

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**Caracterización de los dominios geomecánicos para determinar el tipo de
sostenimiento de las principales vetas y cuerpos de la mina Andaychagua - Junín**

– 2023

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor:

Bach. Nataly Karen RIVERA PAITA

Asesor:

Dr. Tito Marcial ARIAS ARZAPALO

Cerro de Pasco – Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**Caracterización de los dominios geomecánicos para determinar el tipo de
sostenimiento de las principales vetas y cuerpos de la mina Andaychagua - Junín
- 2023**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Vidal Víctor CALSINA COLQUI
PRESIDENTE

Mg. Javier LOPEZ ALVARADO
MIEMBRO

Mg. Eder Guido ROBLES MORALES
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 306-2025-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

Caracterización de los dominios geomecánicos para determinar el tipo de sostenimiento de las principales vetas y cuerpos de la mina Andaychagua - Junín - 2023

Apellidos y nombres del tesista

Bach. Nátaly Karen RIVERA PAITA

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. Tito Marcial ARIAS ARZAPALO

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Geológica

Índice de Similitud

6 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes.

Cerro de Pasco, 21 de julio del 2025



Firmado digitalmente por PALOMINO
ISIDRO Ruben Edgar FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 21.07.2025 10:11:07 -05:00

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi luz en el camino, mi refugio en la incertidumbre y mi fuerza en los momentos más difíciles. Gracias por darme la fe necesaria para no rendirme, por sostenerme cuando flaqueé y por recordarme que los sueños se alcanzan con perseverancia y humildad.

A mi madre, Gloria Paita, por ser el pilar más importante de mi vida, el ejemplo más grande de entrega, valentía y ternura. Cada logro mío lleva tu nombre, porque detrás de cada paso que he dado ha estado tu sacrificio, tu fe en mí y tu inquebrantable voluntad de verme crecer. Gracias por tu amor infinito.

A mi padre, Jorge Rivera, porque con su esfuerzo silencioso, su constancia y su ejemplo de trabajo honesto, me enseñó a luchar por mis sueños. Gracias por ser mi guía, por confiar en mí incluso en los momentos difíciles y por demostrarme que la disciplina y la humildad construyen grandes caminos.

A mi hermana, Lucero Rivera, porque cada paso que doy está lleno del deseo de ser alguien a quien admires y en quien confíes. Eres mi impulso y mi inspiración para seguir creciendo. Gracias por ser la razón que me empuja a ser mejor cada día y por recordarme la importancia de ser ejemplo y guía.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi alma mater, la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, en especial a la Escuela de Formación Profesional de Geología, por haberme brindado las bases académicas y humanas necesarias para mi desarrollo profesional. Gracias por acogerme durante los años de formación, donde no solo adquirí conocimientos, sino también valores que marcarán mi vida.

A mis docentes, quienes con dedicación, paciencia y compromiso supieron guiar mi camino académico. Cada clase, cada consejo y cada reto impuesto han sido fundamentales para mi crecimiento personal y profesional.

A la empresa minera, por permitirme aplicar mis conocimientos en un entorno real, fortaleciendo así mi experiencia y comprensión del mundo geomecánico.

Finalmente, a todos los que, de una u otra forma, han contribuido en este proceso: gracias por ser parte de este logro.

RESUMEN

La investigación tiene como objetivo general realizar la caracterización de los dominios geomecánicos en la Mina Andaychagua para determinar el tipo de sostenimiento de las principales vetas y cuerpos de la mina. La metodología se basó de manera cuantitativa, aplicada, no experimental, transversal, con una muestra conformada por el dominio geomecánico de la mina Andaychagua, donde se encuentran las principales vetas (Veta Andaychagua y Veta Prosperidad Este 1) y cuerpos (Cuerpo Prosperidad Techo y Cuerpo Salvadora Norte), teniendo en consideración 237 sondajes logueados del año 2022.

Al caracterizar los dominios geomecánicos de la mina Andaychagua se obtuvo las siguientes estructuras Cuerpo Salvadora Norte (Cuerpos masivos, sub verticales, con potencias que van de 10 a 20 m y emplazado en metavolcánico de regular a buena calidad geomecánica (RMR: 40 a 50)), con el método de minado SLS en la etapa de preparación y un tipo de sostenimiento Pernos Sistemáticos 1.5 x1.5 / shotcrete c/f 0.05. Así mismo, la segunda estructura Cuerpo Prosperidad. Techo (Vetas de 2 a 10 m de potencia, inclinación de 70 a 80° y la zona mineral presenta una calidad de macizo malo (RMR: 30 a 40), roca de caja en filitas de una calidad muy malo (RMR: 20 a 30)), con el método de minado SLS en la etapa de explotación y un tipo de sostenimiento con Pernos Sistemáticos 1.0 x1.0 / shotcrete c/f 0.10. Del mismo modo, la Veta Andaychagua y la Veta Prosperidad Este1 con el método de minado SLS en la etapa de explotación y preparación, con un tipo de sostenimiento de Pernos Sistemáticos 1.0 x1.0 / shotcrete c/f 0.10

Palabras claves: Dominio geomecánico, mina, sostenimiento, vetas

ABSTRACT

The general objective of the research is to characterize the geomechanical domains in the Andaychagua Mine to determine the type of support of the main veins and bodies of the mine. The methodology was based on a quantitative, applied, non-experimental, cross-sectional approach, using a sample comprised of the geomechanical domain of the Andaychagua mine, where the main veins (Andaychagua Vein and Prosperidad Este 1 Vein) and bodies (Prosperidad Techo Body and Salvadora Norte Body) are located, taking into account 237 drill holes logged in 2022.

By characterizing the geomechanical domains of the Andaychagua mine, the following structures were obtained: Salvadora Norte Body (massive, sub-vertical bodies, with thicknesses ranging from 10 to 20 m and located in a metavolcanic site of fair to good geomechanical quality (RMR: 40 to 50)), with the SLS mining method in the preparation stage and a support type of 1.5 x 1.5 Systematic Bolts / 0.05 c/f shotcrete. Likewise, the second structure, the Prosperidad Body. Roof (veins measuring 2 to 10 m in thickness, with a 70 to 80° inclination, and the mineral zone presents poor massif quality (RMR: 30 to 40), very poor quality phyllite host rock (RMR: 20 to 30)), with the SLS mining method in the exploitation stage and a support type of 1.0 x 1.0 Systematic Bolts / shotcrete c/f

0.10. Similarly, the Andaychagua Vein and the Prosperidad Este Vein¹ with the SLS mining method in the exploitation and preparation stages, with a support type of 1.0 x 1.0 Systematic Bolts / shotcrete c/f 0.10

Keywords: Geomechanical domain, mine, support, veins

INTRODUCCIÓN

Con el fin de mejorar el diseño del pozo principal y el mantenimiento de los cuerpos mineralizados en la mina Andaychagua, situada en la región peruana de Junín, es esencial realizar una caracterización geomecánica completa. Este análisis minucioso ha facilitado la identificación de las áreas con mayor riesgo de inestabilidad, lo que ha permitido elegir el sistema de sostenimiento más adecuado para cada sector.

El objetivo de este estudio es analizar en detalle las propiedades geomecánicas de las zonas mineras de Andaychagua. Se analizó parámetros como la resistencia a la compresión y a la tracción de la roca, la densidad, la porosidad y la permeabilidad. También se están investigando las estructuras geológicas presentes en la región, como fracturas, grietas y pliegues, que pueden afectar a la estabilidad del suelo.

A partir de los resultados de la caracterización geomecánica, se determinó el tipo de sostenimiento más adecuado para cada mina. Se estudió distintos tipos de sostenimiento, como los pasivos (pernos de anclaje, malla soldada, hormigón proyectado) y los activos (cables metálicos, marcos de acero, soportes de madera). Se espera que este estudio aporte información valiosa para garantizar la seguridad de las operaciones mineras y prevenir cualquier desastre dentro de la mina debido a la calidad del macizo, evitaría la reducción de costos operativos dedicados a la mejora del dominio y reducir el número de accidentes que suceden en minas debido a la inestabilidad del dominio geomecánico.

La investigación se encuentra compuesta por los siguientes capítulos: Capítulo I: Problema de investigación; Capítulo II: Marco teórico; Capítulo III: Metodología y técnicas de investigación; Capítulo IV Resultados y discusión, Conclusiones, Recomendaciones y Referencias bibliográfica.

ÍNDICE

Páginas

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema	1
1.2. Delimitación de la investigación	4
1.2.1. Delimitación espacial	4
1.2.2. Delimitación temporal	4
1.2.3. Delimitación teórica	4
1.3. Formulación del problema.....	4
1.3.1. Problema general	4
1.3.2. Problemas específicos.....	4
1.4. Formulación de objetivos	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Justificación de la investigación	5
1.6. Limitaciones de la investigación	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	7
2.2. Bases teóricas – científicas.....	12
2.2.1. Dominio Geomecánico	12
2.2.2. Caracterización Geomecánica	13
2.2.3. Sistemas de evaluación geomecánica	13
2.2.4. Sistema de Sostenimiento	20
2.2.5. Índice de Seguridad	21
2.3. Definición de términos básicos	22
2.4. Formulación de la hipótesis.....	24
2.4.1. Hipótesis general	24
2.4.2. Hipótesis específicas.....	24
2.5. Identificación de variables.....	24
2.5.1. Variable independiente	24
2.5.2. Variable dependiente	24
2.6. Definición operacional de variables e indicadores	25

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	27
3.2. Nivel de Investigación	27
3.3. Métodos de Investigación.....	28
3.4. Diseño de Investigación	28
3.5. Población y Muestra	29
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	29

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	31
3.8. Tratamiento estadístico.....	32
3.9. Orientación ética filosófica y epistémica	32

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	34
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	35
4.3. Prueba de hipótesis	67
4.4. Discusión de resultados	70

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Páginas
Tabla 1. Parámetros para calcular RMR	14
Tabla 2. Valoración RMR y calidad de roca.....	14
Tabla 3. Clasificación Q de Barton.....	15
Tabla 4. <i>Tipos de sostenimiento activo y pasivo</i>	20
Tabla 5. <i>Valores del Índice ESR</i>	21
Tabla 6. <i>Operacionalización de variables</i>	25
Tabla 7. Características generales de zonas mineralizadas.....	35
Tabla 8. Resumen de sondeos logueados el año 2022	38
Tabla 9. Características litológicas por zonas.....	40
Tabla 10. Características litológicas por zonas.....	44
Tabla 11. Análisis de resultados UCS en Filita	45
Tabla 12. Análisis de resultados UCS en Metavolcánico.	47
Tabla 13. Clasificación geomecánica mediante sistema RMR89.....	53
Tabla 14. Clasificación geomecánica mediante sistema Q de Barton	54
Tabla 15. Propiedades de los elementos de sostenimiento	59
Tabla 16. Características de elementos de sostenimiento por recomendación	63
Tabla 17. Prueba de hipótesis 1	67
Tabla 18. Prueba de hipótesis 2	68
Tabla 19. Prueba de hipótesis 3	69
Tabla 20. Prueba de hipótesis 4	69

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Ensayo de Carga Puntual	16
Figura 2. Ensayo UCS	17
Figura 3. Ensayo Triaxial en Rocas.....	19
Figura 4. Esquema del Ensayo Triaxial en Rocas	19
Figura 5. <i>Categoría de sostenimiento a partir de Q de Barton</i>	21
Figura 6. Vista longitudinal con la ubicación de las zonas de minado 2023.....	37
Figura 7. Resumen de sondajes logueados el año 2022	39
Figura 8. Avance de logueo geomecánico por zonas	42
Figura 9. Esquema de construcción de modelo estructural	42
Figura 10. Dominios estructurales para discontinuidades intermedias – Prosp. Techo, Salvadora y Andaychagua.	43
Figura 11. Modelo de discontinuidades 3D (relevantes e intermedias) – zona de Profundización.	43
Figura 12. Análisis de resultados UCS en Filita.....	45
Figura 13. Análisis de resultados UCS en Metavolcánico.	47
Figura 14. Análisis de resultados UCS de Filita – Influencia Anisotropía	49
Figura 15. Análisis de resultados UCS de Metavolcánico – Influencia Anisotropía	50
Figura 16. Análisis de ensayos de corte directo en discontinuidades. naturales y simuladas (condición residual)	51
Figura 17. Análisis de ensayos de corte directo por litología (condición residual)	52
Figura 18. Clasificación GSI	56
Figura 19. Sección geotécnica transversal – Salvadora Norte y Prosperidad Techo.	57
Figura 20. Categoría de sostenimiento a partir de Q de Barton	58
Figura 21. Ejemplo de estimación de soporte para Salvadora usando gráfico de Grimstad y	

Barton.....	61
Figura 22. Ejemplo de análisis cinemático de cuñas para el TJ740-741.....	62
Figura 23. Modelamiento numérico del sostenimiento en labor de avance con RS2.....	62
Figura 24. Sostenimiento de labor en roca regular con sección 4.5x4.5 m.....	64
Figura 25. Sostenimiento de labor en roca mala a muy mala con sección 4.5x4.5 m.....	65
Figura 26. Secuencia de sostenimiento de intersección labor con GSI>40 (moderada a buena calidad).....	65
Figura 27. Secuencia de sostenimiento de intersección labor con GSI<40 (mala a muy mala calidad).....	66

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

A nivel internacional los métodos precisos para caracterizar un macizo rocoso en minas subterráneas serán más preciso de acuerdo al número de muestras tomadas. Sin embargo, algunos afirman que el uso de métodos actuales como simulaciones numéricas a través de softwares y la geoestadística, puede determinar mejor la caracterización de la mina (Brousset, et al., 2023).

No obstante, a nivel de Latinoamérica, Brasil cuadriplica la media mundial en producción de minerales y Chile en 23% más, colocándolo así en el primer y segundo lugar en la región (Upadhyay, et al., 2021).

Para Rybak (2022), el desprendimiento de roca no solo provoca pérdida en los costos, sino posibles aumentos de presiones en otros macizos que causarían más estragos. Según un estudio realizado en 2019 por el Ministerio de Energía y Minas, menciona el registro de más de mil accidentes a causa de derrumbe de rocas en excavaciones. No obstante, en Chile se evidenció el mismo problema, donde el mayor porcentaje de accidente son asociados a desprendimiento de rocas (Apaza, 2020).

Debido a eso, el especialista minero tiene la responsabilidad de brindar condiciones seguras para su personal y evitar el cese de actividades.

La caracterización geomecánica es primordial ya que permite identificar la génesis de la roca, debido que al examinar detenidamente las propiedades físicas de una roca y tener en cuenta su contexto geológico, los geólogos son capaces de reconstruir su historia y establecer su origen, así como los procesos por la cual ha pasado y evaluar su comportamiento ante los cambios naturales y antrópicos (Fernandez, et al., 2021).

Este conocimiento sirve como base para el diseño de cimentaciones, excavaciones en túneles, taludes u otras estructuras. De acuerdo con Smolinski (2022), es imprescindible emplear técnicas de investigación geofísica con la finalidad de determinar cuál es la calidad del macizo rocoso y así plantear las soluciones necesarias para el proyecto.

Además, es fundamental comprender el entorno, incluyendo su geología y litología, para llevar a cabo una investigación a gran escala de manera efectiva. No obstante, hacer un reconocimiento continuo de la roca antes y durante la excavación es importante, ya que esta puede cambiar en su forma y en la distribución de tensiones que se generan, provocando así grietas y su pronto colapso (Rybak, et al., 2022).

Para Mugnai (2021), en el macizo rocoso pueden encontrarse discontinuidades identificadas que se relacionan con la estabilidad del mismo, por lo cual es necesario realizar una prospección sobre las fracturas o fallas que provoquen su colapso.

Uno de los accidentes más comunes dentro de la extracción minera es el desprendimiento de roca, el cual puede provocar no solo pérdidas humanas sino también un cese temporal o permanente de los trabajos dentro de la mina. El comprender en que zonas hay más probabilidad de desprendimiento es un reto para los

especialistas, ya que en su mayoría esta característica está ligada a variaciones geomecánicas de la roca y condiciones hidrogeológicas de la zona (Bajni, et al., 2021).

De acuerdo con Rodríguez (2020), estas técnicas se emplean para estimar diversas propiedades geomecánicas que influyen en factores como la fragmentación, la ruptura y la estabilidad de los taludes. Además, como parte de sus enfoques metodológicos, estos métodos nos permiten determinar el tipo de soporte que debe utilizarse en excavaciones subterráneas para así garantizar la estabilidad de la roca (Benel, 2020). Asimismo, en Perú hubo un auge después de la pandemia con relación a inversión en proyectos mineros, aumentando un 24% en inversión, lo que representa 1.5% del PIB nacional.

Desde un enfoque local, la mina Andaychagua se encuentra en la provincia de Yauli, en el departamento de Junín. Actualmente, esta mina forma parte de la Concesión Yauli y ha experimentado un aumento del 6.70% en su producción de Zinc este año. Entre los cuerpos y estructuras presentes en la Unidad Minera, se tienen la Veta Andaychagua y Cuerpo Salvadora Norte, en las cuales se aplican métodos de corte y relleno ascendente - descendente (OCF y UCF) y Sub Level Stoping (SLS). La veta Andaychagua es explotada a través del método UCF con relleno cementado estructural de 16 Mpa.

Por otro lado, el Cuerpo Salvadora Norte es explotado con el método SLS en dos bloques, el superior con bancos de 10 m de altura y relleno cementado 12 MPa y el inferior con bancos de 14 m de altura y relleno de 2 Mpa. Debido a esta situación, la investigación tiene como objetivo realizar la caracterización de los dominios geomecánicos con el fin de determinar el tipo de soporte necesario.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

El lugar de investigación será en la mina Andaychagua.

1.2.2. Delimitación temporal

La duración del proyecto será desde marzo del 2023 hasta junio del 2025.

1.2.3. Delimitación teórica

Se basa en la geomecánica, con el propósito de caracterizar dominios geomecánicos para identificar el tipo de soporte adecuado en las vetas y cuerpos mineralizados.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuáles son los dominios geomecánicos en la Mina Andaychagua para determinar el tipo de sostenimiento de las principales vetas y cuerpos de la mina?

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿Cómo identificar mediante el Logueo Geomecánico los dominios geomecánicos presentes en la mina Andaychagua?
- b. ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de los materiales geológicos en los distintos dominios de la mina Andaychagua?
- c. ¿Cuál es el mapeo geomecánico que caracteriza los distintos dominios geomecánicos en la mina Andaychagua?
- d. ¿Cuál es el tipo de sostenimiento según la caracterización de los dominios geomecánicos en la Mina Andaychagua?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Caracterizar los dominios geomecánicos en la Mina Andaychagua para determinar el tipo de sostenimiento de las principales vetas y cuerpos de la mina.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Identificar los dominios geomecánicos dentro de la Mina Andaychagua por medio de Logueo Geomecánico.
- b. Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales presentes en cada dominio de la mina Andaychagua.
- c. Realizar un mapa geomecánico según la categorización de los dominios estudiados de la mina Andaychagua.
- d. Determinar el tipo de sostenimiento según la caracterización de los dominios geomecánicos en la mina Andaychagua.

1.5. Justificación de la investigación

La justificación de la investigación de la caracterización de los dominios geomecánicos en una mina subterránea es una herramienta esencial para garantizar la estabilidad de las excavaciones y la seguridad de los trabajadores. La finalidad de identificar estos dominios radica en que cada uno presenta diferentes condiciones geológicas, estructurales y mecánicas, lo que implica que los riesgos de inestabilidad y los requerimientos de sostenimiento varían significativamente de un dominio a otro.

Justificación teórica

Teóricamente, amplía el conocimiento geomecánico en minería subterránea, proporcionando datos sobre el comportamiento del macizo rocoso y la efectividad del sostenimiento.

Justificación práctica

La investigación ofrece herramientas para optimizar las operaciones mineras, facilitando decisiones informadas sobre el diseño de excavaciones y la selección de sostenimiento, lo que contribuye a la reducción de costos y a la mejora de la productividad.

Justificación social

Esta investigación se justifica socialmente al buscar un entorno minero más seguro en Andaychagua, protegiendo a los trabajadores y beneficiando a la comunidad local mediante la estabilidad económica.

Justificación metodológica

Metodológicamente, se basa en técnicas especializadas de caracterización geomecánica, buscando integrar enfoques y validar resultados para establecer una metodología reproducible y adaptable, con la posibilidad de incorporar nuevas tecnologías para la gestión de información geotécnica en minería.

1.6. Limitaciones de la investigación

Se abordan el acceso y la disponibilidad de datos, la representatividad de las mediciones, la escala limitada de la caracterización temporal, las simplificaciones en la interpretación y el modelado, la naturaleza dinámica de la mina, las restricciones de tiempo y recursos, la necesidad de validación a largo plazo, las consideraciones económicas, la incertidumbre geológica inherente y los posibles cambios en la legislación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

A nivel internacional:

Celli (2022) Tesis: “Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la Formación Santa Cruz en la zona de Condor Cliff, río Santa Cruz, Patagonia Argentina”. Su enfoque metodológico fue de carácter aplicado y contó con un diseño experimental. Los ensayos realizados incluyeron pruebas de compresión uniaxial, análisis petrográfico, difracción de rayos X y la aplicación de las clasificaciones RMR, DMR y GSI. En total, se analizaron 19 muestras. Los resultados revelaron que el macizo rocoso estaba compuesto por intercalaciones de areniscas y pelitas del período mioceno. Además, se determinó una resistencia a la compresión uniaxial muy baja, con un valor de 4.6 MPa. En el análisis de difracción, se identificó que las muestras de arcilla presentaban una predominancia de cuarzo y, en menor medida, plagioclasas. Por último, según la clasificación RMR, se asignó un valor de 43, lo que indica una calidad del macizo considerada de media a baja, mientras que la clasificación GSI proporcionó un valor de 35.

En su investigación, Aguirre (2020) Tesis: “Caracterización geomecánica de la Microcuenca Zaruma - URCU, cantón Zaruma, provincia de El Oro”. Este estudio se basó en un diseño experimental y empleó las clasificaciones RQD y RMR para su caracterización. Se establecieron un total de 21 estaciones geomecánicas, distribuidas según el estado del bloque. Los resultados de la investigación revelaron que hubo más predominancia de rocas como andesitas, piroclastos y riolitas. Los valores de la clasificación RMR y RQD, determinaron que la roca se trataba de un tipo III. Los piroclastos mostraron una calidad media del 47.88%, las riolitas tenían una calidad del 58.04%, y las andesitas presentaron una calidad del 41.67%. Sin embargo, estos índices se vieron afectados por el fracturamiento de las rocas, resultado de las detonaciones constantes.

En su investigación, Roslee (2020) Artículo: “Aplicabilidad del sistema de clasificación de masa roca (RMR) para la formación Trusmadi en Sabah, Malasia”. La metodología utilizada fue de carácter aplicado y se basó en un diseño experimental. Se llevaron a cabo estudios de campo con el objetivo de analizar las variaciones litológicas y estructurales en los taludes. Se seleccionaron un total de 10 ubicaciones de acuerdo con la exposición litológica para tomar muestras. La caracterización geomecánica se basó en la clasificación RMR, que se determinó utilizando los parámetros como resistencia uniaxial, espaciamiento de junta, presencia de agua, RQD y condición de junta). Los resultados mostraron que la clasificación RMR para los 10 afloramientos de la formación variaba entre 33 y 50, lo que corresponde a una categorización de tipo III – IV (Roca de calidad pobre a regular). Para las rocas de calidad regular, se recomendó el uso de bulones de 4m, espaciados de 1.5 a 2 metros en la corona. Además, en la corona, se sugirió la aplicación de una capa de shotcrete de 50 mm y 30 mm en los hastiales. Por otro lado, para las rocas de calidad pobre, se

propuso bulones de 4 metros espaciados a 1.5 metros, junto con la instalación de malla metálica en las paredes. Asimismo, en corona y hastiales, una capa de shotcrete de 150 mm y 100 mm respectivamente.

