROCA 3. VOLADURA DEFICIENTE 4. PRESENCIA DE FALLAS 5. ZONA DE INTERSECCIÓN 6. LABOR CERCANA 	<p align="center">FACTORES INFLUYENTES</p> <p>APLICACIÓN DE CARTILLA GEOMECÁNICA: Para aplicar la tabla geomecánica se debe lavar los hostiales, el techo y el frente de labor y determinar los 2 parámetros de GSI</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Condición de Estructura, se determina contando el número de fracturas por metro cuadrado 2. Condición Superficial, se determina mediante golpe de picota o barretilla. 	<p>NOTA: En zonas de intersección aplicar estándares de sostenimiento en intersecciones.</p> <p>IMPORTANTE: Toda labor se ejecuta metro avanzado, metro sostenido.</p>

Fuente: Área de geomecánica – Mina Huacchara

En las Figuras N.º 17, 18, 19 y 20 se muestran los precios unitarios por tipo de sostenimiento aplicados en la mina Huacchara.

Figura 18:

Precio Unitario del sostenimiento con cuadro de madera

Precio Unitario del sostenimiento con cuadro de madera						
MINERA HUACCHARA GLORE PERÚ S.A.C.				Tipo de cambio (\$)	3.79	
				Avance (m)	1.2	
COSTOS DIRECTOS						
MANO DE OBRA						
1. Traslado de madera	Unidad	N° personal	jornal	N° tareas	Sub total	Total
Maestro enmaderador	tarea	1	80	0.25	20	
Ayudante enmaderador	tarea	1	70	0.25	17.5	
Peon	tarea	1	65	0.25	16.25	
					53.75	
2. Instalacion del cuadro de madera						
Maestro enmaderador	tarea	1	80	1	80	
Ayudante enmaderador	tarea	1	70	0.75	52.5	
Peon	tarea	1	65	0.75	48.75	
					181.25	
SUBTOTAL					235	
BBSS 100.62%					236.46	
TOTAL					471.46	392.88
IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD						
	Unidad	Cantidad	P.U (S/.)	V.Util (dias)	costo/inst.	
Protector	pza	2	48.51	360	0.27	
Pantalón con cinta reflectiva	pza	2	27	180	0.30	
Camisa con cinta reflectiva	pza	2	21.66	180	0.24	
Correa portalampara	pza	2	15.47	360	0.09	
Lámpara Minera Wisdom	pza	2	318.36	360	1.77	
Zapato de seguridad	par	2	75.26	180	0.84	
Tapones de oido	par	2	3.97	20	0.40	
Guantes de cuero	par	2	11.75	25	0.94	
Respirador 3M	pza	2	93.67	180	1.04	
Cartucho 3M 6003 Gas	par	2	31.21	120	0.52	
Barbiquejo	und	2	2.52	60	0.08	
Tafílete negro	und	2	14.29	180	0.16	
Lentes de seguridad	und	2	23.46	90	0.52	
TOTAL					7.16	5.97
HERRAMIENTAS						
	Unidad	% de uso	P.U (S/.)	V.Util (dias)	costo/inst.	
corvina de 52"	pza	0.2	78	180	0.09	
azuela de 3.5 lb	pza	0.1	33.97	150	0.02	
formon de 4"	pza	0.2	32.1	100	0.06	
lampa minera	pza	0.2	22.74	60	0.08	
plomada	pza	0.2	13.47	60	0.04	
punta de 3/4" de diametro	pza	0.2	8.56	15	0.11	
pico	pza	0.2	36.18	100	0.07	
comba de 6 lb	pza	0.5	36.48	150	0.12	
cinzel con punta de diamante	pza	0.2	31.65	30	0.21	
barretilla de 4pies	pza	0.5	65.92	60	0.55	
barretilla de aluminio de 6 pies	pza	0.5	79.22	90	0.44	
flexometro de 5m	pza	0.5	15.58	60	0.13	
TOTAL					1.93	1.61
INSUMO						
	Unidad	Cantidad	P.U (S/.)		costo/madera	
Redondo Poste 8" x 10'	und	3	35		105	
Redondo Tirantes 6"x6'	und	2	28		56	
Redondo Marchavante 5"x10'	und	6	25		150	
TOTAL					311	259.17
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS					791.55	659.63
COSTOS INDIRECTOS						
Utilidad		0%			0.00	
Gastos Generales		0.00%			0.00	
TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS					0.00	0.00
costo/cuadro completo en S/.						659.63
costo/cuadro completo en US\$						174.04

Fuente: Área de costos – Mina Huacchara

Figura 19:

Precio Unitario del sostenimiento con cimbra

Precio Unitario del sostenimiento con cimbra						
MINERA HUACCHARA GLORE PERÚ S.A.C.				Tipo de cambio (\$)	3.79	
				Avance (m)	1.5	
COSTOS DIRECTOS				Rendimiento	1 cimbra completa	
MANO DE OBRA						
1. Traslado de cimbra	Unidad	N° personal	jornal	N° tareas	Sub total	Total
Maestro cimbrero	tarea	1	80	0.25	20	
Ayudante cimbrero	tarea	1	70	0.25	17.5	
Peon	tarea	1	65	0.25	16.25	
					53.75	
2. Instalacion de cimbra						
Maestro cimbrero	tarea	1	80	1	80	
Ayudante cimbrero	tarea	1	70	0.75	52.5	
Peon	tarea	1	65	0.75	48.75	
					181.25	
SUBTOTAL					235	
BBSS 100.62%					236.46	
TOTAL					471.46	314.30
IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD	Unidad	Cantidad	P.U (S/.)	V.Util (dias)	costo/inst.	
Protector	pza	2	48.51	360	0.27	
Pantalón con cinta reflectiva	pza	2	27	180	0.30	
Camisa con cinta reflectiva	pza	2	21.66	180	0.24	
Correa portalampara	pza	2	15.47	360	0.09	
Lámpara Minera Wisdom	pza	2	318.36	360	1.77	
Zapato de seguridad	par	2	75.26	180	0.84	
Tapones de oído	par	2	3.97	20	0.40	
Guantes de cuero	par	2	11.75	25	0.94	
Respirador 3M	pza	2	93.67	180	1.04	
Cartucho 3M 6003 Gas	par	2	31.21	120	0.52	
Barbiquejo	und	2	2.52	60	0.08	
Tafílete negro	und	2	14.29	180	0.16	
Lentes de seguridad	und	2	23.46	90	0.52	
TOTAL					7.16	4.78
HERRAMIENTAS	Unidad	% de uso	P.U (S/.)	V.Util (dias)	costo/inst.	
corvina de 52"	pza	0.1	78	180	0.04	
lampa minera	pza	0.2	22.74	60	0.08	
plomada	pza	0.2	13.47	60	0.04	
punta de 3/4" de diametro	pza	0.2	8.56	15	0.11	
pico	pza	0.2	36.18	100	0.07	
comba de 6 lb	pza	0.5	36.48	150	0.12	
cincel con punta de diamante	pza	0.2	31.65	30	0.21	
barretilla de 4pies	pza	0.5	65.92	60	0.55	
barretilla de aluminio de 6 pies	pza	0.5	79.22	90	0.44	
flexometro de 5m	pza	0.5	15.58	60	0.13	
TOTAL					1.80	1.20
INSUMO	Unidad	Cantidad	P.U (S/.)		costo/madera	
Cimbras viga H4 (2.4 x 2.4 m)	JGO	1	1683		1683	
planchas acalanadas (0.8 x 1.2)	und	7	49		343	
bolsa cret	und	62	5	1.2	310	
TOTAL					2336	1557.33
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS					2816.42	1877.61
COSTOS INDIRECTOS						
Utilidad		0%			0.00	
Gastos Generales		0.00%			0.00	
TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS					0.00	0.00
costo/cimbra en S/.						1877.61
costo/cimbra en US\$						495.41

