

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



Tesis

Estimación de clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento mediante software Phase2 en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcaccocha, Aymaraes, Apurímac
2024

Presentado por:

Christiam Marshal Barazorda Gamarra

Para optar el título de Ingeniero de Minas

Abancay, Perú

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



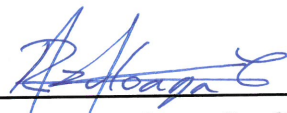
TESIS

Estimación de clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento mediante software Phase2 en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac 2024

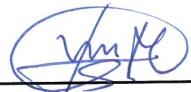
Presentado por **Christiam Marshal Barazorda Gamarra**, para optar el título de Ingeniero de Minas

Sustentado y aprobado el 22 de enero del 2026, ante el jurado evaluador:

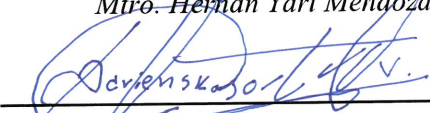
Presidente:


Dr. Pablo Rubén Zuloaga Candia

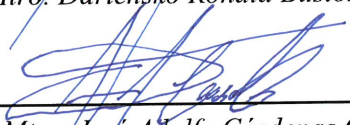
Primer miembro:


Mtro. Hernán Yari Mendoza

Segundo miembro:


Mtro. Dariensko Ronald Bustos Villena

Asesor:


Mtro. José Adolfo Cárdenas Catalán



Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 021-2026

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la tesis titulada: **“Estimación de clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento mediante software Phase2 en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac 2024”**, presentado por el Bach: **CHRISTIAM MARSHAL BARAZORDA GAMARRA**, para optar el título de **Ingeniero de Minas**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud **ACEPTABLE de (22%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 19 de enero del 2026

Atentamente,


UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
Dra. Hesméralda Rojas Enriquez
DIRECTORA DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

C. c.
Archivo
REG. N° 045



Agradecimiento

Expreso mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, por brindarme los conocimientos y valores que han sido fundamentales en mi formación profesional y en el camino que hoy sigo. Asimismo, agradezco profundamente a mis padres por su amor incondicional, apoyo constante y confianza permanente, los cuales han sido el principal impulso para alcanzar mis objetivos.



Dedicatoria

A Dios, por darme la fuerza y la perseverancia.

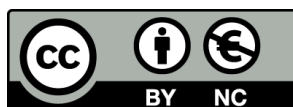
A mis padres, pilares esenciales en mi vida, les debo mucho más de lo que las palabras pueden expresar. Su amor incondicional, su apoyo permanente y la fe inquebrantable que siempre depositaron en mí fueron la fuerza que me impulsó en cada etapa de mi formación.



Estimación de clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento mediante software Phase2 en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac
2024

Línea de investigación: Geología, geotecnia y medio ambiente

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
CAPÍTULO I	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1 Descripción del problema	5
1.1.1 Generalidades de la mina	6
1.1.1.1 Historia de la mina	6
1.1.1.2 Fuerza laboral y campamento minero	6
1.1.1.3 Métodos de explotación	7
1.1.1.4 Comercialización	7
1.1.1.5 Cierre de mina	7
1.2 Enunciado del problema	8
1.2.1 Problema general	8
1.2.2 Problemas específicos	8
1.3 Justificación de la investigación	8
1.3.1 Justificación teórica	8
1.3.2 Justificación metodológica	8
1.3.3 Justificación practica	9
1.3.4 Justificación legal	9
1.3.4.1 Delimitación de la investigación	9
CAPÍTULO II	18
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	18
2.1 Objetivos de la investigación	18
2.1.1 Objetivo general	18
2.1.2 Objetivos específicos	18
2.2 Hipótesis de la investigación	19
2.2.1 Hipótesis general	19
2.2.2 Hipótesis específicas	19
2.3 Operacionalización de variables	20
CAPÍTULO III	21



MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	21
3.1 Antecedentes	21
3.1.1 A nivel internacional	21
3.1.2 A nivel nacional	23
3.1.3 A nivel local	26
3.2 Marco teórico	28
3.2.1 Clasificaciones geomecánicas	28
3.2.2 El RMR de Bieniawski (1989)	29
3.2.3 Clasificación geomecánica de Barton	33
3.2.4 Clasificación según el índice de GSI (HOEK BROWN)	39
3.2.4.1 Resistencia a compresión simple	42
3.2.5 Diseño de sostenimiento	42
3.2.5.1 Sostenimiento	42
3.2.5.2 Tipos de sostenimiento	43
3.2.5.3 Descripción de los tipos de sostenimiento	44
3.2.5.4 Rampa minera	56
3.2.5.4.1 Sostenimiento de la rampa minera	57
3.2.6 Software Phase 2	58
3.2.6.1 Uso y aplicación del software Phase 2	58
3.2.6.2 Utilización del software	59
3.3 Marco conceptual	62
CAPÍTULO IV	64
METODOLOGÍA	64
4.1 Tipo y nivel de investigación	64
4.2 Diseño de la investigación	64
4.3 Descripción ética de la investigación	64
4.4 Población y muestra	65
4.5 Procedimiento	65
4.6 Técnicas e instrumentos	66
4.7 Análisis estadístico	66
CAPÍTULO V	68
RESULTADOS Y DISCUSIONES	68
5.1 Análisis de resultados	68
5.2 Discusión	80
CAPÍTULO VI	83
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
6.1 Conclusiones	83
6.2 Recomendaciones	85

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
ANEXOS	90



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 — Coordenadas geográficas de la minera Parcaccocha	10
Tabla 2 — Coordenadas UTM de la minera Parcaccocha	10
Tabla 3 — Accesibilidad hacia la mina Parcaccocha	10
Tabla 4 — Mineralización del estudio de la mina Parcaccocha	16
Tabla 5 — Operacionalización de variables	20
Tabla 6 — Parámetros de clasificación y sus valoraciones para estimar el RMR	30
Tabla 7 — Parámetro de resistencia de la roca sana en (Mpa)	31
Tabla 8 — Resistencia a la compresión simple de los diferentes tipos de roca	32
Tabla 9 — Valoración del Índice de calidad de R.Q.D.	35
Tabla 10 — Valoración de la rugosidad de las discontinuidades	36
Tabla 11 — Valoración del número de discontinuidades	36
Tabla 12 — Valoración del número de discontinuidades	37
Tabla 13 — Valoración de coeficiente reductor por la presencia de agua	38
Tabla 14 — Valoración de factor de reducción por tensiones	38
Tabla 15 — Asignación de propiedades mecánicas	60
Tabla 16 — Resultados de ensayo analizados en laboratorio de la (UNAMBA)	68
Tabla 17 — Resultados de toma de datos en el mapeo geomecánico en el campo	71
Tabla 18 — Clasificación geomecánica de la muestra andesita para el diseño de sostenimiento	72
Tabla 19 — Clasificación geomecánica de la muestra caliza para el diseño de sostenimiento	73
Tabla 20 — Estimación de las clasificaciones geomecánicas para el diseño de sostenimiento de la Rampa virgen de Carmen	75
Tabla 21 — Análisis de costo de sostenimiento en la unidad minera Parccaccocha	78
Tabla 22 — Matriz de consistencia	91
Tabla 23 — Resultados de ensayo a la compresión uniaxial	94

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 — Croquis de ubicación de la minera Parcacocha	11
Figura 2 — Geología Local	15
Figura 3 — Estratigrafía de mineralización de la unidad minera Parcacocha	17
Figura 4 — Representación esquemática de las propiedades geométricas de las discontinuidades.	29
Figura 5 — Clasificación del macizo rocoso según su resistencia a la compresión simple	32
Figura 6 — Tabla de valoración de GSI – Hoek, Marinos, 2000	40
Figura 7 — Cartilla de Sostenimiento según GSI	41
Figura 8 — Cartilla de Sostenimiento según GSI	41
Figura 9 — Partes de un cuadro de madera	45
Figura 10 — Elementos de un cuadro de madera	45
Figura 11 — Puntales colocados para resistir presiones elevadas	46
Figura 12 — Instalación del Jackpot	47
Figura 13 — Sostenimiento con relleno hidráulico	48
Figura 14 — Pernos de anclaje mecánico	49
Figura 15 — Pernos de varillas cementadas con resina	50
Figura 16 — Pernos Split sets	50
Figura 17 — Pernos swellex	51
Figura 18 — Malla eslabonada en excavación	53
Figura 19 — Malla electrosoldada	54
Figura 20 — Correcto uso del shotcrete	55
Figura 21 — Cimbras metálicas	56
Figura 22 — Proceso de diseño excavación	61
Figura 23 — Interpretación de resultados zonas plasticadas para el techo y piso de la zona	61
Figura 24 — Diseño de sostenimiento en el software Phase2 según Bieniawski	70
Figura 25 — Diseño de sostenimiento con pernos según Bieniawski	70
Figura 26 — Diseño de sostenimiento con pernos Split Seth según Bieniawski	70
Figura 27 — Diseño de sostenimiento en la rampa virgen de Carmen de acuerdo a las clasificaciones geomecánicas de Barton	74

Figura 28 — Diseño de enmallado del interior de la rampa según a las clasificaciones geomecánicas de Barton	74
Figura 29 — Diseño de sostenimiento con shotcrete según Bieniawski	75
Figura 30 — Diseño de sostenimiento según las clasificaciones geomecánicas de RMR de Bieniawski.	76
Figura 31 — Diseño eficiente de sostenimiento según parámetros geomecánicos, complementado con aplicaciones de software Phase 2	78
Figura 32 — Paisaje de la unidad minera Parcacocha	92
Figura 33 — Acceso principal de la Unidad minera Parcacocha	92
Figura 34 — Identificación actual de la unidad minera Parcacocha	93
Figura 35 — Proceso de reconocimiento y selección del tipo de muestreo utilizado en la Unidad Minera Parcacocha.	93
Figura 36 — Mapeo geomecánico de RMR, Q y GSI	95
Figura 37 — Valores de los parámetros característicos del sistema Q de Barton	96
Figura 38 — Mapeo geomecánico de Barton	97
Figura 39 — Croquis de la labor minera Parcacocha	98
Figura 40 — Mapa de ubicación de la unidad minera Parcacocha	99
Figura 41 — Vista en planta de la rampa Carmen - Pocohuanca	100

INTRODUCCIÓN

La estabilidad del macizo rocoso constituye uno de los principales desafíos en la minería subterránea, debido a su influencia directa en la seguridad de los trabajadores y en la continuidad de las operaciones mineras. En este contexto, el diseño adecuado de los sistemas de sostenimiento resulta fundamental para controlar la deformación de las excavaciones y prevenir fallas estructurales. Diversos autores coinciden en que una caracterización geomecánica confiable del macizo rocoso permite establecer criterios técnicos adecuados para el diseño del sostenimiento, especialmente en rampas y galerías principales de acceso (Bieniawski, 1989; Barton et al., 1974).

En los últimos años, múltiples investigaciones han aplicado sistemas de clasificación geomecánica como el RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton para evaluar la calidad del macizo rocoso y definir tipos de sostenimiento en labores subterráneas. Estudios realizados en minas peruanas con características geológicas similares han demostrado que la comparación de estas clasificaciones permite optimizar el diseño del sostenimiento y reducir riesgos geotécnicos. Miranda Ocas (2025) evidencian que el uso combinado de RMR y Q mejora la toma de decisiones en el diseño de sostenimiento, mientras que Aguilar Saico (2022) resalta la importancia de complementar estas metodologías con análisis numéricos para evaluar el comportamiento real del macizo rocoso.

En este marco, la rampa Virgen del Carmen de la mina Parcacocha, ubicada en la provincia de Aymaraes, región Apurímac, presenta condiciones geomecánicas variables que requieren una evaluación técnica detallada. La limitada disponibilidad de estudios geomecánicos previos y la necesidad de garantizar la estabilidad de esta labor estratégica hacen indispensable la aplicación de metodologías confiables que permitan fundamentar el diseño del sostenimiento. Asimismo, la utilización de herramientas de modelamiento numérico, como el software Phase2, permite simular el comportamiento del macizo rocoso y analizar la efectividad de los sistemas de sostenimiento propuestos, tal como lo recomiendan Palmström (2005) y Arana Cueva (2019).

Por ello, el presente informe de tesis titulado “Estimación de clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento mediante software Phase2 en la rampa Virgen del Carmen, mina



Parcaccocha, Aymaraes, Apurímac – 2024” tiene como objetivo determinar la influencia de las clasificaciones geomecánicas en el diseño del sostenimiento de dicha rampa. La investigación busca evaluar la aplicabilidad y efectividad de los métodos RMR y Q de Barton mediante un análisis comparativo apoyado en modelamiento numérico, con la finalidad de proponer soluciones técnicas que garanticen la estabilidad de la excavación, mejoren la seguridad de los trabajadores y optimicen las operaciones mineras. el informe se encuentra estructurado de los siguientes capítulos; Capítulo I, referido al planteamiento del problema, Capítulo II, referido a los objetivos e hipótesis; Capítulo III, referido a los antecedentes, marco teórico y marco conceptual; Capítulo IV, referido al diseño de la metodología desarrollada; Capítulo V, referido a los resultados y discusiones, y finalmente el Capítulo VI, que culmina con las conclusiones y recomendaciones.



RESUMEN

La presente investigación, titulada “Estimación de las clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento mediante el software Phase2 en la Rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes – 2024”, tuvo como propósito evaluar la calidad del macizo rocoso e identificar el sistema de sostenimiento más adecuado para garantizar la estabilidad de la excavación subterránea. El estudio se desarrolló bajo un enfoque de investigación aplicada, con nivel descriptivo – explicativo y un diseño no experimental, tomando como población la mina Parcacocha y como muestra la Rampa Virgen del Carmen. Para el análisis geomecánico se emplearon métodos de clasificación ampliamente reconocidos, los cuales permitieron determinar que la calidad del macizo rocoso se encuentra entre regular y mala. Los parámetros obtenidos muestran una resistencia a la compresión simple cercana a 100 MPa, un RQD del 45 %, discontinuidades con aberturas de 1 a 5 mm, rugosidad aceptable, presencia de relleno duro de aproximadamente 5 mm y un nivel de alteración moderado.

Las discontinuidades fueron clasificadas como rugosas y levemente alteradas, indicando que el material requiere de varios golpes de picota para fracturarse. Con la información geomecánica se realizó el modelamiento en el software Phase2 para evaluar el comportamiento del macizo rocoso durante la excavación de la Rampa Virgen del Carmen. Los resultados indican que el macizo presenta una resistencia inicial adecuada, pero en zonas de mayor concentración de esfuerzos se produce una disminución progresiva de la estabilidad. Por ello, se propone un sostenimiento combinado y sistemático. El sostenimiento activo incluye pernos instalados con un espaciamiento de 1.50 m × 1.50 m, que generan confinamiento y movilizan la resistencia del macizo. En zonas críticas se adicionan pernos Split Set para soporte inmediato. El sostenimiento pasivo consiste en la aplicación de shotcrete vía húmeda con fibras de acero, con espesores de 5 a 10 cm. Esta combinación garantiza estabilidad y seguridad frente a la variabilidad litológica del macizo rocoso.

Palabras clave: Sostenimiento, clasificaciones geomecánicas, geomecánica, macizo rocoso.



ABSTRACT

This research, entitled “Estimation of Geomechanical Classifications for Support Design Using Phase2 Software at the Virgen del Carmen Ramp, Parcacocha Mine, Aymaraes – 2024,” aimed to evaluate the quality of the rock mass and identify the most suitable support system to ensure the stability of the underground excavation. The study was conducted using an applied research approach, with a descriptive-explanatory level and a non-experimental design. The population was the Parcacocha mine, and the Virgen del Carmen Ramp served as the sample. Widely recognized classification methods were used for the geomechanical analysis, which determined that the quality of the rock mass ranged from fair to poor. The parameters obtained showed a uniaxial compressive strength close to 100 MPa, an RQD of 45%, discontinuities with openings of 1 to 5 mm, acceptable roughness, the presence of approximately 5 mm of hard infill, and a moderate level of alteration. The discontinuities were classified as rough and slightly altered, indicating that the material requires several pick blows to fracture, although it exhibits an initial resistance that decreases with progressive deformation.

Using geomechanical data, modeling was performed in Phase2 software to evaluate the behavior of the rock mass during the excavation of the Virgen del Carmen Ramp. The results indicate that the rock mass exhibits adequate initial strength, but in areas of higher stress concentration, a progressive decrease in stability occurs. Therefore, a combined and systematic support system is proposed. Active support includes bolts installed at a spacing of $1.50\text{ m} \times 1.50\text{ m}$, which provide confinement and mobilize the rock mass's strength. In critical areas, Split Set bolts are added for immediate support. Passive support consists of the application of wet-mix shotcrete with steel fibers, with thicknesses of 5 to 10 cm. This combination ensures stability and safety in the face of the rock mass's lithological variability.

Keywords: *Support, geomechanical classifications, geomechanics, rock mass.*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

La mina Parcacocha enfrenta desafíos de seguridad en sus excavaciones angostas (1.50 m x 1.80 m), propias de su sistema de explotación mecanizado. La ausencia de un departamento de geotecnia complica la gestión de riesgos asociados a la estabilidad del macizo rocoso; estas labores presentan un tiempo de autoaporte limitado, lo que implica un riesgo constante de inestabilidad hasta que se implementan los refuerzos. La situación se agrava por la posible presencia de aguas subterráneas, que incrementan la carga sobre la excavación y elevan el peligro de estallidos de roca o derrumbes. En este contexto, resulta fundamental la implementación de procedimientos de caracterización del macizo rocoso. El uso de herramientas especializadas, modelos matemáticos y software como Phase2 permitiría evaluar con precisión las propiedades del terreno.

Esta caracterización detallada es esencial para estimar el tiempo de autoaporte del techo y las paredes de las excavaciones. Conocer este parámetro crítico posibilitaría la planificación de medidas de sostenimiento oportunas y eficientes, reduciendo significativamente los riesgos para el personal y la continuidad de las operaciones. En resumen, la caracterización geomecánica del macizo rocoso se presenta como una necesidad prioritaria para garantizar la seguridad y optimizar las operaciones en las excavaciones de la mina Parcacocha.



1.1.1 Generalidades de la mina

1.1.1.1 Historia de la mina

La actividad minera en la zona de Parcacocha, Pucallpa tiene antecedentes históricos que se remontan a la época colonial, como lo evidencian los vestigios encontrados en el área. En el año 2012, con el propósito de impulsar la minería en el país, se incluyó en una declaración de compromiso la tarea de identificar zonas con potencial para la minería artesanal en la zona de Parca.

Posteriormente, en 2017, con la declaración de la minería como actividad de interés nacional por parte del estado peruano, se facilitó el acceso al Registro Integral de Formalización Minera (REINFO).

A partir de entonces, los integrantes de la asociación minera realizaron trabajos de exploración y explotación en distintos puntos de la zona Parca. Algunos lograron encontrar vetas minerales, mientras que otros no tuvieron éxito.

Uno de los casos exitosos fue el de un comunero de Pucallpa, quien identificó vetas y siguió adecuadamente los procedimientos establecidos en el REINFO, actualmente, se proyecta la ejecución de una labor minera subterránea, específicamente denominada "Mina Virgen del Carmen", cuyo objetivo es acceder desde la parte baja del yacimiento para facilitar una mejor explotación de las vetas localizadas en la zona Parca.

1.1.1.2 Fuerza laboral y campamento minero

La mina Virgen del Carmen está conformada por personal distribuido en diversas categorías operativas, entre las que destacan los maestros perforistas, maestros carpinteros, peones, así como trabajadores de almacén y del área de cocina. Una parte importante de los maestros proviene de la región Puno, debido a la amplia experiencia y habilidades técnicas que han desarrollado en trabajos mineros. El campamento minero brinda las condiciones necesarias para albergar a dicho personal y garantizar el adecuado funcionamiento de las operaciones.



1.1.1.3 Métodos de explotación

La mina Virgen de Carmen, es una operación de pequeño productor minero. La explotación del mineral se lleva a cabo utilizando el método de circado, junto con corte y relleno ascendente.

1.1.1.4 Comercialización

La producción minera a nivel nacional se orienta principalmente a la obtención de minerales metálicos, los cuales son comercializados como materia prima, ya sea en forma de concentrados o productos refinados, y solo en casos específicos incorporan algún nivel de valor agregado. En la mina Virgen del Carmen, el mineral extraído es transportado mediante camiones de carga tipo plataforma, pertenecientes a marcas como Hino e Isuzu, con una capacidad de carga acorde a operaciones de pequeña a mediana escala. El carguío del material se realiza utilizando equipos de carguío mecánico, específicamente una retroexcavadora. Posteriormente, el mineral es trasladado por vía terrestre hacia la planta concentradora Centinela, ubicada en la ciudad de Arequipa – Chala, donde continúa su proceso de beneficio.