A nivel nacional:

Rivera (2023) Tesis: “Caracterización Geomecánica y elección del sostenimiento para labor permanente en mina Cachi Cachi – Sociedad Minera Corona S.A.”. El enfoque de la metodología fue de carácter aplicado y de nivel descriptivo. La muestra se limitó a las labores CX6631NE y CX5536SW ubicadas en el nivel 780 de la mina. Los resultados revelaron la presencia de dominios litológicos intrusivos, particularmente granodiorita. Además, se determinó que la labor CX6631NE tenía un valor de RMR de 43, mientras que la labor CX5536SW tenía un valor de 49, ubicándose ambas en el rango de 41-50 en la clasificación RMR, lo que las califica como rocas de tipo IIIB. Estas rocas mostraron una ocurrencia del 100%, así como un aumento a la resistencia a la compresión de 156 MPa. Como parte de las recomendaciones, se propuso un tipo de sostenimiento que incluía pernos helicoidales de 7" y 10", con un espaciamiento de 0.85 metros por 1.2 metros. Además, se sugirió el uso de shotcrete de 2" con una fibra de 30 kg/m³ y una resistencia de 240 kg/cm².

En su investigación, Ticona (2021) Tesis: “Criterio de caracterización geomecánica y análisis de estabilidad de macizos rocosos alterados”. El enfoque de la investigación fue descriptivo y se basó en un diseño experimental. Para llevar a cabo el muestreo, se realizó el registro geomecánico de 329 sondeos con una longitud total de 120,371 metros. Los ensayos realizados fueron ensayos de resistencia tales como carga puntual, tracción indirecta y ensayo de compresión uniaxial. Además, se utilizó el método RMR para caracterizar el macizo rocoso y se realizaron análisis de estabilidad para cada unidad litológica. Asimismo, se desarrolló 4 modelos, incorporando 5

propiedades geomecánicas y 3 condiciones de agua. Los resultados del estudio indicaron que, según la resistencia estimada, los macizos tuvieron una categoría R0 a R2, lo que se considera como una roca extremadamente débil. Además, se observó que la relación entre los valores de RMR y la resistencia estimada para cada unidad litológica permitió una mejor diferenciación que los valores de mineralización y alteración. En cuanto al modelo de diseño OVA 35°, se concluyó que cumplió con el criterio de aceptabilidad al alcanzar un nivel de aceptación del 67%.

Por otro lado, Herrera (2020) Tesis: “Caracterización geomecánica del macizo rocoso aplicado al análisis de estabilidad de taludes en el yacimiento Jérica, Ocuvi - Lampa - Puno - 2015 -2016”. La metodología se basó en un enfoque cuantitativo, descriptivo, correlacional y no experimental, con una muestra de 80 estaciones geomecánicas, con software Slide versión 6.0. Los hallazgos arrojaron, una fuerte correlación positiva entre el tipo de alteración hidrotermal y la calidad de la masa rocosa. También se comprobó que la calidad de la masa rocosa tiene un efecto significativo y positivo en la estabilidad de los taludes. El factor de seguridad se reduce hasta un 24% para los óxidos y un 29% para los sulfuros cuando se aplica el método anisotrópico; cuanto mayor es la calidad de la masa rocosa (RMR), mayor es la reducción del factor de seguridad anisotrópico en comparación con el factor de seguridad isotrópico.

Desde la perspectiva local, Contreras et al. (2023) Tesis: “Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de soporte adecuado en la Unidad De Producción Andaychagua de la Compañía Minera Volcan S. A. A.”. Este estudio describe las propiedades geomecánicas, la caracterización y las condiciones estructurales del macizo rocoso, alineándose con los parámetros de evaluación geomecánica del RMR de Bieniawski aplicados a túneles. Finalmente, los resultados

indican que, considerando las propiedades mecánicas, la caracterización y las condiciones del macizo rocoso, el sostenimiento recomendado según la clasificación RMR de Bieniawski es el uso de pernos helicoidales complementados con tuercas de sujeción, las cuales permiten la colocación de las placas de sujeción sobre el macizo rocoso.

En su investigación, Vidal (2023) Tesis: “Parámetros geomecánicos para establecer el método de explotación en el proyecto Hilarión - Compañía Minera Milpo S.A.A.”. La metodología se basó en una investigación con un método inductivo-deductivo, aplicada, experimental, documental, de campo y laboratorio. Las zonas estudiadas del Proyecto Hilarión. Los hallazgos arrojaron que, la cartografía geomecánica sistemática realizada en los niveles 4750 y 4540, se ha llevado a cabo una interpretación estructural del macizo rocoso, cuyos resultados, en los sistemas principales, muestran cierta similitud con la disposición estructural obtenida en este estudio. Debe recordarse que la disposición estructural determinada en aquel momento se basaba en una muestra estadística mucho menor que los datos de testigos orientados disponibles en la actualidad. Se concluyó que, cuando se utiliza este método de extracción y áridos cementados, la dilución puede ser del 5-10% y el rendimiento del 90-95%. En varias minas con las que han trabajado los autores de este informe, tanto en Suiza como en el extranjero, se han observado diluciones del orden del 7-9% y rendimientos superiores al 90% (93-95%).

Así mismo, Quispe (2021) Tesis: “Evaluación de excavaciones subterráneas mediante la concentración de esfuerzos para prevenir la caída de rocas-Unidad Minera Yauricocha”. El enfoque de la investigación fue descriptivo y se basó en un diseño no experimental, con una muestra de 30 labores que se ha evaluado en los acápite 2.2.7 y 2.2.8 mediante los dos criterios de coeficiente de estabilidad, a través de la

cartografía geomecánica y la posterior evaluación del macizo rocoso según el sistema geomecánico, el macizo rocoso debía clasificarse en los tipos IIIB, IIIA, V y IVB (véase el cuadro 8) y los parámetros GSI/RM. Una vez procesadas las observaciones de campo sobre el comportamiento y la respuesta del macizo rocoso y todos los datos recopilados, se interpretaron y estimaron los coeficientes de estabilidad (CS) del macizo rocoso mediante dos métodos: el criterio de cizallamiento de Angle-Brown (σ_{cm}/P_o), para el que hubo que calcular previamente los parámetros del macizo rocoso (c), y el coeficiente de fricción interna (ϕ). Los hallazgos arrojaron que, las dimensiones de las excavaciones subterráneas, diseñadas teniendo en cuenta la capacidad portante de la masa rocosa, garantizan la estabilidad de los proyectos durante el proceso de extracción. Se concluyó que, las condiciones geomecánicas de cada tipo de macizo rocoso sólo permiten que el tamaño máximo de la excavación subterránea sea autoportante y que unas aberturas subterráneas mayores aumentarán la inestabilidad del macizo rocoso, por lo que es necesario instalar a tiempo los sistemas de apoyo adecuados para garantizar la estabilidad.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Dominio Geomecánico

Un macizo rocoso se define como una roca la cual ha sido formada por procesos naturales y ha sido meteorizada con el tiempo. Un macizo rocoso presenta discontinuidades, las cuales determinan las características de este macizo (Duque, 2020). Para Prado (2022), se refiere a un conglomerado de discontinuidades que gobiernan las propiedades físicas y mecánicas de la roca matriz.

Por otro lado, un dominio geomecánico se refiere a una zona o región geográfica, donde se estudian las propiedades mecánicas a nivel macro. Un claro ejemplo, es cuando se quiere determinar la estabilidad de taludes en una mina a cielo

abierto, por lo cual se le asigna una propiedad geomecánica a cada dominio presente en la zona (Hitchcock, 2023).

2.2.2. Caracterización Geomecánica

La caracterización geomecánica se define como el proceso para determinar parámetros geomecánicos de estructuras rocosas, a través de ensayos geomecánicos y litológicos. Para Cueva (2019), la caracterización juega un rol importante ya que permite evaluar la estabilidad del macizo rocoso, ya sea por fracturas o fallas que puedan existir en ella. Los métodos para realizar este proceso son metodologías empíricas como los sistemas RMR, Q de Barton y GSI (Rivera, 2023).

2.2.3. Sistemas de evaluación geomecánica

Las metodologías para la caracterización geomecánica proporcionan seguridad y economía para las operaciones mineral, por lo que su importancia radica en conocer las características mecánicas de las rocas y a través de ello, su empleo en el diseño de obras de ingeniería en el sector minero (Mendoza, 2022).

a) Sistema RMR

La clasificación RMR fue elaborada por Bieniawski en el año 1973, el cual relaciona parámetros geomecánicos del macizo para determinar el índice RMR (Rock Mass Rating). Los parámetros que son necesario para este método se muestran a continuación:

Tabla 1. Parámetros para calcular RMR

N°	Parámetro
1	Grado de facturación (RQD)
2	Resistencia uniaxial de la roca intacta
3	Espaciamiento en la discontinuidad
4	Condiciones de agua subterránea
5	Orientación de la discontinuidad
6	Condición de discontinuidad

Fuente: Gonzales de Vallejo et al. (2002)

El índice RMR resulta de la suma de los parámetros mencionados. El rango del índice RMR es de 0 a 100, donde el valor mínimo representa un macizo de muy mala calidad y el máximo, un macizo de muy buena calidad.

Tabla 2. Valoración RMR y calidad de roca

Clases	Calidad	Valoración RMR89
V	Muy mala	Menor a 20
IV	Mala	< 21 y >40
III	Media	< 41 y > 60
II	Buena	< 61 y >80
I	Muy buena	< 81 y >100

Fuente: Gonzales de Vallejo et al. (2002)

b) Sistema Q de Barton

La clasificación geomecánica Q fue propuesta por Barton, Lunde y Lien en 1974, la cual permite cual será el sostenimiento adecuado para la excavación de túneles, de acuerdo al índice Q. La fórmula que gobierna para el cálculo de Q se muestra a continuación:

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

Donde

RQD = Índice de Calidad de la Roca

Jw = Coef. de condición de agua en diaclasas

SRF = Coef. de los esfuerzos en el macizo

Ja = Coef. asociado al grado de alteración de las diaclasas

Jn = Coef. relacionado al número de familias

Jr = Coef. relacionado con la rugosidad de diaclasas

Este método resulta un poco difícil para los que no poseen experiencia, lo cual provoca una estimación errónea del valor de Q. Según Rivera (2022), el término (RQD/Jn) se refiere a el tamaño block de la roca, mientras que (Jw/SRF) se refiere a la tensión efectiva de la roca y (Jr/Ja) a la resistencia al corte entre los bloques. Este parámetro Q oscila entre 0.001 y 1000.

Tabla 3. Clasificación Q de Barton

Valoración Q	Calidad
0.001 – 0.01	Roca excepcionalmente mala
0.01 – 0.1	Roca extremadamente mala
0.1 – 4	Roca muy mala
4 – 10	Roca media
10 – 40	Roca buena
40 – 100	Roca muy buena
100 – 400	Roca extremadamente buena
400 – 1000	Roca excepcionalmente buena

Fuente: Gonzales de Vallejo et al. (2002)

c) Ensayos de Resistencia

Los ensayos de resistencia permiten determinar la relación entre los esfuerzos a la cual una roca está sometido, en el proceso de carga y descarga (Benítez, 2021). La mayoría de estos ensayos se consideran destructivos, ya que es necesario la extracción de una muestra o diamantina para su evaluación mecánica.

Sin embargo, el martillo de Schmidt estima la resistencia sin necesidad de destruir la roca (Benítez, 2021).

d) Resistencia de Carga Puntual

También conocido como PLT, en el cual se aplica una fuerza puntual a través de la prensa hidráulica, a una probeta de forma axial o diametral y se realiza in situ (Feijoo y Feijoo, 2023).

Para Jiménez (2022), este ensayo se aplica cuando no es posible extraer una muestra de medidas estándares.

El índice de Resistencia a la Carga Puntual se determina por la siguiente formula, donde P es la carga aplicada en KN y De es el diámetro del núcleo equivalente en MM.

$$I_s = \frac{P}{(De)^2}$$

Figura 1. *Ensayo de Carga Puntual*



Fuente: Jiménez (2022),

e) Compresión Uniaxial

El ensayo de Compresión Uniaxial (UCS) determina la resistencia a la roca bajo la normativa americana ASTM 701-14 (Vera & León, 2020). La muestra puede ser cilíndrica o cubica, la cual su relación de esbeltez será entre 2 a 3. El equipo que se utiliza para este ensayo es la prensa hidráulica, la que aplica una fuerza en toda el área de contacto del espécimen, lo que marca su diferencia con el ensayo de carga puntual.

Para Jiménez (2022), el ensayo UCS no solo determina la resistencia, sino además el módulo de Young y el coeficiente de Poisson. Estos valores pueden ser hallados a través de la curva esfuerzo-deformación que forma parte de la metodología del ensayo UCS (Jiménez, 2022). La resistencia a la compresión uniaxial se determina por la siguiente formula, donde F_c es la fuerza compresiva en kg y A es el área de aplicación

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Figura 2. Ensayo UCS



Fuente: Benítez (2021)

f) Ensayo Triaxial

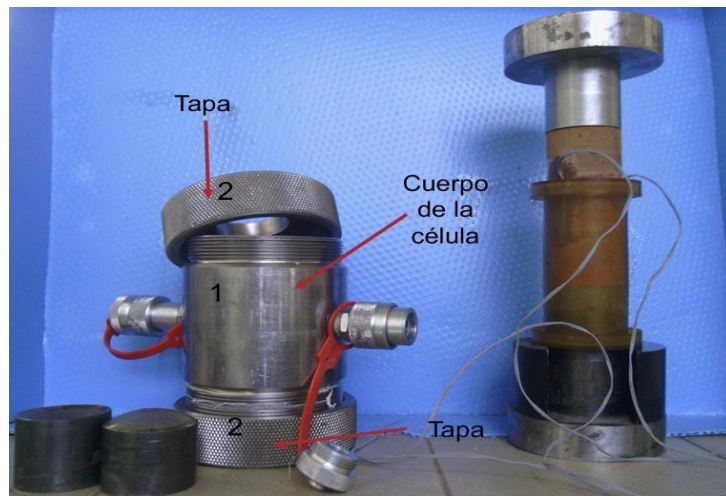
El ensayo triaxial se realiza en muestras de roca que se envuelven en una membrana de goma, las cuales se colocan dentro de una célula triaxial y se someten a una presión confinante isótropa (Hernández, et al., 2013). Luego, se incrementa la carga axial hasta que la probeta se rompe, obteniendo los siguientes datos:

- La carga o esfuerzo axial (σ_1).
- Las deformaciones axiales (ϵ_1) y transversales (ϵ_t) de la probeta.
- El ángulo del plano de rotura.
- El ángulo entre los planos de anisotropía y la carga axial.

Se aplica una carga de compresión continua y sin impacto a la muestra de roca, manteniendo una velocidad de deformación lo más constante posible, de modo que la rotura ocurra entre los 5 y 15 minutos de carga. Alternativamente, el ensayo puede realizarse a una velocidad de tensión constante, dentro del rango de 0,5 a 1,0 MPa/s. Además, la presión de confinamiento debe mantenerse constante con una tolerancia de ± 2 %. Se deben romper entre 3 y 5 testigos con diferentes presiones de confinamiento (Hernández, et al., 2013).

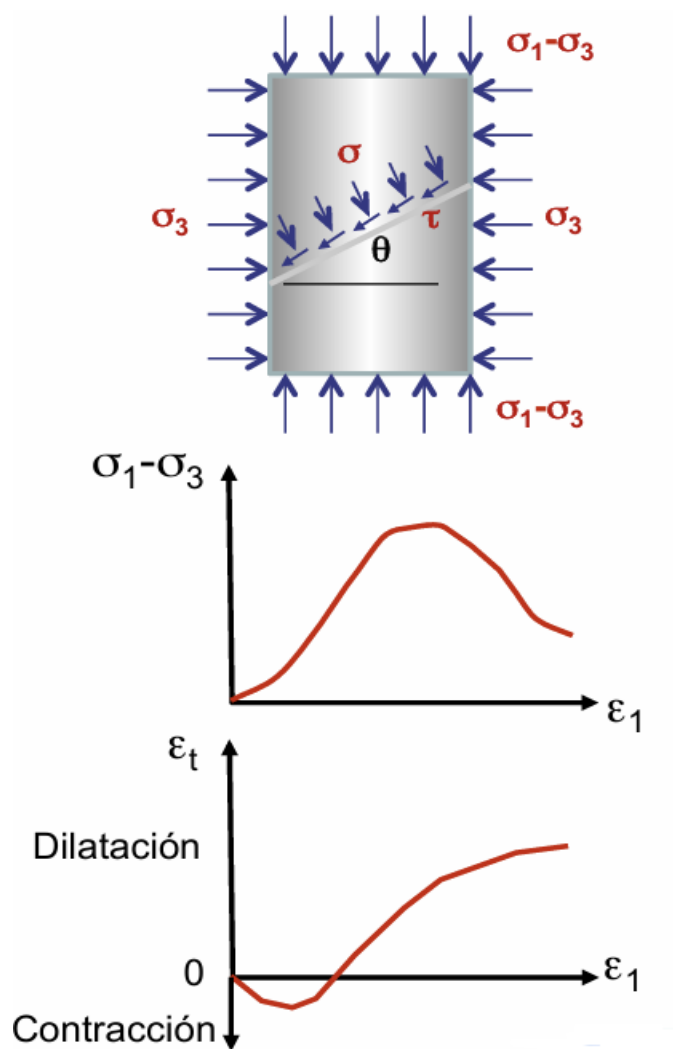
A partir de las tensiones de rotura de las diferentes probetas ensayadas, es posible trazar los círculos de Mohr, los cuales representan el estado de tensión de cada probeta en el momento de rotura. Esto permite determinar la envolvente de rotura, que nos proporcionará el ángulo de fricción y la cohesión de la roca (Hernández, et al., 2013).

Figura 3. *Ensayo Triaxial en Rocas*



Fuente: Hernández, et al. (2013)

Figura 4. *Esquema del Ensayo Triaxial en Rocas*



Fuente: Hernández-Gutiérrez et al. (2013)

2.2.4. Sistema de Sostenimiento

Para Bednarek (2020), cuando una operación minera va avanzando en profundidad la estabilidad del macizo rocoso puede provocar riesgos en la continuación en los trabajos. Debido a eso, un sistema de sostenimiento se define como un sistema capaz de asegurar la estabilidad en excavaciones subterráneas. Sin embargo, existen algunas deformaciones en la excavación que no pueden ser resueltas por el sostenimiento, lo cual reduce su rendimiento (Chaulagai y Kumar, 2022).

a) Tipos de sostenimiento

Dentro del ámbito minero, se conoce dos tipos de sostenimiento: el activo y el pasivo. Dicha elección dependerá de las características geomecánicas de la roca, basada en la clasificación Q de Barton (Zekrinaldi, et al., 2021).

Los sostenimientos de apoyo activo tienen el esfuerzo dentro de la roca, mientras que los pasivos son externos a la roca y dependen del movimiento de la roca y el contacto con el apoyo (Valle, 2022).

Tabla 4. *Tipos de sostenimiento activo y pasivo*

Tipo de Sostenimiento	
ACTIVO	PASIVO
Barras helicoidales	Mallas
Pernos con anclaje	Cimbras Metálicas
Concreto lanzado	Shotcrete

Fuente: Gonzales de Vallejo et al. (2002)

b) Determinación del tipo de sostenimiento

Para esta metodología, es necesario conocer el parámetro Q de la roca y otros parámetros. Para Palomino (2023), el tipo de sostenimiento depende del índice Q, ESR y Diámetro Equivalente (De), siendo este último obtenido con la división de la altura de la excavación con el valor de ESR. Una vez calculado los parámetros,

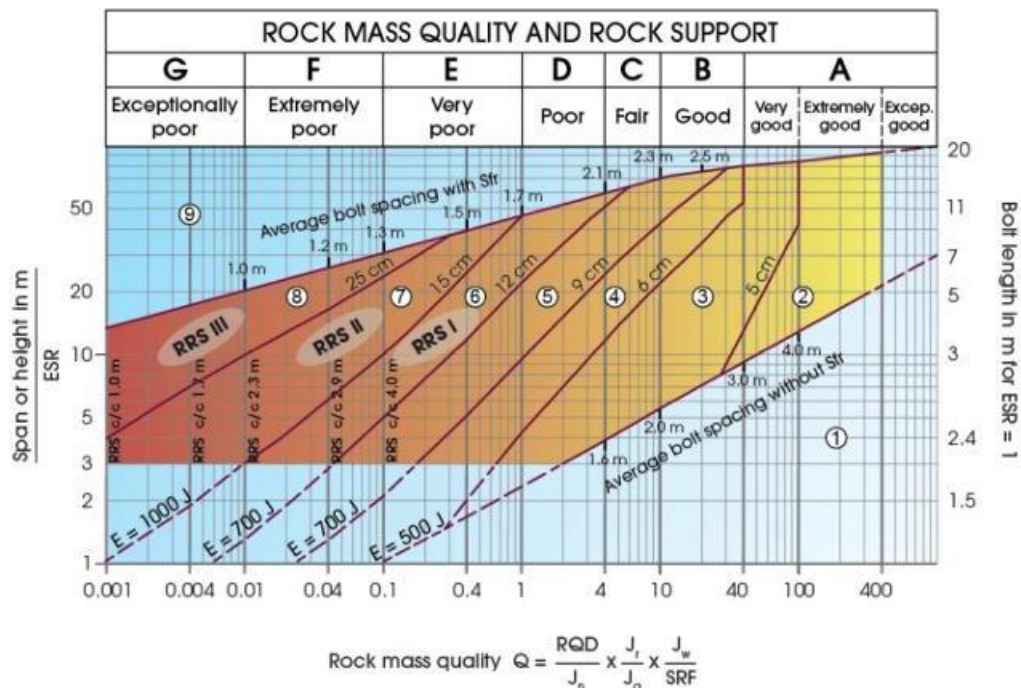
se interpolan en la gráfica de clasificación de sostenimiento, mostrado en la figura.

Tabla 5. Valores del Índice ESR

Tipo de excavación	ESR
Labores de carácter temporal	2 – 5
Galerías permanentes, túneles de centrales, grandes excavaciones	1.6 – 2
Cavernas de almacenamiento, plantas de tratamiento de agua	1.2 – 1.3
Túneles de carretera primaria, intersecciones de túneles	0.9 – 1.1
Centrales nucleares, túneles para tuberías, instalaciones públicas.	0.5 – 0.8

Fuente: Gonzales, et al. (2002)

Figura 5. Categoría de sostenimiento a partir de Q de Barton



Fuente: Grimstad & Barton 1993

2.2.5. Índice de Seguridad

Al momento de instalar un sostenimiento para un túnel o excavación subterránea, siempre es necesario preguntarse cuál será el comportamiento del mismo con respecto a las deformaciones y las cargas de la masa rocosa. Para Rodríguez (2021), bajo este análisis es importante hallar un factor de seguridad suficiente para

que el sostenimiento pueda soportar las cargas ejercidas por la roca. Las metodologías para evaluar el factor de seguridad de una estructura han ido en aumento debido al incremento tecnológico. Uno de los softwares más comunes es el Phase 2, el cual utilizar métodos finitos y en 2D, que permite realizar un análisis de la estabilidad en excavaciones (Rodríguez, et al., 2020)

2.3. Definición de términos básicos

Andesitas

Se trata de rocas volcánicas de grano fino que se presentan como coladas de lava en zonas de lava, a veces formando pequeñas fisuras; son monolíticas, a veces vesiculares, suelen ser de color marrón y sólo son superadas por el basalto en términos de superficie total (Feijoo, et al., 2022).

Derechos de la Naturaleza

Estos son los resultados de la ruptura con el pensamiento antropocéntrico, para que nuestra Carta Magna pueda abrazar el pensamiento biocéntrico y así aplicar las normas que rigen la existencia humana y nuestra relación con el medio ambiente y la comunidad biológica, mostrando la interconexión de los procesos biológicos de todos los seres pertenecientes a esta comunidad y la dependencia de la vida humana de esta biodiversidad (Soria y Cáceres, 2022).

Minería

Es la extracción selectiva de minerales y otros materiales de la corteza terrestre, que constituye la principal actividad económica asociada a la extracción de elementos; de esta actividad pueden derivarse beneficios económicos, ya que la venta de los minerales extraídos genera importantes ganancias (Soria y Cáceres, 2022).

Macizo rocoso

Es una matriz formada por materiales y fracturas de roca. Su caracterización y clasificación tiene por objeto determinar las propiedades del macizo rocoso asignando valores a un conjunto de parámetros de la roca. El comportamiento de los materiales rocosos intactos puede determinarse mediante la mecánica del continuo, pero las masas rocosas suelen ser muy tectónicas (Yang, et al., 2024).