Fuente: Área de costos – Mina Huacchara

Figura 20:

Precio Unitario del sostenimiento con malla electrosoldada

Precio Unitario del sostenimiento con malla electrosoldada						
MINERA HUACCHARA GLORE PERÚ S.A.C.						
					Tipo de cambio (\$)	3.79
COSTOS DIRECTOS					Rendimiento m2	48
MANO DE OBRA						
	Unidad	N° personal	jornal	N° tareas	Sub total	Total
Perforista	tarea	1	60	1	60	
Ayudante	tarea	1	55	1	55	
					115	
BBSS 100.62%					115.71	
TOTAL					230.71	4.81
IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD						
	Unidad	Cantidad	P.U (\$/.)	V.Util (días)	costo/inst.	
Protector	pza	2	48.51	360	0.27	
Pantalón con cinta reflectiva	pza	2	27	180	0.30	
Camisa con cinta reflectiva	pza	2	21.66	180	0.24	
Pantalón de jebe	pza	2	39.54	120	0.66	
Casaca de jebe	pza	2	45.82	120	0.76	
Correa portalampara	pza	2	15.47	360	0.09	
Botas de jebe	par	2	58.56	90	1.30	
Lámpara Minera Wisdom	pza	2	318.36	360	1.77	
Zapato de seguridad	par	2	75.26	180	0.84	
Tapones de oído	par	2	1.36	115	0.02	
Guantes de neoprene	pza	2	23.06	30	1.54	
Guantes de cuero	par	2	11.75	25	0.94	
Respirador 3M	pza	2	93.67	180	1.04	
Cartucho 3M 6003 Gas	par	2	31.21	120	0.52	
Barbiquejo	und	2	2.52	60	0.08	
Tafílete negro	und	2	14.29	180	0.16	
Lentes de seguridad	und	2	23.46	90	0.52	
TOTAL					11.05	0.23
HERRAMIENTAS						
	Unidad	% uso	P.U (\$/.)	V.Util (días)	costo/inst.	
Pico	pza	0.2	36.18	100	0.07	
Comba de 6 lb	pza	0.25	36.48	75	0.12	
Barretilla de 4'	pza	0.2	65.92	60	0.22	
Barretilla de aluminio de 6'	pza	0.2	79.22	15	1.06	
Flexometro de 5m	pza	0.2	15.58	30	0.10	
Alambre N° 16	pza	0.5	4.84	60	0.04	
TOTAL					1.61	0.03
MATERIAL						
	Unidad	Cantidad	P.U (\$/.)		costo/inst.	
HERRAMIENTAS C/JACKLEG	tarea	0	7.77		0	
MALLA ELECTROSOLDADA N°10						
COCADA 4*4	rol	0.58	377.2		218.78	
TOTAL					218.78	4.56
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS					462.15	9.63
COSTOS INDIRECTOS						
Utilidad		0%			0.00	
Gastos Generales		0.00%			0.00	
TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS					0.00	0.00
costo/m2 S/.						9.63
costo/m2 US\$						2.54

Fuente: Área de costos – Mina Huacchara

4.3. Prueba de Hipótesis

4.3.1. Comprobación de la Hipótesis General

“El comportamiento geomecánico del macizo rocoso influye en la elección del tipo de sostenimiento en la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023”

En el Cuadro N.º 6 se muestra la clasificación del macizo rocoso (roca mala-B, roca mala-A y roca regular-B) que corresponde a un tipo de roca IV-B, IV-A y III-B; para los cuales, según el mapeo geomecánico de las labores de la mina Huacchara se obtuvieron los siguientes RMR (25, 33-37, 41-43) respectivamente; de los cuales se obtuvieron los promedios de 25, 35 y 42 con el fin de ubicar el Q de Barton en el ábaco SPM (Sostenimiento práctico en las labores mineras) obteniendo los resultados siguientes: Q (SPM) de 0.1, 0.5, 0.85, de los cuales se obtuvo e promedio (0.48) para calcular la resistencia del macizo rocoso (RMR para roca mala) según Bieniawski:

$$\text{RMR (Bieniawski)} = 2.4 \ln (Q) + 37.7$$

El resultado obtenido es $\text{RMR} = 35.96$ el que se puede observar en el Cuadro N.º 6. Igualmente, en dicha gráfica, se puede ver que el Q(SPM) desde 0.1 hasta 0.5 corrobora una resistencia para roca mala cuyo sostenimiento ha de ser adecuado para este tipo de roca; mientras que para Q(SPM) de 0.85 corrobora una resistencia para roca regular cuyo sostenimiento también deberá ser adecuada para ella.