1.1.1.5 Cierre de mina

La mina Virgen de Carmen a la fecha se encuentra en vía de formalización, y según el reporte de la Dirección de Energía y Minas de Apurímac cuenta con la herramienta de gestión ambiental siendo está el IGAFOM correctivo y preventivo elaborado por la consultora COMMAPRO S.R.L. en la que registran plan de manejo ambiental, compromisos y técnica de cierre según el avance.

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo estimar las clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac, 2024?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo influye las clasificaciones geomecánicas de Q de Barton en el diseño de sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac, 2024?
- ¿Cómo influye las clasificaciones geomecánicas de Bieniawski en el diseño de sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac, 2024?
- ¿Cuál es el diseño adecuado de sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac, 2024?

1.3 Justificación de la investigación

1.3.1 Justificación teórica

Desde el punto de vista teórico, la presente investigación aporta al conocimiento de la ingeniería geomecánica aplicada a la minería subterránea, al analizar y comparar los sistemas de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton en el diseño de sostenimiento. El estudio permite profundizar en la comprensión del comportamiento del macizo rocoso y en la aplicabilidad de estos métodos bajo condiciones geológicas específicas, contribuyendo a la validación y mejora de criterios técnicos utilizados en el diseño de sostenimientos en labores subterráneas.

1.3.2 Justificación metodológica

Metodológicamente, la investigación se sustenta en la aplicación de métodos científicos rigurosos, que incluyen la recopilación y análisis de datos geomecánicos, la clasificación del macizo rocoso y la evaluación del sostenimiento mediante modelamiento numérico con el software Phase2. Esta metodología garantiza la confiabilidad y replicabilidad de los resultados, permitiendo que el procedimiento empleado pueda ser aplicado en otras minas



subterráneas con características geológicas similares, constituyéndose en una referencia técnica para futuros estudios geomecánicos.

1.3.3 Justificación practica

Desde una perspectiva práctica y contextual, el estudio tiene relevancia directa para la rampa Virgen del Carmen de la mina Parccacocha, ya que los resultados obtenidos permitirán optimizar el diseño del sostenimiento, reduciendo el riesgo de inestabilidad del macizo rocoso. Ello contribuye a mejorar la seguridad de los trabajadores, protegiendo la integridad física del personal, y a optimizar las operaciones mineras mediante la reducción de costos asociados a fallas geotécnicas e intervenciones correctivas no planificadas. Asimismo, la aplicación del software Phase2 genera referencias técnicas útiles para su implementación en operaciones de minería subterránea similares.

1.3.4 Justificación legal

Desde el punto de vista legal, la investigación se encuentra alineada con las normativas de seguridad y salud ocupacional vigentes en la actividad minera, las cuales establecen la obligación de garantizar la estabilidad de las labores subterráneas mediante diseños de sostenimiento técnicamente sustentados. El diseño propuesto contribuye al cumplimiento de la legislación minera peruana, orientada a la prevención de accidentes y a la creación de condiciones de trabajo seguras, fortaleciendo la gestión de riesgos geotécnicos en la industria minera.

1.3.4.1 Delimitación de la investigación

a) Delimitación espacial

La minera Virgen de Carmen está localizado al Sur del Perú, en la Región de Apurímac, Provincia de Aymaraes, Distrito de Pochuanca, comunidad Pochuanca, paraje de Parccacocha.

• Ubicación de la mina

El viaje de Abancay a la unidad minera Parccacocha en vehiculo es de 3 horas y 45 minutos.

Tabla 1 — Coordenadas geográficas de la minera Parcacocha

Latitud Sur	13° 59' 21.65"
Longitud Oeste	73° 24' 27.20"
Altitud	3719 m.s.n.m.
FUENTE: Elaboración propia.	

Tabla 2 — Coordenadas UTM de la minera Parcacocha

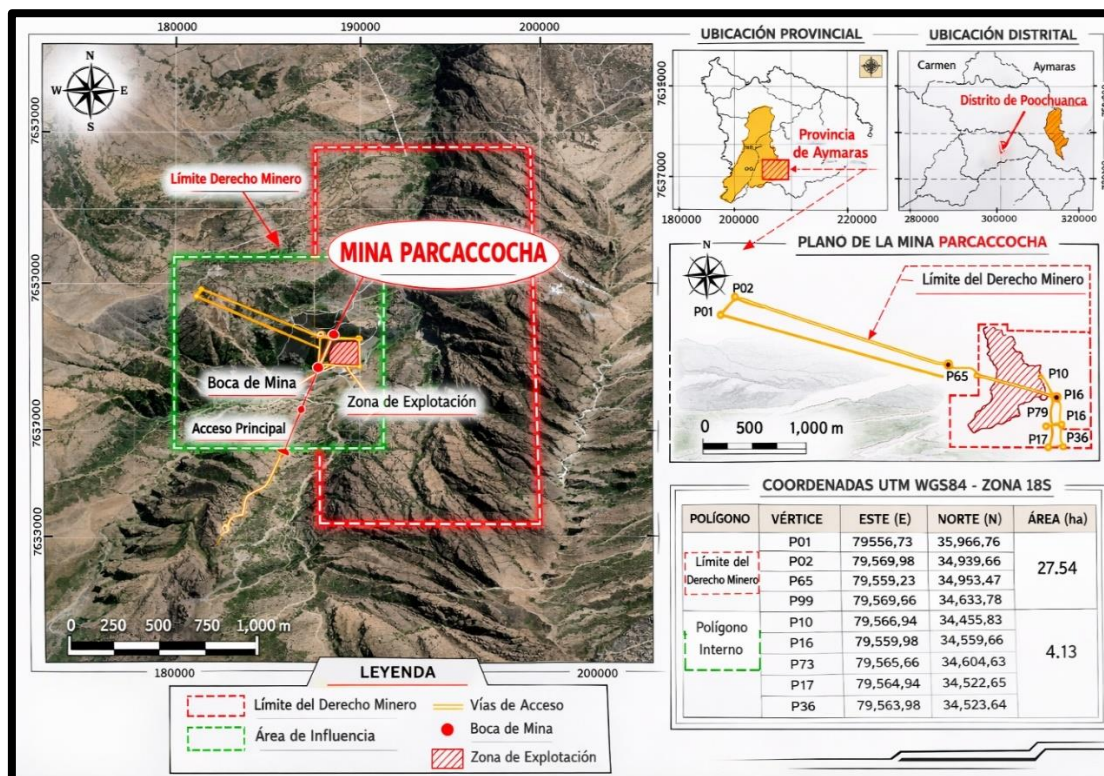
Norte	8452874
Este	671997
FUENTE: Elaboración propia.	

• **Accesibilidad**

Se puede acceder a la mina Parcacocha de las siguientes maneras.

Tabla 3 — Accesibilidad hacia la mina Parcacocha

Tramo 1	Tiempo (horas)	Descripción
Lima – Nasca	7:00 horas	Tramo asfaltado
Abancay - Pocohuanca	3:45 horas	Tramo asfaltado
Pocohuanca - unidad minera Virgen de Carmen	30:00 min	Tramo trocha
Tramo 2	Tiempo (horas)	Descripción
Abancay - Pocohuanca	3:45 horas	Tramo asfaltado
Pocohuanca – unidad minera Virgen de Carmen	30:00 min	Tramo trocha
FUENTE: Google Maps, 2026.		



FUENTE: Elaboración propia.

Figura 1 — Croquis de ubicación de la minera Paracacocha

b) Delimitación social

La investigación involucra a los colaboradores del área de geología, operación, seguridad, planeamiento, costos y áreas auxiliares y en la que se ofrece oportunidad laboral a todos los comuneros, a través de ello el comercio aumentara en la población, generando un movimiento económico entre las poblaciones aledañas de la mina Paracacocha.

c) Delimitación temporal

La indagación se estimó su desarrollo en un tiempo aproximado de 1 año 2 meses.

d) Delimitación conceptual

Esta investigación se enfoca en valorar la aplicabilidad y efectividad de estas metodologías en el diseño de sostenimientos para garantizar la estabilidad de la rampa mediante el uso del software Phase2. Este análisis permitirá desarrollar un diseño de sostenimiento adecuado para la rampa Virgen de Carmen, mejorando la seguridad y eficiencia en las operaciones mineras.

e) Delimitación geológica

• Geología regional

Regionalmente el área del proyecto está localizada en la cordillera del Huanzo, ubicado en el flanco oriental de la cordillera Occidental de los Andes Centrales y estructuralmente está dentro de un segmento de la cordillera de los Andes denominada Inflexión de Abancay. El basamento consiste de rocas sedimentarias cretácicas (calizas y areniscas del grupo Yura), seguido por rocas volcánicas del Eoceno-Oligoceno (Tacaza inferior), secuencia volcánica del Mioceno (Tacaza superior) y del Mioceno superior (formación Aniso). Sobreyaciendo a todas las unidades mencionadas afloran la formación Saycata. Cuerpos porfiríticos (stocks subvolcánicos) afloran parcialmente y en el tope se puede ver remanentes de arenisca (Barrick, 2021).

Para poder ubicar el área de estudio, sobre qué área de estudio nos ubicamos se recurre a la carta Nacional hoja Aymaraes, en las que existe estudio realizado por la planta de minerales maría mercedes que a propósito se encuentra en el ámbito de estudio. Por lo que especifica que los aspectos geomorfológicos en el área de estudio se observa una visible inestabilidad desde un punto de vista geodinámico interno y externo, siendo como evidencias los deslizamientos recientes, reptación de suelos, los derrumbes, asentamientos y entre otros en el ámbito de estudio si se trata a esta escala se evidencian los asentamientos en las infraestructuras en la localidad de Pampachiri que es la población más cercana, que sumados a fenómenos erosivos de magnitud moderada. Por lo que se describe cuando se ejecuten obras corren peligros por acción de fuerzas externas geodinámicas, sin que esto signifique aseveración absoluta, debido a que las fuerzas tectónicas de alcance regional como los sismos, esta podría extender sus ondas hasta el ámbito las cuales se cuantifican por miles de años, lo que nos asegurar su estabilidad regional.

Los agentes externos como los vientos y a su acción moderadora, las lluvias y su acción erosiva, la energía solar y a su acción intemperizadora en combinación a otros agentes externos, si están presentes no significando riesgo alguno para la mina. Las características desde un punto de vista de fundación la mecánica de suelos caracteriza como suelos estables probablemente con baja capacidad portante.

Por lo que la geología regional se emplaza en una complejidad geológica extendiéndose desde el paleozoico continuando con el mesozoico y cenozoico y a su vez prologándose



hasta la era cuaternaria, además en el ámbito de estudio también se observa las diversas fases del tectonismo que estas dieron como resultado el relieve actual de la zona e incluso de Apurímac y así mismo se produjeron y se producen los procesos de geodinámica externa e interna que estas también fueron que forman la configuración del relieve actual. Estas se pueden apreciar los afloramientos rocosos de diversa naturaleza, rocas del grupo ígneo, rocas sedimentarias y sus variedades y rocas metamórficas, teniéndose un predominio mayoritario de las rocas de naturaleza sedimentaria con las de 60 % de los afloramientos rocosos distinguibles.

• **Geología local**

En la conformación geológica de la zona tenemos rocas ígneas e hipabisales cuyas edades varían desde el cretáceo superior hasta el terciario más modernos; en los depósitos más jóvenes (pleistoceno reciente) tenemos a material aluvial, coluvial, y eluvial distribuido a manera de relleno de las quebradas principales.

Las rocas que predominan en la zona son la Granodiorita y Andesita, a la vez, la última mencionada, se encuentra instruida por cuerpos hipabisales de textura porfirítica, diques andesíticos y diques graníticos, los cuales tienen secuencias estratigráficas (INGEMMET, 2018).

Formación Soraya, son afloramientos pequeños, aislados y levemente removido de areniscas que sobreyacen a stocks de andesitas. Las 10 de 137 areniscas son de cuarzos de grano medio a grueso con intersticios tapizados por arcillas y arenisca moderadamente estratificada y con débil alteración en contacto con el stock andesítico. Este pequeño cuerpo de areniscas no ha sido cartografiado a escala distrital por ser escaso.

Formación Aniso (Flujo Piroclástico de Toba Lítica y Ceniza), está conformado por niveles intercalados con tobas líticas y tobas de ceniza andesítica. Los piroclásticos se presentan en bancos delgados y estratificados de color gris blanquecino y tobas líticas de textura eutaxítica gris a gris parduzco. La potencia de esta unidad es variada y supera los 300 metros y aflora hacia el este del proyecto.

Toba lítica andesítica y toba de cristal lítico andesita basáltica, son de colores oscuros, se presentan en bancos gruesos y compactos dando la apariencia de flujos lávicos. Para el



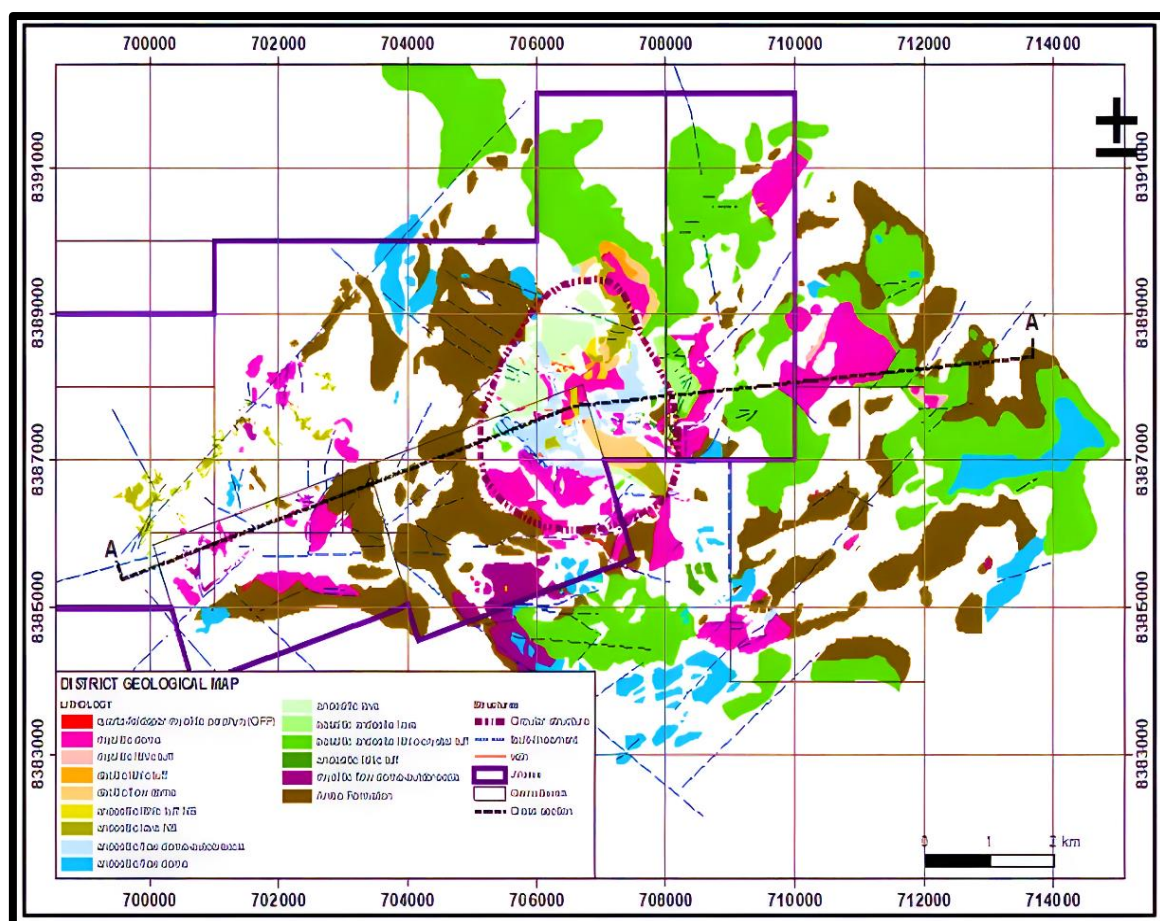
caso de las tobas líticas se han diferenciado dos niveles, estando el nivel superior (andesitic lithic tuff NS) sobreyaciendo niveles de lava andesítica (andesitic lava NS).

Domo de flujo andesítico, se caracteriza por presentar poca inclinación en algunos casos son subhorizontales donde sobreyacen y cortan a los niveles de toba.

Auto brecha de domo de flujo andesítico, es muy característico el flow banding, en la parte central del domo el bandeamiento es subvertical mientras que los flancos es subhorizontal, donde las autobrechas se localizan en el borde o en la parte superior de los domos.

Pórfido riolítico de cuarzo-feldespatos, con el emplazamiento de este cuerpo intrusivo al parecer se selló la actividad magmática en la zona. Corta a todas las secuencias descritas anteriormente. Se caracteriza por presentar ojos de cuarzo y cristales de biotita. También es característico el flow bandín.

Brecha hidrotermal, son afloramientos discontinuos alineados en dirección N-S, de 100m de ancho por 400m de largo, está cortando a la secuencia piroclástica y al stock andesítico. Se caracteriza por tener fragmentos silicificados heterolíticos (cuarcitas y tufos), polifásica (variedades de sílice gris, pardo y crema) y en el tope del afloramiento predomina sílice calcedónica y cortada por fracturas E-W rellena con cristales de baritina y óxido de hierro.



FUENTE: INGEMMET, 2019.

Figura 2 — Geología Local

• Geología estructural

Localmente las estructuras predominantes son: NE-SW, NW-SE y N-S. Los cuerpos de brecha hidrotermal silicificados del sector Inshuñá siguen el lineamiento N-S. Hacia el sur está intersectada por una estructura regional NE-SW que separa el target Colcabamba con la mina Selene. La brecha hidrotermal posteriormente ha sido fracturada por fallas escalonadas normales NE-SW el cual lo ha intersectado la parte norte. Las fallas NW-SE siguen el patrón andino y han sido enmascaradas por las fallas más recientes.

a) Alteración

La brecha hidrotermal polifásica silicificada (fragmento y matriz silicificada), en el tope con matriz calcedónica y con fracturas tapizadas con baritina, en algunos intervalos se comporta como un clavo mineralizado de $Au > Ag$. Bordeado a la brecha hidrotermal con alteración silícea se observa alteración local de argílica avanzada de kaolinita, dickita, alunita, diapora (en fracturas y espacios abiertos), topacio (escaso a ausente) y pirofilita (escaso) y con una extensa

alteración argílica illita, smectita y clorita en los bordes. La alteración argílica avanzada está restringida por la roca caja adyacente de composición andesítica.

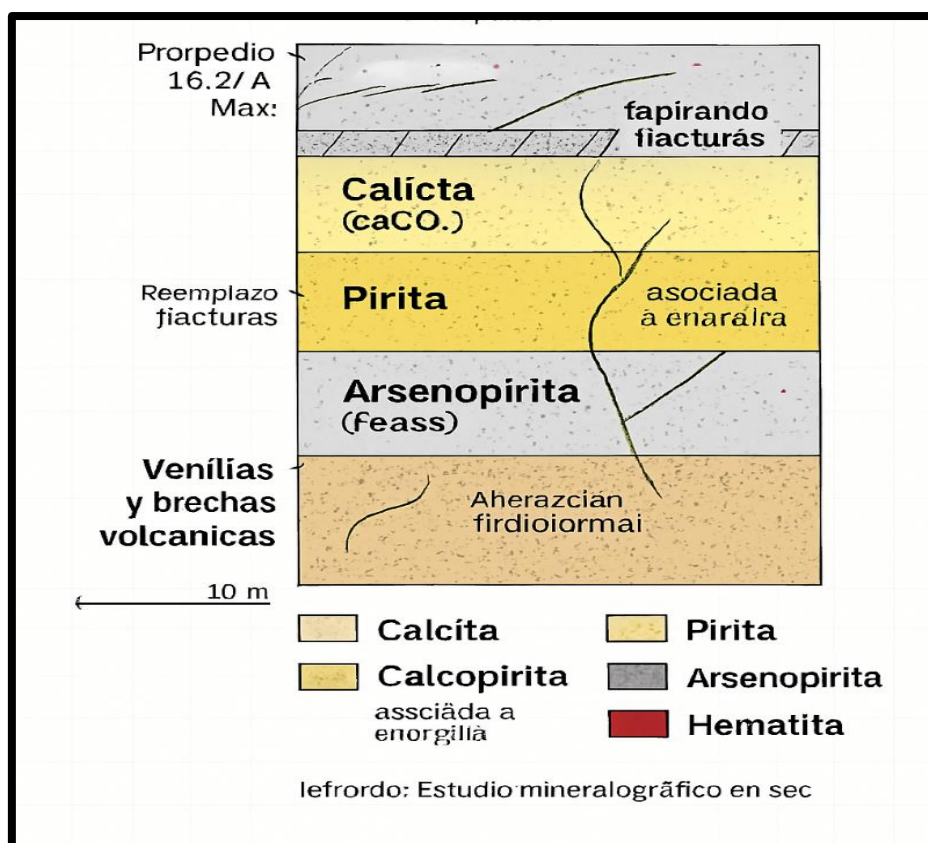
b) Mineralización

Con la finalidad de entender mejor la asociación de minerales se ha efectuado estudios minera gráficos en secciones pulidas con los cuales se ha identificado los siguientes minerales en el yacimiento de Paracocha se identificaron Pirita (Fe_2S). Se halla en forma masiva y reemplazando casi totalmente a la roca original Calcopirita (CuFeS_2). Se observa en diminutos cristales subhedrales y en forma masiva, la calcopirita está asociada a la enargita Calcita (CaCO_3). Se encuentran formando venillas y como parte de la matriz de tobas y brechas.