Máquina de ensayo

El objetivo del aparato de ensayo es probar la resistencia de diferentes tipos de materiales mediante un sistema que aplica cargas controladas a una probeta (un modelo de dimensiones predeterminadas) y mide gráficamente la deflexión y la carga última. (Feijoo, et al., 2022).

Resistencia a la Compresión Simple o Uniaxial (RCS)

Es la presión necesaria para fracturar las piedras debe determinarse mediante un ensayo específico utilizando el equipo adecuado. Para esta prueba se utiliza la pinza de Humboldt, que permite ensayar los materiales tanto a tracción como a compresión (Feijoo, et al., 2022).

Rock Mass Rating

La clasificación geomecánica RMR, ampliamente utilizada, sirve para determinar la naturaleza de la roca y aplicar el sostenimiento adecuado en función de las evaluaciones realizadas. Desarrollada originalmente para determinar el tipo de refuerzo necesario en la construcción de túneles, la clasificación se utiliza ahora también para analizar la estabilidad de los taludes (Cuenca y Montano, 2024).

Índice de soporte geomecánico (GSI)

Esta clasificación se basa en la observación de dos aspectos principales: el estado de la superficie y el nivel de estructura (Cuenca y Montano, 2024).

2.4. Formulación de la hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La caracterización de los dominios geomecánicos de la mina Andaychagua determina el tipo de sostenimiento adecuado para las principales vetas y cuerpos de la mina.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a. La identificación de los dominios geomecánicos de la mina Andaychagua se realiza por medio de logueo geomecánico.
- b. La evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales en cada dominio de la mina Andaychagua muestra diferencias significativas entre los dominios.
- c. La elaboración del mapa geomecánico permite diferenciar cada dominio de acuerdo sus condiciones geotécnicas.
- d. El tipo de sostenimiento basado en la caracterización de los dominios geomecánicos mejora la seguridad y la eficiencia de las operaciones mineras.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable independiente

Caracterización de los dominios geomecánicos.

2.5.2. Variable dependiente

Tipo de sostenimiento de Andaychagua - Junín

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 6. Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
V. INDEPENDIENTE Caracterización del dominio geomecánico	La caracterización geomecánica se define como el proceso para determinar parámetros geomecánicos de estructuras rocosas, a través de ensayos geomecánicos y litológicos (Cueva y Arana, 2019)	La caracterización geomecánica se evalúa en la Resistencia de la Roca Intacta Calidad del Macizo Rocoso Características de las Discontinuidades Estado de Esfuerzos In Situ	Resistencia de la Roca Intacta	Resistencia a la compresión uniaxial (UCS).
			Calidad del Macizo Rocoso	Valoración del Índice de Resistencia Geológica (GSI)
			Características de las Discontinuidades	Espaciamiento promedio de las principales familias de discontinuidades medido en mapeo geomecánico.
			Estado de Esfuerzos In Situ	Análisis de indicadores de esfuerzos observados en las excavaciones.
V. DEPENDIENTE Tipo de Sostenimiento Andaychagua - Junín	Un sistema de sostenimiento se define como un sistema capaz de asegurar la estabilidad en excavaciones subterráneas	El Tipo de Sostenimiento Andaychagua – Junín se evalúa en el Tipo de Elemento de Sostenimiento Primario	Tipo de Elemento de Sostenimiento Primario Tipo de Elemento de Sostenimiento Secundario	Presencia y densidad de pernos de roca (número por metro cuadrado) Instalación de malla de acero (presencia o ausencia)

(Chaulagai y Kumar, 2022).	Tipo de Elemento de Sostenimiento Secundario Densidad o Intensidad del Sostenimiento Geometría y Configuración del Sostenimiento	Densidad o Intensidad del Sostenimiento	Cantidad total de elementos de sostenimiento por metro lineal de excavación Patrón de instalación de los pernos de roca
-------------------------------	--	--	--

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación se consideró aplicada, ya que se busca utilizar el conocimiento teórico de la geomecánica para poder resolver un problema específico en el campo de la minería: La definición del tipo de sostenimiento adecuado en la mina Andaychagua, que tiene como finalidad la práctica, pues contribuye a lograr obtener una mejor estabilidad y seguridad en las labores mineras. La investigación aplicada se basa en los conocimientos adquiridos en la investigación básica e intenta traducirlos en aplicaciones concretas (Vizcaíno, et al., 2023). En la siguiente tesis, se utilizó métodos de caracterización geomecánica como RMR y Q de Barton, asimismo ensayos geomecánicos basadas en normativas.

3.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación es Descriptivo y Explicativo:

Descriptivo, porque se logró la identificación y los detalles de las características de los dominios geomecánicos presentes en las vetas y cuerpos mineralizados.

Explicativo, porque se busca comprender la relación que existe entre las características y el tipo de sostenimiento requerido, para así explicar los factores que determinan su elección. El nivel descriptivo tiene como finalidad detallar de forma sistemática las características de un fenómeno, mientras que el nivel explicativo permite identificar causas y efectos entre variables o factores observados (Tamayo y Tamayo, 2005).

3.3. Métodos de Investigación

La investigación utilizará un método cuantitativo, ya que se basa en la recolección y análisis numérico de los datos geomecánicos como los parámetros (RMR, Q de Barton, GSI, resistencia de roca, etc.) para clasificar los dominios y determinar el tipo de sostenimiento adecuado. Este método permite una interpretación objetiva y medible. El método cuantitativo se basa en la medición objetiva de los datos recolectados, haciendo uso de técnicas estadísticas para probar hipótesis o responder preguntas de investigación (Hernández Sampieri et al., 2014).

3.4. Diseño de Investigación

El diseño de investigación fue no experimental – Transversal, ya que se recolectó la información de las características geomecánicas del dominio y se realizó una sola vez. No Experimental, porque no se manipulan las variables; ya que se observa y analiza el comportamiento de las formaciones rocosas tal como se presentan a la realidad.

Transversal, ya que la información se recolecta en un único momento del tiempo o durante un periodo determinado, sin hacer seguimiento longitudinal.

Un estudio no experimental se caracteriza por observar los fenómenos tal como se dan en su contexto natural, sin manipular variables; y, en particular, el diseño

transversal se utiliza cuando la recolección de datos se realiza en un solo momento o en un tiempo determinado (Calderón, 2018).

3.5. Población y Muestra

Población

Según Hospinal (2020), la población es el grupo donde se va a experimentar para así generalizar los resultados de la investigación. Debido a eso, la población del estudio se compuso de las siguientes vetas y cuerpos mineralizados más relevantes en la mina Andaychagua, donde se encuentran las principales vetas y cuerpos. En total, se tomaron en cuenta 4 unidades geológicas principales para este análisis.

Muestra

Una muestra de las características principales de una muestra es la representatividad, de la cual se extrae la información que se requiere para describir el fenómeno (Feria, Blanco & Valledor, 2019). La muestra para la presente investigación se conformó por las vetas (Veta Andaychagua y Veta Prosperidad Este 1) y cuerpos (Cuerpo Prosperidad Techo y del Cuerpo Salvadora Norte).

Esta selección se llevó a cabo con el objetivo de centrar el análisis en las áreas de mayor relevancia operativa y económica, partiendo de la premisa de que este ámbito refleja las condiciones que afectan la sostenibilidad de estas estructuras fundamentales. Al enfocarse en un ámbito con características geomecánicas relativamente uniformes, se pretende lograr resultados más concretos y aplicables a las zonas prioritarias de la mina, maximizando así los recursos de la investigación.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Según Sánchez (2022), una técnica de recolección de datos se refiere a todos los procedimientos necesarios para poder obtener información y poder responder

a la hipótesis. Por otro lado, un instrumento es la herramienta que utiliza el investigador para recolectar los datos (Arias, 2020).

La técnica de recolección de datos se basó en la observación, es la forma más sistemática y lógica de registrar lo que necesitamos saber de forma visual y verificable. A diferencia del mundo empírico, en el que la gente corriente utiliza los datos o la información que observa de forma práctica para resolver problemas o satisfacer necesidades, la perspectiva científica pretende captar de la forma más objetiva posible lo que ocurre en el mundo real para describirlo, analizarlo o explicarlo (Gavidia, 2022).

Así mismo, se aplicó el análisis de contenido, representa el método cualitativo de codificación y categorización de datos como texto, imágenes o vídeo (Vizcaíno, et al., 2023).

En cuanto al instrumento de recolección de datos, se aplicó la ficha de observación, la cual, es una herramienta que permite a los investigadores registrar información relevante sobre acontecimientos, comportamientos, características o patrones que observan directamente. Las fichas de observación son esenciales para documentar con detalle lo que ocurre en una situación concreta en diversos campos, como la investigación académica, la investigación social, la observación en el aula o la investigación etnográfica, entre otros (Vizcaíno, et al., 2023).

Para la caracterización geomecánica, que es la variable independiente del estudio, se utilizarán diversas técnicas e instrumentos. La resistencia de la roca intacta se evaluará de manera cuantitativa a través de ensayos de compresión uniaxial (UCS) y carga puntual (PLT) en laboratorio, complementándose con estimaciones cualitativas directas en el campo. La calidad del macizo rocoso se determinará mediante un mapeo geomecánico detallado y la aplicación de sistemas de clasificación como RMR, Q y

GSI, que integran aspectos cualitativos y cuantitativos; además, se podría recurrir a la fotogrametría y el escaneo láser para obtener modelos tridimensionales precisos.

Las características de las discontinuidades se analizarán a través de mapeo lineal y de área, cuantificando su espaciamiento y describiendo cualitativamente su condición; el análisis estereográfico facilitará la comprensión de su orientación, y ensayos de corte podrán evaluar su resistencia. Finalmente, el estado de esfuerzos in situ se investigará mediante mediciones directas con equipos especializados, el análisis cualitativo de indicadores como breakouts, y la simulación cuantitativa a través de modelado numérico.

En lo que respecta a la variable dependiente, el tipo de sostenimiento, se llevarán a cabo inspecciones visuales y un registro detallado de los elementos primarios y secundarios instalados, complementados con la revisión de planos y especificaciones técnicas para entender las intenciones de diseño, así como entrevistas al personal de la mina para conocer las prácticas de implementación. La densidad o intensidad del sostenimiento se cuantificará mediante mediciones directas en las excavaciones, el análisis de los planos y la revisión de los registros de instalación, pudiendo también categorizarse cualitativamente. Por último, la geometría y configuración del sostenimiento se determinará mediante la medición directa de la disposición de los elementos, el análisis de los patrones en los planos y la documentación visual.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el primer objetivo, se recolectó los datos del logueo geomecánico de los dominios para su caracterización por medio de la metodología RMR y Q de Barton. En el objetivo segundo, los ensayos de resistencia fueron realizados bajo las normativas de ensayo UCS, PLT logrando determinar la resistencia de las rocas que

pertenece a los dominios evaluados. En el objetivo tercero, se realizó el mapa geomecánico donde se reconoció los dominios de la mina Andaychagua. Finalmente, como parte del cuarto objetivo, se determinó el sostenimiento adecuado según la tabla de Q vs Sostenimiento, para todos los dominios.

3.8. Tratamiento estadístico

Una vez obtenidos los datos de campo y usando la técnica de observación, estos fueron procesados a través de tablas de Excel para la caracterización geomecánica del dominio. Asimismo, para determinar el tipo de sostenimiento se utilizó también el programa Excel.

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica

Para Inguillay (2020), la ética tiene la función principal de definir y delimitar las malas conductas que puedan perjudicar los resultados de la investigación. En el estudio, se tuvo en cuenta el reglamento de ética de la Universidad Nacional Daniel A. Carrión. Asimismo, los trabajos usaron como antecedentes, bases teóricas u otro apartado fueron citados bajo los lineamientos de APA 7ma Edición. De la misma manera, se verificó la veracidad de los datos extraídos de los ensayos de laboratorio.

Desde una perspectiva filosófica, adopta un realismo crítico que reconoce una realidad geomecánica objetiva, aunque interpretada a través de herramientas imperfectas, con un enfoque pragmático donde el conocimiento se valida por su aplicabilidad práctica en la determinación del sostenimiento. Epistemológicamente, se fundamenta en el empirismo lógico, destacando la observación sistemática y el análisis objetivo de datos cuantitativos, al tiempo que integra el conocimiento cualitativo derivado de la experiencia minera. El proceso será inductivo-deductivo, aplicando teorías a observaciones concretas y contrastando hipótesis con evidencia empírica, manteniendo una disposición abierta a la revisión y la crítica para contribuir

al avance del conocimiento científico y a la mejora de las prácticas de sostenimiento en la mina Andaychagua.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

El trabajo de campo se enfocará en la recolección de datos in situ en las principales estructuras de la mina Andaychagua durante el año 2023. En una primera etapa, se coordinará el acceso y se identificarán las áreas de estudio. La caracterización geomecánica incluirá un mapeo detallado de las excavaciones, el registro de discontinuidades, la recolección de muestras de roca para ensayos UCS/PLT, la estimación de la resistencia en campo y la aplicación de clasificaciones RMR/Q/GSI, además de la documentación de indicadores de esfuerzos. Simultáneamente, se evaluará el sostenimiento existente a través de inspecciones, revisión de planos y entrevistas al personal sobre los criterios de selección. Los datos se registrarán en formularios y bases de datos, georreferenciando los puntos y complementando con fotografías y croquis. Finalmente, se gestionarán las muestras para el laboratorio y se llevará a cabo una revisión preliminar de los datos recopilados.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Dominios geomecánicos en la mina Andaychagua

La evaluación geomecánica está enfocada a las 4 de las 12 estructuras mineralizadas que se encuentran comprometidos en block plan 2023: Cuerpo Salvadora Norte, Cuerpo Prosperidad Techo, Veta Andaychagua y Veta Prosperidad Este1. La descripción de las características generales de cada una de ellas se resume de la siguiente manera:

Tabla 7. *Características generales de zonas mineralizadas*

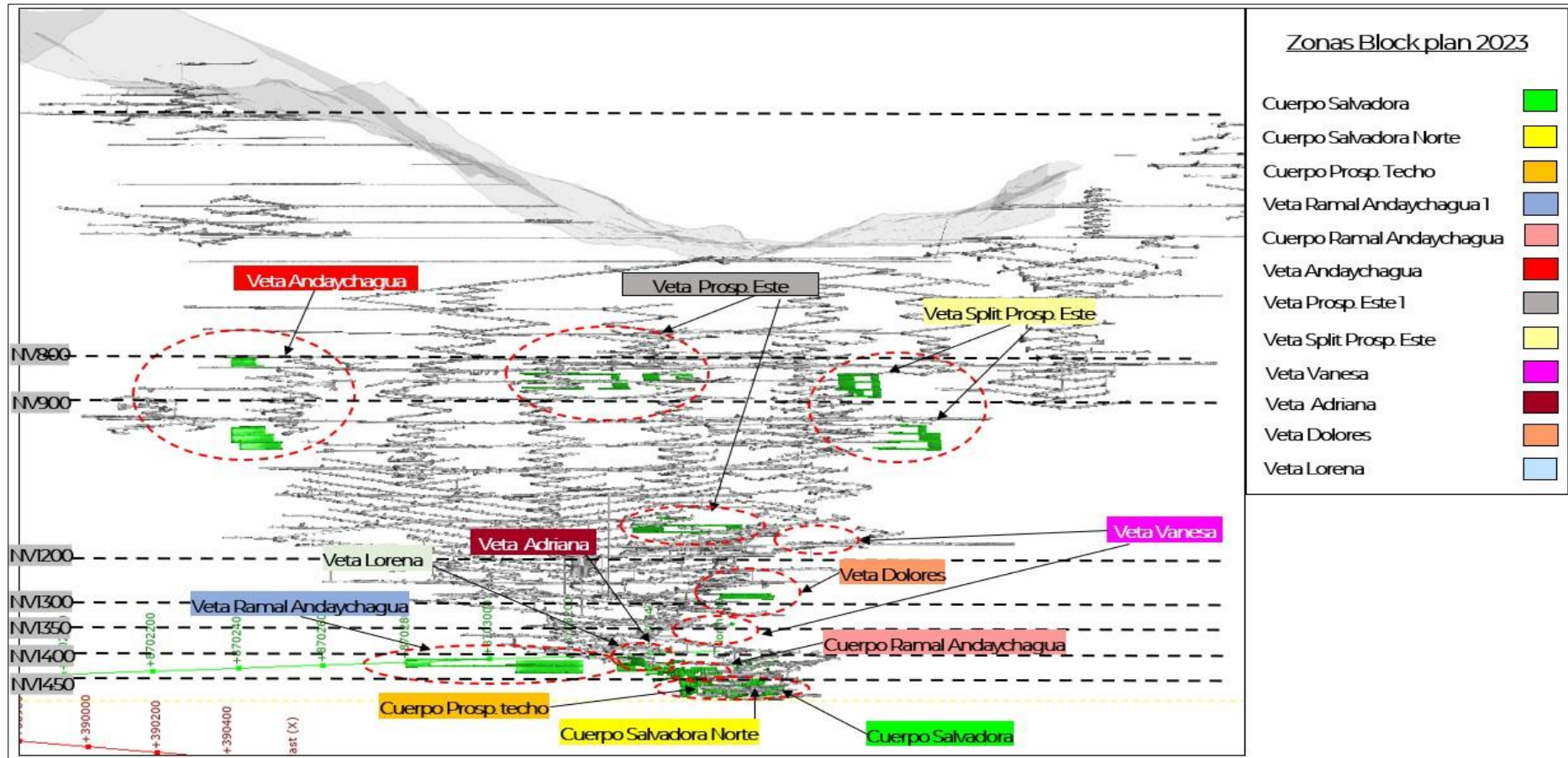
Estructuras	Método de minado	Etapas	Características Geológicas	Características Geomecánicas
Cuerpo Salvadora Norte	SLS	Preparación	Cuerpos masivos, sub verticales, con potencias que van de 10 a 20 m.	Emplazado en metavolcánico de regular a buena calidad geomecánica (RMR: 40 a 50).
Cuerpo Prosp. Techo	SLS	Explotación	Vetas de 2 a 10 m de potencia, inclinación de 70 a 80°	La zona mineral presenta una calidad de macizo malo (RMR: 30 a 40), roca de caja en filitas de una calidad muy malo (RMR: 20 a 30)
Veta Andaychagua	SLS	Explotación	-	-
Veta Prosperidad Este1	SLS	Preparación	-	-

Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

Las características generales de las zonas mineralizadas muestran una variabilidad geológica y geomecánica que impacta directamente en la elección del método de extracción y las fases de desarrollo. El Cuerpo Salvadora Norte, en su fase de preparación utilizando el método SLS (Sub Level Stopping), se presenta como un cuerpo masivo subvertical con potencias significativas, ubicado en metavolcánico de calidad geomecánica regular a buena (RMR 40-50), lo que sugiere condiciones de

estabilidad moderadas a altas. Por otro lado, el Cuerpo Prosperidad Techo, durante su fase de explotación también con SLS, se distingue por vetas de menor potencia y alta inclinación, con una calidad del macizo rocoso deficiente (RMR 30-40) en la zona mineralizada y muy deficiente (RMR 20-30) en la roca de caja de filitas, lo que indica una mayor inestabilidad y la necesidad de un sostenimiento más intensivo. Las vetas Andaychagua y Prosperidad Este 1, ambas en fases de explotación y preparación respectivamente con el método SLS, carecen de detalles específicos sobre sus características geológicas y geomecánicas en esta tabla, lo que resalta la necesidad de información adicional para entender sus condiciones particulares. La relación entre la geometría de los cuerpos mineralizados, la calidad del macizo rocoso y el método de extracción utilizado (SLS en todos los casos) sugiere una adaptación de esta técnica a las diversas condiciones encontradas, aunque la notable diferencia en la calidad geomecánica entre el Cuerpo Salvadora Norte y el Cuerpo Prosperidad Techo implica desafíos de estabilidad considerablemente mayores en este último, requiriendo un diseño de excavación y un sistema de sostenimiento meticulosamente planificados y ejecutados.

Figura 6. Vista longitudinal con la ubicación de las zonas de minado 2023



Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

Dominios geomecánicos

Para definir los dominios geomecánicos es necesario establecer los criterios en los que se basa dicha clasificación, tales criterios involucran la caracterización de la roca intacta y macizo rocoso, obtenidos a partir del registro - recolección de datos en campo y análisis de data preexistente, información litológica, estructural y clasificación geomecánicas del macizo rocoso.

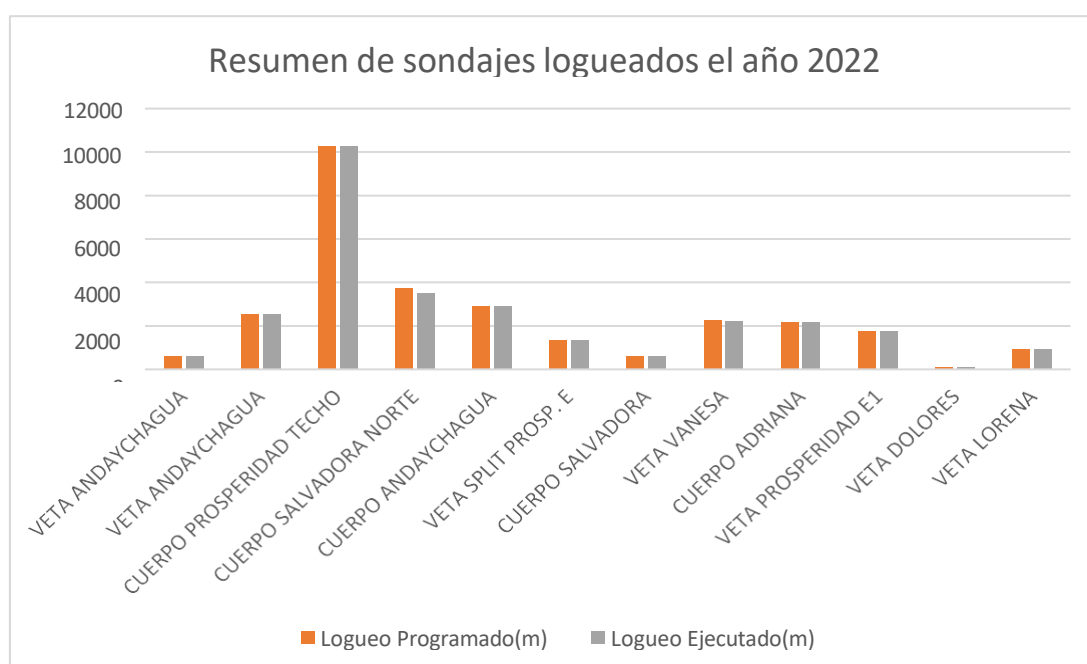
Como parte de los trabajos de campo realizados para la captura de datos del macizo rocoso, se desarrollaron logueos geomecánicos. En la siguiente tabla, se muestra el resumen de sondajes logueados.

Tabla 8. *Resumen de sondajes logueados el año 2022*

ZONA DE ESTUDIO	Nº de Sondajes	Logueo Programado(m)	Logueo Ejecutado(m)
VETA ANDAYCHAGUA	4	586.8	586.8
VETA ANDAYCHAGUA	12	2552.4	2552.4
CUERPO PROSPERIDAD TECHO	57	10258	10248.1
CUERPO SALVADORA NORTE	19	3753.2	3489.2
CUERPO ANDAYCHAGUA	21	2903.5	2903.5
VETA SPLIT PROSP. E	13	1356	1356
CUERPO SALVADORA	5	594.2	594.2
VETA VANESA	12	2258.9	2211.9
CUERPO ADRIANA	12	2186.3	2186.3
VETA PROSPERIDAD E1	13	1773	1773
VETA DOLORES	1	116.9	116.9
VETA LORENA	5	943.3	943.3
Total general	174	29282.5	28961.6

Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

Figura 7. Resumen de sondajes logueados el año 2022



Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

El análisis geomecánico realizado en el tramo de avance de la Veta Principal muestra una variabilidad considerable en las condiciones del macizo rocoso, que está directamente influenciada por los cambios litológicos observados. En la sección dominada por la cuarcita masiva, se destaca una notable competencia, evidenciada por su alta resistencia y un fracturamiento relativamente espaciado, lo que sugiere una buena estabilidad inherente. No obstante, la transición hacia una zona con intercalaciones de esquisto introduce una complejidad geotécnica significativa. La menor resistencia del esquisto y su foliación pronunciada, junto con el aumento en la densidad de fracturas, especialmente las de la Familia 1 que presentan relleno arcilloso y humedad, indican una disminución en la calidad del macizo rocoso y un incremento en la potencial inestabilidad. La existencia de dos familias de fracturas principales, cuya intersección podría dar lugar a bloques susceptibles de desprendimiento, particularmente en el techo de la galería, resalta la necesidad de una evaluación estructural exhaustiva. La estimación preliminar del RMR respalda esta

heterogeneidad, clasificando la cuarcita como roca de buena calidad y la zona de transición como roca de calidad regular, lo que implica diferentes requerimientos de sostenimiento. El sistema de soporte actual, que se basa principalmente en pernos de roca espaciados, podría ser adecuado para la cuarcita competente; sin embargo, la aparición de zonas más débiles y fracturadas, especialmente en contacto con el esquisto, exige una reconsideración de la estrategia de sostenimiento. Además, la posible influencia del agua subterránea en la alteración de las discontinuidades y la movilización del relleno arcilloso también requiere un monitoreo constante. Por lo tanto, se recomienda realizar un análisis de estabilidad más detallado, teniendo en cuenta la geometría de las discontinuidades y la necesidad de aplicar medidas de refuerzo adicionales, como la malla de acero, en las zonas identificadas como más susceptibles, con el fin de asegurar la seguridad y la estabilidad a largo plazo de la excavación.