Cuadro 6:

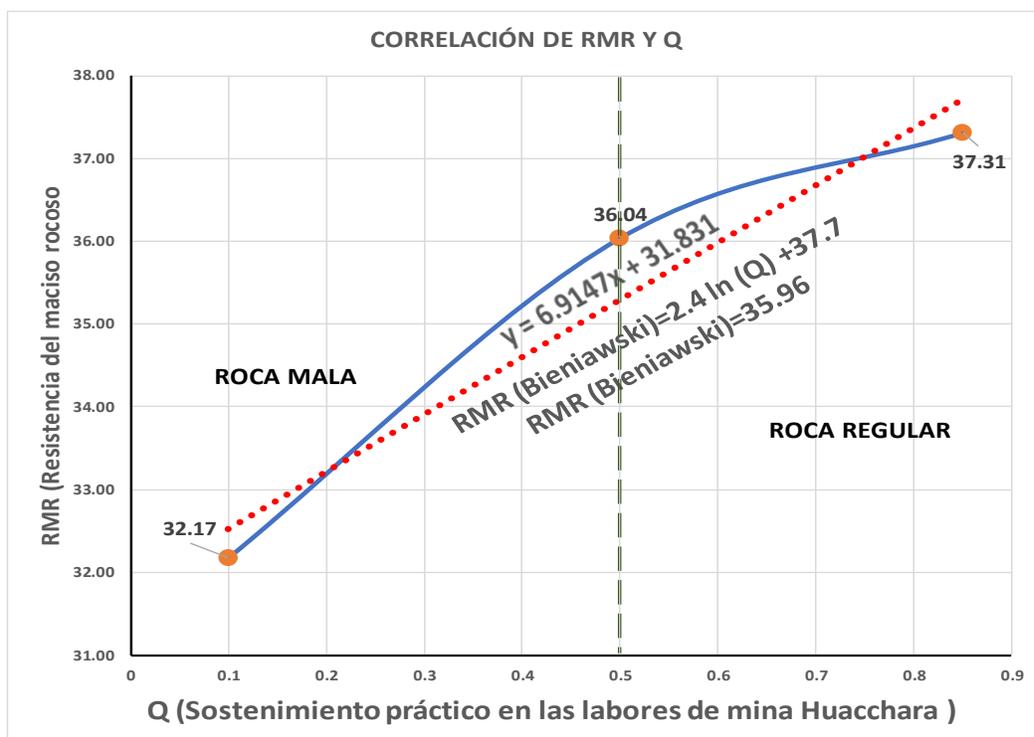
Cálculo del RMR de Bieniawski según Q de Barton (SPM)

Clasificación del macizo rocoso	Tipo	RMR (mapeo geomecánico)	RMR Prom. Geoemcánico	Q(SPM)	RMR=2.4 ln (Q) +37.7 (Bieniawski)
Roca Mala-B	IV-B	25	25	0.1	32.17
Roca Mala-A	IV-A	33-37	35	0.5	36.04
Roca Regular-B	III-B	41-43	42	0.85	37.31
Promedio =				0.48	35.96

Fuente: Área de geomecánica – Mina Huacchara

Figura 21:

Correlación de RMR y Q



Fuente: Área de geomecánica – Mina Huacchara

H_o = El comportamiento geomecánico del macizo rocoso influye en la elección del tipo de sostenimiento en la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023.

H₁= El comportamiento geomecánico del macizo rocoso no influye en la elección del tipo de sostenimiento en la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023.

Según el Cuadro N° 16 y la Figura N° 21 mostradas y la fundamentación respectiva determinan que se rechaza la hipótesis alterna por lo que si existe influencia directa entre el RMR y el tipo de sostenimiento a aplicarse de acuerdo al tipo de roca.

4.3.2. Comprobación de las Hipótesis Específicas

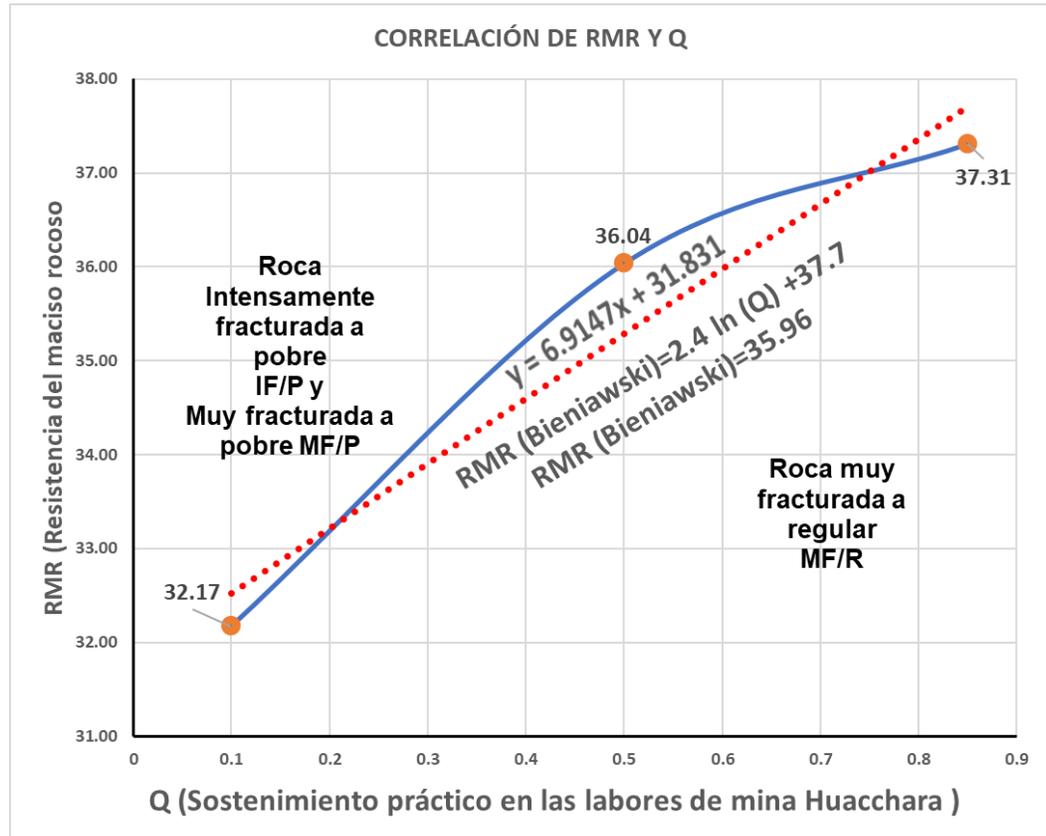
Contrastación de la Hipótesis 1:

La caracterización geomecánica del macizo rocoso permite la evaluación del sostenimiento a aplicarse en la mina Huacchara, Ancash.