La Arsenopirita (FeAsS) se presenta como relleno de fracturas junto a la hematita en pequeños cristales tabulares en algunas vetillas asociados a la pirita. Las anomalías de Au tienen promedio de 1.4 g/t Au, con valores de hasta 25.3 g/t Au, no se observa sulfuros. La alta ley está asociada a fracturas tapizados con baritina.

Tabla 4 — Mineralización del estudio de la mina Paracocha

Mineralización	
Pirita	(Fe_2S)
Calcopirita	(CuFeS_2)
Arsenopirita	(FeAsS)
FUENTE: Elaboración propia.	



FUENTE: INGEMMET, 2019.

Figura 3 — Estratigrafía de mineralización de la unidad minera Parcacocha

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Estimar las clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento mediante software Phase2 en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac, 2024.

2.1.1 Objetivos específicos

- Caracterizar las clasificaciones geomecánicas según el sistema Q de Barton para aportar al diseño del sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac, 2024.
- Caracterizar las clasificaciones geomecánicas de Bieniawski para el diseño del sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac, 2024.
- Determinar el diseño adecuado de sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac, 2024.



2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.2 Hipótesis general

Es posible que la adecuada estimación de las clasificaciones geomecánicas mediante el software Phase2 puedan permitir el diseño adecuado de sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac 2024.

2.2.2 Hipótesis específicas

- Las clasificaciones geomecánicas de Q de Barton influyen significativamente en la selección del sostenimiento adecuado para el diseño de la rampa virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac 2024.
- Las clasificaciones geomecánicas de Bieniawski proporciona parámetros fundamentales para el diseño del sostenimiento en la rampa virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac 2024.
- El diseño de sostenimiento obtenido a partir de las clasificaciones geomecánicas mediante análisis, permite garantizar la estabilidad de la excavación en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac, 2024.



Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

FUENTE: Elaboración propia.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 A nivel internacional

- a) Según Incañaupa (2018), el presente trabajo de investigación denominada: “Evaluación geomecánica para el diseño de sostenimiento en la galería de acceso y rampa 430-E Minera Aurífera Retamas, 2023”, tiene por objetivo establecer las características geomecánicas del macizo rocoso para establecer el diseño de soporte en labores como la galería de acceso y rampa 430-E de la minera aurífera Retamas, 2023. El desarrollo de la investigación se optó por aplicar un tipo de investigación aplicada, con un enfoque cuantitativo, donde se utilizaron instrumentos estandarizados en el área de la geomecánica. Los resultados muestran que se ha conseguido establecer que características geomecánicas tienen una importancia significativa para el diseño de sostenimiento en la galería de acceso y rampa 430-E minera aurífera Retamas, 2023; por otro lado, las particularidades geomecánicas del macizo rocoso para el diseño de sostenimiento en la galería de acceso y rampa 430-E minera aurífera Retamas, 2023, son un ángulo de fricción $b = 30^\circ$ y una resistencia de la roca promedio de 933.54 kg/cm². Además, el tipo de soporte a diseñar en la galería de acceso y rampa 430-E minera aurífera Retamas 2023, es de pernos de tipo helicoidal de 1.50 m con resina, con una separación entre pernos de 1.8m, con lo que debemos garantizar un F.S. mayor a 1.5.
- b) Según Mamani (2019), en el presente trabajo de investigación denominada “Clasificaciones geomecánicas para el diseño de sostenimiento en la galería principal contrata peyols, Ananea” tiene como objetivo en la zonificación del macizo rocoso, muestreadas en 54 metros lineales con una sección de 4 x 4.5mts, obteniéndose datos de 11 estaciones de la labor subterránea, la estabilización y el diseño de sostenimiento se determina a través de las características geotécnicas y geomecánicas, teorías de sostenimiento planteadas por Bieniawski y Barton: Deere (RQD), Bieniawski (RMR89), Barton (Q), Hoek (GSI). La determinación de la



calidad del macizo rocoso, mediante el método de detalle lineal muestra las características de las discontinuidades, buzamiento, azimut y dirección de buzamiento, relleno, persistencia, rugosidad, espaciamiento de discontinuidades, presencia de agua, límites de dominio, fallas y diques. Los parámetros geotécnicos y geomecánicos dan como resultado el diseño del tipo de sostenimiento para el macizo rocoso siendo la resistencia a la compresión uniaxial de 88.46 Mpa, el RMR promedio es de 48, que corresponde a una roca regular, con un índice de Q promedio de 0.96, el resultado del análisis cinemático muestra el tipo de cuña. El tipo de soporte proporciona pernos en la corona como en los hastiales con diámetro de taladro de 20 mm, longitud de 3 a 4 m, espaciamiento de 1.5 a 2 m y hormigón proyectado de 4 a 10 cm. de espesor, con un factor de seguridad de 1.26. Se concluye que la aplicación de la geomecánica determina el sistema de sostenimiento adecuado.

- c) Según Alvares (2020), en su tesis de postgrado “Modelamiento geoestadístico de la clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR)”, el objetivo principal de esta investigación fue desarrollar un modelo predictivo para la clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR 1989) en un yacimiento, además de cuantificar la incertidumbre asociada a este parámetro mediante simulación geoestadística. Se aplicó una metodología sintetizada para cumplir con los objetivos planteados, enfocándose en un estudio de caso con un enfoque cuantitativo.

Los resultados obtenidos muestran que las simulaciones permiten predecir el comportamiento esperado del yacimiento, con valores promedio de RMR que oscilan entre 50 y 63 en el primer caso, y entre 53 y 64 en el segundo. Estos valores clasifican el macizo rocoso como de calidad regular a buena, con baja probabilidad de encontrar rocas de mala calidad, lo que indica un bajo riesgo para futuras operaciones mineras. La investigación concluyó con la generación de mapas predictivos mediante dos enfoques distintos. Al comparar ambos mapas, se observaron diferencias: la primera simulación mostró distribuciones menos dispersas y mayor continuidad a corta escala. Sin embargo, las estadísticas de los errores en la validación cruzada, considerando el rango de RMR (0 a 100) y su dispersión, no permitieron determinar una superioridad clara entre los enfoques en términos de capacidad predictiva en áreas no muestreadas.



d) Según Contrado (2021), en su tesis titulada “Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de un sostenimiento adecuado en mina Chaparra, Caravelí, Arequipa - 2021” tuvo como objetivo general definir por el método de Q Barton, cuál será el diseño de sostenimiento más adecuado, de acuerdo al dominio geomecánico en la mina Chaparra - Caravelí, Arequipa – 2021. La metodología fue de nivel explicativa, diseño no experimental transeccional y bajo enfoque cuantitativo, se aplicó a muestras no probabilísticas representadas por once tramos o progresivas a lo largo de la profundidad o excavación de la mina en sondeos de afloraciones rocosas. Se aplicaron como técnicas y métodos para la recolección de información, la observación directa, utilización de la picota y el método Q de Barton.

Con ello, se determinó la calidad del macizo rocoso, se evaluó el nivel de riesgo geomecánico que incide en la seguridad del personal, se definió el diseño de sostenimiento más adecuado y, por último, se realizó una evaluación técnica y económica de la propuesta determinada. Los resultados mostraron a lo largo del dominio de la mina, un 50% de roca con calidad buena, un 20% con calidad muy buena, un 20% con calidad muy baja y un 10% con calidad regular, resultando en promedio una calidad de roca buena para un Q Barton de 29. Se encontró un 29% de riesgo muy alto (por el tipo de desate de roca y método de explotación), 29% de riesgo bajo, 14% de riesgo alto (tipo de voladura de la excavación), 14% riesgo muy bajo y un 14% de representación de riesgo medio atribuido (tipo de perforación y sostenimiento de mina). Por otro lado, se determinó un sistema de sostenimiento de empernado puntual para dominios con calidad de roca muy mala, reforzados de sistemas con espaciado 1.5 - 2 m más shotcrete proyectado con espesor de 5 - 6 cm con fibra, B + Sfr.; en tanto para dominio con calidad buena, en su mayoría, corresponde empernado sistemático con espaciado entre 2 - 3 m más shotcrete proyectado con espesor de 5 - 6 cm con fibra, B + Sfr. Por último, para dominio con calidad muy buena, resultó sostenimiento puntual con espaciado entre 3 – 3.8 m, SB. Finalmente, se presenta un diseño de sostenimiento activo, constituido por pernos de anclaje por adhesión del tipo helicoidal, cuyo costo de implementación corresponde S/ 3,125.97 por metro lineal.

3.1.2 A nivel nacional

a) Según Salazar (2020), la tesis de pregrado “Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajos de explotación por el método de corte



y relleno ascendente unidad minera Yauricocha Sociedad Minera Corona S.A.” El objetivo de esta investigación fue determinar cómo influye la evaluación geomecánica en la selección del tipo de sostenimiento para los tajos de explotación mediante el método de corte y relleno ascendente en el tajeo 0337, RP basculante, piso 0 nivel 1170, zona V, unidad minera Yauricocha. Se aplicó una metodología de enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo-explicativo y de tipo cuasi experimental. Como resultado, se realizó una descripción petrográfica del macizo, determinando que la roca predominante es andesita, compuesta por plagioclasas, cuarzo y hornblenda.

Las propiedades físicas obtenidas fueron: contenido de humedad de 0.50777%, porosidad de 1.46408%, absorción de 0.52542%, densidad masiva de 2563.3 kg/m³, densidad seca de 2588.244 kg/m³ y gravedad específica de 2.80065. En cuanto a las propiedades mecánicas, el RQD fue de 97.343%, la resistencia a la compresión medida con el martillo de Schmidt fue de 150 MPa, y el RMR fue de 74. La conclusión principal fue que, según la clasificación geomecánica de Bieniawski, el tipo de sostenimiento recomendado para la roca analizada, con un valor de 74 puntos en la clasificación RMR, es el de macizo rocoso bueno (clase II). Esto sugiere el uso de pernos Split set de 3m en la corona, espaciados a 2.5m, con malla electrosoldada y shotcrete ocasionalmente.

- b) Según Calama (2021), en la tesis de pregrado “Evaluación geomecánica para la selección del tipo de sostenimiento en la construcción en la rampa-440, en la minera aurífera cuatro de enero S.A. (Macdesa) - Arequipa” fijo como objetivo, determinar la influencia de la evaluación geomecánica en la selección del tipo de sostenimiento para cada tipo de roca mediante la clasificación geomecánica en la construcción de la rampa 440 se aplicó una metodología de enfoque descriptivo no experimental obtuvo los resultados que garantizan una mejor selección del tipo de sostenimiento para cada tipo de roca mediante la clasificación geomecánica de Bieniawski de 1989 y Q de Barton, los cuales reducen los tiempos y costos de sostenimiento. Finalmente, fija como conclusión principal que la evaluación geomecánica del macizo rocoso en la construcción de la rampa 440 de la minera aurífera Cuatro de enero S.A. Para efectos de selección de sostenimiento de acuerdo a la clasificación geomecánica de Bieniawski de 1989 y Q de Barton, esta permitió determinar que



la selección del tipo de sostenimiento adecuado para cada tipo de roca está en función de una evaluación geomecánica constante y eficiente.

- c) Según Flores (2021), Autor en la tesis de pregrado “Caracterización geomecánica del macizo rocoso para determinar el tipo de sostenimiento en la concesión minera subterránea Zenit 1, distrito San Luis” fijo como objetivo, realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso para determinar el tipo de sostenimiento en la concesión minera subterránea Zenit 1, distrito de San Luis aplico una metodología obtuvo los resultados se realizó el mapeo del macizo rocoso para determinar un tipo de sostenimiento adecuado y de acuerdo a los datos obtenidos de la caracterización del macizo rocoso es mala debido al afloramiento que alteraron el macizo rocoso siendo esta inestable para su extracción del mineral se evaluó los parámetros geomecánicos de RMR de Bieniawski y se determinó que el tipo de sostenimiento depende de la calidad del macizo rocoso y su competencia para determinar mediante estudios geomecánicos el tipo de sostenimiento y el tipo el cual va a durar para las labores mineras, finalmente fija como conclusión, en relación al objetivo de la selección de la metodología se encontró que el estudio más completo es de realizar mediante uso de simulación de programas de sostenimientos y esfuerzo atencional del macizo rocoso para evaluar y determinar con mejor aceptación la determinación de un tipo de sostenimiento más adecuado para la extracción de mineral en las labores subterráneas.
- d) Según Espinoza (2023), el presente proyecto de investigación denominado “Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento” se basa en el planteamiento del problema sobre: ¿Cómo influye la evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción del Nv. 720, en la unidad económica Yauricocha?, cuyo objetivo general fue determinar cómo influye la evaluación geomecánica en el sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción del Nv. 720, en la unidad económica Yauricocha, para luego desarrollar la hipótesis general: La evaluación geomecánica influye verdaderamente para determinar el tipo de sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción del Nv. 720, en la unidad económica Yauricocha. El tipo de investigación se orienta a una investigación del tipo descriptivo, donde se describe las características geomecánicas de la roca para obtener la calidad de la misma y correlacional, porque mide la relación entre calidad de la roca y la



estabilidad de las excavaciones; el nivel de investigación es descriptivo y explicativo no experimental por qué se ha basado en conceptos, categorías, sucesos ocurridos; siendo el método de investigación el científico y como diseño de investigación el no experimental-transeccional; la población estuvo constituida por las labores de Sociedad Minera corona S.A.- Unidad Yauricocha y la muestra fue la Cámara para el Winche de Producción del Pique Yauricocha que se ubica en el Nv. 720. Como conclusión se determinó que según la evaluación geomecánica, la Cámara Winche, esta presenta una calidad predominante regular B (RMR 49) y según el índice de Q de Barton es de 1.35, el macizo rocoso está compuesto de una caliza de resistencia regular (60-80 MPa), con 03 sistemas de discontinuidades, con ángulos de buzamiento que varían entre los 50° - 85°. El índice GSI es Muy Fracturado (MF)/ Regular(R).

El sostenimiento recomendado según la cartilla GSI es Perno Helicoidal Sistemático 7' + Malla electrosoldada 1.0 m x 1.0 m o 1.2 m x 1.2 m. Para usar el índice Q y determinar el tipo de soporte de la infraestructura de la Cámara para el Winche de iv Producción se ha determinado que esta pertenece a una categoría de excavación F siendo el ESR 0.8. Por lo tanto, se determinó que el sistema de sostenimiento de la Cámara para el Winche de Producción seria: Perno Helicoidal Sistemático 7' + Malla electrosoldada distribuidas a 1.2 m x 0.85 m. Para una abertura de 16.6 m de ancho por 21.0 m de largo por 9.6 m de altura, se requiere Cables Bolting de 7.0 m con diámetro de Ø15.24 mm espaciados a 1.5 m X 1.5 m + Shotcrete de 4" con 35 kg Fibra/m³.

3.1.3 A nivel local

- a) Según Huamani (2022), el presente Trabajo de Tesis titulado " Implementar sostenimiento combinado con fore pilling del crucero 4520 para optimizar los costos operativos en la asociación pepas de oro ", El Proyecto describe fundamentalmente como se mejora el ciclo de minado gracias al uso del sostenimiento combinado con Fore Pilling, más instalación de pernos de 8 pies como sostenimiento definitivo. Con la aplicación de este sostenimiento se han podido atravesar terrenos muy críticos; que normalmente requerían de cimbras metálicas como elemento de sostenimiento para poder continuar con el avance de la excavación subterránea de manera segura. Por lo que el uso de este tipo de sostenimiento combinado con Fore Pilling ha contribuido a la reducción de costos



en cuanto al uso de materiales para sostenimiento y sobre todo una reducción en el tiempo que se demora en sostener una determinada área si comparamos con el uso de las cimbras metálicas; lo cual trae como consecuencia que el avance de la excavación subterránea sea más fluido, mejorando de esta manera el ciclo de minado y el aumento de la producción.

- b) Según Catalan (2024), en su trabajo de investigación titulada: “Comportamiento geomecánico del macizo rocoso analizados mediante clasificaciones geomecánicas galería nivel 4040, mina Victoria, Aymaraes, 2024”, tuvo como objetivo: determinar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso para estimar el sostenimiento de la galería, mina Victoria, en este estudio siendo la metodología, es una investigación de enfoque cuantitativo se aplicó el método científico, de tipo aplicada, nivel; de Según descriptivo – explicativo, siendo el diseño no experimental la población es la mina Victoria y muestra galería nivel 4040, cuyos resultados del comportamiento geomecánico analizados mediante las clasificaciones geomecánicas, se determinó la calidad de la roca es regular y su estado podría estar entre aceptable y algo deteriorado, con una resistencia al ensayo de carga puntual 130 MPa en promedio de las tres litologías.

El software Rocdata demostró su comportamiento geomecánico del macizo rocoso es Elasto -frágil. El sostenimiento determinado mediante el software Phase2 corresponde a sostenimiento sistemáticos de 4m reforzados con mallas de 5 a 10cm. Esto se debe a que los parámetros indican una resistencia inicial alta seguida de una deformación plástica gradual y una posible disminución en la resistencia después de la ruptura. Conclusión de la investigación; de acuerdo a los resultados obtenidos el software Rocdata, permitió una simplificación de los métodos de caracterización, tipología estructural, clasificación y modelamiento de los macizos rocosos, siendo el programa con un interfaz muy limpia e intuitiva que permitió determinar, gran número de parámetros geomecánicos, según diversos modelos como Mohr-Coulomb, Hoek-Brown etc. el sostenimiento adecuado para la galería ayudará a mantener la seguridad y estabilidad de la excavación, incluso en áreas con zonas plásticas significativas.

- c) Según Pumacayo (2025), en su tesis de pregrado de título “Evaluación de clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento en la galería nivel 3690, mina Esperanza, Aymaraes, Apurímac 2023” fijo como objetivo determinar



las clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento y aplicó el método deductivo, tipo: aplicada, nivel: descriptivo – explicativo de diseño no experimental, siendo la población la mina Esperanza y la muestra galería nivel 3690. En Los resultados de las clasificaciones geomecánicas se obtuvo, que la calidad de la roca es regular a mala IV B y su estado podría estar entre aceptable y algo deteriorado con una resistencia de compresión simple de 130 MPa con un RQD de 40% con una abertura de 1-5mm, rugosidad aceptable, relleno duro de 5mm y su alteración de goteo alterada, con unas discontinuidades rugosas levemente alterada, se rompe con dos o más golpes de picotas.

El diseño de sostenimiento determinado en el software phase2 corresponde a sistemáticos de 5m reforzados con mallas y shotcrete de 5 a 10cm, esto se debe a que los parámetros indican una resistencia inicial alta, seguida de una deformación gradual y una posible disminución en la resistencia después de la ruptura. Como conclusión, se determina el diseño de sostenimiento con pernos sistemáticos de 1.50 x 1.50m cinta ocasional, tiene que ser resistente también lo recomendable es usar malla cimentadas con Split set sistemáticos.

3.2 Marco teórico

3.2.1 Clasificaciones geomecánicas

Las clasificaciones geomecánicas tienen como objetivo fundamental obtener parámetros geomecánicos que se emplean en el diseño y la planificación de obras de ingeniería, especialmente en minería y construcción. Estas clasificaciones, fundamentadas en la observación directa de las características de los macizos rocosos y en la realización de ensayos, proporcionan índices de calidad que reflejan tanto la calidad como el comportamiento del macizo rocoso frente a sistemas de sostenimiento en túneles y taludes.