De manera simplificada, las características litológicas del macizo rocoso circundante a las zonas en estudio son las siguientes:

Tabla 9. Características litológicas por zonas

Zona mineralizada	Características litológicas
Prosperidad Techo y Prosperidad 1	Los cuerpos mineralizados se encuentran emplazados en roca metavolcánica en ambas cajas (piso y techo). También existe la presencia de filitas que por lo general marcan la interrupción de la mineralización.
Andaychagua	La veta Andaychagua está emplazada en una intercalación de roca filita y metavolcánica. Esta intercalación está presente en la caja techo y piso entre los Niveles 1250 a 1275. Como tendencia general, la filita está presente en la caja techo alejada.
Salvadora y Salvadora Norte	Se encuentra emplazada en rocas metavolcánicas y fillitas, respectivamente en los sectores SW y NE del cuerpo mineralizado.
Prosperidad Este	La veta prosperidad este se encuentra emplazada principalmente en Volcánicos del grupo Mitu (dacítico) con un menor porcentaje de presencia de Metavolcánico en ambas cajas.

Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

La zona mineralizada de Prosperidad Techo y Prosperidad 1, al igual que Salvadora y Salvadora Norte, se distingue por un encajonamiento predominante en roca metavolcánica, tanto en el piso como en el techo de los cuerpos mineralizados.

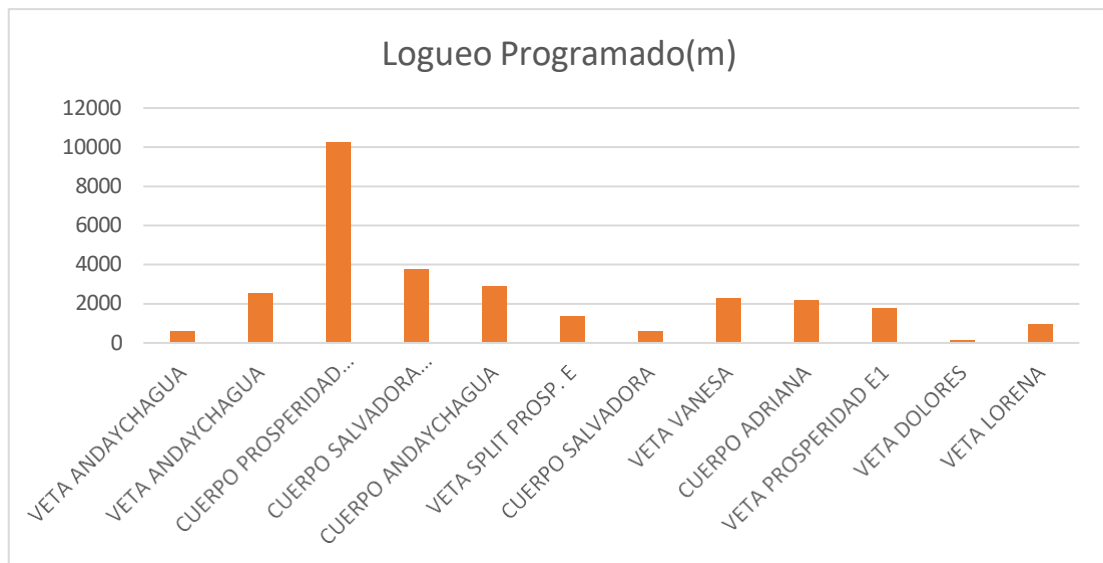
La existencia de filitas, aunque generalmente indica la interrupción de la mineralización, es un factor litológico crucial a tener en cuenta para la continuidad y geometría de los depósitos. En contraste, la veta Andaychagua presenta un entorno geológico más variado, situada en una intercalación de filitas y metavolcánicos, especialmente evidente entre los niveles 1250 y 1275. La tendencia general de la filita a encontrarse en la caja techo, aunque distante, podría afectar la estabilidad de esa área. La veta Salvadora y Salvadora Norte muestran una dualidad en su encajonamiento, con rocas metavolcánicas predominando en el sector suroeste y filitas en el noreste, lo que sugiere posibles variaciones en las propiedades geomecánicas a lo largo de su extensión. Por último, la veta Prosperidad Este se caracteriza por su ubicación principal en volcánicos dacíticos del Grupo Mitu, con una presencia menor pero significativa de metavolcánicos en ambas cajas, lo que podría otorgarle características geomecánicas particulares influenciadas por la interacción de estas rocas ígneas. Esta diversidad litológica en las distintas zonas mineralizadas de la mina Andaychagua resalta la necesidad de una caracterización geomecánica detallada para cada una, considerando la influencia de las rocas metavolcánicas, las filitas (como posibles planos de debilidad) y la presencia de diferentes tipos de rocas ígneas en la estabilidad y el diseño del sostenimiento de las excavaciones.

Dominios estructurales

Se ha realizado la actualización del modelo estructural de la mina Andaychagua, para ello se ha considerado como base el modelo entregado por la Empresa E-Mining Technology S.A. El modelo se respalda en los siguientes:

- Recopilación de información estructural a partir de logeo geomecánico con un total de 237 sondajes con un avance de 38586.55 m, y planos geomecánicos/estructurales por niveles de cada zona de estudio.

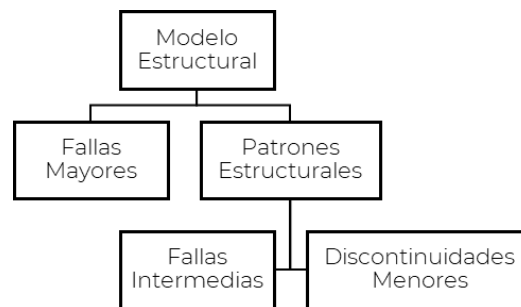
Figura 8. Avance de logeo geomecánico por zonas



Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

- Procesamiento geoespacial y construcción de bases de datos estructurales.

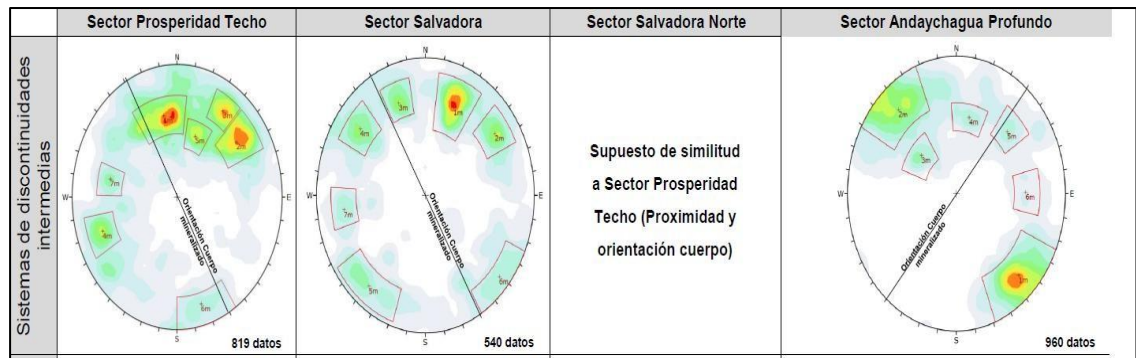
Figura 9. Esquema de construcción de modelo estructural



Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

- Definición de los dominios estructurales (patrones estructurales) de los sectores de estudio.

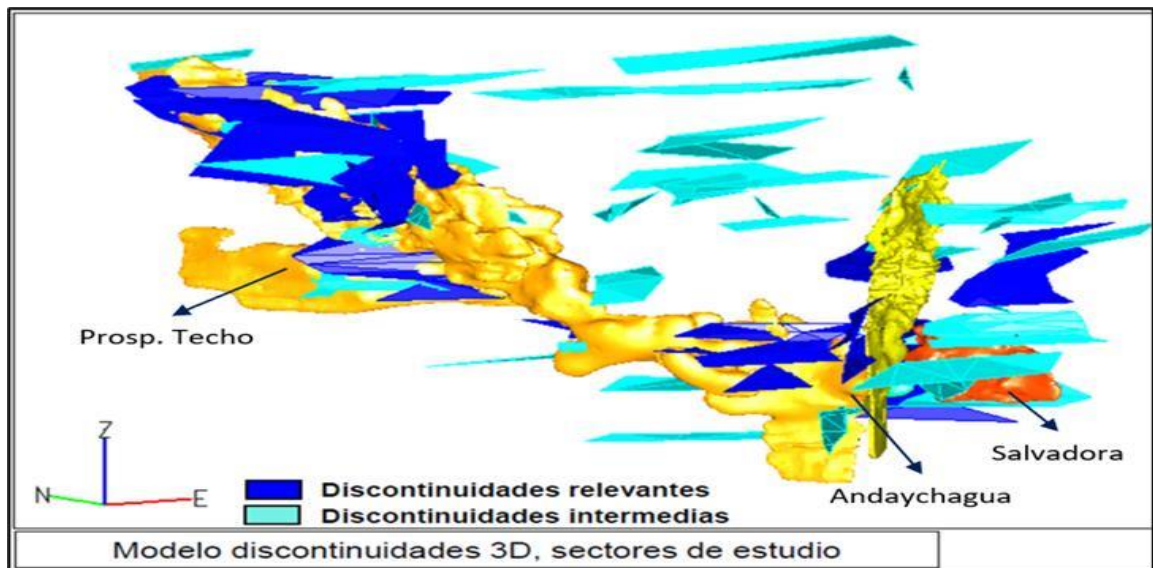
Figura 10. Dominios estructurales para discontinuidades intermedias – Prosp. Techo, Salvadora y Andaychagua.



Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

- Construcción de geometrías 3D de fallas, construcción de trazas de discontinuidades a partir de información estructural provenientes de estructuras 3D de mapeos de las labores y base de datos con información geológica.

Figura 11. Modelo de discontinuidades 3D (relevantes e intermedias) – zona de Profundización.



Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

Propiedades físicas y mecánicas de los materiales

A continuación, se presenta el avance y análisis de resultados de los ensayos de laboratorio. En la siguiente Tabla se muestran los ensayos realizados, cantidad y distribución por zonas:

Tabla 10. Características litológicas por zonas

Tipo Ensayo	Requerimiento		Zona		
	#Ensayo/ Litología	Muestras mín. requeridas	Andaychagua	Prosperidad I	Prosperidad Techo
UCS	6	12	16	18	38
Triaxial	8	64	80	82	77
Corte Directo	5	10	16	11	13

Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

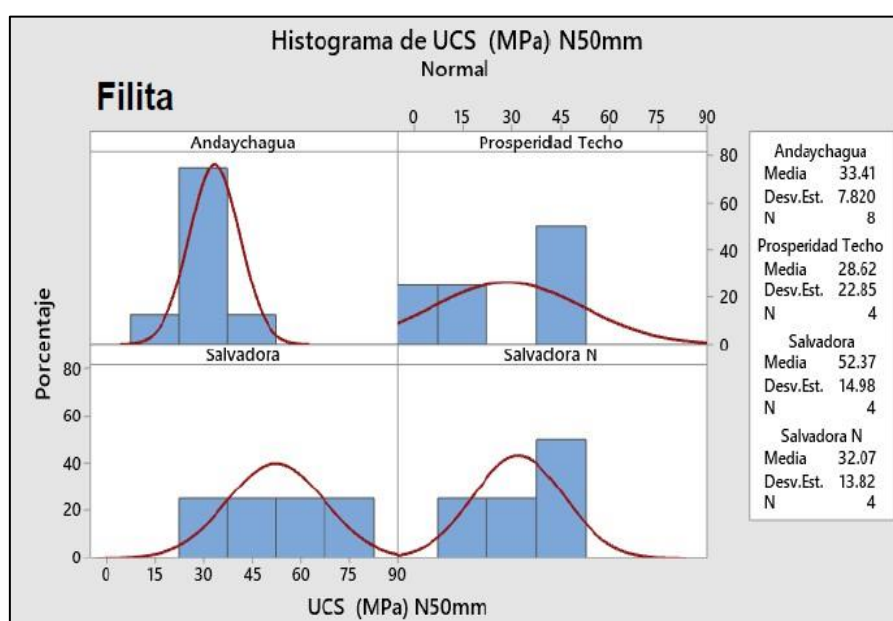
El análisis de los datos provenientes de ensayos de laboratorio, organizados por áreas mineralizadas, pone de manifiesto variaciones en las tendencias litológicas y de resistencia que afectan de manera directa la caracterización geomecánica. En Andaychagua, aunque se cuenta con una muestra relativamente menor para UCS y corte directo, la representación significativa en triaxial, junto con la intercalación de filitas y metavolcánicos, sugiere una anisotropía en la resistencia y el comportamiento bajo diferentes regímenes de esfuerzo. Prosperidad I, que presenta un mayor número de muestras para los tres tipos de ensayos y está principalmente ubicada en metavolcánico, probablemente mostrará una mayor homogeneidad y resistencia en comparación con Andaychagua. Prosperidad Techo, con el mayor número de muestras para UCS y triaxial, también en metavolcánico, podría exhibir la mayor resistencia a la compresión simple y un comportamiento predecible bajo esfuerzos confinados. Salvadora y Salvadora Norte, con un número intermedio de muestras, reflejan la dualidad litológica (metavolcánico y filitas), anticipando una variabilidad en la resistencia y las propiedades de corte directo según el predominio de cada litología en las muestras analizadas. Finalmente, Prosperidad

Este, que cuenta con la mayor cantidad de muestras para corte directo y una representación considerable en UCS y triaxial, ubicada principalmente en volcánicos dacíticos, podría mostrar una alta resistencia al corte, influenciada por la naturaleza ígnea de la roca, aunque la presencia minoritaria de metavolcánico podría introducir

cierta heterogeneidad. Esta distribución de ensayos por zona, teniendo en cuenta las características litológicas previamente mencionadas, permitirá una caracterización geomecánica más precisa y localizada para determinar el tipo de sostenimiento adecuado en cada sector de la mina Andaychagua.

En la Figura 12 y Figura 13, se muestra el análisis estadístico de los resultados de ensayos UCS para litología de Filita y Metavolcánico respectivamente. Mientras que en las Figura 14 y Figura 15, se muestra el análisis estadístico de la Influencia Anisotropía en ensayos UCS sobre muestras de Filita y Metavolcánico respectivamente.

Figura 12. Análisis de resultados UCS en Filita



Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

Tabla 11. Análisis de resultados UCS en Filita

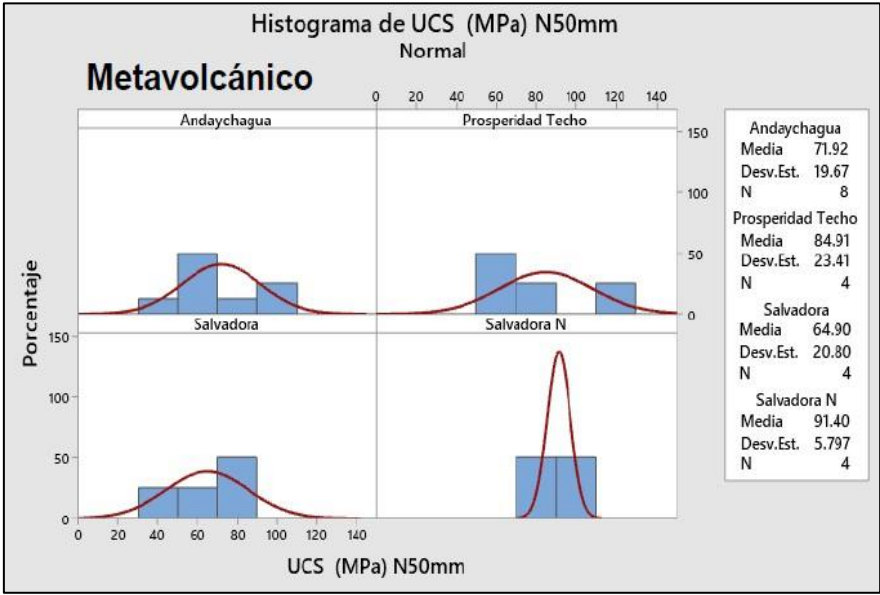
Resumen de UCS (Mpa)		
Zona	Media	Desv. Est
Andaychagua	33.41	7.82
Prosperidad techo	28.62	22.85
Salvadora Norte	32.07	13.82

Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

El estudio de los resultados de la Resistencia a la Compresión Uniaxial (UCS) en muestras de filita, clasificado por áreas mineralizadas, muestra una variabilidad considerable en la resistencia promedio y la dispersión de los datos. En la región de Andaychagua, la filita presenta una resistencia media de 33.41 MPa con una desviación estándar relativamente baja de 7.82 MPa, lo que indica una mayor homogeneidad en la resistencia de la filita en esta zona. En contraste, la filita de la región de Prosperidad Techo muestra una resistencia media notablemente inferior de 28.62 MPa, con una desviación estándar considerablemente alta de 22.85 MPa. Esta alta dispersión sugiere una gran heterogeneidad en la resistencia de la filita en Prosperidad Techo, con muestras que varían ampliamente desde valores muy bajos hasta relativamente altos. Por otro lado, la filita de la región de Salvadora Norte presenta una resistencia media de 32.07 MPa, similar a la de Andaychagua, pero con una desviación estándar intermedia de 13.82 MPa, lo que implica una variabilidad moderada en su resistencia. Estas diferencias en la resistencia media y la homogeneidad de la filita entre las distintas áreas mineralizadas de la mina Andaychagua son fundamentales para la caracterización geomecánica y la planificación del sostenimiento. La menor resistencia promedio y la alta variabilidad en Prosperidad Techo sugieren una mayor susceptibilidad a la inestabilidad y la necesidad de sistemas de soporte más robustos y adaptativos en esa área. La mayor homogeneidad observada en Andaychagua podría permitir un enfoque de sostenimiento más consistente para las estructuras construidas en filita, mientras que Salvadora Norte requeriría una consideración de la variabilidad moderada en su resistencia. En general, estos resultados subrayan la importancia de una caracterización geomecánica detallada y específica por áreas, incluso dentro del

mismo tipo de roca, para optimizar la seguridad y eficiencia de las operaciones mineras.

Figura 13. *Análisis de resultados UCS en Metavolcánico.*



Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

Tabla 12. *Análisis de resultados UCS en Metavolcánico.*

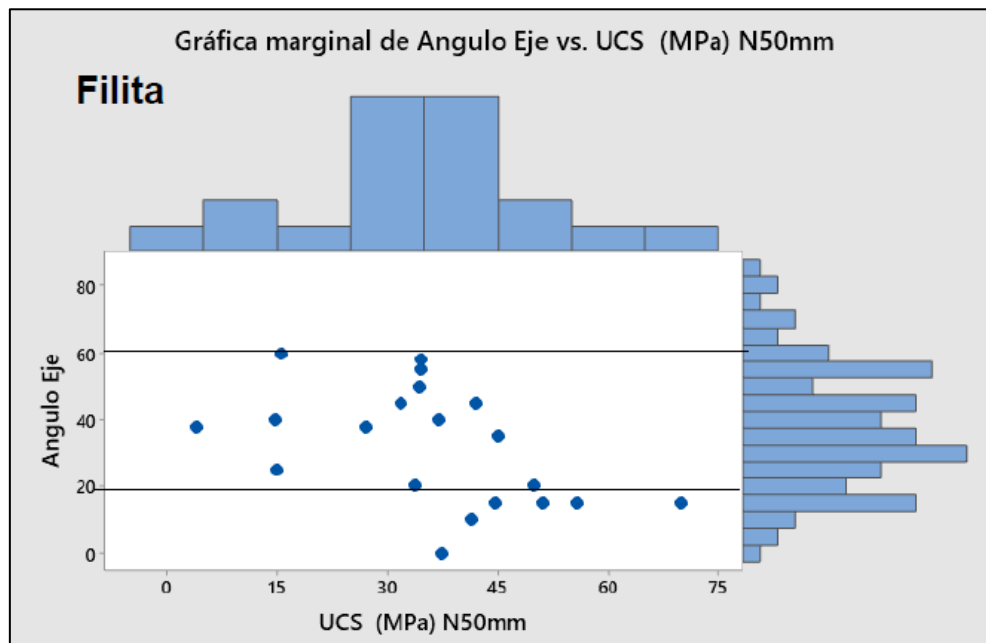
Resumen de UCS (Mpa)		
Zona	Media	Desv. Est
Andaychagua	71.92	19.67
Prosperidad techo	84.91	23.41
Salvadora Norte	91.40	5.797

Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

El estudio de los resultados de la Resistencia a la Compresión Uniaxial (UCS) en muestras de metavolcánico, diferenciadas por áreas mineralizadas, muestra un panorama de resistencias generalmente más elevadas y una variabilidad que, aunque presente, revela matices interesantes entre las distintas zonas. En la región de Andaychagua, el metavolcánico presenta una resistencia media de 71.92 MPa, con una desviación estándar de 19.67 MPa, lo que indica una dispersión moderada en los valores de resistencia, sugiriendo cierta heterogeneidad dentro de esta litología en dicha área. Prosperidad Techo muestra una resistencia media superior, alcanzando los 84.91

MPa, con una desviación estándar de 23.41 MPa, lo que implica una variabilidad ligeramente mayor que en Andaychagua, a pesar de que la resistencia promedio sea más alta. La zona de Salvadora Norte se destaca por tener la mayor resistencia media de metavolcánico, con 91.40 MPa, y una desviación estándar notablemente baja de 5.797 MPa. Esta baja dispersión sugiere una gran homogeneidad en la resistencia del metavolcánico en Salvadora Norte, indicando un comportamiento mecánico más predecible. Estas diferencias zonales en la resistencia y homogeneidad del metavolcánico son cruciales para la planificación del sostenimiento. La mayor resistencia promedio en Salvadora Norte podría permitir diseños de soporte menos intensivos, mientras que las áreas de Andaychagua y Prosperidad Techo, con menor resistencia media y mayor variabilidad, podrían requerir sistemas más robustos y una consideración más detallada de las posibles fluctuaciones en la competencia del macizo rocoso. En conjunto, estos resultados enfatizan la necesidad de una caracterización geomecánica específica por zona, incluso dentro de la misma litología, para optimizar la seguridad y la eficiencia de las operaciones mineras, adaptando las estrategias de sostenimiento a las condiciones locales del macizo rocoso metavolcánico.