Se realizó el estudio del macizo rocoso en el nivel 0 en las GA 302 y Cx 302 obteniendo en su estructura un RMR de 41 y 37 respectivamente. Asimismo, en el nivel 35 en el GA 401 y BP 442 con RMR de 43 y 33 respectivamente, como también Cx 401 con un RMR de 25. Se llevó a cabo un análisis de resistencia a la compresión uniaxial utilizando una picota, que permitió determinar que el tipo de roca mala predominante es la IVA-IVB, la cual constituye el 60% del total y presenta una resistencia de 38 MPa. Además, se identificó un macizo rocoso de tipo regular IIIB con una resistencia de 75 MPa.

Figura 22:

Correlación de RMR con la clasificación geomecánica



Fuente: Área de geomecánica – Mina Huacchara

De acuerdo a la Figura N.º 22. Se observa que para un RMR comprendido entre 32.17 hasta 36.04 corresponde a roca mala que es intensamente fracturada a pobre (IF/P) Plegamiento y/o fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando fragmentos angulosos. Superficie lisa, planos con estrías, abierto 5 mm a 1 cm con recubrimiento de sericita y caolín, relleno compacto o con fragmentos de roca; como también muy fracturada a pobre (MF/P) Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades. Superficies lisas, planas con estrías, abierto 5 mm a 1 cm con recubrimiento de sericita y caolín. Relleno compacto o con fragmento de roca.

De igual manera, para un RMR comprendido entre 36.04 hasta 37.31 se presenta una roca muy fracturada a regular (MF/R) moderadamente trabada, parcialmente disturbado, bloques angulosos formados por cuadro o más sistemas de discontinuidades, siendo lisas, onduladas, con recubrimiento de sericita y clorita, moderadamente abierta de 2-5 mm.

H_0 = La caracterización geomecánica del macizo rocoso permite la evaluación del sostenimiento a aplicarse en la mina Huacchara, Ancash

H_1 = La caracterización geomecánica del macizo rocoso no permite la evaluación del sostenimiento a aplicarse en la mina Huacchara, Ancash

Según la Figura N° 21 mostrada y la fundamentación respectiva determinan que se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula; por lo que, rocoso permite la evaluación del sostenimiento a aplicarse en la mina Huacchara, Ancash.

Contrastación de la Hipótesis 2:

El comportamiento geomecánico del macizo rocoso definirá la elección de la mejor alternativa de sostenimiento en la mina Huacchara, Ancash.

En base a la Figura N.º 21, una vez definido la clasificación de rocas en función del Q de Barton (SPM) y el RMR de Bienawski; y en relación a la tabla geomecánica de la mina Huacchara, se propuso un plan de sostenimiento para las labores permanentes y temporales. En ese sentido, en el macizo rocoso, que se clasificó como de mala calidad, se estableció un sistema de sostenimiento que incluye una malla electrosoldada y pernos expansivos de 5' o 7,' espaciados a 1.5x1.6 m. En adición, se propuso el uso de cuadros de madera de 8", espaciados de 1.2 a 1.5m.

Tal como se puede observar en el Cuadro N.º 7 por cada tipo de sostenimiento se incluye su capacidad portante, tal como: perno expansivo que soporta 15 toneladas, mientras que la malla electrosoldada N° 10 de cocadas 4" x 4" en rollo de 100 m. El cuadro de madera tiene una capacidad portante de 45 MPa y la cimbra viga H4 de 13 Lb/pie cuya resistencia es 470 MPa.

Los costos unitarios de cada tipo de sostenimiento son: perno expansivo de US\$ 5.45/unidad, malla electrosoldada de US\$ 2.54/m², cuadro de madera de US\$ 174.04/cuadro completo; y cimbra US\$ 495.41/juego.

Cuadro 7:

Precio unitario y capacidad portante por tipo de sostenimiento

CÓDIGO	RMR	CLASE DE ROCA	PORCENTAJE DE MACIZO ROCOSO	TIPO DE SOSTENIMIENTO	CAPACIDAD PORTANTE	PRECIO UNITARIO P.U. (US\$)
IIIB	41 - 43	Regular B	20%	Malla electrosoldada	Protección	2.54/m ²
				Perno expansivo	15 Ton	5.45/Und
IVA	33 - 37	Mala A	30%	Malla electrosoldada	Protección	2.54/m ²
				Perno expansivo	15 Ton	5.45/Und
				Cuadro de madera	45 Mpa	174.04/cuadro
IVB	25	Mala B	30%	Cuadro de madera	45 Mpa	174.04/cuadro
				Cimbra viga H4	470 Mpa/13 Lb/pie	495.41/juego

Fuente: Área de geomecánica – Mina Huacchara

H₀ = El comportamiento geomecánico del macizo rocoso definirá la elección de la mejor alternativa de sostenimiento en la mina Huacchara, Ancash.

H₁ = El comportamiento geomecánico del macizo rocoso no definirá la elección de la mejor alternativa de sostenimiento en la mina Huacchara, Ancash.

Según la Figura. N° 21, las recomendaciones de la tabla geomecánica de la mina Huacchara (Tabla N° 34 y 35), el Cuadro N° 6, y la Figuras N° 21; y según el Cuadro N° 7, para la roca regular IIIB se eligió el sostenimiento con malla

electrosoldada y pernos expansivos considerando su capacidad portante y su precio unitario el que es accesible para la empresa. Para la roca mala (IVA-IVB) se eligió el sostenimiento con cuadros de madera con redondos de 8" de diámetro y/o cimbras viga H4 de 13 Lb/pie cuyo costo es alto, pero debido a las condiciones del macizo rocoso su uso se hace indispensable.

4.4. Discusión de resultados

El objetivo de mi trabajo de tesis consistió en “determinar como el comportamiento geomecánico del macizo rocoso influye en la elección del tipo de sostenimiento en la zona Norte de la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023”; para el cual consideramos que la geomecánica es una disciplina que estudia al macizo rocoso para determinar sus características y comportamiento de la roca en profundidad. Para el cual, me he planteado la siguiente hipótesis: “el comportamiento geomecánico del macizo rocoso influye en la elección del tipo de sostenimiento en la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023”.