Según Rodríguez (2020), estas herramientas son esenciales para evaluar la estabilidad del macizo rocoso y determinar el tipo de sostenimiento necesario, optimizando la seguridad y la eficiencia en excavaciones subterráneas y operaciones mineras, entre las clasificaciones más comunes se encuentran:

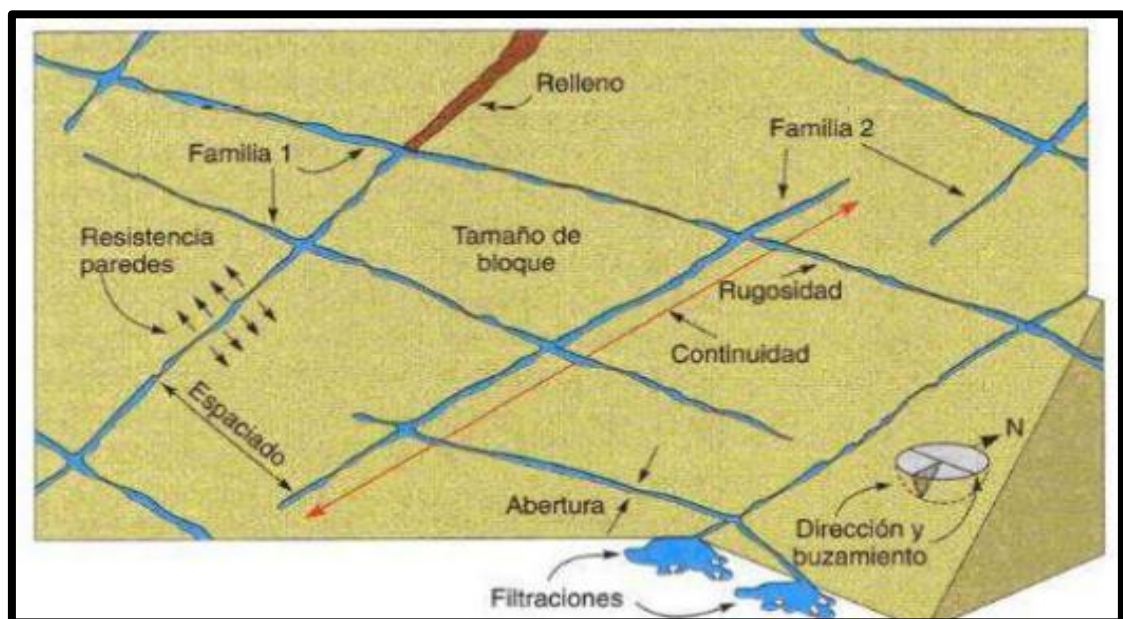
- **El RMR de Bieniawski**, que clasifica el macizo rocoso considerando su resistencia y las características de las discontinuidades.



- **El Q System de Barton**, que evalúa la frecuencia y el tipo de fracturas presentes.
- **El GSI de Hoek**, que analiza la estructura geológica y el grado de fracturación del macizo.

Para estas evaluaciones, se consideran características clave del macizo rocoso, tales como:

- La resistencia del macizo.
- El índice de calidad de la roca (RQD).
- El espaciado y la orientación de las discontinuidades.
- Las condiciones de las discontinuidades.
- La presencia de estructuras geológicas y fallas.
- Las infiltraciones de agua y su impacto.
- El estado tensional del macizo.



FUENTE: Gonzáles, 2002.

Figura 4 — Representación esquemática de las propiedades geométricas de las discontinuidades.

3.2.2 El RMR de Bieniawski (1989)

Esta clasificación geomecánica RMR o Rock Mass Rating fue desarrollado por Bieniawski durante los años 1972-73, y modificado posteriormente en 1976 y

1979, en base a más de 300 casos reales de túneles, taludes y cimentaciones. Actualmente se usa la edición 1989. La teoría de Bieniawski constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros de diseño y de sostenimiento de túneles. El RMR se obtiene estimando seis parámetros y el valor que define la clasificación es el denominado índice RMR (Rock Mass Rating), que indica la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de los siguientes parámetros:

- Resistencia a la compresión simple ensayo PLT, ensayo de compresión simple: ensayo RQD.
- R.Q.D. Grado de fracturamiento del macizo rocoso.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Orientación de las discontinuidades.

Tabla 6 — Parámetros de clasificación y sus valoraciones para estimar el RMR

Parámetros de clasificación y sus valoraciones									
Parámetro			Rango de valores						
1	Resistencia de roca intacta	Índice de carga puntual	>10MPa	4-10 Mpa	2-4 MPa	1-2 MPa	Para este rango bajo, es preferible el ensayo de		
		Resistencia compresiva uniaxial	>250MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 Mpa	1-5 MPa	<1 MPa
	Valoración		15	12	7	4	2	1	0
2	Calidad de testigo de perforación RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%		
	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Espaciamiento de discontinuidades		>2m	0,6-2m	0,2-0,6m	60-200 mm	<60mm		
	Valoración		20	15	10	8	5		

4	Condiciones de las discontinuidades		Superficies muy rugosas no continuas Cerradas sin apertura Paredes rocosas sanas	Superficies ligeramente y rugosas Apertura < 1 mm Paredes ligeramente e intemperie.	Superficies ligeramente y rugosas Apertura < 1 mm Paredes altamente intemper	Espejo de falla o panizo < 5mm de espesor Apertura de 1-5mm juntas continuas	Pánico suave > 5mm de espesor o apertura > 5mm Juntas continuas
	Valoración		30	25	20	10	0
5	Agua subterránea	Flujo de 10m de longitud de túnel (l/m) presión de agua / principal	Ninguno o 0 Completamente seco	< 10 < 0,1 Húmedo	10-25 < 0,1 Mojado	25-125 0,1-0,2 Goteo	> 125 > 0,5 Flujo
		Valoración	15	10	7	4	0

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 7 — Parámetro de resistencia de la roca sana en (Mpa)

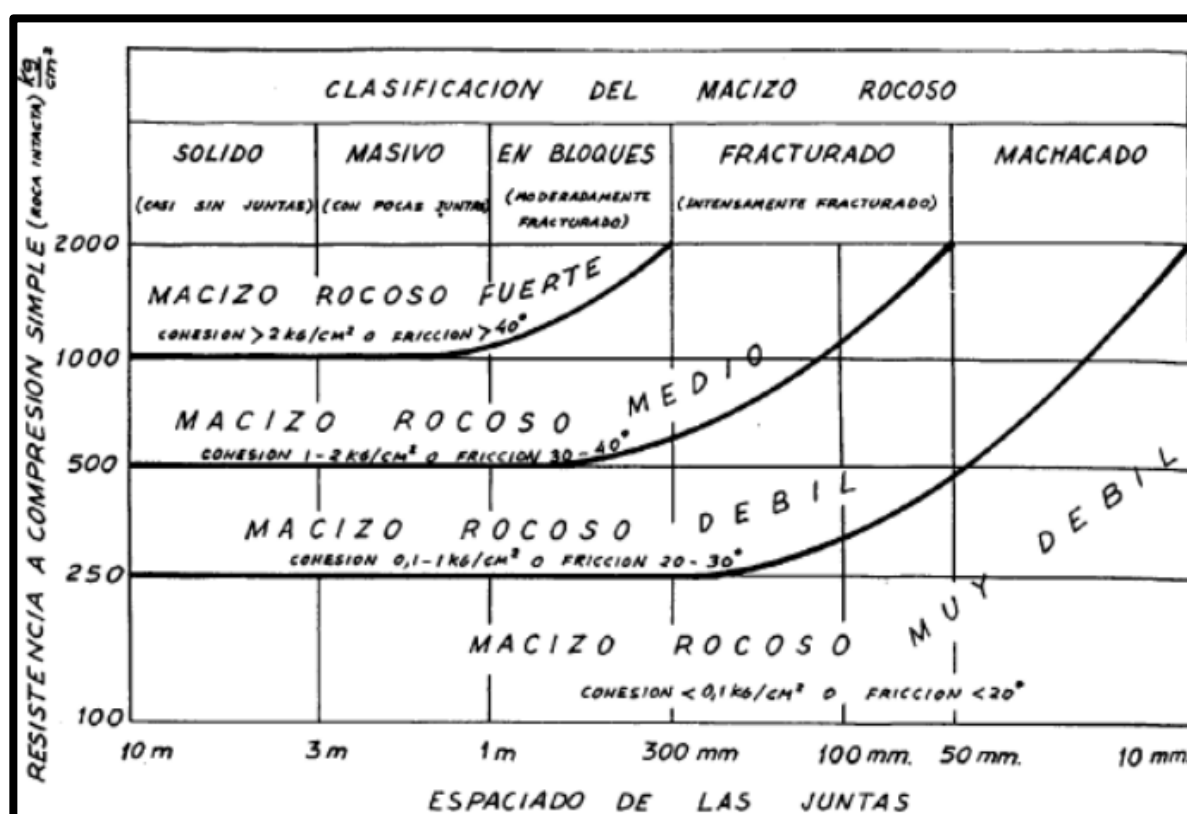
Descripción	Resistencia a la compresión simple	Ensayo de carga puntual (MPa)	Valoración
Extremadamente dura	> 250	> 10	15
Muy dura	100 - 250	4 - 10	12
Dura	50 - 100	2 - 4	7
Moderadamente dura	25 - 50	1 - 2	4
Blanda	5 - 25	< 1	2
Muy blanda	1 - 5		1
	< 1		0

FUENTE: Bieniawski, 1989.

Tabla 8 — Resistencia a la compresión simple de los diferentes tipos de roca

Tipo de roca	Resistencia a la compresión simple (MPa)		
	Mínimo	Máximo	Medio
Limolita	25	38	32
Pizarra	33	150	70
Arcillita	36	172	95
Arenisca	40	179	95
Mármol	60	140	112
Caliza	69	180	121
Andesita	127	138	128
Granito	153	233	188
Gneis	159	256	195
Basalto	168	359	252
Cuarcita	200	304	252

FUENTE: Bieniawski, 1989.



FUENTE: Bieniawski, 1989.

Figura 5 — Clasificación del macizo rocoso según su resistencia a la compresión simple

a) Índice de calidad de la Roca (RQD)

Fue desarrollado por Deere, el RQD:

$$RQD = \frac{\sum \text{ripios} > 10 \text{ cm}}{\text{Total de la perforacion}}$$

(DEERE, 2018)

Para el segundo caso se utiliza la siguiente formula:

$$RDQ = 115 - 3,3 (J_v)$$

Para el tercer caso se utiliza la siguiente formula:

$$RQD = 100 e^{(0,1\lambda)} (0,1\lambda + 1)$$

3.2.3 Clasificación geomecánica de Barton

Basándose en una gran cantidad de casos tipo de estabilidad en excavaciones subterráneas, el Norgerian Geotechnical Institute (N.G.I.), propuso un índice para determinar la calidad del macizo rocoso en túneles y taludes.

El Sistema Q es un sistema de clasificación del macizo rocoso con respecto a la estabilidad de excavaciones subterráneas para brindar una descripción de la calidad del macizo rocoso. El Sistema Q se basa en la estimación de seis parámetros independientes y expresa la calidad de la roca Q, esta clasificación utiliza seis parámetros para definir la clase de macizo:

El valor numérico del índice de Q se calcula mediante la siguiente formula:

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

donde

RQD	índice de calidad de la roca de Deere;
J _n	parámetro basado en el número de familias de discontinuidades;
J _r	parámetro basado en la rugosidad de las discontinuidades;
J _a	parámetro basado en la alteración de las discontinuidades;
J _w	parámetro basado en la presencia de agua;
SRF	factor de reducción de esfuerzos.

Agrupando los seis parámetros en tres factores:



- **RQD/Jn:** Tamaño de bloques Jr/Ja: resistencia al cizallamiento entre bloques
- **RQD/Jn:** Es una medida rudimentaria del tamaño de los bloques con valores extremos 100/0.5 y 10/20, entendiendo el valor mínimo de RQD=10%, por tanto, el rango limitado de RQD se extiende gracias a la división por el factor Jn. Este cociente representa la estructura a gran escala del macizo rocoso dando una cruda medición respecto al tamaño del bloque de entre 20 y 0.5, son vistas como una aproximación cruda, pero bastante realista, aunque probablemente el 45 tamaño más grande será varias veces el tamaño extremo del parámetro y los fragmentos más pequeños, menores a la mitad del valor del cociente, donde las partículas de arcilla están obviamente excluidas.
- **Jr/Ja:** La rugosidad y las características de la fricción de las paredes de las diaclasas o de la materia de relleno. Este cociente se inclina a favor de las diaclasas rugosas e inalteradas que se encuentran en contacto directo. Estas superficies están cerca de la resistencia óptima y tenderán a dilatarse fuertemente cuando estén sometidos a esfuerzos cortantes y, por lo tanto, serán muy favorables a la estabilidad del túnel. Cuando las diaclasas tienen recubrimiento y relleno arcillosos delgados se reduce notablemente su resistencia, sin embargo, el contacto de las paredes después de un ligero desplazamiento por el esfuerzo cortante puede ser muy importante y salvar la excavación de un colapso.
- **Jw/SRF:** Representa dos grupos de parámetros de esfuerzo.
- **SRF:** Se puede considerar un parámetro tal de esfuerzos a: o La carga que se disipa en el caso de excavación dentro de una zona de fallas y rocas compactada con arcilla. o Los esfuerzos de una roca competente. o Las cargas compresivas en una roca plástica competente.
- **Jw:** Corresponde a una medición de la presión de agua en las fisuras que tiene un efecto negativo en la resistencia de esfuerzos cortantes de las fisuras debido a la reducción del esfuerzo efectivo normal. El valor del índice Q es un buen estimador de estabilidad del macizo rocoso tal que altos valores indican buena estabilidad y bajos valores indican mala estabilidad queriendo ir este valor desde 0,001 hasta 1000. El valor de Q se calcula a partir de la determinación del valor numérico de 6 parámetros, que es la guía para determinar el valor numérico en terreno.



- **SRF**: Índice del estado de tensión del macizo, toma el valor de: (1) la carga que se disipa en el caso de una excavación dentro de una zona de fallas y de roca empacada en arcillas; (2) los esfuerzos en una roca competente; (3) las cargas compresivas en rocas plásticas incompetentes, Q se define por:

El primer cociente (RQD / J_n), representa la estructura del macizo, es una medida rudimentaria del tamaño de los bloques o de las partículas con dos valores extremos (100/0,5 y 10/20) con un factor de diferencia de 400.

El segundo cociente (J_r/J_a), representa la rugosidad y las características de la fricción de las paredes de las fisuras o de los materiales de relleno.

El tercer cociente (J_w / SRF), representa la influencia del estado tensorial, a calidad de la roca R.Q.D. de haberse obtenido de las ecuaciones de correlación.

Parámetros para definir la clase de macizo según las tablas siguientes:

Tabla 9 — Valoración del Índice de calidad de R.Q.D.

Índice de calidad R.Q.D. (%)	Calidad	Valoración
0-25	Muy mala	3
25-50	Mala	8
50-75	Regular	13
75-90	Buena	17
90-100	Excelente	20
FUENTE: Barton, 1974.		

Tabla 10 — Valoración de la rugosidad de las discontinuidades

Factor de rigurosidad de las discontinuidades		
	Descripción	Jr.
A	Diaclasas discontinuas	4
B	Rugosas e irregulares, onduladas	3
C	Lisas, Onduladas	2
D	Lustrosas Ondulantes	1,5
E	Rugosas o irregulares, planares	1,5
F	Lisas, Planares	1
G	Lustrosas, Planares	0,5
H	Zona conteniendo arcillas en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la fractura	1
J	Zona de material arenoso en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la fractura	1
NOTAS. En grupos A hasta la G, el contacto entre las superficies de la discontinuidad se logra con desplazamientos de cizalla Inferiores a los 10 cm. En los grupos H y J no se produce contacto entre las superficies al ocurrir desplazamientos de cizalla * Agregar 1,0 cuando el espaciamiento medio de las diaclasas fuera superior a 3 cm. * Jr.= 0,5 puede ser usado para juntas planares lustrosas que tienen alineaciones, siempre que las alineaciones están orientadas para la resistencia mínima FUENTE: Elaboración propia.		

Tabla 11 — Valoración del número de discontinuidades

Número de discontinuidades	
Descripción	Jn
Masiva o con muy poca discontinuidad	0,5 – 1,0
Un sistema de discontinuidad	2
Un sistema de principal y uno secundario	3
Dos sistemas de discontinuidad	4
Dos sistemas principales y uno secundario	6
Tres sistemas de discontinuidades	9
Tres sistemas principales y uno secundario	12
Cuatro sistemas de discontinuidades o mas	15
(roca muy fracturada)	
Roca triturada (Terrosa)	20
i) Para intersecciones de túneles, usar $(3,0 \cdot Jn)$	
ii) Para portales usar $(2,0 \cdot Jn)$	
FUENTE: Elaboración propia.	

Tabla 12 — Valoración del número de discontinuidades

Factor de alteración de las discontinuidades		
Descripción		Ja
a) Contacto entre superficies de la discontinuidad (sin relleno de mineral, solo recubrimientos)		
A	Ajustadas, rellenas con material compacto	0,75
B	Superficies inalteradas, ligeras manchas de oxidación	1
C	Superficies ligeramente alteradas, cubiertas con material granular no arcilloso, producto de la desintegración de la roca.	2
D	Capas superficiales de material limoso o arcilloso arenoso, con una pequeña fracción cohesiva.	3
E	Capas superficiales de arcilla (caolinita, mica cloritas, etc.) cantidades pequeñas de arcilla expansiva en capas de 1- 2 mm de espesor	4
b) Contacto entre superficies de la discontinuidad se produce después de 10cm de (relleno de mineral fino)		
F	Relleno granular no cohesivo, roca desintegrada libre de partículas arcillosas	4
G	Material con alto grado de consolidación, relleno continuo (hasta de 5mm. de espesor) de material arcilloso compacto.	6
H, I	Relleno continuo (hasta de 5mm. De espesor) de material arcillosos compacto con bajo grado de consolidación	8
J	Relleno continuo de arcilla expansivas (Montmorillonita) el valor de Ja dependerá del % de expansión, el tamaño de las partículas arcillosas, la accesibilidad del agua, etc.	8 - 12
c) No contacto entre superficies de la discontinuidad después de cizalla (relleno de mineral grueso)		
K, L, M	Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y	6 - 8 ó
	arcilla (ver G, H, J para la descripción de los tipos de arcilla)	8 - 12
N	Zona de arcilla limosa o arenosa	5
O, P, Q	Zonas potentes y continuas de arcilla (ver G, H, J para la	10 - 13 ó
	descripción de los tipos de arcilla)	13 - 20
FUENTE: Minera Calpa, 2021.		

Tabla 13 — Valoración de coeficiente reductor por la presencia de agua

Factor de reducción por contenido de agua en fracturas		
Descripción		Jw
A	Secas o flujos bajos (5 l/min)	1
B	Flujos a presiones medias que ocasionen erosión del material de relleno	0,66
C	Flujos o presiones altas en roca competente con diaclasas sin relleno	0,5
D	Flujos a presiones altas con erosión considerable del material de relleno	0,33
E	Flujos o presiones excepcionalmente altas luego de la voladura disminuyendo con el tiempo	0,2 – 0,1
F	Flujos o presiones excepcionalmente altas sin que ocurra una disminución en el tiempo	0,1 – 0,05

NOTAS.

Para la caracterización general de las masas de roca distantes de las influencias de excavación, el uso de $J_w = 1,0, 0,66, 0,5, 0,33$, etc. aumenta con la profundidad como por ejemplo 0-5m, 5-25m, 25-250m a > 250m se recomienda, si se asume que RQD / J_n es lo suficientemente bajo (ejemplo 0,5-25) para una buena conectividad hidráulica. Esto le ayudará a ajustar Q para algunos de las tensiones efectivas y los efectos de ablandamiento de agua. Correlaciones con módulo de deformación estática y la profundidad dependen de la velocidad sísmica. En la práctica usar estos valores cuando se desarrollan.