Figura 14. *Análisis de resultados UCS de Filita – Influencia Anisotropía*

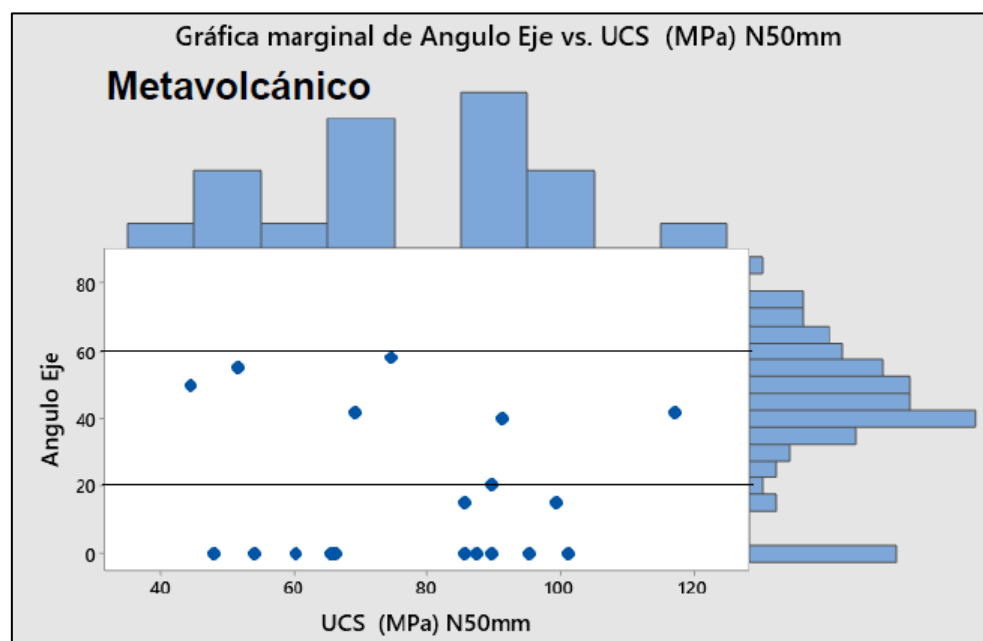


Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

La filita, que presenta una anisotropía intrínseca debido a su foliación planar, muestra una resistencia a la compresión uniaxial (UCS) que varía considerablemente según la orientación de sus planos de debilidad en relación con la carga aplicada. Cuando la carga se aplica de manera perpendicular a la foliación, la filita tiende a exhibir una mayor resistencia, aprovechando la cohesión entre sus capas más competentes. En contraste, al aplicar la carga de forma paralela o sub-paralela a la foliación, la resistencia disminuye notablemente, facilitando el deslizamiento o la fractura a lo largo de estos planos de esquistosidad inherentes. La magnitud de esta anisotropía está influenciada por la intensidad del desarrollo de la foliación, la composición mineralógica entre las capas, el grado de alteración hidrotermal y la presencia de otras discontinuidades que intersectan o interactúan con la estructura foliada. En el contexto de la mina Andaychagua, esta propiedad anisotrópica de la filita tiene implicaciones directas en la estabilidad de las excavaciones subterráneas. Las áreas donde la foliación se orienta desfavorablemente con respecto al campo de esfuerzos inducido por la minería son más propensas a fallas, deformaciones

excesivas o desprendimientos, lo que compromete la seguridad y la eficiencia de las operaciones. Por lo tanto, la interpretación de los resultados de los ensayos UCS en filita debe ir acompañada de un registro meticuloso de la orientación de la foliación de cada muestra ensayada. Esta correlación entre la orientación de la foliación y la resistencia permitirá establecer criterios de diseño de sostenimiento que consideren esta anisotropía fundamental, optimizando la estabilidad de las excavaciones en las áreas donde la filita es un componente significativo del macizo rocoso.

Figura 15. *Análisis de resultados UCS de Metavolcánico – Influencia Anisotropía*

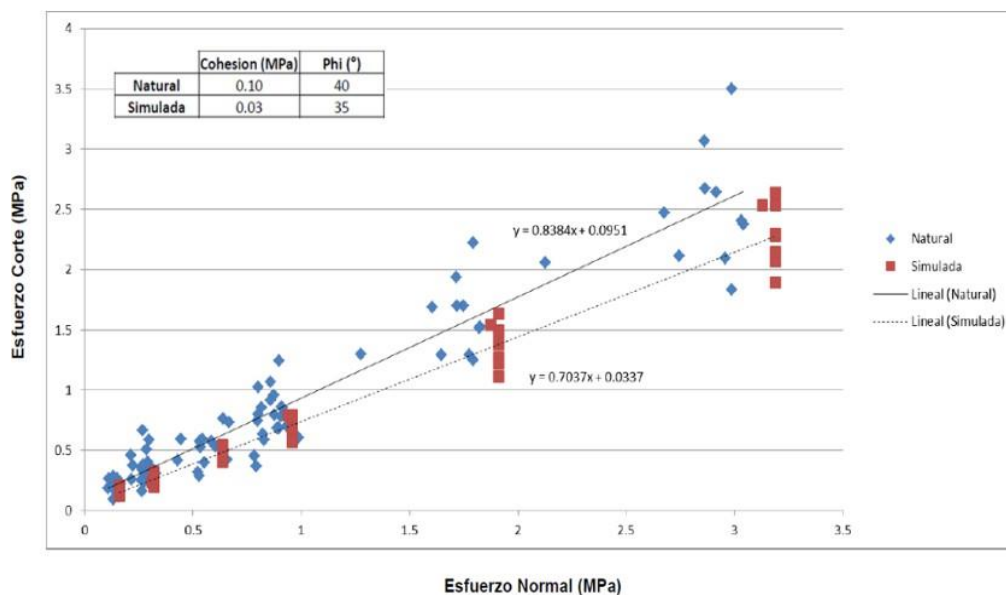


Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

Aunque el metavolcánico es generalmente considerado competente, puede presentar anisotropía en su Resistencia a la Compresión Uniaxial (UCS), aunque en un grado menor que las rocas foliadas. Esta anisotropía puede surgir de estructuras primarias como flujos de lava o la alineación de minerales durante la cristalización, lo que genera variaciones sutiles en la resistencia dependiendo de la dirección de la carga. La deformación tectónica también puede inducir fracturas preferenciales o foliación incipiente, creando planos de debilidad que disminuyen la resistencia bajo

cargas paralelas. Además, vetillas de alteración mineral orientadas o heterogeneidad mineralógica no aleatoria pueden introducir anisotropía. En la mina Andaychagua, aunque en menor medida que en filitas, esta anisotropía en el metavolcánico es significativa para la estabilidad de las excavaciones. Estructuras geológicas o alineaciones preferentes pueden provocar variaciones en la resistencia en función de los esfuerzos mineros. Por lo tanto, al interpretar ensayos UCS en metavolcánicos, es fundamental registrar cualquier indicio macroscópico de anisotropía, como lineaciones o fracturas preferenciales. Aunque menos predominante, tener en cuenta esta anisotropía mejora los modelos geomecánicos y optimiza el diseño de sostenimiento para garantizar una mayor seguridad y eficiencia operativa.

Figura 16. *Análisis de ensayos de corte directo en discontinuidades. naturales y simuladas (condición residual)*



Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

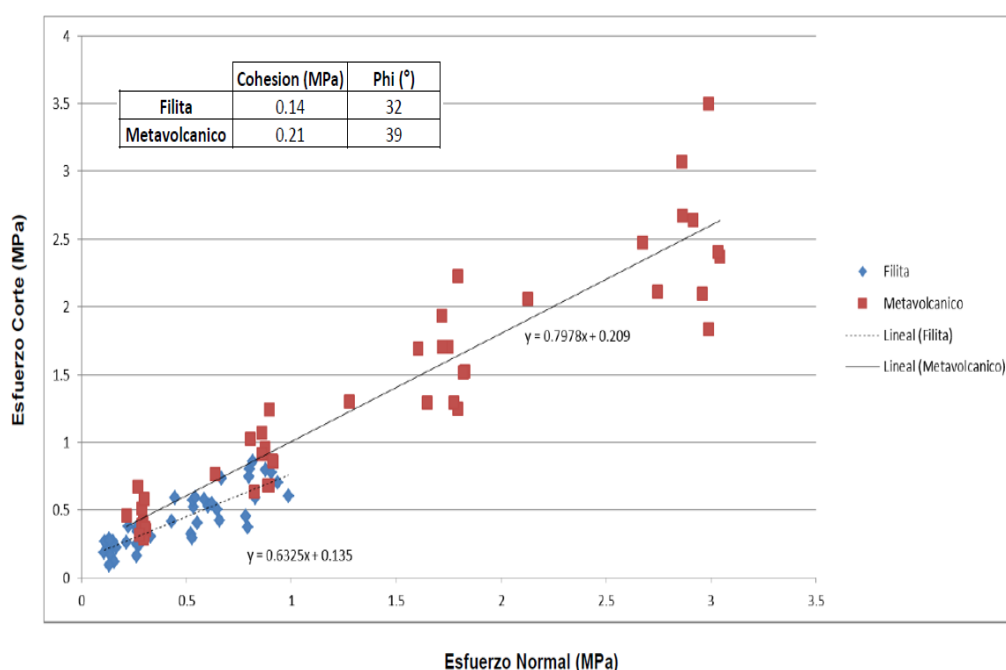
Las muestras naturales presentan mayor resistencia al corte, reflejada en una mayor cohesión y ángulo de fricción, lo que indica una roca más competente y estable.

Las muestras simuladas (probablemente compuestas o alteradas artificialmente para análisis) muestran menor resistencia, lo cual puede ser útil para modelar condiciones conservadoras o de peor escenario.

Este análisis ayuda a definir el tipo de sostenimiento necesario: En zonas donde predomina el comportamiento natural, podría requerirse menos sostenimiento.

En dominios donde el comportamiento simulado representa mejor las condiciones, se requerirá mayor refuerzo (pernos, mallas, shotcrete).

Figura 17. *Análisis de ensayos de corte directo por litología (condición residual)*



Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

Con la información obtenida a partir de logeos geomecánicos, propiedades de resistencia de roca intacta, se realizó la definición de dominios geomecánicos.

Con el fin de clasificar la masa rocosa, se emplean los sistemas de clasificación: RMR, Q y GSI. La Tabla 13 contiene el criterio de Bieniawski (1989) con el rango de RMR por tipo de roca. La Tabla 14 muestra la clasificación Q de Barton con el tipo de roca y valores mínimos y máximos. Asimismo, se emplea la clasificación GSI de Hoek&Marinos.

Tabla 13. *Clasificación geomecánica mediante sistema RMR89*

Rango RMR	Calidad según RMR	Color
> 50	Bueno	
40 – 50	Regular	
30 – 40	Malo	
20 – 30	Muy Malo	
< 20	Extremadamente Malo	

Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

La evaluación geomecánica del macizo rocoso a través del sistema RMR89 ofrece un análisis cuantitativo de su calidad, lo que permite deducir su comportamiento y las necesidades de sostenimiento. Un RMR superior a 50 se considera como una calidad 'Buena', indicando una roca competente con discontinuidades espaciadas y generalmente favorables, lo que sugiere una mayor estabilidad inherente y la posibilidad de implementar sistemas de sostenimiento menos intensivos o incluso secciones sin sostenimiento en excavaciones de menor tamaño. Al descender al rango de 40 a 50, la calidad se clasifica como 'Regular', lo que indica un macizo rocoso con discontinuidades más frecuentes y condiciones que pueden requerir un sostenimiento sistemático ligero a moderado para asegurar la estabilidad a largo plazo. El rango de 30 a 40 califica el macizo rocoso como 'Malo', lo que implica la presencia de numerosas discontinuidades, con condiciones desfavorables y una resistencia general reducida, lo que exige sistemas de sostenimiento más robustos y espaciados para controlar la deformación y prevenir fallas. Al entrar en el rango de 20 a 30, la calidad 'Muy Mala' advierte sobre un macizo rocoso altamente fracturado, con discontinuidades persistentes y débiles, que requieren un sostenimiento pesado e inmediato para garantizar la estabilidad de las excavaciones y la seguridad del personal. Finalmente, un RMR inferior a 20 clasifica el macizo rocoso como 'Extremadamente Malo', representando condiciones geotécnicas muy desfavorables, con roca prácticamente desintegrada o intensamente fracturada,

donde la excavación presenta desafíos significativos y requiere métodos de sostenimiento muy especializado y continuo para mantener la integridad de las labores mineras. Así, el sistema RMR89 se convierte en una herramienta fundamental para la toma de decisiones en el diseño de excavaciones y en la elección de estrategias de sostenimiento que se ajusten a la calidad particular del macizo rocoso presente en las diversas áreas de la mina.

Tabla 14. *Clasificación geomecánica mediante sistema Q de Barton*

Tipo de roca	Clasificación	
	Q _{mínimo}	Q _{máximo}
Bueno	10	40
Regular	4	10
Malo	1	4
Muy Malo	0.1	1
Extremadamente Malo	0.001	0.1

Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

El sistema Q de Barton para la clasificación geomecánica evalúa la calidad del macizo rocoso mediante un índice que toma en cuenta la calidad del núcleo de perforación (RQD), el número de familias de discontinuidades (J_n), la rugosidad de las discontinuidades (J_r), la alteración de las discontinuidades (J_a), la presencia de agua subterránea (J_w) y el factor de reducción de esfuerzos (SRF). Un índice Q que varía entre 10 y 40 se considera como indicativo de una calidad de roca 'Buena', sugiriendo un macizo rocoso competente con fracturas espaciadas y condiciones favorables, donde la estabilidad es generalmente alta y el sostenimiento requerido es mínimo a moderado. Un rango de Q entre 4 y 10 indica una calidad 'Regular', lo que implica una mayor presencia de discontinuidades con condiciones menos favorables, requiriendo un sostenimiento sistemático ligero para asegurar la estabilidad a largo plazo. Al descender al rango de 1 a 4, la calidad se clasifica como 'Pobre', lo que indica un macizo rocoso con numerosas discontinuidades,

frecuentemente con superficies rugosas o alteradas, y la necesidad de un sostenimiento más robusto y espaciado para controlar la inestabilidad. Un índice Q entre 0.1 y 1 clasifica la calidad como 'Muy Pobre', representando un macizo rocoso altamente fracturado o cizallado, con discontinuidades desfavorables y posible presencia de agua, requiriendo un sostenimiento pesado e inmediato para garantizar la estabilidad de las excavaciones. Finalmente, un Q inferior a 0.1 se interpreta como calidad 'Extremadamente Pobre', caracterizando un macizo rocoso prácticamente desintegrado o con fallas activas, donde la estabilidad es crítica y se requieren métodos de sostenimiento muy especializado y continuo para mantener la integridad de las labores mineras. El sistema Q, al integrar elementos vinculados a las discontinuidades y las condiciones de esfuerzo, ofrece una perspectiva completa sobre la calidad del macizo rocoso, facilitando la toma de decisiones en el diseño de excavaciones y la elección de estrategias de sostenimiento adecuadas a las condiciones particulares presentes en la mina.

Figura 18. Clasificación GSI

INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICO GSI (Hoek & Marinos, 2000). A partir de la litología, estructura y la condición de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio de GSI. No intente ser muy preciso. Escoger un rango de 33 a 37 es mas realista que fijar GSI=35. También notar que esta tabla no se aplica a mecanismos de falla controlado por estructuras. Donde se presenten planos estructuralmente débiles en una orientación desfavorable con respecto a la cara de la excavación, estos dominarán el comportamiento del macizo rocoso. La resistencia al corte de las superficies en rocas que son propensas a deteriorarse como resultado de cambios en la humedad, se reducirá cuando exista presencia de agua. Cuando se trabaje con rocas de categoría regular a muy mala, puede moverse hacia la derecha para condiciones húmedas. La presión de poros se maneja con un análisis de esfuerzos efectivos.		CONDICIONES SUPERFICIALES				
ESTRUCTURA		DISMINUYE CALIDAD DE SUPERFICIE →				
		MUY BUENA Muy rugoso. Superficies frescas sin meteorización	BUENO Rugoso, ligeramente meteorizada, superficies con óxido.	REGULAR Lizas, moderadamente meteorizadas y superficies alteradas.	MALA Espejo de falla, altamente meteorizadas con recubrimiento compacto o rellenos o fragmentos	MUY MALA Espejo de falla, superficies altamente meteorizadas con recubrimiento de arcilla suave o rellenos
 Intacta o Masivo: Especímenes de roca intacta o masivo in situ con pocas discontinuidades ampliamente espaciadas.  Levemente fracturado: Macizo rocoso no disturbado, muy bien entrelazado, constituido por bloques cúbicos formados por tres familias de discontinuidades.  Moderadamente Fracturado: Entrelazado, macizo rocoso parcialmente disturbado con bloques angulosos de varias caras formado por 4 o mas familias de discontinuidades.  Muy Fracturado/Disturbado/Agrietada: Foleada con bloques angulosos formados por la intersección de muchas familias de discontinuidades. Persistencia de planos de estratificación o esquistocidad.  Desintegrado: Pobremente entrelazado, macizo altamente fracturado compuesto de una mezcla de pedazos de rocas angulosas y redondeadas.  Foliado/Laminado/Cizallado: Falta de formación de bloques debido al pequeño espaciamiento o esquistocidad débil o planos de corte	DISMINUYE EL ENTRELAZADO DE PEDAZOS DE ROCA ↓	90			N/A	N/A
		80	70			
			60			
				50		
				40		
					30	
					20	
		N/A	N/A			10

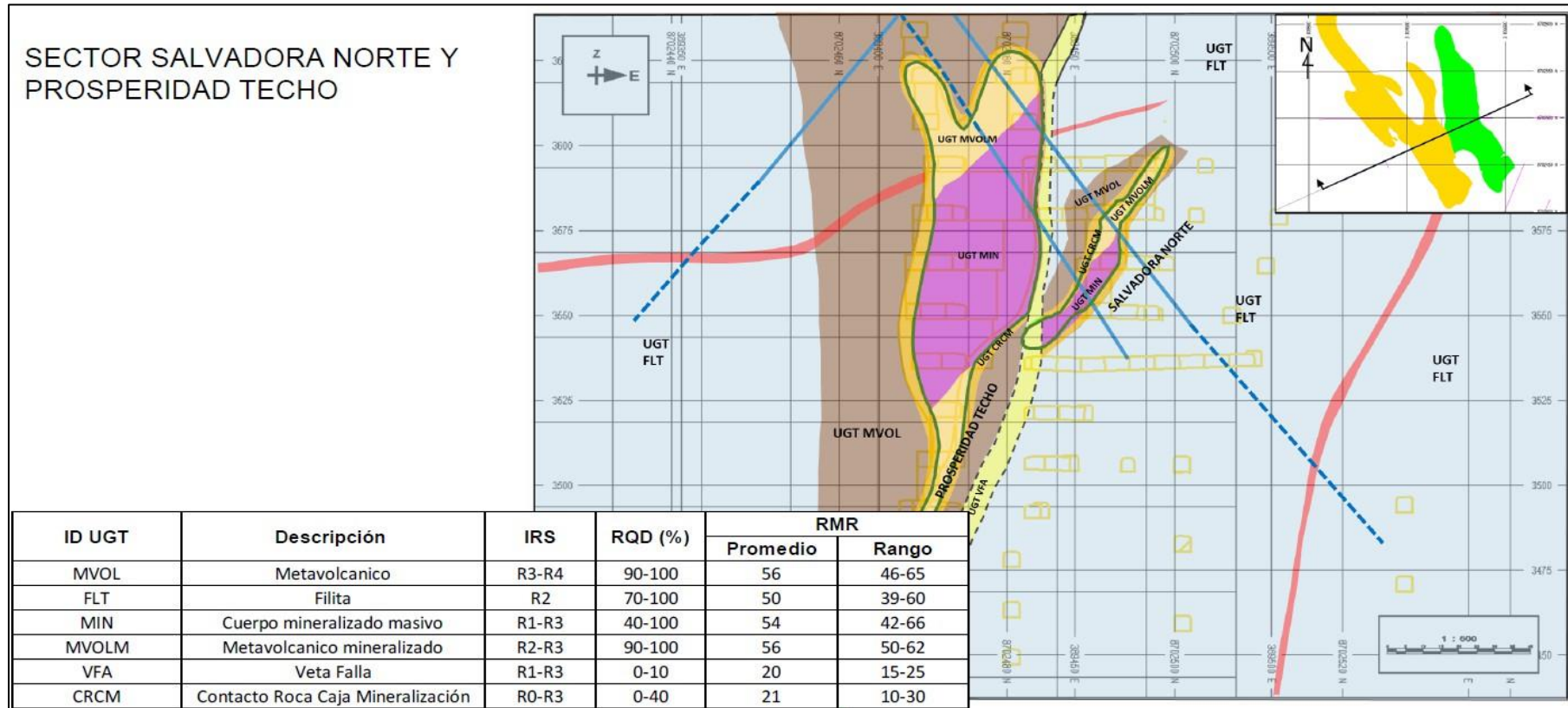
Fuente: Hoek & Marinos (2000)

Por otro lado, se definieron las propiedades de resistencia de los materiales que fueron sometidos al modelamiento numérico, los cuales fueron definidos por el modelo geomecánicos, tales como Filita, Metavolcánico, Mineral, Zonas de Alto Fracturamiento, etc. Previamente, se definió el criterio de rotura de cada material a evaluarse.

Para el caso de Andaychagua, se han llevado a cabo campañas de muestreo y ensayos de laboratorio en concordancia con lo establecido por la Guía Básica Geomecánica para definir las propiedades de resistencia de los distintos materiales de la mina. Los ensayos de laboratorio fueron desarrollados por Geomecánica Latina, dichos resultados fueron trabajos y analizados de manera estadística por EMINING para definir los dominios geomecánicos.

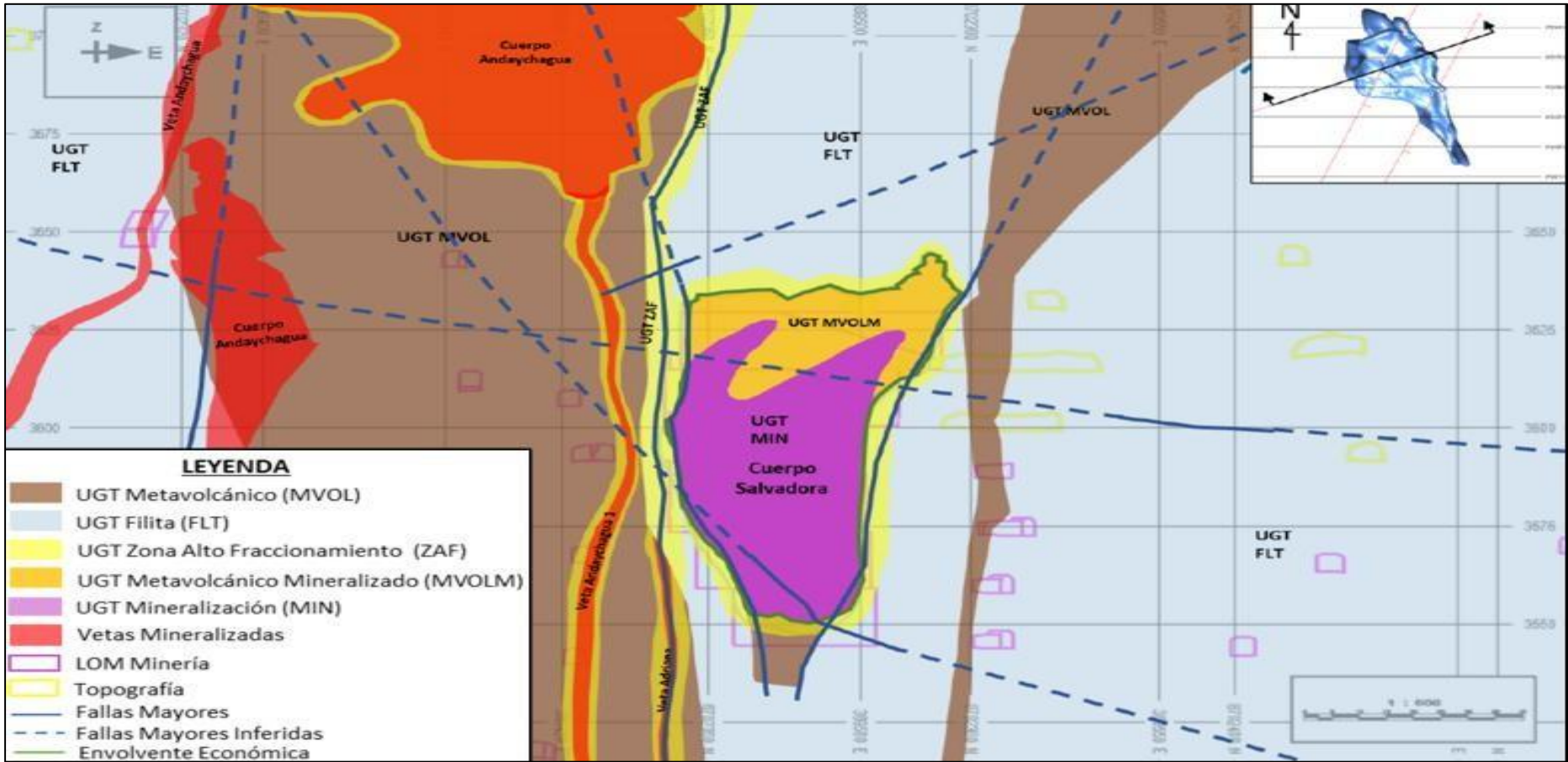
Mapa geomecánico según los dominios geomecánicos

Figura 19. Sección geotécnica transversal – Salvadora Norte y Prosperidad Techo.



Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

Figura 20. Categoría de sostenimiento a partir de Q de Barton



Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

Diseño de sistema de sostenimiento

Propiedades del sostenimiento

Las propiedades del sostenimiento deben estar disponibles y actualizadas de acuerdo con información técnica proporcionada por los proveedores, ensayos de laboratorios y pruebas de campo realizados para validar las propiedades físicas y de resistencia lograda por los elementos de sostenimiento.

Tabla 15. *Propiedades de los elementos de sostenimiento*

ELEMENTO	PROPIEDAD CARACTERÍSTICA	Und	Dato Especificaciones Técnicas	Dato Ensayo de Laboratorio y/o Campo
PERNOS EXPANSIVO (OMEGA BOLT)	Carga en el límite elástico	kN	100	120, Desvt. 10
	Carga de rotura característica	kN	130	
	Carga última nominal	kN	120	
	Alargamiento de rotura característico	%	15	
	Alargamiento de rotura nominal	%	10	
	Diámetro externo de perfil	mm	27.5	36
	Diámetro externo del tubo original	mm	41	
	Espesor de la pared	mm	2	
	Diámetro del barreno óptimo	mm	35-38	
	Presión de inflado	bar	300	
	Longitud de perno	m	2.1	
BARRA HELICOIDAL	Diámetro nominal	mm	22	200, Desvt. 20
	Carga mínima de fluencia	KN	200	
	Carga mínima de tracción	KN	270	
	Peso nominal	Kg/m	2.7	
	Alargamiento en 200 mm, min	%	7	
	Composición química, % máximo de p	%	0.06	
MALLA ELECTROSOLDADA	Tensión última	kgf/mm ²	56	34, Desvt. 2
	Tensión de fluencia	kgf/mm ²	50	
	Dimensión de abertura	cm	10x10	
	Diámetro de barras	mm	5	
	Dimensión de rollo	m	2.02x25	
	Tipos de malla	Galv.	Negra	
SHOTCRETE	Resistencia a la compresión (28 días)	MPa	≥ 25.5	3.3, Desvt. 0.9
	Resistencia inicial (3 horas)	MPa	3	964, Desvt. 213
	Absorción de energía	J	700 - 1000	18 - 22
	Asentamiento (descenso)	cm	18 - 22	
CABLE BOLTING BULBADO	Límite elástico a 0.2% de elongación	kN	212	250, Desvt. 15
	Resistencia a la tracción	kN	250	

ELEMENTO	PROPIEDAD CARACTERÍSTICA	Und	Dato Especificaciones Técnicas	Dato Ensayo de Laboratorio y/o Campo
	Elongación a 600 mm de longitud de referencia	kN	3.5	
	Masa por metro	kg/m	1.13	
	Diámetro nominal de cable	mm	15.2	
	Área transversal del cable acerado	mm ²	143	
	Diámetro del barreno óptimo	mm	35-36	
	Longitudes de cable	m	4, 6,9 y 15	

Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

El estudio de las características de los elementos de soporte pone de manifiesto un conjunto de propiedades mecánicas y dimensionales esenciales para asegurar la estabilidad de las excavaciones en la mina. Los pernos expansivos (Omega Bolt) tienen una carga límite elástico de 100 kN y una carga última nominal de 120 kN, con ligeras variaciones en las pruebas, lo que sugiere una capacidad de soporte predecible dentro de ciertos márgenes. La barra helicoidal, con un diámetro nominal de 22 mm, muestra una carga mínima de fluencia de 200 kN, confirmada por ensayos con desviaciones controladas, lo que la convierte en un componente de alta resistencia para el control de grandes deformaciones. La malla electrosoldada, con una tensión última de 56 kgf/mm² y aberturas de 10x10 cm con barras de 5 mm, proporciona un refuerzo superficial que previene el desprendimiento de pequeñas rocas. El shotcrete, que presenta una resistencia a la compresión a 28 días superior a 25.5 MPa y una resistencia inicial adecuada, demuestra su capacidad para ofrecer soporte temprano y resistencia a largo plazo, con resultados de pruebas que superan las especificaciones técnicas. Por último, el cable bolting bulbado, con un límite elástico de 212 kN y una resistencia a la tracción de 250 kN, corroborada por ensayos, se presenta como un elemento de soporte de alta capacidad para controlar grandes volúmenes de roca potencialmente inestable, ofreciendo longitudes variables para adaptarse a diferentes condiciones geomecánicas. La coherencia entre los datos de las especificaciones

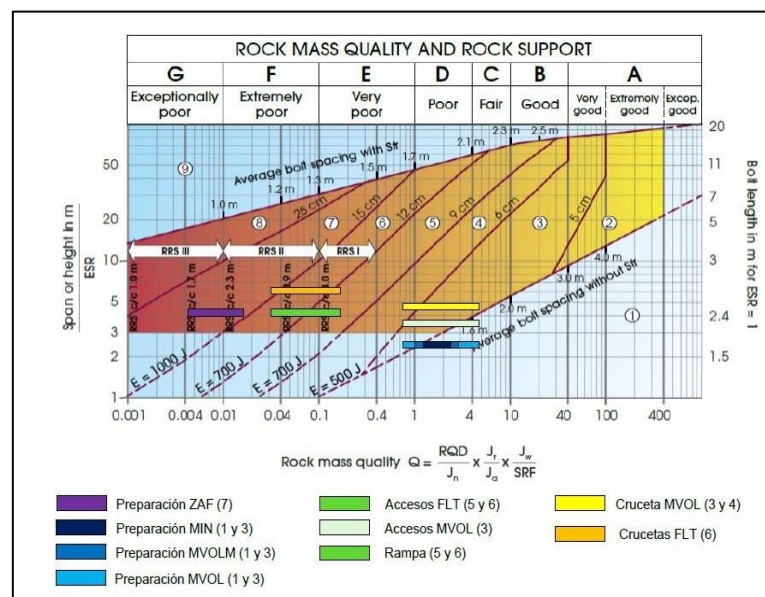
técnicas y los resultados de las pruebas de laboratorio y/o campo para elementos como la carga última nominal del perno, la carga mínima de fluencia de la barra y la resistencia a la tracción del cable bolting, dentro de las desviaciones reportadas, proporciona confianza en la calidad y el rendimiento de estos materiales utilizados para el soporte en la mina.

Tipo y densidad de sostenimiento

El sistema de sostenimiento es diseñado en base a tres metodologías: método empírico, método analítico y método numérico.

- Para el método empírico, se utilizó el gráfico de sostenimiento de Grimstad y Barton, que determina el tipo (elementos) de sostenimiento y la densidad correspondiente (longitud de pernos, espaciado y espesor de shotcrete).

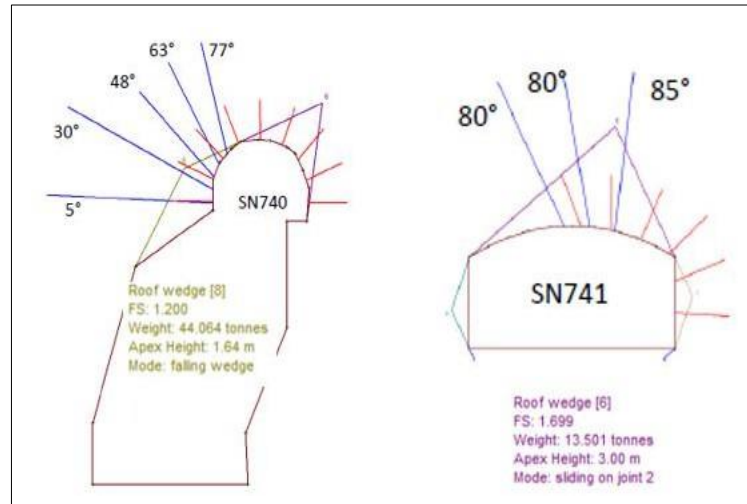
Figura 21. Ejemplo de estimación de soporte para Salvadora usando gráfico de Grimstad y Barton.



Fuente: Grimstad & Barton 1993

- Aplicando el método analítico, empleando el software Unwedge, se realizó el análisis cinemático de cuñas y se determinó el FS de la excavación con la aplicación del sistema de sostenimiento.

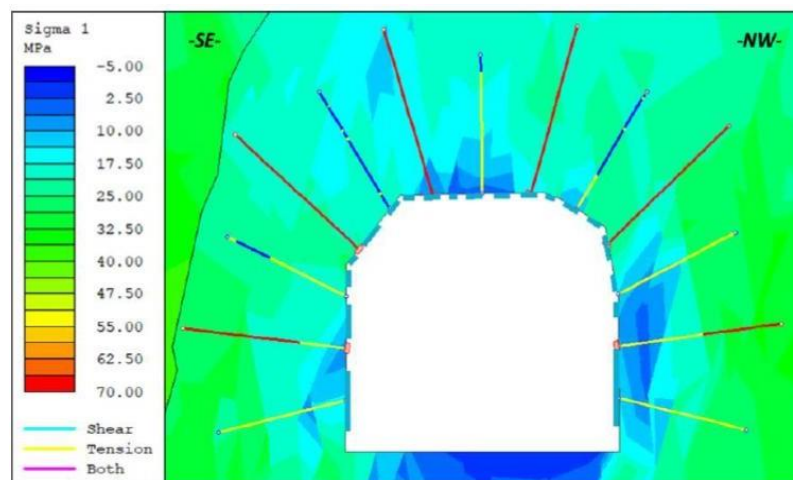
Figura 22. Ejemplo de análisis cinemático de cuñas para el TJ740-741



Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

- Mediante el modelamiento numérico, empleando el software RS2, se determinó el efecto del sistema de sostenimiento sobre los esfuerzos y deformaciones alrededor de las excavaciones.

Figura 23. Modelamiento numérico del sostenimiento en labor de avance con RS2



Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

El tipo y densidad de sostenimiento se define a partir del análisis del sostenimiento detallado en el punto anterior. Las características por detallar de los elementos de sostenimiento son las siguientes:

Tabla 16. *Características de elementos de sostenimiento por recomendación*

Elemento de sostenimiento	Características
Perno	Tipo de perno
	Longitud de perno
	Espaciado y distribución
Shotcrete	Espesor
	Capacidad de absorción
Cable	Longitud de cable
Malla	Espaciado y distribución
	Tipo de malla

Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

La tabla expone las características sugeridas para los elementos de soporte, ofreciendo una guía para su implementación según las condiciones geomecánicas detectadas. En el caso de los pernos, se indica el tipo a utilizar, la longitud necesaria para lograr un anclaje efectivo en el macizo rocoso competente, así como el espaciado y la distribución requeridos para asegurar un soporte sistemático y controlar la desestabilización de bloques. En relación al shotcrete, se especifica el espesor aconsejado para proporcionar una capa de protección y soporte superficial, además de la capacidad de absorción de energía que debe poseer el hormigón proyectado para resistir posibles deformaciones o cargas dinámicas del terreno. En lo que respecta a los cables, se detalla la longitud necesaria para alcanzar zonas más profundas y estables del macizo rocoso, así como el espaciado y la distribución apropiados para ofrecer un soporte masivo y prevenir fallas a gran escala. Por último, en cuanto a la malla, se especifica el tipo a utilizar, considerando factores como la resistencia y la durabilidad, para confinar la superficie del macizo rocoso entre los pernos o cables y evitar la caída de fragmentos pequeños. Estas recomendaciones, fundamentadas en la caracterización geomecánica previa, tienen como objetivo optimizar la estabilidad de las excavaciones, garantizando la seguridad de las operaciones mineras mediante la aplicación de elementos de soporte con características específicas y

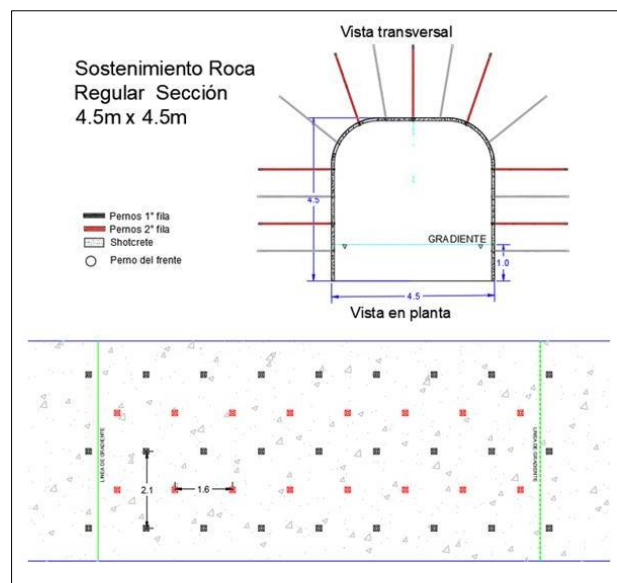
una distribución adecuada a las exigencias del terreno en las distintas áreas de la mina.

Secuencia y tiempo de sostenimiento

El sistema de sostenimiento indica la secuencia, establecida los estándares de sostenimiento ESO-VOL-GEOM-01-02 - Sostenimiento con perno, malla y shotcrete, y ESO-VOL-GEOM-01-07 - Sostenimiento de intersecciones; y el tiempo de aplicación del sostenimiento está definido por el análisis empírico del tiempo de autoaporte, que garantiza que la instalación efectiva del sostenimiento debe ejecutarse antes del cumplimiento de dicho tiempo de autoaporte.

A continuación, se muestra un ejemplo del tipo y secuencia de sostenimiento de labores lineales e intersecciones definidas en los estándares de soporte:

Figura 24. *Sostenimiento de labor en roca regular con sección 4.5x4.5 m*



Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

Sostenimiento Roca Mala y extremadamente mala Sección 4.5m x 4.5m

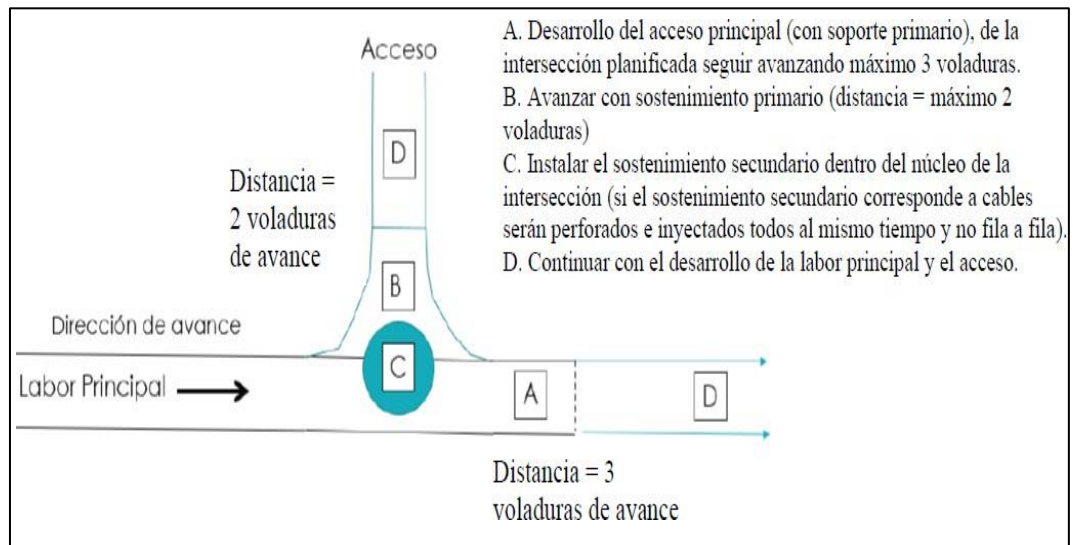
Legend:

- Pernos 1ª fila
- Pernos 2ª fila
- Shotcrete
- Malla
- Perno del frente

Dimensions and labels:

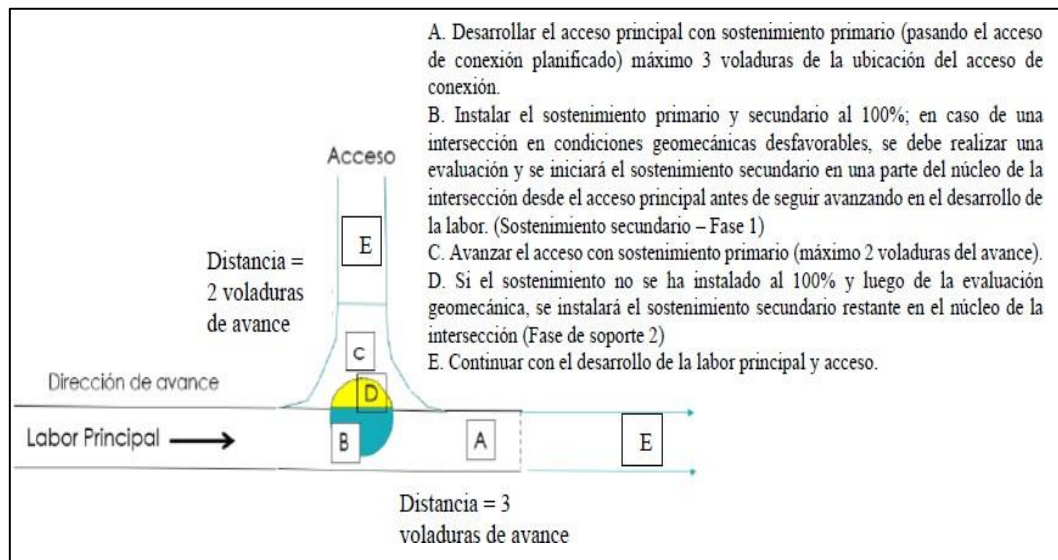
- Vista transversal
- GRADIENTE
- Vista en planta
- 4.5
- 2.1
- 0.2
- 1.0
- 1.2
- 1.2

Figura 26. *Secuencia de sostenimiento de intersección labor con GSI>40 (moderada a buena calidad)*



65

Figura 27. Secuencia de sostenimiento de intersección labor con $GSI < 40$ (mala a muy mala calidad)



Fuente: Compañía Minera Volcan S.A.A. (2023)

Dimensionamiento y recomendaciones

El dimensionamiento de labores se realiza a partir de los métodos empíricos de abertura o span máximo para laboreo minero; método gráfico de estabilidad modificado para tajeos de sublevel stoping; y método empírico de estabilidad de pilares para sill pillar o crown pillar. Asimismo, son reforzados por métodos analíticos y numéricos según los requerimientos establecidos por la determinación de modos de fallas.

En esta sección, fueron definidos las recomendaciones de aberturas máximas, secuencias de minado óptimas, diseño del sistema de sostenimiento (tipo, secuencia, densidad, tiempo de aplicación) y el cumplimiento de los criterios de aceptabilidad correspondientes al proyecto.

Toda esta información es plasmada en el formato de diseño y evaluación geomecánica, la cual es firmada por los Superintendentes de Geomecánica, Planeamiento, Mina, Geología, Seguridad, Mantenimiento, jefe de Mantenimiento Eléctrico, jefe Ventilación y jefe de Perforación y Voladura (o encargados del área).

4.3. Prueba de hipótesis

H0: La identificación de los dominios geomecánicos de la mina Andaychagua no se realizará mediante logueo geomecánico.

H1: La identificación de los dominios geomecánicos de la mina Andaychagua se realizará por mediante logueo geomecánico.

Tabla 17. *Prueba de hipótesis 1*

One-Sample Test						
Test Value = 50						
			95% Confidence Interval of			
			the Difference			
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
Logueo_geomecanico	-2.441	14	.029	-14.333	-26.93	-1.74

En función de la tabla anterior, se obtuvo un valor del estadístico T de -2.441, con un nivel de significancia de 0.029, denominado un valor inferior de 0.05, lo cual, indica que se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis alterna, la cual indica que, la identificación de los dominios geomecánicos de la mina Andaychagua se realizó por medio de logueo geomecánico. La hipótesis de que la identificación de los dominios geomecánicos de la mina Andaychagua se realizó por medio de logueo geomecánico es respaldada por los resultados obtenidos. La extensa recolección de datos y el análisis estructural y geomecánico realizado confirman que el logueo geomecánico fue crucial en la identificación de los dominios geomecánicos, validando la hipótesis planteada.

H0: La evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales en cada dominio de la mina Andaychagua no mostrará diferencias significativas entre los dominios.

H2: La evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales en cada dominio de la mina Andaychagua mostrará diferencias significativas entre los dominios.

Tabla 18. *Prueba de hipótesis 2*

One-Sample Test						
	Test Value = 1					
				Mean	95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Difference	Lower	Upper
Prop_fis_mec	3.055	14	.009	.40000	.1192	.6808

Con respecto a la tabla anterior, se obtuvo un valor del estadístico T de 3.055, con un nivel de significancia de 0.009, denominado un valor inferior de 0.05, lo cual, indica que se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis alterna, la cual arrojó que, la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales en cada dominio de la mina Andaychagua mostrará diferencias significativas entre los dominios. La hipótesis de que la identificación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales en la mina Andaychagua se realizará por medio de ensayos de laboratorio es respaldada por los resultados obtenidos. Los ensayos de laboratorio fueron fundamentales para caracterizar las propiedades de resistencia y elasticidad de las rocas, proporcionando una base sólida para la evaluación y planificación geotécnica en la mina.

H0: La elaboración del mapa geomecánico no permitirá diferenciar cada dominio de acuerdo sus condiciones geotécnicas.

H3: La elaboración del mapa geomecánico permitirá diferenciar cada dominio de acuerdo sus condiciones geotécnicas.

Tabla 19. Prueba de hipótesis 3

One-Sample Test						
	Test Value = 1					
					95% Confidence Interval of the	
				Mean	Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Difference	Lower	Upper
Mapa_geotecnico	6.205	14	.000	.73333	.4798	.9868

En cuanto a la tabla anterior, se obtuvo un valor del estadístico T de 6.205, con un nivel de significancia de 0.000, denominado un valor inferior de 0.05, lo cual, indica que se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis alterna, la cual arrojó que, la elaboración del mapa geomecánico permitirá diferenciar cada dominio de acuerdo sus condiciones geotécnicas. La hipótesis de que la elaboración del mapa geomecánico permitirá diferenciar cada dominio de acuerdo con sus condiciones geotécnicas ha sido confirmada. El mapa geomecánico resultante refleja con precisión las variaciones en las propiedades mecánicas y la calidad de las rocas en las distintas zonas de la mina, proporcionando una base sólida para la planificación y gestión de las actividades mineras.

H0: El tipo de sostenimiento basado en la caracterización de los dominios geomecánicos no mejorará la seguridad y la eficiencia de las operaciones mineras.

H4: El tipo de sostenimiento basado en la caracterización de los dominios geomecánicos mejorará la seguridad y la eficiencia de las operaciones mineras.

Tabla 20. Prueba de hipótesis 4

One-Sample Test						
	Test Value = 2					
					95% Confidence Interval of the	
				Mean	Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Difference	Lower	Upper
Tipo_sostenimiento	-7.483	14	.000	-.80000	-1.0293	-.5707

En correspondencia a la tabla anterior, se obtuvo un valor del estadístico T de -7.483, con un nivel de significancia de 0.000, denominado un valor inferior de 0.05, lo cual, indica que se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis alterna, la cual arrojó que, el tipo de sostenimiento basado en la caracterización de los dominios geomecánicos mejorará la seguridad y la eficiencia de las operaciones mineras. El diseño del sistema de sostenimiento, basado en el mapa geomecánico, permite identificar y diferenciar claramente los distintos dominios geomecánicos de la mina. Las propiedades específicas de los elementos de sostenimiento y las metodologías empleadas para su diseño aseguran que cada dominio reciba el tipo y densidad de sostenimiento adecuado, optimizando así la seguridad y eficiencia de las operaciones mineras.