Para poder obtener resultados de campo se ha tenido en cuenta los parámetros geomecánicos que comprenden: estado de la matriz rocosa (litología, mineralogía, discontinuidades: persistencia, apertura, relleno, rugosidad, factor de alteración “D”(grado de disturbación del macizo rocoso) , comportamiento mecánico e hidráulico, factores geológicos y naturales externos), la calidad de roca se determina mediante el RQD (descripción del índice de la calidad de la roca según Osinergmin), RMR (índice de Bieniawski basado en relacionar los indicadores del macizo rocoso con los parámetros geomecánicos evaluados en la práctica), GSI (índice de resistencia geológica de Hoek-Brown), Q de Barton (Evaluación numérica del sistema de clasificación de macizo rocoso), resistencia del macizo rocoso con la picota de geólogo, condiciones hidrogeológicas, esfuerzos tensionales, esfuerzo in situ, se utilizaron los criterios de Análisis y Validación del Comportamiento de las

aberturas subterráneas y se determinó el esfuerzo inducido en dichas excavaciones.

Para poder identificar la familia de diaclasa, fallas, fracturas, rumbo y buzamiento, el cual ha sido graficado en un plano estereográfico. Estos análisis nos sirven para obtener información de las características y comportamiento del macizo rocoso; así como el programa RocData determina los parámetros de resistencia en base a Hoek & Brown. Todos estos datos nos han permitido obtener las características del macizo rocoso y su comportamiento geomecánico con el fin de elegir el tipo de sostenimiento adecuado de acuerdo al tipo de roca, capacidad portante del tipo de sostenimiento y sus costos correspondientes.

Para poder elegir el tipo de sostenimiento adecuado se debe considerar: capacidad de soporte (naturales, inducidos, la forma y dimensión de la excavación). El sostenimiento puede trabajar de forma pasiva (cuadros de madera, cimbras metálicas, malla metálica, shotcrete, etc.); y de forma activa (perno de anclaje con alta adherencia para ambientes corrosivos y de refuerzo permanente).

En el método de sostenimiento noruego (NTM) se considera la dimensión equivalente de la excavación (D_e) que considera el ancho, diámetro o altura de la excavación versus su relación de soporte. Asimismo, se considera el radio de soporte de la excavación (ESR), donde para excavaciones mineras temporales tiene un valor de 3-5 y para excavaciones mineras permanentes tiene un valor de 1.6.

De igual manera, para poder elegir el tipo de sostenimiento de acuerdo a la tabla geomecánica de la mina Huacchara para nuestro caso es IF/P con un RMR de 32.17, MF/P con un RMR de 36.04 y MF/R con un RMR de 37.31. Asimismo, de acuerdo al mapeo geomecánico el Q (SPM) para la roca mala IV-B es 0.1, para la roca mala IV-A es 0.5 y para la roca regular III-B es 0.85.

Los precios unitarios considerados por tipo de sostenimiento son: malla electrosoldada US\$ 2.54/m², perno expansivo US\$ 5.45/unidad, cuadro de madera US\$ 174.04/cuadro completo y cimbras viga H4 US\$ 495.41/juego; por lo que, de acuerdo al requerimiento de la empresa: características y comportamiento del macizo rocoso, capacidad portante, durabilidad, y costos, se ha decidido utilizar para la roca regular el sostenimiento malla electrosoldada con perno expansivo, y para la roca mala se utilizara cuadro de maderas y/o cimbra

CONCLUSIONES

1. Al realizar el mapeo geomecánico en las labores de la mina se identificó roca regular que se encuentra principalmente en cuarcitas de roca intacta dura, que requiere varios golpes de pivota para romperse, y está poco alterada. Por otro lado, la Roca Mala a Muy Mala se localiza en la estructura (veta) con material panizado (caolín), en el cual la picota se indenta fácilmente en la roca intacta y en terrenos muy brechados. Es importante destacar que la presencia de agua puede alterar significativamente las propiedades del terreno, haciendo que se comporte como un material arcilloso (elástico).
2. Desde un punto de vista estructural, se observa la presencia de fallas con espejos de falla bien definidos a lisos y rellenos de material panizado. De modo que las paredes de estas fallas están muy fracturadas debido a los esfuerzos de tensión generados por el movimiento de las placas tectónicas. En ese sentido, este fenómeno ha tenido un impacto significativo en la calidad del macizo rocoso.
3. A partir del programa Dips, se identificó tres familias principales: Familia 1: 67/145, Familia 2: 52/247 y Familia 3: 75/260. Estas familias están asociadas con la formación de cuñas y lajas, lo que propone la necesidad de un control mediante el ancho de sección a través de voladuras controladas para mitigar su impacto.
4. Se llevó a cabo el mapeo geomecánico en el BP 442 del NV 35 y Cx 302 del Nv 0, en la que pone en evidencia que la roca se clasifica como tipo IVA con un RMR de 33 y 37 respectivamente. Esto se debe a que la roca intacta muestra una dureza moderada, fracturándose fácilmente con un golpe de picota, además de presentar signos de alteración. Por ello en su estado de masa rocosa, se observa una estructura altamente fracturada, calificada como muy pobre (roca mala). En el Cx 401 del Nv 35, se evidencia que la roca se clasifica como tipo IVB con un RMR de 25. En cuanto a la GA

302 y GA 401, se identificó que la roca se clasifica como tipo IIIB, con un RMR de 41 y 43, respectivamente.

5. Se determinaron los esfuerzos in-situ principales, en el que se halló que el esfuerzo vertical alcanzó los 2.66 MPa. Puesto que a partir del uso del criterio de Sheorey (1994), se estimó la constante 'k' con un valor de 0.97, lo que conlleva a un esfuerzo horizontal de 2.7 MPa.