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 14 — Valoración de factor de reducción por tensiones

Factor de reducción por tensiones				SRF
A) Las zonas débiles intersecan a la excavación, pudiendo producirse desprendimientos de rocas a medida que la excavación del túnel va avanzando.				
A	Muchas zonas débiles de arcilla con evidencias de desintegración química roca circundante muy suelta cualquier profundidad			10
B	Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad menor 50m)			5
C	Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada, profundidad mayor 50m.			2.5
D	Muchas zonas de falla en roca competente, roca circundante suelta. (cualquier profundidad)			7.5
E	Zona de falla aislada en roca competente profundidad menor a 50 m.			5
F	Zona de falla aislada en roca competente profundidad mayor a 50 m.			2.5
G	Diaclasas abiertas y sueltas roca intensamente fracturada, en terrones, cualquier Prof.			5
i) Reducir estos valores de SRF por 25-50% si las zonas de fallas influyen, pero no intersecan la excavación.				
B) Rocas competentes, problemas tensionales en las rocas		sc/s1	sq/sc	SRF
H	Tensiones bajas, poca profundidad, diaclasas abiertas	> 200	< 0.01	2.5
J	Tensiones moderadas, condiciones tensionales favorables	200 – 10	0.01 - 0.3	1
K	Tensiones elevadas, estructura muy compacta. Normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales	10 – 5	0.3 - 0.4	0.5 - 2
L	Lajamiento moderado de la roca después de 1 hora en rocas masivas	5 – 3	0.5 - 0.65	5 - 50

M	Lajamiento y estallido de la roca después de pocos minutos en rocas masivas	3 – 2	0.65 - 1	50 - 200
N	Estallidos violentos de roca (deformación explosiva) y deformaciones dinámicas inmediatas en rocas masivas	< 2	> 1	200 - 400
Nota ii) Para campos insitu fuertemente anisotrópico (si se ha medido): cuando $5 \leq s_1/s_3 \leq 10$, reducir sc en 0.75sc, cuando $s_1/s_3 > 10$, reducir sc a 0.5sc, donde sc=esfuerzo compresivo sin confirmar, s1 y s3 son los esfuerzos principales mayores y menores y sq=esfuerzo tangencial máximo (estimado de la teoría de la elasticidad)				
iii) Existen algunos registros disponibles que señalan que la altura del techo de la excavación a superficie es mejor que el ancho de la labor. Para este caso se sugiere incrementar de 2.5 a 5 para estos casos (ver H).				
C) Rocas deformables: flujo plástico de roca incompetente a altas presiones litostaticas			sq/sc	SRF
O	Presión de deformación suave	1 - 5		5 a 10
P	Presión de deformación intensa	> 5		10 a 20
Nota iv) Casos de deformaciones de roca pueden ocurrir para profundidades $H > 350 * Q^{(1/3)}$. La resistencia a la compresión de la masa rocosa puede ser estimada como $q = 7 * g * Q^{(1/3)}$, donde g=densidad de la roca(gm/cc)				
D) Rocas expansivas: Actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua				
R	Presión de expansión suave			5 - 10
S	presión de expansión intensa			10 - 15
FUENTE: Minera Calpa, 2021.				

3.2.4 Clasificación según el índice de GSI (HOEK BROWN)

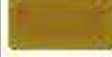
Es un sistema de caracterización de macizos rocosos que ha sido desarrollado en la ingeniería de mecánica de rocas para satisfacer la necesidad de datos de entrada confiables relacionados con las propiedades del macizo rocoso requeridos para el análisis numérico o soluciones de diseño para el diseño de túneles, taludes o cimentaciones en rocas.

El carácter geológico del material rocoso, junto con la valoración visual del mismo, son usados directamente como datos de entrada para la selección de los parámetros para predecir la resistencia y deformabilidad del macizo rocoso. Esto también provee un método en campo para caracterizar macizos rocosos difíciles de describir (Juares, 2021).

COMPAÑÍA MINERA HUARÓN S.A. SOSTENIMIENTO SEGÚN G.S.I.(modificado) LABORES MINERAS DE DESARROLLO (3.50-5.0) LABORES DE EXPLOTACIÓN (4.5-7.0)		CONDICIONES SUPERFICIALES			
A	SIN SOPORTE - PERNOS OCASIONALES	BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA) SUPERFICIES DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS. (Rc 100 A 250 MPa) (SE ROMPE CON VARIOS GOLPES DE PICOTA).	REGULAR (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LEVEMENTE ALTERADAS, MANCHAS DE OXIDACIÓN, LIGERAMENTE ABIERTAS. (Rc 50 a 100 MPa) (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE PICOTA).	MALA (MODER. RESIST. LEVE A MODER. ALTERADA) DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERADAS, LIGERAMENTE ABIERTAS. (Rc 25 A 50 MPa) (SE INDENTA SUPERFICIALMENTE CON GOLPES DE PICOTA).	MUY MALA (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA O CON ESTRIACIONES, MUY ALTERADA RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA (Rc 5 A 25 MPa) - (SE INDENTA MÁS DE 5 mm).
B	PERNOS SISTEMÁTICOS 1.50 x 1.50 m. (Malla o cinta ocasional).				
C	PERNO SISTEMÁTICO 1.2 x 1.2 m. (Malla o cinta ocasional).				
D	PERNOS SISTEMÁTICOS 1.0 x 1.0 m, más malla de refuerzo obligatoria. (SHOTCRETE 5.0 cm sin fibra).				
E	PERNOS SISTEMÁTICOS 1.0 x 1.0 m. más SHOTCRETE 5.0 cm con fibra.				
F	PERNOS SISTEMÁTICOS 1.0 x 1.0 m. más SHOTCRETE 10.0 cm con fibra. (CIMBRA O CUADRO DE MADERA).				
ESTRUCTURA					
	LEVEMENTE FRACTURADA TRES O MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SÍ (RQD 75-90%). (2 A 6 FRACTURAS POR METRO)	(A) LF / B	(A) LF / R	(A) LF / M (B)	
	MODERADAMENTE FRACTURADA MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA. BLOQUES CÚBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES (RQD 50 - 75%). (6 A 12 FRACTURAS POR METRO).	(A) F / B	(A) F / R (B)	(C) F / M	(D) F / MM
	MUY FRACTURADA MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA. BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MÁS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES (RQD 25-50%). (12 A 20 FRACTURAS POR METRO).	(A) MF / B (B)	(C) MF / R	(D) MF / M	(E) MF / MM
	INTENSAMENTE FRACTURADA PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES (RQD 0 - 25%). (MÁS DE 20 FRACTURAS POR METRO).	(C) IF / B	(D) IF / R	(E) IF / M	(F) IF / MM

FUENTE: GSI, 2000.

Figura 6 — Tabla de valoración de GSI – Hoek, Marinos, 2000

SOSTENIMIENTO SEGÚN GSI		CONDICIONES	Buena (muy resistente fresca)	Regular (resistente levemente alterada)	Pobre (moderadamente resistente)	Muy pobre (blanda muy alterada)
	sin soporte o perno ocasional					
	perno sistemático					
	perno y malla					
	cuadro de madera					
	cuadro de madera a 1.2 -1.5					
ESTRUCTURA						

FUENTE: Juarez, 2021.

Figura 7 — Cartilla de Sostenimiento según GSI

Levemente fracturada 	LF/B	LF/R	LF/P	
Moderadamente fracturada 	F/B	F/R	(A) F/P	(A) F/MP
Muy fracturada 	MF/B	(A) MF/R	(A) MF/P	(A) MF/MP
Intensamente fracturada 		(A) IF/R	(A) IF/P	(A) IF/MP

FUENTE: Juarez, 2021.

Figura 8 — Cartilla de Sostenimiento según GSI

3.2.4.1 Resistencia a compresión simple

Según Iñiguez (2020), se denomina resistencia a la compresión simple de una roca al esfuerzo medido sobre la misma de una manera técnica. Esta valoración o parámetro se debe a la necesidad de emplear clasificaciones de macizos rocosos. Estas son conocidas como clasificaciones geomecánicas y derivan de la diferencia existente entre las propiedades de la roca por su naturaleza y las del macizo, que presenta diferentes grados de fracturación y meteorización.

Las clasificaciones geomecánicas son sistemas de valoración del comportamiento del terreno rocoso. Se basan en calificar numéricamente las propiedades y características específicas de la roca en un emplazamiento determinado y posteriormente, obtener una calificación final como la suma de las valoraciones parciales. En la actualidad las clasificaciones geomecánicas se han generalizado y son ampliamente utilizadas, tanto en las fases de diseño como en las etapas de ejecución, en todo tipo de obras en macizos rocosos. Es importante, por tanto, conocer las limitaciones y dificultades que presentan cada una de las clasificaciones. Las diferentes clasificaciones toman en cuenta un parámetro fundamental, la resistencia a la compresión uniaxial o simple de la roca.

La resistencia a la compresión simple, es una medida de resistencia de la matriz rocosa, la cual representa el esfuerzo de compresión axial máximo que puede soportar una muestra de material antes de fracturarse. Este ensayo sirve para determinar la resistencia a la compresión de una probeta cilíndrica de roca de altura entre el doble y el triple del diámetro, normalmente estas probetas se obtienen a partir de testigos de perforación, también se pueden obtener muestras a partir de bloques de roca; la extracción de estos bloques en la mina o en la obra se debe llevar a cabo sin voladuras, ya que estas pueden generar nuevas microfisuras o aumentar las existentes, lo cual se traduciría en una pérdida de resistencia de las probetas que se obtengan de ellos (Modesto, 2019).

3.2.5 Diseño de sostenimiento

3.2.5.1 Sostenimiento

El sostenimiento en minería se refiere al conjunto de técnicas y materiales utilizados para mantener la estabilidad de las excavaciones subterráneas. Su principal objetivo es prevenir derrumbes y garantizar la

seguridad de los trabajadores y equipos, así como optimizar la eficiencia en la extracción de minerales. Este proceso implica el uso de diversos sistemas de soporte, como pernos de anclaje, mallas de acero y hormigón proyectado, que trabajan en conjunto para reforzar las paredes y el techo de las excavaciones. La elección del tipo de sostenimiento adecuado depende de factores como las características geológicas del terreno, la profundidad de la excavación y el método de explotación empleado. En resumen, el sostenimiento es esencial para asegurar un entorno seguro y productivo en las operaciones mineras subterráneas (Castilla, 2015).

Datos relacionados con el sostenimiento:

a) Máximo vano sin sostener

Es la longitud máxima de perforación y voladura que se puede realizar en un solo ciclo sin fortificación. Estas limitaciones en la longitud del avance están definidas por las características geotécnicas de la masa rocosa que se esté excavando. Se puede obtener mediante la siguiente formula empírica:

$$M_v = 2ESRQ^{0.4}(\text{mt}) \text{ (Herman, 2019).}$$

b) Carga de roca sobre la clave (Pr)

Escriba Se refiere a la presión permanente que soporta el techo de la excavación, puede determinarse mediante la siguiente expresión según el número de familias de discontinuidades:

Para macizos con menos de tres familias de discontinuidades

$$P(kp/cm^2) = (2\sqrt{J_n}) / (3J_r \sqrt{Q})$$

Para macizos rocosos con más de tres familias de discontinuidades

$$P(kp/cm^2) = 2 / (3J_r \sqrt{Q}) \text{ (Herman, 2019).}$$

3.2.5.2 Tipos de sostenimiento

a) Sistema de soporte pasivo

Son sistemas diseñados para dar estabilidad al macizo rocoso conforme este se va formando debido a la excavación. Entre los sistemas de este tipo soporte son: entibación con madera, shotcrete, cerchas de acero o cimbras (Pierre, 2019).



b) Sistema de refuerzo activo

Se utilizan para aumentar la estabilidad del macizo rocoso mediante la aplicación de elementos de soporte que actúan directamente sobre la roca. Este tipo de sistema incluye el uso de pernos de anclaje, cables y otros dispositivos que proporcionan un refuerzo adicional, mejorando la resistencia friccional entre los bloques de roca y ayudando a controlar el movimiento del terreno (Torres, 2019).

3.2.5.3 Descripción de los tipos de sostenimiento

a) Cuadro de madera

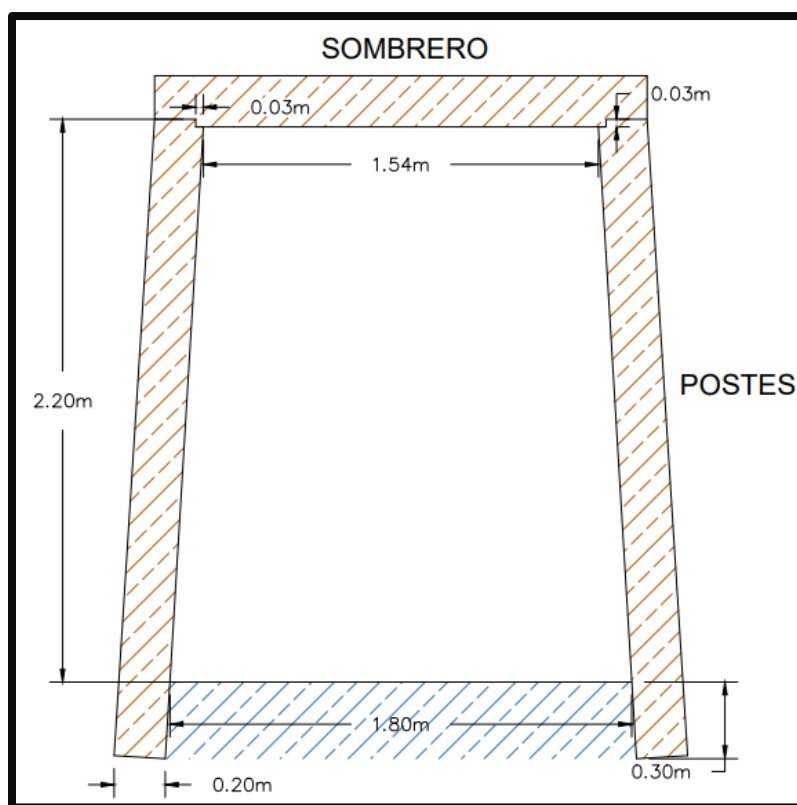
Los cuadros son armazones de madera cuyos elementos están unidos entre sí por destajes, espigas o por elementos auxiliares de unión (topes, cuñas) formando una sólida estructura resistente principalmente a esfuerzo de compresión o peso de la roca (Baca y Lucas, 2018).

Partes de un cuadro de madera:

- Sombrero.
- Postes
- Tirantes.
- Solera.

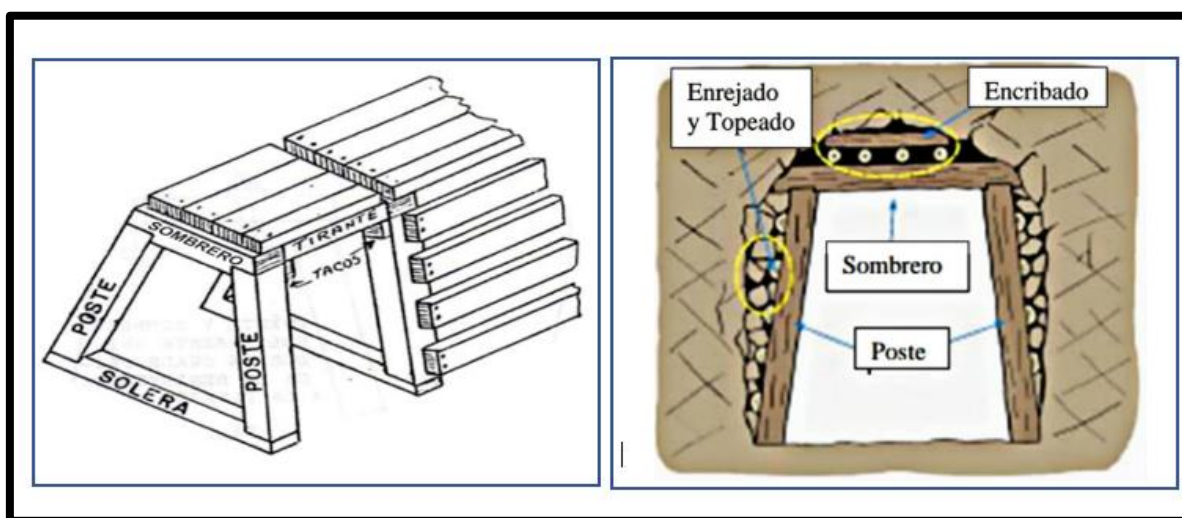
Elementos auxiliares

- Bloques.
- Cuñas.
- Encribado o emparrillado (techo).
- Enrejado o entablado (paredes).
- Longarinas



FUENTE : Ibañez, 2019.

Figura 9 — Partes de un cuadro de madera

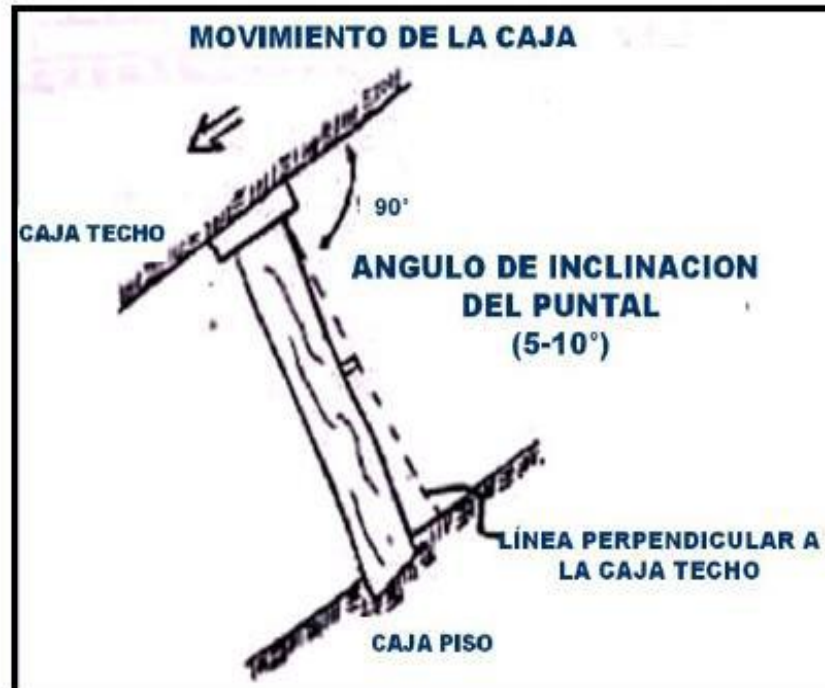


FUENTE: Ibañez, 2019.

Figura 10 — Elementos de un cuadro de madera

b) Puntales de madera

Son los elementos más simples en el sostenimiento de labores mineras, generalmente se usan puntales de madera de 6" y 8" de diámetro en tajeos; y en chimenea se usa de 4" a 5".

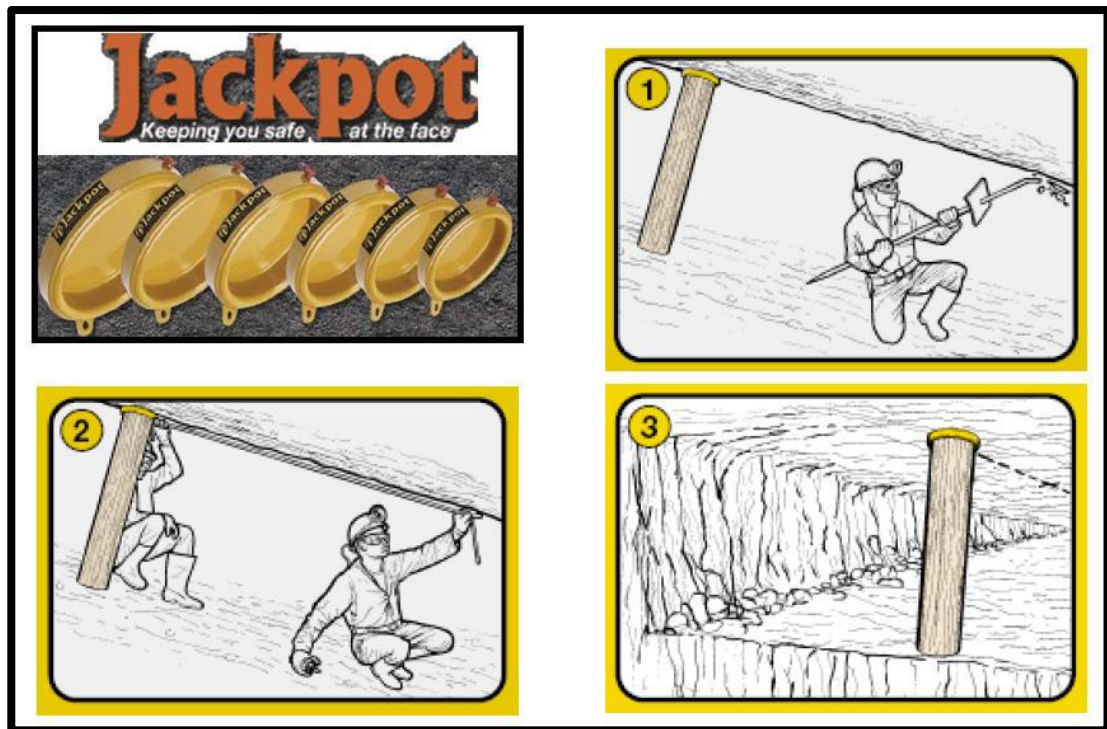


FUENTE: Ibañez, 2019.