4.4. Discusión de resultados

Objetivo General: Realizar la caracterización de los dominios geomecánicos en la Mina Andaychagua para determinar el tipo de sostenimiento de las principales vetas y cuerpos de la mina

Se obtuvo la siguiente estructura Cuerpo Salvadora Norte (Cuerpos masivos, sub verticales, con potencias que van de 10 a 20 m y Emplazado en metavolcánico de regular a buena calidad geomecánica (RMR: 40 a 50)), con el método de minado SLS en la etapa de preparación. Así mismo, la segunda estructura Cuerpo Prosperidad Techo (Vetas de 2 a 10 m de potencia, inclinación de 70 a 80° y la zona mineral presenta una calidad de macizo malo (RMR: 30 a 40), roca de caja en filitas de una calidad muy malo (RMR: 20 a 30)), con el método de minado SLS en la etapa de explotación. Del mismo modo, la Veta Andaychagua y la Veta Prosperidad Este1 con el método de minado SLS en la eta de explotación y preparación.

En el mismo orden de ideas, con resultados similares, Roslee (2020) indicó que, la caracterización geomecánica se basó en la clasificación RMR, que se determinó utilizando los parámetros como resistencia uniaxial, espaciamiento de junta, presencia de agua, RQD y condición de junta). Los resultados mostraron que la clasificación RMR para los 10 afloramientos de la formación variaba entre 33 y 50, lo que corresponde a una categorización de tipo III – IV (Roca de calidad pobre a regular). Para las rocas de calidad regular, se recomendó el uso de bulones de 4m, espaciados de 1.5 a 2 metros en la corona. Además, en la corona, se sugirió la aplicación de una capa de shotcrete de 50 mm y 30 mm en los hastiales.

Mientras, Rivera (2023) obtuvo un rango más elevado, por lo cual, la labor CX6631NE tenía un valor de RMR de 43, mientras que la labor CX5536SW tenía un valor de 49, ubicándose ambas en el rango de 41-50 en la clasificación RMR, lo que las califica como rocas de tipo IIIB. Estas rocas mostraron una ocurrencia del 100%, así como un aumento a la resistencia a la compresión de 156 MPa.

Objetivo Específico 1: Identificar los dominios geomecánicos dentro de la Mina Andaychagua por medio de logueo geomecánico.

Se alcanzó un emplazado en metavolcánico de regular a buena calidad geomecánica (RMR: 40 a 50) y la zona mineral presenta una calidad de macizo malo (RMR: 30 a 40), roca de caja en filitas de una calidad muy malo (RMR: 20 a 30). Con un valor del estadístico T de -2.441, con un nivel de significancia de 0.029, denominado un valor inferior de 0.05, lo cual, indica que se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis alterna, la cual indica que, la identificación de los dominios geomecánicos de la mina Andaychagua se realizará por medio de logueo geomecánico.

Así mismo un resultado similar lo alcanzó el siguiente autor, Celli (2022) utilizó la aplicación de las clasificaciones RMR, DMR y GSI, en donde alcanzó una resistencia a la compresión uniaxial muy baja, con un valor de 4.6 MPa. En el análisis de difracción, se identificó que las muestras de arcilla presentaban una predominancia de cuarzo y, en menor medida, plagioclasas. Por último, según la clasificación RMR, se asignó un valor de 43, lo que indica una calidad del macizo considerada de media a baja, mientras que la clasificación GSI proporcionó un valor de 35. De igual forma, Roslee (2020) alcanzó un valor similar en el rango establecido, por lo cual, la clasificación RMR para los 10 afloramientos de la formación variaba entre 33 y 50, lo que corresponde a una categorización de tipo III – IV (Roca de calidad pobre a regular).

Por otro lado, el siguiente autor discrepa de los resultados previamente alcanzado, Aguirre (2020) obtuvo que, los piroclastos mostraron una calidad media del 47.88%, las riolitas tenían una calidad del 58.04%, y las andesitas presentaron una calidad del 41.67%.

Objetivo Específico 2: Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales presentes en cada dominio de la mina Andaychagua.

Los ensayos de laboratorio realizados en la mina Andaychagua abarcaron diversos tipos de pruebas, incluyendo ensayos de compresión uniaxial (UCS), triaxiales y de corte directo, distribuidos por las principales zonas de interés: Andaychagua, Prosperidad I, y Prosperidad Techo.

- **Ensayos Realizados** (UCS: Se realizaron 38 ensayos, Triaxial: 77 ensayos y Corte Directo: 13 ensayos). Los resultados de los ensayos UCS para las litologías de filita y metavolcánico revelaron diferencias significativas en sus propiedades mecánicas. Los análisis estadísticos mostraron:

- **Filita** (Andaychagua: Media UCS = 33.41 MPa, Desviación Estándar = 7.82; Prosperidad Techo: Media UCS = 28.62 MPa, Desviación Estándar = 22.85; Salvadora Norte: Media UCS = 32.07 MPa, Desviación Estándar = 13.82)
- **Metavolcánico** (Andaychagua: Media UCS = 71.92 MPa, Desviación Estándar = 19.67; Prosperidad Techo: Media UCS = 84.91 MPa, Desviación Estándar = 23.41 y Salvadora Norte: Media UCS = 91.40 MPa, Desviación Estándar = 5.797).

Los resultados de los ensayos UCS también mostraron la influencia de la anisotropía tanto en filita como en metavolcánico, lo cual es crucial para entender el comportamiento mecánico de estas rocas bajo condiciones reales de carga en la mina. La curva de rotura para filita y metavolcánico muestra los valores mínimos, promedios y máximos de los parámetros UCS y σ_c , proporcionando una base sólida para la evaluación geotécnica de estas litologías.

En relación a los resultados anteriores, presenta similitud en la información alcanzada por Rivera (2023) indicó que, la labor CX6631NE tenía un valor de RMR de 43, mientras que la labor CX5536SW tenía un valor de 49, ubicándose ambas en el rango de 41-50 en la clasificación RMR, lo que las califica como rocas de tipo IIIB. Estas rocas mostraron una ocurrencia del 100%, así como un aumento a la resistencia a la compresión de 156 MPa.

Aunque se discreparon los resultados, por lo cual, Ticona (2021) expuso que, la relación entre los valores de RMR y la resistencia estimada para cada unidad litológica permitió una mejor diferenciación que los valores de mineralización y alteración. En cuanto al modelo de diseño OVA 35°, se concluyó que cumplió con el criterio de aceptabilidad al alcanzar un nivel de aceptación del 67%.

Objetivo Específico 3: Realizar un mapa geomecánico según la categorización de los dominios estudiados de la mina Andaychagua.

El tercer objetivo del estudio es realizar un mapa geomecánico de la mina Andaychagua basado en la categorización de los dominios estudiados. Los resultados de los ensayos proporcionan información detallada sobre las propiedades mecánicas y la calidad de las rocas en cada zona, incluyendo valores de resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, y razón de Poisson. Además, las clasificaciones geomecánicas RMR, Q y GSI han permitido categorizar las rocas según su calidad y comportamiento geomecánico.

Del mismo modo, MVOL (Metavolcánico) con un IRS (R3-R4) con un RQD (%) de 90-100%, con un promedio de 56 y un rango de 46-65 en RMR. La FLT (Filita) con un IRS (R2) con un RQD (%) de 70-100%, con un promedio de 50 y un rango de 39-60 en RMR. El MIN (Cuerpo mineralizado masivo) con un IRS (R1-R3) con un RQD (%) de 40-100%, con un promedio de 54 y un rango de 42-66 en RMR. El MVOLM (Metavolcánico mineralizado) con un IRS (R2-R3) con un RQD (%) de 90-100%, con un promedio de 56 y un rango de 50-62 en RMR. La VFA (Veta Falla) con un IRS (R1-R3) con un RQD (%) de 0-10%, con un promedio de 20 y un rango de 15-25 en RMR. El CRCM (Contacto Roca Caja Mineralización) con un IRS (R0-R3) con un RQD (%) de 0- 40%, con un promedio de 21 y un rango de 10-30 en RMR.

En consecución de ideas, los resultados fueron similares al autor Herrera (2020) comprobó que la calidad de la masa rocosa tiene un efecto significativo y positivo en la estabilidad de los taludes. El factor de seguridad se reduce hasta un 24% para los óxidos y un 29% para los sulfuros cuando se aplica el método anisotrópico; cuanto mayor es la calidad de la masa rocosa (RMR), mayor es la reducción del factor de seguridad anisotrópico en comparación con el factor de seguridad isotrópico.

Del mismo modo, los resultados fueron similares, Vidal (2023) destacó que, se utiliza este método de extracción y áridos cementados, la dilución puede ser del 5-10%

y el rendimiento del 90-95%. En varias minas con las que han trabajado los autores de este informe, tanto en Suiza como en el extranjero, se han observado diluciones del orden del 7-9% y rendimientos superiores al 90% (93-95%).

Objetivo Específico 4: Determinar el tipo de sostenimiento según la caracterización de los dominios geomecánicos en la mina Andaychagua.

El uso del gráfico de Grimstad y Barton permite determinar el tipo y densidad de los elementos de sostenimiento de manera eficaz. Este método ha sido validado por los análisis de campo y ha demostrado ser adecuado para las condiciones específicas de la mina Andaychagua. Los análisis realizados con el software Unwedge y RS2 proporcionan una validación adicional de la estabilidad de las excavaciones y la efectividad del sistema de sostenimiento. Estos modelos han mostrado que el sistema de sostenimiento diseñado es capaz de manejar las tensiones y deformaciones previstas, asegurando la estabilidad

La implementación de secuencias estandarizadas para la instalación del sostenimiento asegura una aplicación consistente y efectiva. El análisis del tiempo de autososte confirma que el sostenimiento puede ser instalado dentro del tiempo crítico necesario para garantizar la seguridad de las operaciones. El dimensionamiento de las labores, basado en métodos empíricos y reforzado por análisis numéricos, permite definir aberturas máximas y secuencias de minado óptimas que minimizan el riesgo de fallas. Las recomendaciones proporcionadas aseguran el cumplimiento de los criterios de aceptabilidad y la integridad estructural de las excavaciones.

En discrepancia, Quispe (2021) evidenció que, las dimensiones de las excavaciones subterráneas, diseñadas teniendo en cuenta la capacidad portante de la masa rocosa, garantizan la estabilidad de los proyectos durante el proceso de extracción. Se concluyó que, las condiciones geomecánicas de cada tipo de macizo

rocoso sólo permiten que el tamaño máximo de la excavación subterránea sea autoportante y que unas aberturas subterráneas mayores aumentarán la inestabilidad del macizo rocoso, por lo que es necesario instalar a tiempo los sistemas de apoyo adecuados para garantizar la estabilidad.

CONCLUSIONES

La evaluación geomecánica de la mina Andaychagua ha permitido identificar y caracterizar cuatro estructuras mineralizadas clave: Cuerpo Salvadora Norte, Cuerpo Prosp. Techo, Veta Andaychagua y Veta Prosperidad Este1. El uso de logueos geomecánicos ha sido fundamental para esta identificación, proporcionando datos detallados sobre las características geológicas y geomecánicas del macizo rocoso. El análisis de los resultados muestra que: Cuerpo Salvadora Norte se encuentra en un macizo rocoso de calidad regular a buena, Cuerpo Prosp. Techo presenta una calidad de macizo mala y una roca de caja de calidad muy mala, Veta Andaychagua y Veta Prosperidad Este1 requieren más datos específicos, pero se encuentran en contextos litológicos bien definidos. Las características litológicas y estructurales de las zonas estudiadas se han mapeado y registrado meticulosamente, permitiendo la construcción de modelos 3D de fallas y discontinuidades que son esenciales para la planificación y operación segura de la mina.

El análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales en la mina Andaychagua, basado en los resultados de los ensayos de laboratorio, ha permitido una caracterización detallada de las litologías predominantes en las zonas de interés. Los resultados obtenidos de los ensayos UCS, triaxiales y de corte directo han proporcionado datos cruciales sobre la resistencia y las propiedades elásticas de las rocas. Estos datos han sido integrados en las clasificaciones geomecánicas RMR, Q y GSI, confirmando la capacidad de los ensayos de laboratorio para identificar y evaluar las propiedades geotécnicas de los materiales.

La elaboración del mapa geomecánico de la mina Andaychagua ha sido exitosa y ha demostrado ser una herramienta crucial para la diferenciación de los dominios geomecánicos según sus condiciones específicas. El mapa geomecánico resultante, basado en datos obtenidos a través de mapeos geomecánicos, logueos geomecánicos y diversos ensayos de

laboratorio, permite identificar con precisión las variaciones en las propiedades mecánicas y la calidad de las rocas en las diferentes zonas de la mina. Esta diferenciación facilita la comprensión de la distribución de las características geotécnicas y proporciona una base sólida para la planificación y gestión de las actividades mineras, mejorando tanto la seguridad como la eficiencia operativa.

El diseño del sistema de sostenimiento para la mina Andaychagua ha sido desarrollado de manera integral utilizando una combinación de métodos empíricos, analíticos y numéricos. La caracterización detallada de las propiedades de los elementos de sostenimiento y su validación mediante ensayos de laboratorio y pruebas de campo aseguran que el sistema diseñado es robusto y adecuado para las condiciones geomecánicas específicas de la mina. La diferenciación de los dominios geomecánicos mediante el mapa geomecánico permite la implementación de un sistema de sostenimiento adaptado a cada dominio, mejorando la seguridad y eficiencia de las operaciones mineras.

RECOMENDACIONES

Se recomienda Mantener y expandir el programa de logueo geomecánico para cubrir las zonas aún no caracterizadas con detalle. Además, se recomienda priorizar la obtención de datos específicos para las estructuras menos documentadas, como la Veta Andaychagua y Veta Prosperidad Este1.

Se recomienda que la utilización de los datos de los ensayos se use para optimizar la planificación de las operaciones mineras, asegurando la estabilidad y seguridad de las excavaciones. Además, se recomienda implementar estrategias de explotación basadas en las propiedades mecánicas de las rocas para maximizar la eficiencia operativa y reducir riesgos.

Se recomienda utilizar el mapa geomecánico como una herramienta esencial en la planificación y operación de las actividades mineras, asegurando que las áreas con diferentes condiciones geotécnicas sean manejadas adecuadamente. Además, se recomienda realizar revisiones y actualizaciones periódicas del mapa geomecánico para reflejar las condiciones cambiantes de la mina y nuevos datos obtenidos de los ensayos y mapeos continuos.

Se recomienda implementar un sistema de monitoreo continuo para evaluar el desempeño del sistema de sostenimiento y detectar cualquier necesidad de ajuste en tiempo real. Además, se recomienda revisar y actualizar regularmente los datos sobre las propiedades de los elementos de sostenimiento y los análisis de estabilidad en base a nuevos ensayos y observaciones de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, R. (2020). *Caracterización geomecánica de la microcuenca Zaruma - Urcu, Cantón Zaruma, Provincia del Oro*. [Trabajo de titulación para obtención del grado académico de Ingeniero Geólogo]. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Naturales.
- Ancalla, A. (2019). *Geomecánica y su implicancia en la investigación de desprendimiento de rocas en el CX 1870 Empresa Minera Hochschild Mining Minera Ares U.O Pallancata*. [Tesis para optar al título profesional de Ingeniero de Minas]. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Escuela profesional Ingeniería de Minas.
- Apaza, G. (2020). *Estudio de causalidad de accidentes mortales por desprendimiento de rocas en la minería subterránea controlado por el organismo supervisor de la inversión en energía y minería en el Perú*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Arias, J. (2020). *Técnicas e instrumentos de investigación científica*. Enfoques Consulting E.I.R.L. Retrieved from <http://www.cienciaysociedad.org>
- Bajni, G., Camera, C., Brenning, A., & Apuani, T. (2021). Rock mass geomechanical properties to improve rockfall susceptibility assessment: a case study in Valchiavenna (SO). *Earth and Environmental Science*, 833, 1-9. doi:10.1088/1755-1315/833/1/012180
- Bednarek, L., & Majcherczyk, T. (2020). An analysis of rock mass characteristics which influence the choice of support. *Geomechanics and Engineering*, 21(4), 371-377. Obtenido de <https://doi.org/10.12989/gae.2020.21.4.371>
- Benel, B. (2020). *Comportamiento geomecánico según los métodos RMR y Q de Barton del nivel 3 de la mina Paredones-San Pablo-Cajamarca*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas]. Universidad Nacional de Cajamarca.

- Benítez, A. (2021). *Análisis geomecánico del macizo rocoso que conforma los taludes del sector la Era-San Bernabé, Catamayo-Loja*. Cuenca: [Trabajo para optar el título de Ingeniero en Minas]. Universidad de Azuay. Facultad de Ciencia y Tecnología.
- Brousset, J., Pehovaz, H., Quispe, G., Raymundo, C., & Moguerza, J. (2023). Rock mass classification method applying neural networks to minimize geomechanical characterization in underground Peruvian mines. *Energy Reports*, 9, 376-386. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.05.246>
- Calderón, J. (2018). Diseños de investigación para tesis de postgrado. *Revista Peruana de Psicología y Trabajo Social*, 7(2), 71-76.
- Carrión, A., & Acosta, M. (2020). *Investigación aplicada sobre el cambio climático: aportes para ciudades de América Latina*. FLACSO Ecuador. doi:978-9978-67-530-4
- Ccatamatayo, J. (2021). *Caracterización del macizo rocoso para proponer un diseño de sostenimiento en la compañía minera Marsa S.A 2021*. [Tesis para optar el título de Ingeniero de Minas]. Universidad Nacional de San Cristóbal. Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil.
- Celli, A., & Falcioni, F. (2022). Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la Formación Santa Cruz aflorante en la zona de Condor Cliff, río Santa Cruz, Patagonia Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 79(1), 106-124.
- Chaulagai, K., & Kumar, R. (2022). Rock mass characterization and support analysis of pressurized headrace tunnel of the Upper Balephi "A" Hydroelectric Project, Nepal. *Journal of Nepal Geological Society*, 63, 45-60. Obtenido de <https://doi.org/10.3126/jngs.v63i01.50841>
- Contreras, J., & Quispe, L. (2023). *Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de soporte adecuado en la Unidad De Producción Andaychagua de la Compañía Minera Volcan S. A. A*. Huancayo: Universidad Continental.

- Cuenca, H., & Montano, E. (2024). Análisis geomecánico para determinar estabilidad de macizo rocoso de tajeo, método de explotación taladros largos, Pan American Silver Huarón S. A. *Universidad Continental*, 1-13. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/15123/2/IV_FIN_110_T_E_Cuenca_Montano_2024.pdf
- Cueva, J., & Arana, J. (2019). *Caracterización geomecánica en minera subterránea: una revisión de la literatura científica*. Cajamarca: [Trabajo de Investigación para optar el grado de Bachiller en Ingeniería de Minas]. Universidad Privada del Norte.
- Delevingne, L., Glazener, W., Gregoir, L., & Henderson, K. (2020). *Climate risk and decarbonization: What every mining CEO needs to know*. Informe Técnico.
- Duque, G. (2020). *Manual de Geología para Ingenieros*. Manizales: Informe Técnico.
- Feijoo, P., & Feijoo, B. (2023). Evaluación del índice de carga puntual con variación de la geometría de probetas en material rocoso. *Tecnociencia*, 25(2), 108-123.
- Feijoo Calles, E., Pelaez, G., Choco, E., & Feijoo, B. (2022). Revista Tecnológica Espol – RTE Vol. 34, N° 2 (Junio, 2022) <https://doi.org/10.37815/rte.v34n2.886> Artículos originales Índice de carga puntual y su relación con dimensiones en bloque regular de roca. *ESPOL*, 1(1), 1-12. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/361725310_Indice_de_carga_puntual_y_su_relacion_con_dimensiones_en_bloque_regular_de_roca
- Feria, H., Blanco, M., & Valledor, R. (2019). *La dimensión metodológica del diseño de la investigación científica*. las Tunas: Editorial Académica Universitaria.
- Fernandez, J., Sanchez, S., Gonzalo, H., & Perez, H. (2021). Analysis of rock mass classification for safer infrastructures. *Transportation Research Procedia*, 58, 606-613.

- Gonzalez de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuno, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Prentice Hall.
- Hernández-Gutiérrez, L., Santamarta, J., Tomás, R., Cano, M., García-Barba, J., & Cantero-Mesa, I. (2013). *Prácticas de Ingeniería del Terreno*. Alicante: Universidades de Alicante y de La Laguna. Obtenido de <http://web.ua.es/es/ginter/> ó <http://ocw.ull.es/>
- Herrera, E. (2020). *Caracterización geomecánica del macizo rocoso aplicado al análisis de estabilidad de taludes en el yacimiento Jérica, Ocuvi - Lampa - Puno - 2015 - 2016*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/355130513.pdf>
- Hitchcock, E. (2023). *Evaluating geomechanical uncertainty in open pit mine planning*. Michigan: [Tesis para optar el grado de Master en Ciencias en Ingeniería Geológica]. Universidad Tecnológica de Michigan.
- Hospinal, L., Chamorro, R., Oseda, M., & Alania, R. (2020). Evaluación de procedimiento empleados para determinar la población y muestra en trabajos de investigación de posgrado. *Revista Científica de Ciencias Sociales y Humanidades*, 12(1), 50-57. Obtenido de <https://doi.org/10.37711/desafios.2021.12.1.253>
- Inguillay, L., Tercero, S., & López, J. (2020). Ética en la investigación científica. *Imaginario Social*, 3(1), 42-51.
- Jiménez, M. (2022). *Caracterización del macizo rocoso ubicado en el sector Ingamullo II, km 11, proyecto: reconstrucción de la carretera Gualaceo-Limón Indanza, tramo: Gualaceo-Plan de Milagro*. Cuenca: [Trabajo para optar el título de Ingeniero en Minas]. Universidad del Azuay. Facultad de Ciencia y Tecnología.

- Martínez, J., Palacios, G., & Olivia, D. (2023). Guía para la revisión y el análisis documental: propuesta desde el enfoque investigativo. *Ra Ximhai*, 19(1), 67-83. doi:doi.org/10.35197/rx.19.01.2023.03.jm
- Mendoza, J. (2022). *Evaluación geomecánica del macizo rocoso en la construcción y sostenimiento de la chimenea 2226, por el método Raise Climber Mina Lourdes en la U.E.A Parcoy (Consortio Minero Horizonte S.A)*. Cajamarca: [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas]. Universidad Nacional de Cajamarca. Facultad de Ingeniería.
- Mugnai, F., Farina, P., & Tucci, G. (2021). Exploiting a semi-automatic point cloud segmentation method to improve the quality of rock-mass characterization. The Cima Grappa conservative restoration case study. *Internation Journal of Geo-Information*, 10(276), 1-18. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/ijgi10050276>
- Palomino, R. (2023). *Evaluación de la estabilidad de labores subterráneas para la estandarización del sistema de sostenimiento en Unidad Minera Parcoy, 2023*. [Tesis para optar el título de Ingeniero de Minas]. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil.
- Prado, J. (2022). *Caracterización del macizo rocoso para la determinación del tipo de sostenimiento mina San Cristóbal Compañía Minera Volcán 2021*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas]. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Escuela profesional de Ingeniería de Minas.
- Quispe, I. (2021). *Evaluación de excavaciones subterráneas mediante la concentración de esfuerzos para prevenir la caída de rocas-unidad minera Yauricocha*. Junin: Universidad Nacional del Centro del Perú. Obtenido de https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6882/T010_28304465_D.pdf?sequence=1

- Rasinger, S. (2020). *La investigación cuantitativa en Lingüística*. Akal S.A. Retrieved from <https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=0h4EEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA8&dq=investigaci%C3%B3n+cuantitativa&ots=8L6lXKtVZ2&sig=PWSTGHiTWgaSjUULhmdKBmpYUWk#v=onepage&q=investigaci%C3%B3n%20cuantitativa&f=false>
- Rivera, B. (2023). *Caracterización geomecánica y elección del sostenimiento para labor permanente en minca Cachi Cachi - Sociedad Minera Corona S.A.* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas]. Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Ingeniería de Minas.
- Rodriguez, J., Paucar, R., & Pehovaz, H. (2020). Análisis de la variabilidad espacial del RMR usando simulación gaussiana en una mina subterránea. *Cobramseg*, 489-495. Retrieved from <https://doi.org/10.4322/cobramseg.2022.0064>
- Rosero, J. (2021). *Caracterización geomecánica de las coquinas del sector turístico Ayangue, provincia de Santa Elena*. Guayaquil: [Trabajo para optar el título de Ingeniera Geóloga]. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Naturales.
- Roslee, R., Pirah, J., Zikiri, M., & Madri, A. (2020). Applicability of the rock mass rating (RMR) system for the Trusmadi Formation en Sabah, Malasia. *Malaysian Journal of Geosciences*, 4(2), 96-102. Retrieved from <http://doi.org/10.26480/mjg.02.2020.96.102>
- Rybak, J., Khayrutdinov, M., Kuziev, D., Kongar-Syuryun, C., & Babyr, N. (2022, Abril 29). Prediction of the geomechanical state of the rock mass when mining salt deposits with stowing. *Journal of Mining Institute*, pp. 61-70.
- Sánchez, D. (2022). Técnicas e instrumentos de recolección de datos en investigación. *Publicación Semestral*, 9(17), 38-39. Retrieved from <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/tepexi/issue/archive>

- Satorres, A., & Vercher, M. (2020). Análisis documental bibliográfico obteniendo el máximo rendimiento a la revisión de literatura en investigaciones cualitativas. *Investigación cualitativa en Ciencias Sociales: Avances y Desafíos*, 4, 247-257. Obtenido de <https://doi.org/10.36367/ntqr.4.2020.247-257>
- Smolinski, A., Malashkevych, D., Petlovanyi, M., Rysbekov, K., Lozynskyi, V., & Sai, K. (2022). Research into impact of leaving waste rocks in the mined-out space on the geomechanical state of the rock mass surrounding the longwall face. *Energies*, 15, 1-16. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/en15249522>
- Soria, F., & Cáceres, H. (2022). La minería ilegal y sus efectos en la vulneración de los derechos de la naturaleza. *Polo del Conocimiento*, 7(4), 1-15. doi:10.23857/pc.v7i4.3910
- Ticona, G. C. (2021). *Criterio de caracterización geomecánica y análisis de estabilidad de macizos rocosos alterados*. [Tesis para optar el grado de Maestro en Ciencias de la Tierra, con mención en Geotecnia]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Unidad de Posgrado de la Facultad de Geología, Geofísica y Minas.
- Tocasca, E. (2020). *Plan de minado para mejorar la producción en la concesión minera Huascar Tercera de la empresa Travertino Leyva S.A.C., distrito de Yanacancha, Junín - 2020*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas]. Universidad del Centro del Perú. Facultad de Ingeniería de Minas.
- Upadhyay, A., Laing, T., Kumar, V., & Dora, M. (2021). Exploring barriers and driver to the implementation of circular economy practices in the mining industry. *Resources Policy*, 72, 1-7. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102037>
- Valle, J. (2022). *Análisis geomecánico para la determinación del tipo de sostenimiento en la explotación mediante el método por taladros largos en el Manto Anita, Mina Islay*.