RECOMENDACIONES

1. En rocas de tipo muy mala, se debe tener como alternativa de sostenimiento el uso de cuadro de madera o perno expansivo con malla electrosoldada; y en roca de tipo regular, se debe sostener con perno expansivo y con malla.
2. En BP 442, se debe continuar con el sostenimiento de cuadro de madera con redondos de 8 a 9 pulgadas de diámetro espaciados de 1.2 a 1.5 m de luz a luz.
3. En CX – 302 se tiene una capa de material suelo (Roca muy mala), el cual se vienen colocando cuadro de madera, por ello se debe realizar el control de voladura y sostener con cuadro de madera cónico, con redondo de 10 pulgadas espaciados a 1.2m de luz a luz.
4. A partir del mapeo geomecánico realizado en diferentes puntos de la mina, se identificó una variabilidad de la masa rocosa, desde regular (IIIB) hasta mala (IVA, IVB), por ello es necesario un diseño estructural acorde con estas características para garantizar la estabilidad y seguridad en las operaciones mineras.
5. Para asegurar y dar seguridad a las labores, es fundamental utilizar la cartilla geomecánica. Esta herramienta permite determinar la masa rocosa y su sostenimiento a aplicar por tipo de labor (Permanente o temporal).
6. Se debe cumplir (metro disparado, metro sostenido), el desate y redesate de roca suelta es en todo momento. Este tema se debe recordar al personal en las reuniones de reparto de guardia.
7. Se debe aplicar voladura controlada con el fin de no sobre excavar o afectar las paredes de la masa rocosa, por ello debe considerar la masa rocosa regular (IIIB) a mala (IVA, IVB).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceijas Pérez, J. P. (2019). *Geomecánica aplicada al control de las labores mineras para la minimización de la caída de rocas en la mina paredones nivel 5*. [Tesis de Título, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca.file:///C:/Users/user/Downloads/T016_70188523_T.pdf
- Alberto González Díez, A y Martínez Cedrún, P. (2012). *Criterios de rotura en macizos rocosos*. [Diapositivas de PowerPoint]. dpto. de ciencias de la tierra y física de la materia condensada (citimac).
- Alejano L. R., Arzúa J. y Veiga M. (2018) *Tema 6: Caracterización geomecánica de los macizos rocosos*. ResearchGate.file:///C:/Users/user/Downloads/Tema6-caracterizaciondecampo.pdf
- Arana Alvites, G. D. ALVITES (2019). *Análisis geomecánico para seleccionar el tipo de sostenimiento en la Mina Apmnac pulpera Caylloma – Arequipa*. [Tesis de Título, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.file:///D:/TESIS/IMPORTANTE.pdf
- Baquerizo Condori, C. D. (2015). *Estudio geotécnico de suelos para la construcción del complejo deportivo Piuray Pampa, distrito de Chincheros Urubamba – Cusco*. [Tesis de Título, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/4653/Baquerizo_cc.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Barbosa Quezada, G. I. (2021). *Handbook de geomecánica para la pequeña minería y la minería artesanal de Chile*. [Tesis de Título, Universidad Técnica Federico Santa María]. Repositorio de la Universidad Técnica Federico Santa María.https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/50641/m19152296-6.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Bujaico Mallma, C. V. (2020). *Influencia de la aplicación del soporte con shotcrete en la ocurrencia de desprendimiento de rocas en la empresa MARSA Minera Aurífera Retamas S. A.* [Tesis de Bachiller, Universidad Continental]. Repositorio de la Universidad Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10070/1/IV_FIN_110_Ti_Bujaico_Mallma_2020.pdf
- Callomamani Callomamani, R. (2022). *Evaluación del suelo conformado por un macizo rocoso compuesto de andesita basáltica con fines de cimentación en edificaciones, Puno, 2022*[Tesis de Título, Universidad Cesar Vallejo] Repositorio de la Universidad César Vallejo.
- Castillo Jaramillo, D. I. (2017). *Análisis de la estabilidad de macizos rocosos mediante el uso de SIG y su aplicación al sector Lucarqui (Loja, Ecuador).* [Tesis de Maestría, La Universidad Católica de Loja]. Repositorio de la Universidad Católica de Loja. <https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/20360/1/Castillo%20Jaramillo%2c%20Diego%20Israel.pdf>
- Castro Caicedo, A.J., Alejano, L.R., Monsalve, J.E. & Bernal, A., (2019). Diseño geotécnico de pilares en minas subterráneas de vetas auríferas en casos de Colombia. *DYNA*,86(209), pp. 337-346. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/74041>
- César, R. O. (2022). *Anisotropía del macizo rocoso en rotura de taludes vía elementos finitos para el puente Shiracball Santiago de Chuco – La Libertad.* [Tesis de Título, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. file:///C:/Users/user/Downloads/2078_2022_romero_oscamayta_c_fiag_ingenieria_geologica_geotecnia.pdf
- Delgado Peña, J. J. Godoy Castillo, R. (2009). *Elaboración del mapa de litología.* Elaboración de Cartografía Física Elemental OCW Universidad de Málaga. https://ocw.uma.es/pluginfile.php/1546/mod_resource/content/0/OCW_Tema_5_M

apa_Litologia.pdf#:~:text=Litolog%C3%ADa%20es%20la%20parte%20de,diferentes%20tipos%20de%20rocas%20existentes.

Determinación del espaciado de discontinuidades (2021). Boretek S.A.C.<https://boretek.pe/geotecnia-y-geomecanica/espaciado-de-discontinuidades>

Díaz Blandón, D. M. (2015). *Estado Tensional en Macizos de Rocas Lodosas de la Cordillera Oriental Colombiana*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio de la Universidad Nacional de Colombia.<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/56610/02300735.2016.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Edgar Samir Salazar Isla, E. S. (2020). *Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente Unidad Minera Yauricocha - Sociedad Minera Corona S. A.* [Tesis de Título, Universidad Continental]. Repositorio de la Universidad Continental.https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8428/3/1V_FIN_110_TE_Salazar_Isla_2020.pdf

Emiliano Mauro Giraldo Paredes, E. M. (2020). *Optimización del diámetro de taladros en el sostenimiento de macizos rocosos con pernos de roca y sus efectos ambientales* [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos] Repositorio de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Galarce Castro, T. F. (2014). *Modelo de esfuerzos in situ para Chile y su incidencia en el diseño minero subterráneo*. [Tesis de Título, Universidad de Chile]. Repositorio de la Universidad de Chile.https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/116331/cf-galarce_tc.pdf?sequence=1&isAllowed=y

García Ortiz, A. M. (2017). *Importancia de rugosidad en la estabilidad de bloques de roca*. [Tesis de Título, Instituto Politécnico Nacional, México]. Repositorio del Instituto

Politécnico Nacional,
México.[https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/24260/Importancia%20de%20la%20rugosidad%20en%20la%20estabilidad%20de%20bloques.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Es%20de%20importancia%20debido%20a,rocosa%20\(Brady%26Bown%2C1985\).](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/24260/Importancia%20de%20la%20rugosidad%20en%20la%20estabilidad%20de%20bloques.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Es%20de%20importancia%20debido%20a,rocosa%20(Brady%26Bown%2C1985).)