Figura 11 — Puntales colocados para resistir presiones elevadas

c) Sostenimiento con jackpot

Este tipo de sostenimiento es similar al puntal de madera, pero en lugar de utilizar una plantilla de madera en la parte superior del puntal se utiliza un dispositivo metálico que tiene la forma de un plato, con una válvula en la parte posterior por donde se hace ingresar agua a presión y conforme se expande fija el puntal.



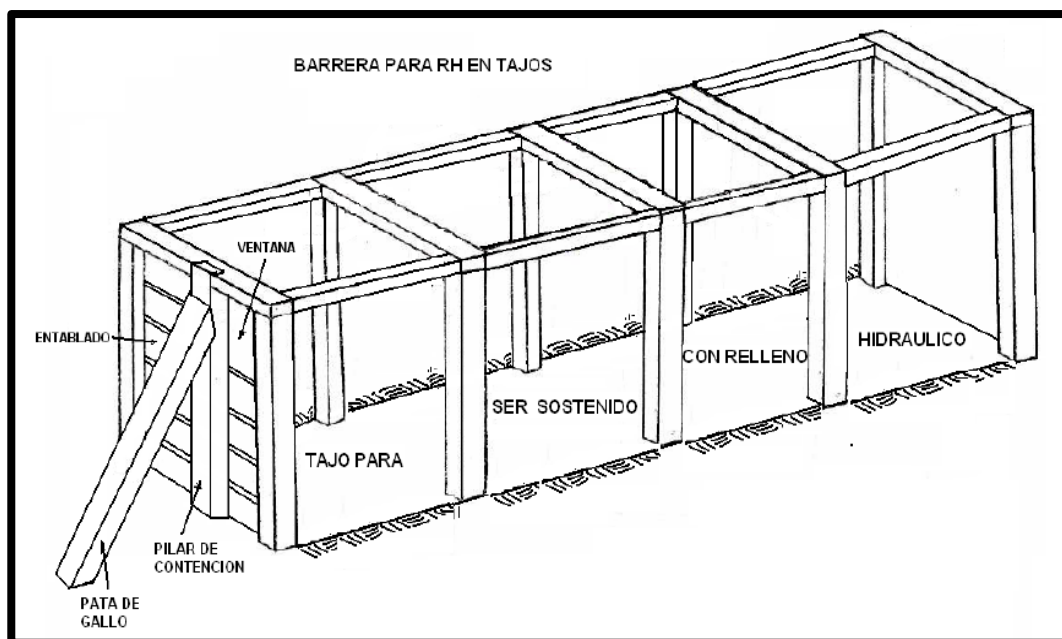
FUENTE: Ibañez, 2019.

Figura 12 — Instalación del Jackpot

d) Sostenimiento con relleno hidráulico

El relleno Hidráulico es un tipo de sostenimiento mecanizado que consiste en preparación de pulpa a base de material dendrítico o desmonte, el cual es mezclado con cemento, acelerantes de fraguado y otros componentes. Estos son bombeados a interior mina mediante tuberías como relleno de labores de explotación.

Para que el sostenimiento con relleno sea efectivo la labor a rellenar tiene que ser debidamente acondicionado mediante barreras y procesos de embolsamiento (Cordova, 2022).



FUENTE: Ibañez, 2019.

Figura 13 — Sostenimiento con relleno hidráulico

e) Pernos en roca

Los sistemas de reforzamiento con pernos de roca minimizan las deformaciones inducidas por el peso muerto de la roca aflojada, así como también aquellas inducidas por la redistribución de los esfuerzos en la roca circundante a la excavación. El papel principal de los pernos de roca es el control de la estabilidad de los bloques y cuñas rocosas, potencialmente inestables. Esto es lo que se llama también el “efecto cuña”. Existe sostenimiento esporádico o puntual y sostenimiento sistemático en todo el techo y/o paredes de la excavación, según sea requerido. Los pernos de roca se pueden aplicar en cruceros, galerías, rampas, subniveles, también en tajos de explotación de los minerales. Los tipos de pernos Actualmente hay disponibles diferentes tipos de pernos de roca como los siguientes:

• Pernos de anclaje mecánico

Un perno de anclaje mecánico, consiste en una varilla de acero usualmente de 16 mm de diámetro, dotado en su extremo de un anclaje mecánico de expansión que va al fondo del taladro. Su extremo opuesto puede ser de cabeza forjada o con rosca, en donde va una

placa de base que es plana o cóncava y una tuerca, para presionar la roca. Siempre y cuando la varilla no tenga cabeza forjada, se pueden usar varios tipos de placas de acuerdo a las necesidades de instalación requeridas. Este tipo de pernos es relativamente barato. Su acción de reforzamiento de la roca es inmediata después de su instalación.



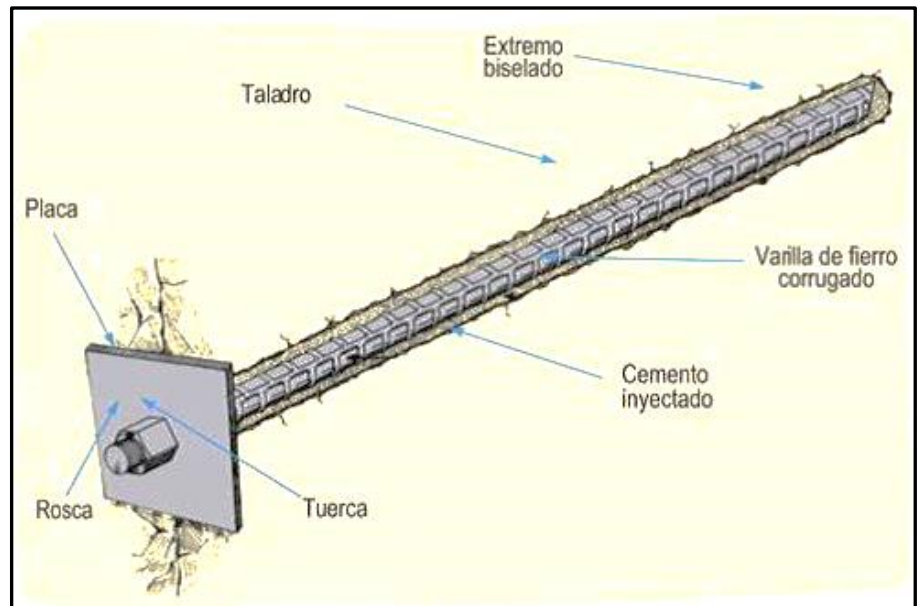
FUENTE: Gonzales, 2021.

Figura 14 — Pernos de anclaje mecánico

- **Pernos de varillas cementadas o con resina**

Los pernos de varillas cementadas con resina son elementos de anclaje para reforzar la estabilidad de las excavaciones subterráneas. Estos pernos se instalan en orificios perforados en la roca y se fijan mediante un agente cementante, que puede ser cemento o resina, dependiendo de las condiciones del terreno. La elección del material se basa en la necesidad de adherencia y resistencia a la corrosión, especialmente en ambientes húmedos o ácidos. Su eficacia radica en la capacidad del agente cementante para crear una unión fuerte entre el perno y la roca,

lo que mejora la seguridad y la durabilidad del sostenimiento (Cordova, 2022).



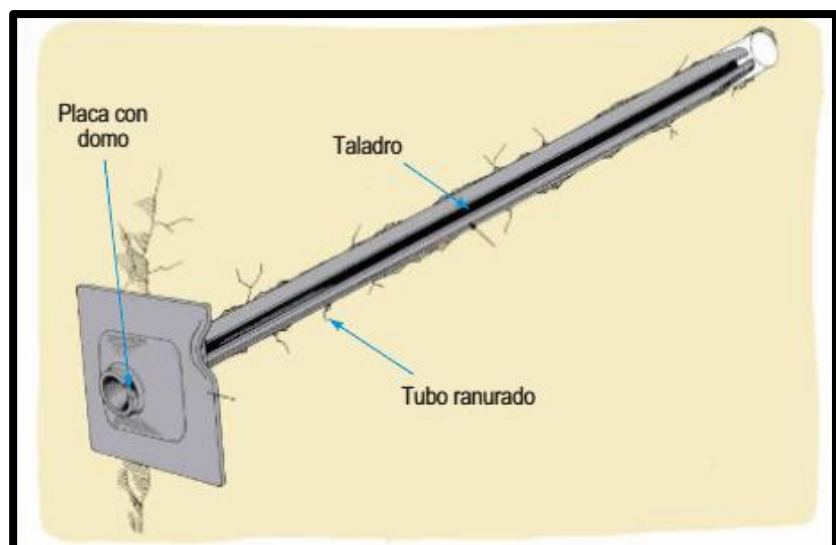
FUENTE: Gonzales, 2021.

Figura 15 — Pernos de varillas cementadas con resina

- **Pernos anclados por fricción**

- a) **Split sets swellex:**

El diámetro de los tubos ranurados varía de 35 a 46 mm, con longitudes de 5 a 12 pies. Pueden alcanzar valores de anclaje de 1 a 1.5 toneladas por pie de longitud del perno.



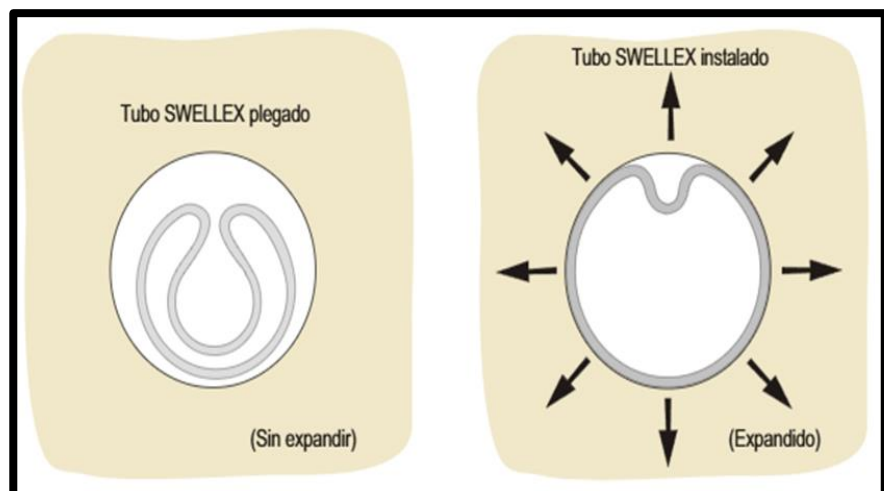
FUENTE: Gonzales, 2021.

Figura 16 — Pernos Split sets

- **Swellex**

También es un perno de anclaje por fricción, pero en este caso la resistencia friccional al deslizamiento se combina con el ajuste, es decir, el mecanismo de anclaje es por fricción y por ajuste mecánico, el cual funciona como un anclaje repartido.

El perno swellex está formado por un tubo de diámetro original de 41 mm y puede tener de 0.6 a 12 m de longitud o más (en piezas conectables), el cual es plegado durante su fabricación para crear una unidad de 25 a 28 mm de diámetro, este es insertado en un taladro de 32 a 39 mm de diámetro. No se requiere ninguna fuerza de empuje durante su inserción. La varilla es activada por inyección de agua a alta presión (aproximadamente 30 MPa o 300 bar.) al interior del tubo plegado, el cual infla al mismo y lo pone en contacto con las paredes del taladro, adaptándose a las irregularidades de la superficie del taladro (Manrique, 2021).



FUENTE: Gonzales, 2021.

Figura 17 — Pernos swellex

- **Malla metálica**

La malla metálica principalmente es utilizada para los siguientes tres fines:

Primero, para prevenir la caída de rocas ubicadas entre los pernos de roca, actuando en este caso como sostenimiento de la superficie de la roca.

Segundo, para retener los trozos de roca caída desde la superficie ubicada entre los pernos, actuando en este caso como un elemento de seguridad.

Tercero, como refuerzo del shotcrete.

Existen dos tipos de mallas: la malla eslabonada y la malla electro soldada.

La malla eslabonada o denominada también malla tejida, consiste de un tejido de alambres, generalmente de # 12/10, con cocadas de 2"x2" o 4"x4", construida en material de acero negro que puede ser galvanizada para protegerla de la corrosión (Llontop, 2021).

- **Malla eslabonada o tejida**

La malla eslabonada o denominada también malla tejida, consiste de un tejido de alambres, generalmente de # 12/10, con cocadas de 2"x2" o 4"x4", construida en material de acero negro que puede ser galvanizada para protegerla de la corrosión.

Por la forma del tejido es bastante flexible y resistente. Esta malla no se presta para servir de refuerzo al concreto lanzado, por la dificultad que hay en hacer pasar el concreto por las mallas, no recomendándose para este uso.





FUENTE: Gonzales, 2021.

Figura 18 — Malla eslabonada en excavación

- **Malla electrosoldada**

Correcta instalación de las mallas:

Acomodar o moldear la malla a la forma de la superficie de la roca utilizando ganchos de fierro corrugado de 3/8", colocados en taladros de 0.5 m de longitud. Evitar en lo posible superficies con la malla suelta, especialmente cuando se contempla la aplicación del shotcrete sobre la misma. Los traslapes entre mallas serán como mínimo 20 cm. y deben estar asegurados con pernos de anclaje, con un amarre inicial de alambre #8. La malla es muy propensa a dañarse fácilmente con la voladura, siendo recomendable reemplazarla, recortando los pedazos dañados y colocando una nueva (Maelsa, 2022).



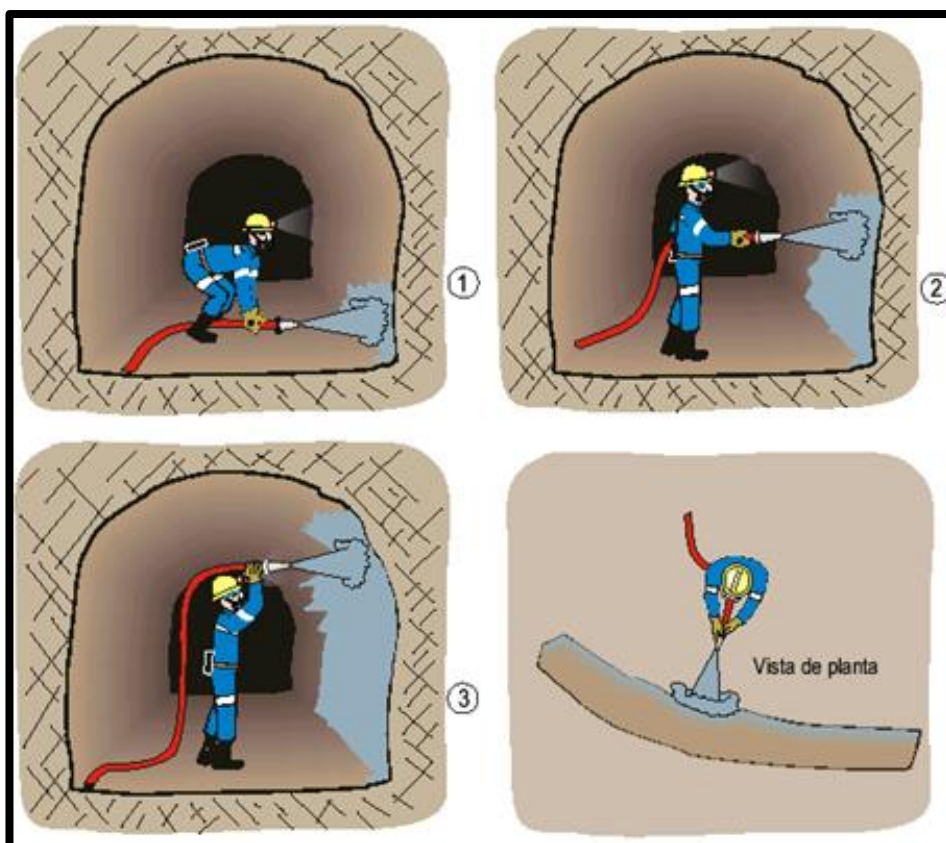
FUENTE: Aceros Arequipa, 2022.

Figura 19 — Malla electrosoldada

- **Concreto lanzado (shotcrete)**

El Concreto lanzado (shotcrete) es el nombre genérico del concreto cuyos materiales componentes son: cemento, agregados, agua, aditivos y elementos de refuerzo, los cuales son aplicados neumáticamente y compactados dinámicamente a alta velocidad sobre una superficie. La acción conjunta del shotcrete y la roca, impide que éstos se deformen independientemente. La interacción induce la formación de un esfuerzo radial de confinamiento, que controla las deformaciones y que, aplicado sobre la periferia de la excavación, ayuda a la formación de un arco de sustentación.

El shotcrete mantiene el entrase de las posibles cuñas o bloques rocosos, sellando las discontinuidades o grietas producidas por la voladura, evita alteración de minerales inestables presentes en el macizo rocoso excavado, por efecto del intemperismo (Cruz, 2022).



FUENTE: Minera Orión, 2022.

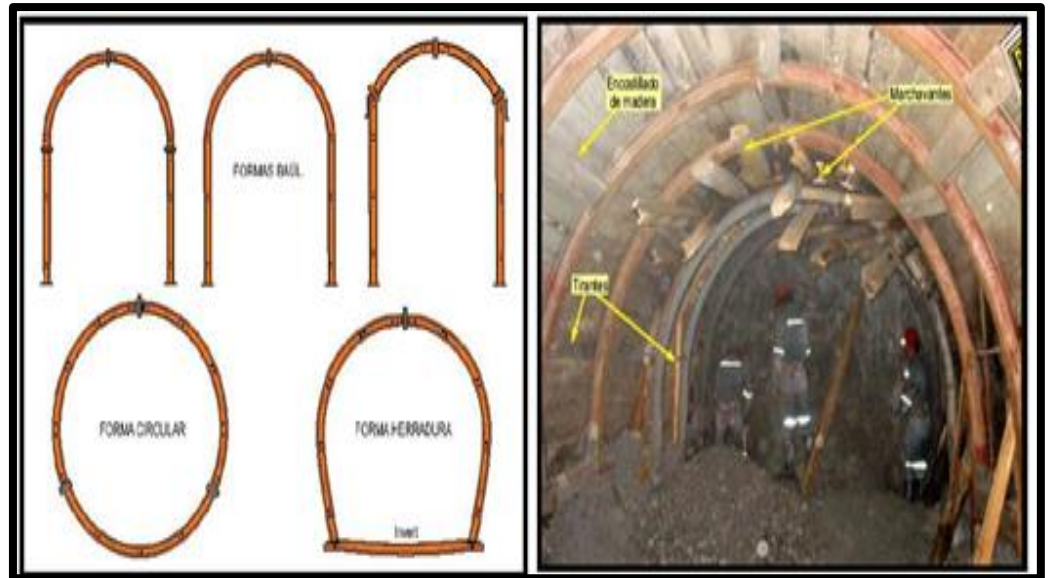
Figura 20 — Correcto uso del shotcrete

• Cimbras metálicas

Las cimbras son construidas con perfiles de acero, según los requerimientos de la forma de la sección de la excavación. Es decir, en forma de baúl, herradura o incluso circulares, siendo recomendable que éstos sean de alma llena. Hay dos tipos de cimbras, las denominadas “rígidas” y las “deslizantes o fluyentes”, este típico sostenimiento pasivo o soporte es utilizado generalmente para el sostenimiento permanente de labores de avance, en condiciones de masa rocosa intensamente fracturada y/o muy débil, que le confieren calidad mala a muy mala, sometida a condiciones de altos esfuerzos. Para lograr un control efectivo de la estabilidad en tales condiciones de terreno.

Son estructuras de soporte utilizadas en minería para proporcionar estabilidad a las excavaciones subterráneas. Estas se construyen con perfiles de acero y se emplean principalmente en condiciones de masa rocosa fracturada o débil, donde la calidad del terreno es mala a muy mala. Su diseño permite resistir altos esfuerzos y contrarrestar el cierre de la excavación, evitando así su ruptura prematura. Existen dos tipos principales de cimbras: rígidas, que utilizan

perfiles como W, H e I, y deslizantes, que emplean perfiles V y U. Las cimbras son fundamentales para mantener la seguridad en las labores mineras, ya que continúan proporcionando soporte incluso después de que se han producido deformaciones significativas en el terreno (Cabrera, 2021).