[Tesis para optar el título de Ingeniero Geólogo]. Universidad Nacional Daniel Alcide Carrión.

Vera, M., & León, R. (2020). *Correlaciones empíricas entre ensayos de compresión uniaxial no confinado (UCS, resistencia a la tracción indirecta (BTS) y ensayos de carga puntual*. Santiago: Universidad Santiago de Chile.

Vidal, R. (2023). *Parámetros geomecánicos para establecer el método de explotación en el proyecto Hilarión - Compañía Minera Milpo S.A.A.* Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/3867/4/T026_76696906_T.pdf

Yang, B., Liu, Y., Liu, Z., Zhu, Q., & Li, D. (2024). Classification of Rock Mass Quality in Underground Rock Engineering with Incomplete Data Using XGBoost Model and Zebra Optimization Algorithm. *mdpi*, 14(16), 1-12. doi: <https://doi.org/10.3390/app14167074>

Zekrinaldi, Anggara, & Setiawan. (2021). Excavation method and support system in the diversion tunnel of Tiga Dihaji Dam, South Sumatera, Indonesia based on the rock mass quality. *Earth and Enviromental Science*, 871, 1-10. doi:10.1088/1755-1315/871/1/012063

ANEXOS

Anexo A. Instrumentos de valoración

A. PARAMETROS DE CLASIFICACIÓN Y SUS VALORES									
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de carga puntual	> 10 Mpa	4 - 10 Mpa	2 - 4 MPa	1 - 2 Mpa	Para este rango es preferible el ensayo de compresión simple		
		Resistencia compresiva uniaxial	> 250 Mpa	100 - 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	5 - 25 Mpa	1 - 5 Mpa	< 1
Valoración			15	12	7	4	2	1	0
2	Calidad del testigo de perforación (RQD)		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Espaciamiento de discontinuidades		> 2 m	0,6 - 2 m	0,2 - 0,6 m	0,06 - 0,2 m	< 0,06 m		
	Valoración		20	15	10	8	5		
4	Condición de las discontinuidades		Superficie muy rugosa	Superficies rugosas	Ligeramente rugosa	Espejo de falla o panizo < 5 mm de espesor	Panizo suave > 5 mm de espesor		
			No continua	Apertura < 0,1 mm	Apertura 0,1 - 1mm				
			Cerradas sin apertura	Paredes ligeramente intemperizadas	Paredes altamente intemperizadas	Apertura de 1 - 5 mm, juntas continuas	Apertura > 5mm, juntas continuas		
			Paredes rocosas sanas						
	Valoración		30	25	20	10	0		
5	Agua subterránea	Flujo por 10 m de longitud de tunel	Ninguno	< 10	10 - 25	25 - 125	< 125		
		Presión de agua / esfuerzo principal máximo	0	< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5		
		Condición general	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo		
	Valoración		15	10	7	4	0		
B. AJUSTE DE LA VALORIZACIÓN POR ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES (VER F)									
Orientaciones rumbo y buzamiento			Muy favorables	Favorables	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable		
Valoraciones	Tuneles y minas		0	-2	-5	-10	-12		
	Cimentaciones		0	-2	-7	-15	-25		
	Taludes		0	-5	-25	-50	-60		
C. CLASES DE MASAROCOSA DETERMINADAS POR LAS VALORACIONES TOTALES									
Valoración			100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21		
Número de clase			I	II	III	IV	V		
Descripción			Roca muy buena	Roca buena	Roca regular	Roca mala	Roca muy mala		
D. SIGNIFICADO DE LAS CLASES DE ROCAS									
Número de clases			I	II	III	IV	V		
Tiempo de auto-sostenimiento			20 años, span 15 m	1 año, span 10m	1 semana, span 5 m	10 h, span 2,5 m	30 min, span 1 m		
Cohesión de la masa rocosa KPa			> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100		
Ángulo de fricción de la masa rocosa			> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	< 15°		
E. PAUTAS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES									
Longitud de las discontinuidades (Persistencia)			< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
Valoración			6	4	2	1	0		
Separación (Apertura)			Cerrada	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
Valoración			6	5	4	1	0		
Rugosidad			Muy rugoso	Rugoso	Ligeramente rugoso	Liso	Espejo de falla		
Valoración			6	5	3	1	0		
Relleno (Panizo)			Ninguno	Duro < 5 mm	Duro > 5 mm	Suave < 5 mm	Suave > 5 mm		
Valoración			6	4	2	1	0		
Intemperización			Sana	Ligera	Moderada	Muy intemperizada	Descompuesta		
Valoración			6	5	3	1	0		
F. EFECTO DE LA ORIENTACIÓN RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN TUNELERIA									
Rumbo perpendicular al eje del túnel					Rumbo paralelo al eje del túnel				
Avance con el buzamiento 45-90°			Avance con el buzamiento 20-45°		Buzamiento 45-90°		Buzamiento 20-45°		
Muy favorable			Favorable		Muy desfavorable		Regular		
Avance contra el buzamiento 45-90°			Avance contra el buzamiento 20-45°		Buzamiento independiente del rumbo 0-20°				
Regular			Desfavorable		Regular				

Anexo B. Caracterización geomecánica RMR

Datos Sonda																												
Código Sonda	DDHUA23			Coordenadas (Collar)										Longitud Prog. (m)						Geólogo:	Objetivo							
				Este			Norte			Azimuth			Inclinación												Elevación			
Fecha	Estructura	Descripción Litológica		Índice de Resistencia (GSI) 2000		Desde (m)	Hasta (m)	Datos del Intervalo Recuperado													Jn	Parámetros de Fracturas para IRMR (Laubscher '90)		Comentarios				
		Min.	Max.	Longitud de corrida (m)	Recup. (m)			RQD (m)	Dureza Estimada (ISRM 1981) (R)	Longitud de RocaFract. (m)	Zonas LRF	Número de Fracturas			Formula Grado d F	Grado de Fract.	Grado de Alt.	Frecuencia de Fracturas		Espaciamiento (m)								
												FRF	FN	FM				#Fract. Nat./m	# de familias	< 0.06		5						
																				0.06 - 0.2		8						
						0.00	1.00	1.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						1.00		-1.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
						0.00		0.00					0	0			E+		0.1	10	20	ERROR	ERROR	40				
</																												

Anexo C. Base de datos del Logueo Geomecánico

HOLE_ID	RESPONSABLE	Fecha	Litolog	Unidad Geotécnica	Alteraci	GSI Mi	GSI Ma	Desde	Hasta	Longitud de corrida (m)	Recup (m)	RQD	Dureza Estimada	Longitud de RocaFractura	Zonas L	FRF	FN	FM	Formula Grado	Grado de Fract
DDHUA22063	N. Rivera	06/04/2022	FLT	Filita	SE	32	38	0	1.5	1.5	1.42	1.13	R2.5	0.29	1	6	1	21	5.0714286	C-
DDHUA22063	N. Rivera	06/04/2022	FLT	Filita	SE	32	38	1.5	3.5	2	1.98	1.94	R2.5	0	0	0	3	14	11.647059	D-
DDHUA22063	N. Rivera	06/04/2022	FLT	Filita	SE	32	38	3.5	4.9	1.4	1.31	1.18	R2.5	0.11	1	3	3	12	7.2777778	C
DDHUA22063	N. Rivera	06/04/2022	FLT	Filita	SE	27	33	4.9	7.9	3	2.97	2.69	R2.5	0	0	0	10	40	5.94	C-
DDHUA22063	N. Rivera	06/04/2022	FLT	Filita	SE	27	33	7.9	8.7	0.8	0.78	0.63	R2.5	0.13	1	3	2	4	8.6666667	C+
DDHUA22063	N. Rivera	06/04/2022	FLT	Filita	SE	32	38	8.7	9.1	0.4	0.37	0.37	R2.5	0	0	0	0	5	7.4	C
DDHUA22063	N. Rivera	06/04/2022	FLT	Filita	SE	27	33	9.1	10.1	1	1	0.68	R2.5	0.15	1	4	3	10	5.8823529	C-
DDHUA22063	N. Rivera	06/04/2022	FLT	Filita	SE	32	38	10.1	11.2	1.1	1.09	1.09	R2.5	0	0	0	5	7	9.0833333	C+
DDHUA22063	N. Rivera	06/04/2022	FLT	Filita	SE	32	38	11.2	13.8	2.6	2.6	2.56	R2.5	0.02	1	1	4	22	9.6296296	C+
DDHUA22063	N. Rivera	06/04/2022	FLT	Filita	SE	32	38	13.8	15.1	1.3	1.24	1.24	R2.5	0	0	0	3	9	10.333333	D-
DDHUA22063	N. Rivera	06/04/2022	FLT	Filita	SE	32	38	15.1	17.6	2.5	2.48	2.48	R3	0	0	0	2	23	9.92	C+
DDHUA22063	N. Rivera	06/04/2022	FLT	Filita	SE	32	38	17.6	20.6	3	3	3	R2.5	0	0	0	2	24	11.538462	D-
DDHUA22063	N. Rivera	06/04/2022	FLT	Filita	SE	27	33	20.6	23	2.4	2.38	2.25	R2.5	0.09	1	2	3	22	8.8148148	C+
DDHUA22063	N. Rivera	06/04/2022	FLT	Filita	SE	32	38	23	23.9	0.9	0.9	0	R1	0.9	1	19	0	2	4.2857143	B+
DDHUA22063	N. Rivera	06/04/2022	FLT	Filita	SE	32	38	23.9	24.4	0.5	0.5	0.43	R2.5	0	0	0	3	4	7.1428571	C
DDHUA22063	N. Rivera	06/04/2022	FLT	Filita	SE	32	38	24.4	26.7	2.3	2.3	2.04	R2.5	0.2	1	5	1	18	9.5833333	C+
DDHUA22063	N. Rivera	06/04/2022	FLT	Filita	SE	32	38	26.7	27.7	1	1	0.78	R2.5	0.22	1	5	3	7	6.6666667	C-
DDHUA22063	N. Rivera	11/04/2022	FLT	Filita	SE	27	33	27.7	28.5	0.8	0.78	0.68	R2.5	0.1	1	5	1	8	6.5	C-
DDHUA22063	N. Rivera	11/04/2022	FLT	Filita	SE	32	38	28.5	29.4	0.9	0.86	0.64	R2.5	0.22	1	5	1	2	10.75	D-
DDHUA22063	N. Rivera	11/04/2022	FLT	Filita	SE	32	38	29.4	30.3	0.9	0.9	0.84	R2.5	0	0	0	2	6	11.25	D-
DDHUA22063	N. Rivera	11/04/2022	F	Falla	AR	7	13	30.3	31.3	1	1	0	RO.5	1	1	21	0	0	4.7619048	A
DDHUA22063	N. Rivera	11/04/2022	FLT	Filita	SE	37	43	31.3	33	1.7	1.7	0	R2.5	1.7	1	35	0	6	4.1463415	B+
DDHUA22063	N. Rivera	11/04/2022	MIN	Tramo Mineralizado		57	63	33	34.4	1.4	1.3	1.3	R3.5	0	0	0	0	12	10.833333	D-
DDHUA22063	N. Rivera	11/04/2022	MIN	Tramo Mineralizado		47	53	34.4	37.1	2.7	2.67	2.47	R3.5	0.17	1	4	5	19	9.5357143	C+
DDHUA22063	N. Rivera	11/04/2022	FLT	Filita	SE	17	23	37.1	38.8	1.7	1.68	0	R1	1.68	1	34	0	0	4.9411765	B+
DDHUA22063	N. Rivera	11/04/2022	FLT	Filita	SE	37	43	38.8	39.7	0.9	0.89	0	R2.5	0.89	1	18	0	8	3.4230769	B
DDHUA22063	N. Rivera	11/04/2022	MVOL	Metavolcanico	CA	57	63	39.7	41.2	1.5	1.5	1.5	R3	0	0	0	1	12	11.538462	D-
DDHUA22063	N. Rivera	11/04/2022	MVOL	Metavolcanico	CA	57	63	41.2	42.2	1	1	1	R3	0	0	0	0	10	10	C+
DDHUA22063	N. Rivera	11/04/2022	MVOL	Metavolcanico	CL	52	58	42.2	44.2	2	2	1.49	R1	0.51	3	13	3	14	6.6666667	C-
DDHUA22063	N. Rivera	11/04/2022	MVOL	Metavolcanico	CL	57	63	44.2	46	1.8	1.76	1.63	R3	0	0	0	8	5	13.538462	D
DDHUA22063	N. Rivera	11/04/2022	MVOL	Metavolcanico	CL	57	63	46	47.8	1.8	1.79	1.79	R3	0	0	0	7	13	8.95	C+
DDHUA22063	N. Rivera	11/04/2022	MVOL	Metavolcanico	CL	47	53	47.8	50.2	2.4	2.4	2.19	R3.5	0.05	1	2	10	8	12	D-
DDHUA22063	N. Rivera	11/04/2022	MVOL	Metavolcanico	CL	57	63	50.2	53.2	3	3	2.84	R2.5	0.04	1	1	7	17	11.25	D-
DDHUA22063	N. Rivera	11/04/2022	MVOL	Metavolcanico	CL	47	53	53.2	53.65	0.45	0.45	0.45	R3	0	0	0	0	3	15	D
DDHUA22063	N. Rivera	11/04/2022	MVOL	Metavolcanico	CL	47	53	53.65	54.8	1.15	1.15	0.56	R3	0.59	3	14	4	2	5.75	C-

HOLE_ID	Formula	Grado de Fract	Grado de Alt	Frecuencia de Fracturas	# de familia	Espaciamiento (m)	PUNT	Jn	IRS (Resist Estimada)	(FF/Corrida/L de Corrida), Jn	GSI_PRO	RQD%	PUNT	RESISTEN	PUNT	ESPACIAMIENTO	PUNT	COND. F	COND. A	RMR8	JN	JR
DDHUA22063	5.0714286	C-	D	4.666666667	1F	0.2142857	10	2	3	21	35	75.33	17	R2.5	3	0.2142857	10	8	15	53	2	2
DDHUA22063	11.647059	D-	D	1.5	1F	0.6666667	15	2	3	28	35	97.00	20	R2.5	3	0.6666667	15	11	15	64	2	2
DDHUA22063	7.2777778	C	B+	4.285714286	1F	0.2333333	10	2	3	21	35	84.29	17	R2.5	3	0.2333333	10	10	15	55	2	2
DDHUA22063	5.94	C-	E	3.333333333	2F	0.3	10	4	3	18	30	89.67	17	R2.5	3	0.3	10	9	15	54	4	2
DDHUA22063	8.6666667	C+	B+	6.25	1F+A	0.16	8	3	3	18	30	78.75	17	R2.5	3	0.16	8	5	15	48	3	1
DDHUA22063	7.4	C	A	0.1	1F	10	20	2	3	10	35	92.50	20	R2.5	3	10	20	30	15	88	2	4
DDHUA22063	5.8823529	C	E	7	1F+A	0.1428571	8	3	3	18	30	68.00	13	R2.5	3	0.1428571	8	8	15	47	3	1
DDHUA22063	9.0833333	C+	C-	4.545454545	1F	0.22	10	2	3	21	35	99.09	20	R2.5	3	0.22	10	11	15	59	2	2
DDHUA22063	9.6296296	C+	E-	1.923076923	1F	0.52	10	2	3	26	35	98.46	20	R2.5	3	0.52	10	9	15	57	2	2
DDHUA22063	10.333333	D-	D+	2.307692308	1F	0.4333333	10	2	3	24	35	95.38	20	R2.5	3	0.4333333	10	13	15	61	2	2
DDHUA22063	9.92	C+	D	0.8	1F	1.25	15	2	4	34	35	99.20	20	R3	4	1.25	15	9	15	63	2	2
DDHUA22063	11.538462	D-	D+	0.666666667	1F	1.5	15	2	3	34	35	100.00	20	R2.5	3	1.5	15	11	15	64	2	2
DDHUA22063	8.8148148	C+	B+	2.083333333	1F+A	0.48	10	3	3	24	30	93.75	20	R2.5	3	0.48	10	9	15	57	3	2
DDHUA22063	4.2857143	B+	B+	21.11111111	4F	0.0473684	5	15	1	2	35	0.00	3	R1	1	0.0473684	5	3	15	27	15	1
DDHUA22063	7.1428571	C	C+	6	1F	0.1666667	8	2	3	18	35	86.00	17	R2.5	3	0.1666667	8	11	15	54	2	2
DDHUA22063	9.5833333	C+	C	2.608695652	1F	0.3833333	10	2	3	24	35	88.70	17	R2.5	3	0.3833333	10	9	15	54	2	1
DDHUA22063	6.6666667	C-	C	8	1F	0.125	8	2	3	15	35	78.00	17	R2.5	3	0.125	8	10	15	53	2	1
DDHUA22063	6.5	C-	D	5	1F+A	0.2	10	3	3	21	30	85.00	17	R2.5	3	0.2	10	4	15	49	3	1
DDHUA22063	10.75	D-	A	6.666666667	1F	0.15	8	2	3	18	35	71.11	13	R2.5	3	0.15	8	4	15	43	2	1
DDHUA22063	11.25	D-	D	2.222222222	1F	0.45	10	2	3	24	35	93.33	20	R2.5	3	0.45	10	11	15	59	2	2
DDHUA22063	4.7619048	A	A	21	RT	0.047619	5	20	0	2	10	0.00	3	RO.5	0.5	0.047619	5	3	15	26.5	20	1
DDHUA22063	4.1463415	B+	D	20.58823529	M	0.0485714	5	0.5	3	7	40	0.00	3	R2.5	3	0.0485714	5	14	15	40	0.5	2
DDHUA22063	10.833333	D-	C+	0.1	M	10	20	0.5	5	40	60	92.86	20	R3.5	5.5	10	20	30	15	90.5	0.5	4
DDHUA22063	9.5357143	C+	B	3.333333333	1F+A	0.3	10	3	5	21	50	91.48	20	R3.5	5.5	0.3	10	11	15	61.5	3	2
DDHUA22063	4.9411765	B+	B+	20	4F	0.05	5	15	1	3	10	0.00	3	R1	1	0.05	5	7	15	31	15	1
DDHUA22063	3.4230769	B	B	20	A	0.05	5	1	3	10	40	0.00	3	R2.5	3	0.05	5	8	15	34	1	1
DDHUA22063	11.538462	D-	D	0.666666667	M	1.5	15	0.5	4	34	60	100.00	20	R3	4	1.5	15	14	15	68	0.5	2
DDHUA22063	10	C+	D-	0.1	M	10	20	0.5	4	40	60	100.00	20	R3	4	10	20	30	15	89	0.5	4
DDHUA22063	6.6666667	C-	D	8	1F	0.125	8	2	1	15	55	74.50	13	R1	1	0.125	8	9	15	46	2	1
DDHUA22063	13.538462	D	D+	4.444444444	M	0.225	10	0.5	4	21	60	90.56	20	R3	4	0.225	10	18	15	67	0.5	2
DDHUA22063	8.95	C+	D	3.888888889	M	0.2571429	10	0.5	4	21	60	99.44	20	R3	4	0.2571429	10	17	15	66	0.5	2
DDHUA22063	12	D-	D	5	1F+A	0.2	10	3	4	21	50	91.25	20	R3	4	0.2	10	15	15	64	3	2
DDHUA22063	12	D-	D	2.666666667	M	0.375	10	0.5	4	24	60	94.67	20	R3	4	0.375	10					

Anexo D. Matriz de consistencia

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidad	Metodología
¿Cuál es la caracterización de los dominios geomecánicos en la Mina Andaychagua para determinar el tipo de sostenimiento de las principales vetas y cuerpos de la mina?	Caracterizar los dominios geomecánicos en la Mina Andaychagua para determinar el tipo de sostenimiento de las principales vetas y cuerpos de la mina.	La caracterización de los dominios geomecánicos de la mina Andaychagua determina el tipo de sostenimiento adecuado para las principales vetas y cuerpos de la mina.	Dependiente:	Sostenimiento Activo y Pasivo	Q de Barton Dimensión Equivalente	Adimensional	
			Tipo de sostenimiento	Índice de Seguridad	Factor de Seguridad (FS)	Adimensional	
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidad	
¿Cuáles son los dominios geomecánicos presentes en la mina Andaychagua y como se pueden identificar mediante logueo geomecánico?	Identificar los dominios geomecánicos dentro de la mina Andaychagua por medio de logueo geomecánico	La identificación de los dominios geomecánicos de la mina Andaychagua se realiza por medio de logueo geomecánico	Independiente: Caracterización del dominio geomecánico	Caracterización geomecánica	RQD RMR Discontinuidades	Adimensional	1. <u>Enfoque de Investigación:</u> Cuantitativo 2. <u>Tipo de Investigación:</u> Aplicativo 3. <u>Nivel de Investigación:</u> Explicativo 4. <u>Diseño de Investigación:</u> Experimental 5. <u>Método:</u> Inductivo 6. <u>Población:</u> 7. <u>Muestra:</u>
¿Cuáles son las propiedades física y mecánicas de los materiales geológicos en los distintos dominios de la mina Andaychagua?	Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales presentes en cada dominio de la mina Andaychagua	La evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales en cada dominio de la mina Andaychagua muestra diferencias significativas entre los dominios					
¿Cuál es el mapeo geomecánico de los distintos dominios en la mina Andaychagua?	Realizar un mapa geomecánico según la caracterización de los dominios de la mina Andaychagua	La elaboración del mapa geomecánico permite diferenciar cada dominio de acuerdo a sus condiciones geotécnicas.					
¿Cuál es el tipo de sostenimiento según la caracterización de los dominios en la mina Andaychagua?	Determinar el tipo de sostenimiento según la caracterización de los dominios geomecánicos de la mina Andaychagua	El tipo de sostenimiento basado en la caracterización de los dominios geomecánicos mejora la seguridad y eficiencia de las operaciones mineras.					

Fuente: Elaboración propia