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño L. & Oteo, C. (2004). *Ingeniería Geológica*.

Isabel

Capella.https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5540850/mod_resource/content/1/Livro%202.pdf

Guerra Chávez N. D., Navarro Pecho, E. I. & Polo Toribio, K. (2021). *Evaluación geomecánica para implementar el sistema de sostenimiento con fines de seguridad, Galería Mercedes Mina Artesanal Suirupata - Acopalca*. [Tesis de Título, Universidad Continental]. Repositorio de la Universidad Continental.https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10084/1/IV_FIN_110_TE_Guerra_Navarro_Polo_2021.pdf

Gutierrez Carrillo, G. M. (2013). *Análisis estereográfico de discontinuidades estructurales*. [Tesis de Título, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio de la Universidad Nacional Autónoma de México.<http://132.248.9.195/ptd2013/febrero/0689274/0689274.pdf>

Hergenrether Pérez, P. D., (2017). *Consideraciones geotécnicas en el diseño de secciones tipo para un túnel minero*. [Tesis de Maestría, Universidad de Oviedo]. Repositorio de la Universidad de Oviedo.https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/43716/TFM_PabloDanielHergenretherPerez.pdf?sequence=6&isAllowed=y

Huillca Chuctaya, J. W. (2018). *Caracterización y modelamiento en 2D, del estudio geofísico de tomografía eléctrica en la represa Huillacahua, distrito de Larcay,*

provincia de Puquio, departamento de Ayacucho. [Tesis de Título, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].
<https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/bd87534f-33ad-4230-ae45-11b0395bdfb0/content>

Lucas Salazar, M. A. (2019). *Caracterización geomecánica para evaluar el sostenimiento subterráneo de la mina Huantajalla U.P. Uchucchacua Compañía Minera Buenaventura S.A.A.* [Tesis de Título, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion.http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1771/1/T026_76428319_T.pdf

Maldonado, Y. (2020). *RQD, designación de la calidad de la roca.*<https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/rqd/>

Mamani Torres, M. A. (2022). *Evaluación geotécnica según los métodos RMR y Q de Barton en la construcción del túnel trasandino en el Distrito de San Bartolomé-Lima.* [Tesis de Título, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio de la Universidad Nacional del Altiplano.http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/18389/Mamani_Torres_Miguel_Angel.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Martinez Eccoña, R. (2013). *Sostenimiento preventivo en los frentes de las labores subterráneas en condiciones de relajamiento rocoso: Niveles 1730-1830, Mina Papagayo Cía. Mina Poderosa S.A.* [Tesis de Titulo, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac].
https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/412/T_0231.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mendieta Britto, L. A. (2014). *Optimización de los costos operativos en la Unidad Cerro Chico.* [Tesis de Título, Pontificia Universidad Católica Del Perú] Repositorio de la

Pontificia Universidad Católica Del
Peru.https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5946/MENDIETA_LUIS_OPTIMIZACION_DE_LOS_COSTOS_OPERATIVOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Monte Parra, I. A. (2020). *Análisis de estabilidad de taludes de la roca mediante el método de elementos finitos* [Tesis de Título, Universidad de Concepción] Repositorio de la Universidad de Concepción.http://repositorio.udec.cl/xmlui/bitstream/handle/11594/461/Tesis_Analisis_de_estabilidad.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Moscoso Abarzúa, M. A. (2021). *Variabilidad de la estabilidad estática en talud de rajo considerando la propagación de daño por tronaduras de producción*. [Tesis de Título, Universidad de Talca]. Repositorio de la Universidad de Talca.<http://dspace.otalca.cl/bitstream/1950/12831/3/2021A000522.pdf>

Muñasqui Crisostomo, K. B. (2022). *Aplicación del aseguramiento y control de la calidad (Qa/Qc) en la campaña de perforación diamantina 2018, Mina Toromocho*. [Tesis de Título, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2871/1/TSP026_73904364_T.pdf

Muñoz Fernández, L. M. & Gonzales De Vallejo, L. I. (1987) Aplicaciones de las clasificaciones Geomecánicas al estudio de excavaciones subterráneas. *Henares*, 1, 71-76. https://eprints.ucm.es/id/eprint/34223/1/aplicacion_munoz_HEN_1987.pdf

Orellana Mendoza, E. E. (2020). *Selección de la alternativa óptima de sostenimiento en rampas para el control de inestabilidades subterráneas*. [Tesis de Doctor, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del

Perú.https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5862/T010_19913461_D.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Oriundo Yaranga, N. (2008). *El Índice de Resistencia Geológica (GSI) y su aplicación en la explotación de la Mina Huarón*. [Tesis de Título, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.file:///D:/TESIS/Tesis%20M555_Ori.pdf

Osinermin (2017). Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas. *Osinermin*. (1).https://www.osinermin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf

Parra Reti, A. F. (2015). *Planificación minera a cielo abierto utilizando fundamentos geomecánicos*. [Tesis de Maestría, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/136447/Planificacion-minera-a-cielo-abierto-utilizando-fundamentos-geomecanicos.pdf>

Rodríguez Gutiérrez, M. (2017). *Criterios de Análisis y Validación del Comportamiento de los Túneles con Squeezing en Rocas (2017)*. [Tesis de Maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. <file:///C:/Users/user/Downloads/Rodr%C3%ADguez%20Guti%C3%A9rrez,%20Maideidy%20-%202017.pdf>

Rodríguez Sastre, A. (2003). *Caracterización Geomecánica de materiales pizarrosos del sinclinal de truchas (León-Orense)*. [Tesis de Doctorado, Universidad de Oviedo]. Repositorio de la Universidad de Oviedo.https://info.igme.es/SidPDF/079000/728/79728_0000030.pdf

Rumaldo Torres, W. F. (2016). *Análisis de costos unitarios de operación de la Empresa Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A.* [Tesis de Título, Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo"]. Repositorio de la Universidad Nacional "Santiago

Antúnez de Mayolo”.

http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1666/T033_46200169_T.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Salazar Isla, E. S. (2020). *Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente Unidad Minera Yauricocha - Sociedad Minera Corona S. A.* [Tesis de Título, Universidad Continental] Repositorio de la Universidad Continental.