FUENTE: Emer SAC, 2022.

Figura 21 — Cimbras metálicas

3.2.5.4 Rampa minera

La rampa minera constituye una de las excavaciones más importantes en la minería subterránea, ya que permite el acceso permanente y seguro a los distintos niveles de explotación, preparación y servicios de la mina. En la Mina Parcacocha, la Rampa Virgen del Carmen cumple un rol fundamental en la conectividad de las labores subterráneas, siendo utilizada para el tránsito de equipos, transporte de mineral, personal, ventilación, drenaje y servicios auxiliares.

La rampa adquiere especial relevancia debido a que su estabilidad estructural depende directamente de las condiciones geomecánicas del macizo rocoso, las cuales deben ser evaluadas y clasificadas adecuadamente para diseñar un sistema de sostenimiento eficiente, optimizado mediante el uso del software Phase2.

La geometría de una rampa minera influye directamente en la redistribución de esfuerzos alrededor de la excavación. Generalmente, las rampas presentan secciones transversales en forma de herradura, arco modificado o trapezoidal, ya

que estas geometrías favorecen la estabilidad del macizo rocoso al reducir las concentraciones de esfuerzos en el techo y las paredes (Hoek y Brown, 1980).

En el diseño de la rampa incluyen:

- Ancho y altura, definidos en función del tipo de equipo de acarreo y tránsito.
- Pendiente longitudinal, usualmente entre 8 % y 12 %, para garantizar eficiencia operativa y seguridad.
- Radio de curvatura, que permite la maniobrabilidad de los equipos mineros.
- Sección hidráulica, importante para el control del drenaje subterráneo.

La rampa minera es considerada una labor de alta exposición geotécnica, debido a que permanece abierta durante gran parte de la vida útil de la mina y está sometida a diversos factores de inestabilidad, tales como:

- Relajación de esfuerzos inducida por la excavación.
- Presencia de discontinuidades estructurales (diaclasas, fallas y planos de debilidad).
- Influencia del agua subterránea.
- Vibraciones generadas por voladuras cercanas (Hoek y Bawden, 1995).

3.2.5.4.1 Sostenimiento de la rampa minera

El sostenimiento de la rampa minera tiene como objetivo principal controlar la inestabilidad del macizo rocoso, evitar desprendimientos y asegurar condiciones seguras de operación. En función de la clasificación geomecánica y del análisis numérico, se pueden emplear:

- Pernos de anclaje sistemáticos.
- Shotcrete simple o reforzado con fibras.
- Malla electrosoldada.
- Refuerzos adicionales en zonas de baja calidad de roca.

El diseño del sostenimiento se fundamenta en la correlación entre las clasificaciones geomecánicas y el análisis numérico, permitiendo optimizar la seguridad y los costos de sostenimiento (Bieniawski, 1989; Hoek, 1995).



La rampa minera no solo cumple una función operativa, sino que es un elemento esencial para la seguridad integral de la mina. un diseño adecuado, basado en criterios geomecánicos y modelamiento numérico, contribuye a la reducción de riesgos geotécnicos, la continuidad operativa y la protección del personal y los equipos, en concordancia con la normativa de seguridad minera vigente (MINEM, 2016).

3.2.6 Software Phase 2

El software Phase2 (RS2) de Rocscience es una de las herramientas más utilizadas en minería para analizar cómo se comporta el macizo rocoso frente a excavaciones. Permite calcular esfuerzos, tensiones y deformaciones en el terreno, lo que ayuda a definir el factor de seguridad y a evaluar si el sostenimiento aplicado será suficiente. Su uso no se limita a túneles o rampas subterráneas: también se aplica en proyectos civiles y en estudios de interacción entre la roca y el soporte. Una de sus ventajas es que muestra la zona plástica alrededor de la excavación, indicando dónde la roca pierde resistencia y cómo responderá el sostenimiento.

Phase2 trabaja con el método de elementos finitos en 2D, y se organiza en tres etapas: modelamiento, cálculo e interpretación de resultados. Además, se conecta con programas como AutoCAD, lo que facilita importar planos y geometrías. Por su facilidad de uso y precisión, se ha convertido en una herramienta clave para los ingenieros de minas, ya que agiliza el análisis de la estabilidad de excavaciones subterráneas y permite planificar las secuencias de minado considerando los esfuerzos circundantes y el comportamiento real del macizo rocoso.

3.2.6.1 Uso y aplicación de Software Phase 2

- La incorporación del estudio de interacción con elementos de soporte dentro de su código (revestimientos, cableado y pernos) y el análisis mediante el método de reducción de resistencia al corte (SSR). Esto permite personalizar sus principales parámetros de cálculo.



- El programa es útil para analizar modelos complejos en ingeniería como, por ejemplo: túneles en roca débil, cavernas subterráneas, tajos abiertos, cimentaciones, taludes, etc., además incorpora modelos constitutivos como el Cam - Clay, Mohr - Coulomb y el Criterio Generalizado de Hoek y Brown. Este programa permite realizar el análisis tensión - deformación por etapas de cálculo, además incluye las opciones de modelado por deformación plana y simetría axial, permite importar la geometría y propiedades de los materiales. A partir de la versión 7.0, el programa incluye la alternativa de modelamiento explícito de los planos de las discontinuidades (Método J-MEF) y además incorpora la opción de calcular el factor de seguridad mediante la reducción de los parámetros de resistencia al corte (SSR), considerando los criterios de rotura de Mohr - Coulomb o el de Hoek y Brown.
- El Phase 2 se puede utilizar para modelar las excavaciones de una mina. El modelo puede ser excavado en etapas donde incluyen las fallas sub-verticales que interceptan al terreno. Los modelos complejos o de multi excavación pueden ser fácilmente creado y rápidamente analizados- túneles en roca débil o articulada, cavernas subterráneas, minas a cielo abierto y pendientes, vertederos, estructuras de tierra.

3.2.6.2 Utilización del software

Preparación del Modelo

- Antes de iniciar el análisis, se definen los parámetros fundamentales del macizo rocoso y las condiciones del proyecto:
- Geometría de la excavación (galería, cámara, rampa, etc.).
- Tipo de roca predominante.

Se asignan las propiedades mecánicas del material:

- Módulo de Young, coeficiente de Poisson.



Tabla 15 — Asignación de propiedades mecánicas

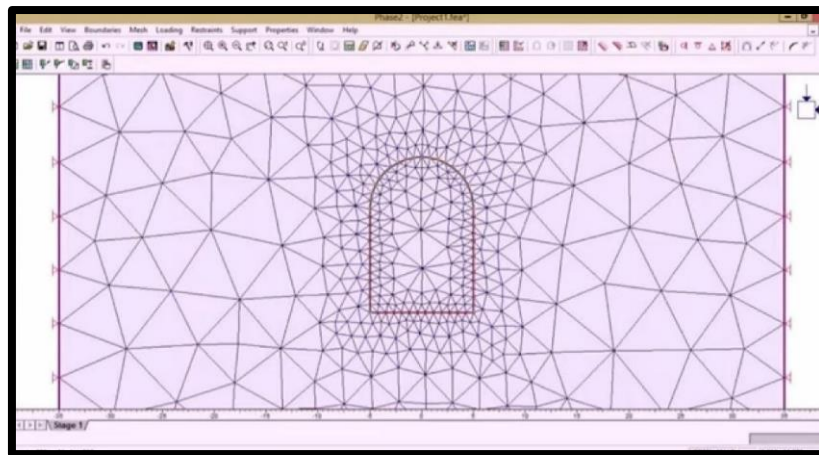
Parámetro	Valor	Descripción
Tipo de roca	Roca Cuarcítica	-
Esfuerzo compresivo uniaxial	150	MPa
GSI (Geological Strength Index)	50	-
Profundidad	300	m
Densidad de la roca	0.027	MN/m ³
K (relación de esfuerzos)	0.95	-
mi (constante del material intacto)	20	-
mb (constante del material fracturado)	2.146	-
s (parámetro de resistencia)	0.002	-
a (parámetro de Hoek-Brown)	0.506	-
D (grado de alteración)	0.4	-
FUENTE: Gonzales, 2022.		

Se define la forma y dimensiones de la labor minera:

- Se crea la excavación en la geometría general.
- Se simula la etapa de excavación (fase 1, fase 2, etc.).

El software permite modelar varios tipos de sostenimiento, como:

- Pernos de fricción.
- Pernos helicoidales.
- Shotcrete (con o sin malla).

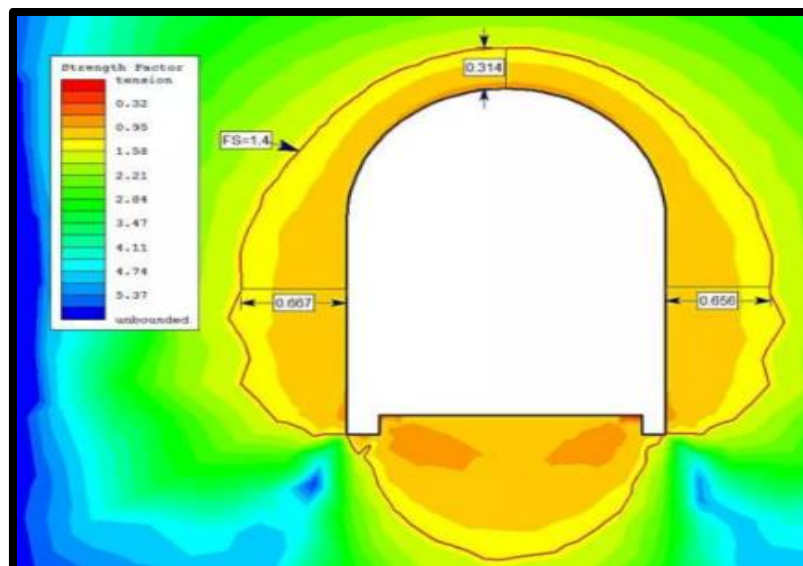


FUENTE: Elaboración propia

Figura 22 — Proceso de diseño excavación

a) Interpretación de Resultados

- Zonas que exceden la resistencia de la roca.
- Desplazamientos máximos en el techo y paredes.
- Tensiones inducidas por la excavación.
- Efectividad del sostenimiento implementado.



FUENTE: Universidad Nacional de Cajamarca, 2020.

Figura 23 — Interpretación de resultados zonas plasticadas para el techo y piso de la zona

3.3 Marco conceptual

a) Sostenimiento. Según Zapana (2020, pág. 20), define como los procedimientos y materiales para mejorar la estabilidad y mantener la capacidad portante de la roca circundante a la excavación. Con el objetivo de mantener abiertas las labores durante la explotación y conservar la resistencia de la masa rocosa para que llegue a auto soportarse. En la mayoría de los casos, solamente es necesario que las labores mineras permanezcan abiertas durante periodos de tiempo relativamente cortos y por ello la función del sostenimiento es retrasar el reajuste de la masa rocosa, más que asegurar un sostenimiento permanente. Si el sostenimiento se deteriora antes de que las labores sean abandonadas será necesario reemplazarlo (intermediar cuadros).

b) Discontinuidades. Según Vallejo (2022, pág. 118), las discontinuidades se refieren a cualquier plano de debilidad que imparte a la matriz rocosa una condición de anisotropía, es decir que modifican la integridad de la matriz rocosa intacta, se debe tener en cuenta que la combinación de las discontinuidades más la matriz rocosa da origen al macizo rocoso propiamente dicho. Las discontinuidades presentes en la matriz rocosa van a determinar sus propiedades y el comportamiento resistente e hidráulico. El termino discontinuidad se refiere una manera genérica fracturas, fallas, estratificaciones y foliaciones. Las discontinuidades tienen diferentes parámetros físicos y geométricos que determinan su comportamiento mecánico, entre los cuales se tiene el espaciado, orientación, persistencia, rugosidad, resistencia de paredes, abertura, relleno y filtraciones.

c) Fracturas. En su investigación Toral (2020), se pueden definir de distintas formas ya sea de manera puramente descriptiva o también con relación a su origen sin embargo la forma más sencilla de definir a una fractura seria: el conjunto de superficies que dividen a la roca en bloques con desplazamientos perpendiculares al plano de rotura, se suele generar por la concentración de esfuerzos en zonas donde cambia la naturaleza de la roca y son más abundantes donde existe heterogeneidad.

d) Clasificaciones geomecánicas. Según Vallejo (2022, pág. 261), es el conjunto de procedimientos que permiten determinar de una manera sencilla y mediante un índice numérico la calidad del macizo rocoso considerando determinadas condiciones in-situ según sea el tipo de clasificación. Las clasificaciones geomecánicas representan una manera de diferenciar a los macizos rocosos según sus características geológicas, hidrológicas y mecánicas para de esta forma establecer su competitividad ante la



realización de alguna determinada obra de ingeniería, a lo largo del tiempo han surgido diversas clasificaciones geomecánicas.

- e) Meteorización de las rocas.** Según Monge (2018, pág. 175), se denomina meteorización de las rocas a las modificaciones experimentales en su composición o estructura por la acción de los agentes atmosféricos. La importancia que tiene la meteorización desde un punto de vista de la mecánica de rocas se debe a que produce profundos cambios en las propiedades físicas y mecánicas de los materiales rocosos. Existen dos clases de meteorización: física y química. El hecho de que una u otra predomine depende del clima, ya que ambas se producen simultáneamente.
- f) Resistencia de las rocas.** Se refiere a la capacidad de un material rocoso para soportar esfuerzos y resistir deformaciones o fallas bajo diferentes condiciones de carga. Esta resistencia es crucial para evaluar la estabilidad de taludes, túneles y estructuras subterráneas en minería, además de influir en la planificación y diseño de operaciones como perforación y voladura (Neveille, 2019).
- g) Caracteres geomecánicos de las discontinuidades.** Según Monge (2018, pág. 185), los caracteres geomecánicos de las discontinuidades que más influyen en su comportamiento son: orientación, espaciado, dimensiones, rugosidad, resistencia de los labios de la discontinuidad, apertura y relleno. A continuación, se irán tratando brevemente cada uno de estos puntos.
- h) Propiedades mecánicas de las rocas.** Según Monge (2018, pág. 82), los macizos rocosos en la naturaleza presentan comúnmente un elevado número de discontinuidades. Por ello si se quiere conocer y describir adecuadamente el comportamiento mecánico de los macizos rocosos resulta necesario analizar previamente el comportamiento de las discontinuidades.
- i) Rampa.** Una rampa en minería es una excavación inclinada que conecta diferentes niveles de una mina, permitiendo el acceso de vehículos y maquinaria. Se utiliza para el transporte de mineral, desmonte, personal y equipos. Su pendiente suele ser de 8 % a 15 % para facilitar el tránsito seguro. Es esencial en minas subterráneas mecanizadas. Su diseño influye directamente en la eficiencia operativa y ventilación. (Cairo, 2022).



CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

Según Hernandez (2011), la investigación aplicada se caracteriza por emplear conocimientos previos para abordar y resolver problemas. En este tipo de investigación, se aplican principios teóricos a situaciones concretas, con el objetivo de desarrollar estrategias que aporten soluciones prácticas y relevantes a problemas reales y fácilmente identificables. De acuerdo con la teoría revisada la investigación será de tipo aplicada.

Según Rios (2005), considera que el nivel descriptivo es definir las cualidades del objeto de investigación como se manifiestan y los sucesos más importantes, también se refiere al nivel explicativo - descriptivo como el análisis de dos o más variables.

La presente investigación recogerá información de los fenómenos las características y como se manifiestan, se analizará la relación que existe entre las variables según el valor que se les dé en un contexto particular y se explicará las causas de los eventos, como ocurre un fenómeno y porque se relacionan las variables. Con la información revisada la presente tesis se clasifica del nivel descriptivo - explicativo.

4.2 Diseño de la investigación

Según Fernandez (2022), considera que en el diseño no experimental no se manipulan deliberadamente las variables independientes, no se modifican las condiciones del macizo rocoso ni del sostenimiento; únicamente se observan, se analizan las condiciones geomecánicas existentes en la rampa, tal como ocurren en la realidad.

4.3 Descripción ética de la investigación

En la presente investigación se respetará los resultados de validez, la propiedad intelectual, la información conseguida, con los criterios éticos de confiabilidad, objetividad, originalidad.



4.4 Población y muestra

Según Gonzales (2021), considera la población como un conjunto de elementos del mismo tipo con cualidades fijas y que se estudia sus rasgos y relaciones.

La **población** para esta investigación es la Mina Parcacocha.

Según Paitan (2014), considera que la muestra es la selección de un subconjunto de una población por medio de diferentes métodos.

La **muestra** para esta investigación es la Rampa Virgen de Carmen.

4.5 Procedimiento

La presente investigación se desarrolló siguiendo un procedimiento sistemático que comprendió las etapas de:

a) Recolección

- La recolección de información se realizó mediante prospección geomecánica y mapeo en campo en la Rampa Virgen del Carmen de la mina Parcacocha, empleando fichas de caracterización geomecánica previamente estructuradas. Asimismo, se efectuó la extracción de roca, los cuales permitieron evaluar la calidad del macizo rocoso.
- El levantamiento de información in situ se llevó a cabo aplicando las clasificaciones geomecánicas RMR, Q y GSI, utilizando instrumentos y formatos adecuados para cada sistema de clasificación. Los datos obtenidos fueron organizados en una base de datos digital, principalmente en hojas de cálculo Microsoft Excel, así como en planos y secciones elaborados en software CAD
- Determinación de resultados mediante la utilización de Laboratorio.

b) Procesamiento y análisis de datos, una vez obtenida la información, los datos fueron ordenados, depurados y codificados de acuerdo con las variables y dimensiones de la investigación. Para ello, se emplearon herramientas informáticas como hojas de cálculo, tablas de clasificación geomecánica y fichas de interpretación.



- c) **La interpretación de los resultados**, se realizó en función de las dimensiones establecidas en la investigación, analizando las características geomecánicas del macizo rocoso y su influencia en el diseño del sostenimiento de la rampa.
- d) **La técnica**, para Montañes (2012), es el proceso de visualizar y registrar sistemáticamente los fenómenos que ocurren en la realidad, bajo criterios previamente definidos por los objetivos de investigación. En este estudio, la observación directa permitió identificar las condiciones geomecánicas reales del macizo rocoso en la rampa minera.
- e) **Instrumentos**, para Arias (2018), los instrumentos de recolección de datos son herramientas que permiten registrar la información obtenida durante la investigación. En el presente estudio, se emplearon fichas de recopilación de datos geomecánicos, formatos de mapeo estructural, registros fotográficos y resultados de ensayos de laboratorio.

4.6 Técnicas e instrumentos

- Datos operativos actuales: Información sobre geomecánica de rocas.
- Software de simulación: Programas especializados Software Phase2 para diseñar las clasificaciones de las rocas.
- Literatura técnica: Estudios previos, manuales y guías sobre clasificaciones geomecánica de rocas en minería.

4.7 Análisis estadístico

Para el procesamiento y análisis de los datos se utilizó el software Microsoft Excel 2023, el cual fue empleado para:

- **Organizar y sistematizar** los datos obtenidos en campo y laboratorio mediante tablas y matrices, lo cual permitió estructurar adecuadamente los registros de mapeo geomecánico y resultados de laboratorio. Esta sistematización fue necesaria para asegurar la coherencia de los datos, evitar errores de transcripción y facilitar su posterior análisis cuantitativo.

- **Calcular parámetros estadísticos descriptivos**, tales como promedios, valores mínimos y máximos de los índices geomecánicos (RMR, Q, GSI). Esta etapa fue fundamental debido a la variabilidad inherente del macizo rocoso, permitiendo obtener valores representativos y determinar rangos de comportamiento del terreno en estudio.
- **Clasificar el macizo rocoso** según rangos establecidos por cada sistema de clasificación geomecánica, Esta clasificación permitió identificar categorías de calidad del macizo rocoso (muy mala, mala, regular, buena o muy buena), lo cual constituye una base técnica para la evaluación de estabilidad y la definición de criterios de sostenimiento.
- **Elaborar gráficos y tablas comparativas**, que permitieron visualizar la variabilidad de la calidad del macizo rocoso a lo largo de la rampa. La representación gráfica facilitó la identificación de zonas críticas y sectores con mejores condiciones geomecánicas, fortaleciendo el análisis interpretativo.
- **Generar bases de datos consolidadas**, las cuales fueron utilizadas como información de entrada para el modelamiento numérico en el software Phase2. asegurando que la simulación refleje condiciones representativas del macizo rocoso estudiado.