Salinas Riveros, E. (2018). Análisis de propiedades geotécnicas de algunas rocas comunes en Chile. [Tesis de Título, Universidad de Chile]. [https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/169948/An%C3%A1lisis-de-propiedades-geot%C3%A9nicas-de-algunas-rocas-comunes-en-Chile.pdf?sequence=1#:~:text=La%20roca%20intacta%20corresponde%20a,Poison%20\(v\)%2C%20etc.](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/169948/An%C3%A1lisis-de-propiedades-geot%C3%A9nicas-de-algunas-rocas-comunes-en-Chile.pdf?sequence=1#:~:text=La%20roca%20intacta%20corresponde%20a,Poison%20(v)%2C%20etc.)

Varela Miranda, J. I. (2019). *Análisis geológico-geomecánico de pilares de roca mediante perforaciones de auscultación, en los sectores productivos mina esmeralda y mina pilar norte, pertenecientes a la división el teniente, Codelco, región del libertador general bernardo o'higgins, chile.* [Tesis de Título, Universidad de Concepción]. Repositorio de la Universidad de Concepción. http://repositorio.udec.cl/jspui/bitstream/11594/3488/4/Tesis_Analisis_geologico_geomecanicoImage.Marked.pdf

Vega Quispe, R. A. (2021). *Determinación del tipo de sostenimiento mediante las clasificaciones geomecánicas GSI, RMR y Q de Barton en las labores de la unidad minera san antonio – compañía minera chaspaya S.A.C. 2021* [Tesis de Título, Universidad Nacional de Moquegua]. Repositorio de la Universidad Nacional de Moquegua. https://repositorio.unam.edu.pe/bitstream/handle/UNAM/395/D095_74083604_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vega Vera, C. (2018). *Evaluación numérica del sistema de clasificación de macizo rocoso Q de Barton en granodiorita* [Tesis de Título, Universidad de Concepción] Repositorio de la Universidad de Concepción.file:///D:/TESIS/SOSTENIMIENTO.pdf

Vilcapoma Fonseca, A. R. (2020) *Evaluación geomecánica de la estructura mineralizada veta 23 en el modelamiento del dimensionamiento de tajeo y pilar de seguridad en la compañía minera Milpo S.A.A. Unidad Atacocha*. [Tesis de Título, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión] Repositorio Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

Wolfgang, G. (2020). Introducción a la mineralogía.

Geovirtual2.cl.<https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap02.htm>

ANEXOS
ANEXO N.º 1

Presencia de cuarcita brechada con alteraciones de óxidos



ANEXO N.º 2

Presencia de falla con espejo bien definido a liso con relleno panizado



ANEXO N.º 3

Estado tensional: Causa de la Fragmentación del Terreno



ANEXO N.º 4

Presencia de cuarcita dura poco alterado



ANEXO N.º 5

Estructura compuesta por bloques de roca resultantes del relajamiento causado por la voladura, dando como resultado una malla cargada de fragmentos.



ANEXO N.º 6

Capacitación al personal en temas de geomecánica



ANEXO N.º 7

Matriz de Consistencia

TESIS: Elección del tipo de sostenimiento según el comportamiento geomecánico en la zona Norte de la mina Huacchara S.A.C. , Ancash 2023.					
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
<p>GENERAL</p> <p>¿De qué manera el comportamiento geomecánico del macizo rocoso influye en la elección del tipo de sostenimiento en la zona Norte de la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023?</p>	<p>GENERAL</p> <p>Determinar como el comportamiento geomecánico del macizo rocoso influye en la elección del tipo de sostenimiento en la zona Norte de la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023.</p>	<p>GENERAL</p> <p>El comportamiento geomecánico del macizo rocoso influye en la elección del tipo de sostenimiento en la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO</p>	<p>GENERALIDADES DE LA MINA HUACCHARA</p>	<p>Ubicación geográfica y accesibilidad de la Mina Huacchara</p> <p>Aspectos geológicos del yacimiento Minero</p> <p>Labores Mineras:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Preparación • Desarrollo • Explotación
<p>ESPECÍFICOS</p> <p>1. ¿Cómo influye la caracterización geomecánica del macizo rocoso en la evaluación del sostenimiento a aplicarse en la zona Norte de la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023?</p>	<p>ESPECÍFICOS</p> <p>1. Analizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso para la evaluación del sostenimiento a aplicarse en la zona Norte de la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023.</p>	<p>ESPECÍFICOS</p> <p>1. La caracterización geomecánica del macizo rocoso permite la evaluación del sostenimiento a aplicarse en la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO</p>	<p>CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA</p>	<p>Parámetros Geomecánicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Parámetros de Matriz rocosa • Parámetros de macizo rocoso • Parámetros de geotecnia <p>Análisis Estereográfico de datos Estructurales</p> <p>Clasificación Geomecánica</p> <p>Propiedades de Resistencia</p>
<p>2. ¿En qué medida la caracterización geomecánica del macizo rocoso influye en la selección de la mejor alternativa de sostenimiento en la zona Norte de la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023?</p>	<p>2. Considerar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso para la elección de la mejor alternativa de sostenimiento en la zona Norte de la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023.</p>	<p>2. El comportamiento geomecánico del macizo rocoso definirá la elección de la mejor alternativa de sostenimiento en la mina Huacchara S.A.C., Ancash 2023.</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>ELECCIÓN DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO EN LA MINA HUACCHARA</p>	<p>EVALUACIÓN DEL SOSTENIMIENTO</p>	<p>Sostenimientos activo y pasivo</p> <p>Tipo de sostenimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sostenimiento práctico en las labores mineras subterráneas (SPM) <p>Costos de sostenimientos</p>
				<p>SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE SOSTENIMIENTO</p>	<p>Elección de alternativas de sostenimiento</p>

Fuente: Elaboración propia