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Análisis de resultados

a) Estimar las clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento en la
rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac 2024

Tabla 16 — Resultados de ensayo analizados en laboratorio de la (UNAMBA)

Dominio estructural 01								
Muestra	Litología	Sección de la muestra				Carga (P)	Is	C
		W1	W2	Ancho	Largo			
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kN)		(MPa)
M-1	Andesita	45.00	51.00	48.00	104.00	26.00	4.09	132.04
M-2	Andesita	52.00	48.00	50.00	115.00	25.00	3.41	115.84
M-3	Arenisca	53.00	50.00	51.50	98.00	26.00	4.05	131.11
M-4	Arenisca	45.00	45.00	45.00	100.00	27.00	4.71	146.63
Promedio								131.41
Dominio estructural 02								
Muestra	Litología	Sección de la muestra				Carga (P)	Is	C
		W1	W2	Ancho	Largo			
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kN)		(MPa)
M-1	Caliza	62.00	58.00	60.00	118.00	26.00	2.88	105.21
M-2	Caliza	49.00	48.00	48.50	108.00	27.00	4.05	132.91
M-3	Andesita	53.00	50.00	51.50	130.00	28.00	3.28	117.51
M-4	Andesita	45.00	45.00	45.00	100.00	28.00	4.89	152.06
Promedio								126.93
Dominio estructural 03								
Muestra	Litología	Sección de la muestra				Carga (P)	Is	C
		W1	W2	Ancho	Largo			
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kN)		(MPa)
M-1	Caliza	58.00	53.00	55.50	110.00	27.00	3.47	120.33
M-2	Caliza	55.00	49.00	52.00	111.00	26.00	3.54	120.18
M-3	Andesita	53.00	50.00	51.50	106.00	28.00	4.03	134.19
M-4	Andesita	45.00	36.00	40.50	89.00	26.00	5.67	162.88
Promedio								134.40
Promedio total								139.91
FUENTE: Elaboración propia.								

De acuerdo a los datos de laboratorio en mecánica de rocas (UNAMBA) se realizará los siguientes cálculos:

- Resistencia de la roca intacta (σ_c)

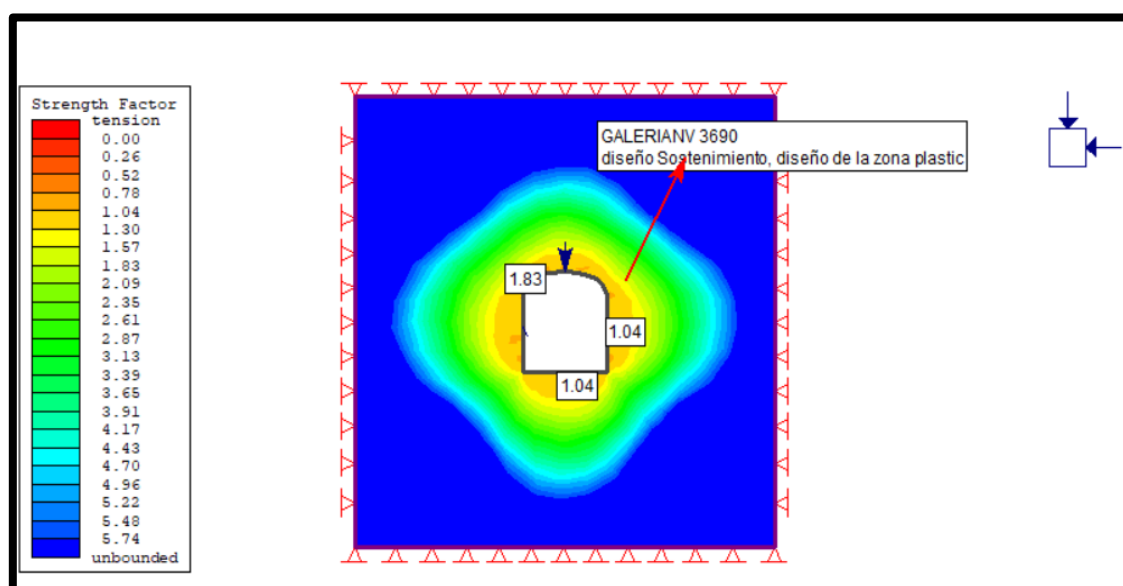
Resistencia a Compresión Simple (σ_c)	Puntaje	Calidad de la roca
Mayor a 250 MPa	15	Muy buena
100-250 MPa	12-15	Buena
50-100 MPa	7-12	Regular a buena
25-50 MPa	4-7	Regular
5-25 MPa	2-4	Regular a mala
Menor a 5 MPa	0	Mala

FUENTE: Ignacio, 2021.

Promedio total $\sigma_c=139.91$ MPa = 139.91 Asignamos **14 puntos**.

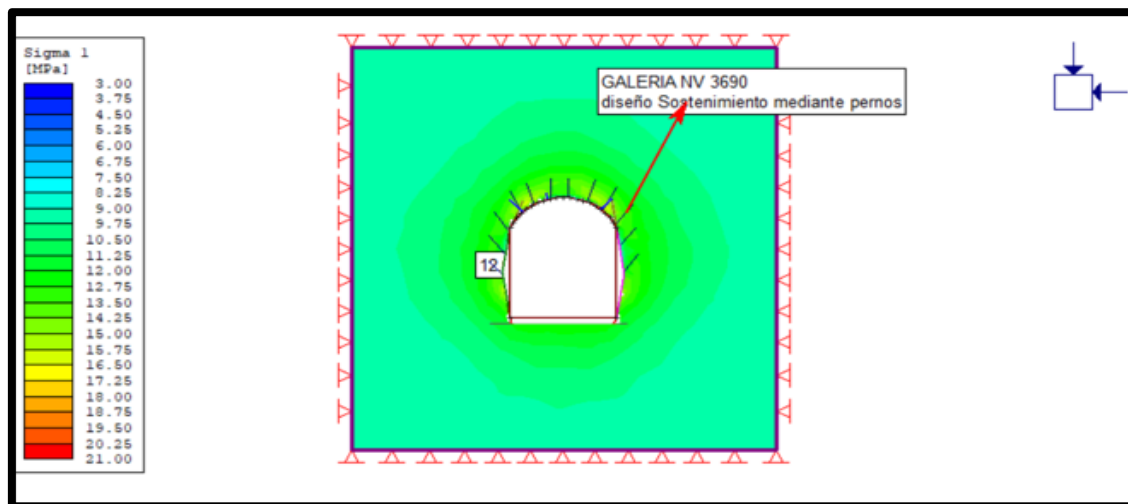
• Diseño de sostenimiento

En el software phase2 se emplea el diseño de sostenimiento, en la siguiente imagen se observa sostenimiento: La evaluación se realiza en condiciones naturales obteniéndose un factor de seguridad de $FS=1.83$ mínimo para la galería. para el techo es 1.4m y para la caja es 0.85m, Esto indica que la capacidad de soporte del macizo es menor a las fuerzas que actúan sobre la excavación por lo que requiere ser sostenida.



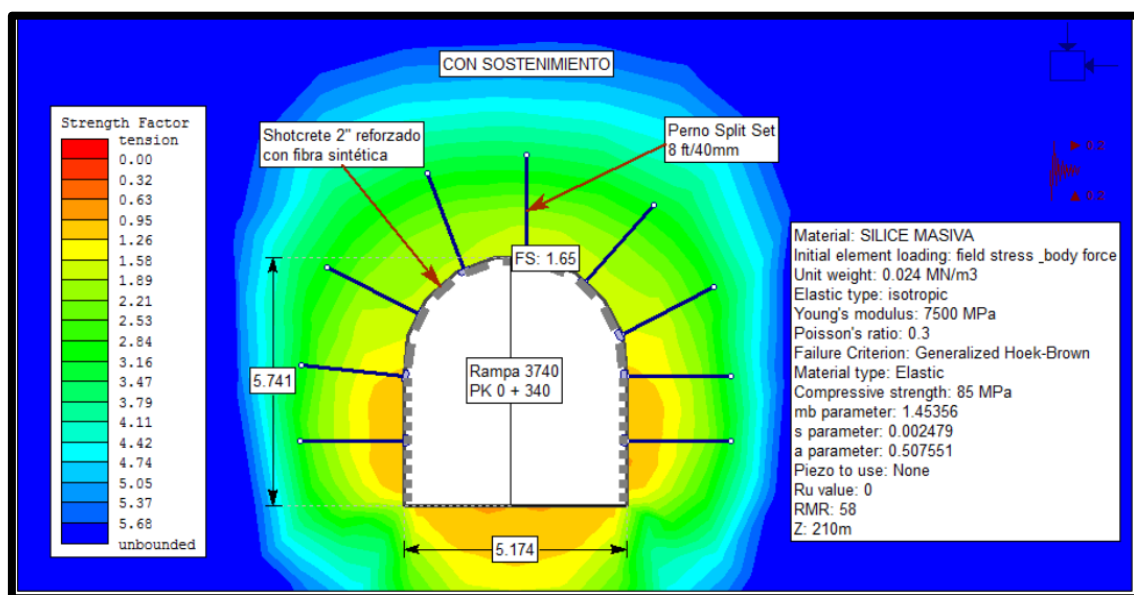
FUENTE: Elaboración propia.

Figura 24 — Diseño de sostenimiento en el software Phase2 según Bieniawski.



FUENTE: Elaboración propia.

Figura 25 — Diseño de sostenimiento con pernos según Bieniawski



FUENTE: Elaboración propia.

Figura 26 — Diseño de sostenimiento con pernos Split Seth según Bieniawski

Considerando la recomendación de sostenimiento de la mina Parcaccocha galería nivel 3690, se determina el diseño de sostenimiento de shotcrete 2 pulgadas reforzado con fibra sintética y pernos Split Set de 8 pies de largo a 1.2m de espaciado. Se obtiene un factor de seguridad mayor a 1.58; lo cual indica que bajo estas condiciones de sostenimiento la labor es estable y segura. También se propone el diseño del sostenimiento con pernos de Split set y shotcrete reforzado con fibra sintética.

- a) Caracterizar las clasificaciones geomecánicas según el sistema Q de Barton para el diseño del sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcaccocha, Aymaraes, Apurímac 2024.

Tabla 17 — Resultados de toma de datos en el mapeo geomecánico en el campo

Estación	Número de fracturas	RQD $=100 \times e^{-0.1\lambda \times (0.1\lambda + 1)}$	Valoración	Calidad del macizo	RQD calculado
1	27	23	3	Muy mala	23.11
2	26	27	3	Mala	26.74
3	26	27	3	Mala	26.74
4	24	31	3	Mala	30.84
5	25	25	3	Muy mala	24.87
6	23	33	3	Mala	33.09
7	20	41	3	Mala	40.6
8	18	46	3	Mala	46.28
9	15	56	8	Regular	55.78
10	17	49	3	Mala	49.32
FUENTE: Elaboración propia.					

La toma de clasificaciones geomecánicas se tomaron tres muestras de campo para el diseño de sostenimiento adecuado de la rampa virgen del Carmen

b) Muestra andesita

Tabla 18 — Clasificación geomecánica de la muestra andesita para el diseño de sostenimiento

MUESTRA ANDESITA																
PARAMETROS				VALOR								VALOR				
Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)				100	>250 (15)	X	100-250 (12)		50-100 (7)		25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	12			
RQD (%)				40%	90-100 (20)		75-90 (17)		50-75 (13)		25-50 (8) x		<25 (3)	8		
Espaciamiento de discontinuidades (cm)					>2m (20)		0.6-2 m (15)		0.2-0.6m (10)			0.06-0.2m (8)		< 0.06m (5)	8	
CONDICION DE DISCONTINUIDADES																
Familia	Buz.	/D. Buz	f/m	Persistencia	<1m long. (6)		1-3 m Long.		X	3-10m (2)		10-20 m (1)		> 20 m (0)	2	
D1	45	230	3	Abertura	Cerrada (6)		<0.1mm apert. (5)			0.1-1.0mm (4)		1 - 5 mm (1)		> 5 mm (0)	1	
D2	28	145	4	Rugosidad	Muy rugosa (6)		Rugosa (5)			Lig.rugosa (3)		Lisa (1)		Espejo de falla (0)	3	
D3	78	110	5	Relleno	Limpia (6)		Duro < 5mm (4)			Duro> 5mm (2)		Suave < 5 mm (1)		Suave > 5 mm (0)	2	
				Alteración	Sana (6)		Lig. Intempe. (5)			Mod.Intempe.		4	Muy Intempe. (2)		Descompuesta (0)	4
Agua subterránea						Seco (15)		Humedo (10)			Mojado (7) X		Goteo (4)		Flujo (0)	7
Orientación					Rumbo perpendicular al eje de la excavacion						Buzamiento 0°-20° independent e del rumbo		-5			
					Dirección con el buzamiento		Dirección contra el buzamiento		Rumbo paralelo al eje de la excavacion							
					Bz 45°-90° Muy Favorable 0		Bz 20°-45° Favorable -2		Bz 45°-90° Regular -5					Bz 20°-45° Desfavorable -10		Bz 45°-90° Muy Desfavorable -12
Condiciones secas																

Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo

FUENTE: UNAMBA, 2025.

Según la clasificación geomecánica RMR89, el macizo rocoso de la andesita en la rampa Virgen del Carmen presenta una calidad regular (RMR = 40). Esto indica condiciones medias de estabilidad, por lo que se requiere un sostenimiento moderado, como pernos sistemáticos, malla metálica y shotcrete, para garantizar la seguridad y estabilidad de la excavación.

c) Muestra con Caliza

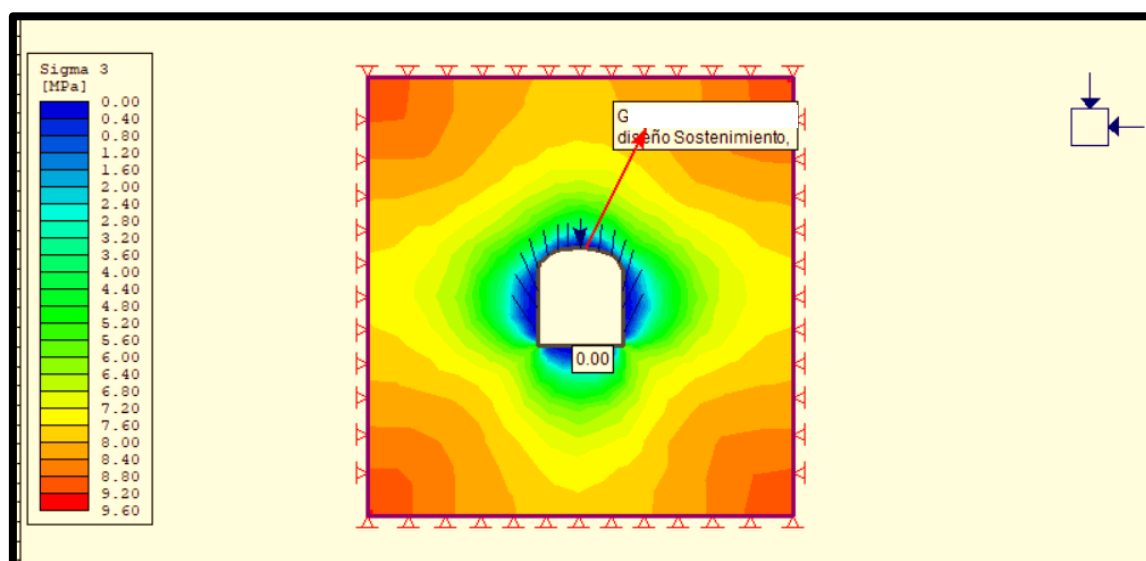
Tabla 19 — Clasificación geomecánica de la muestra caliza para el diseño de sostenimiento

MUESTRA - CALIZA															
PARAMETROS					VALOR							VALOR			
Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)					120	>250 (15)	X	100-250 (12)		50-100 (7)		25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	12	
RQD (%)					45%	90-100 (20)		75-90	X	50-75 (13)		25-50 (8)	<25 (3)	8	
Espaciamiento de discontinuidades (cm)						>2m (20)		0,6-2 m (15)		0,2-0,6m (10)		0,06-0,2m (8)	< 0,06m (5)	10	
CONDICION DE DISCONTINUIDADES															
Familia	Buz.	/D. Buz	f/m	Persistencia	<1m long. (6)		1-3 m Long. (9)	X	3-10m (2)		10-20 m (1)		> 20 m (0)	2	
D1	45	230	3	Abertura	Cerrada (6)		<0,1mm apert. (5)		0,1-1,0mm (4)		1-5 mm (1)		> 5 mm (0)	1	
D2	28	145	4	Rugosidad	Muy rugosa (6)		Rugosa (5)		Lig. rugosa (3)		Lisa (1)		Espejo de falla (0)	3	
D3	78	110	5	Relleno	Limpia (6)		Duro < 5mm (4)		Duro > 5mm (2)		Suave < 5 mm (1)		Suave > 5 mm (0)	4	
				Alteración	Sana (6)		Lig. Intempe. (5)		Mod. Intempe. (4)		4	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)	5	
Agua subterránea						Seco (15)	X	Humedo (10)		Mojado (7)		Goteo (4)		Flujo (0)	10
Orientación					Rumbo perpendicular al eje de la excavación Dirección con el buzamiento Bz 45°-90° Muy Favorable 0 Dirección contra el buzamiento Bz 20°-45° Favorable -2 Rumbo paralelo al eje de la excavación Bz 45°-90° Muy Desfavorable -12 Bz 20°-45° Regular -5 Buzamiento 0°-20° independient e del rumbo Desfavorable -10									-5	
					RMR ₈₉ (Basico) =									55	
					RMR ₈₉ (Corregido) =									50	
					Condiciones secas RMR' ₈₉ (Condiciones Secas)=									45	
					100 - 81	80 - 61	60 - 41		40 - 21		20 - 0		III B		
					I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR		IV MALA		V MUY MALA				
FUENTE: UNAMBA, 2025.															

FUENTE: UNAMBA, 2025.

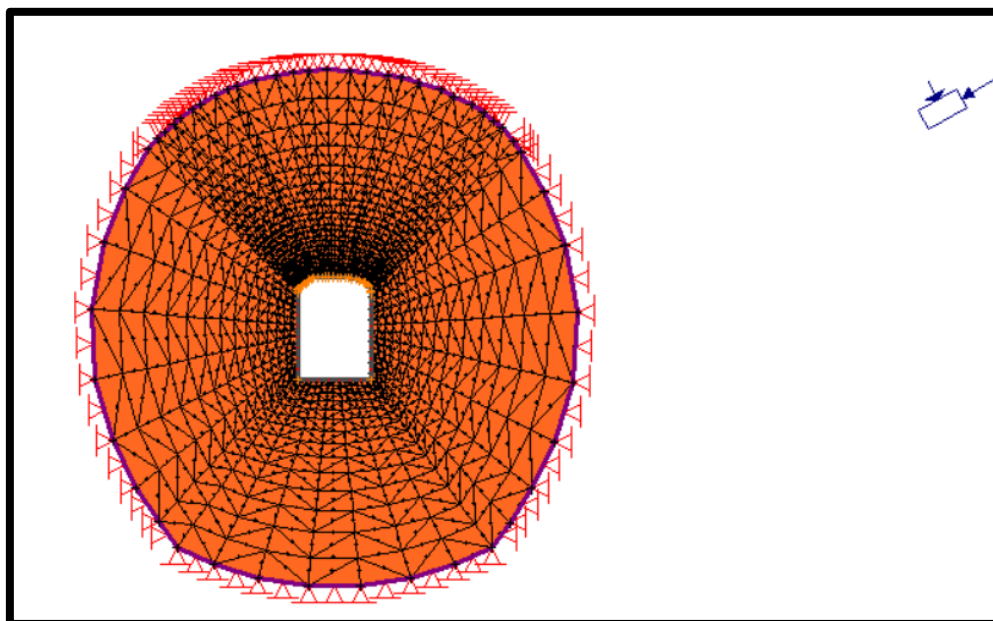
Según la clasificación geomecánica RMR89, el macizo rocoso de caliza en la rampa Virgen del Carmen presenta una calidad regular (RMR = 45). Esto indica condiciones medias de estabilidad, por lo que se requiere un sostenimiento moderado, como pernos sistemáticos, malla metálica y shotcrete, para garantizar la seguridad y estabilidad de la excavación.

• Diseño del sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen



FUENTE: Elaboración propia.

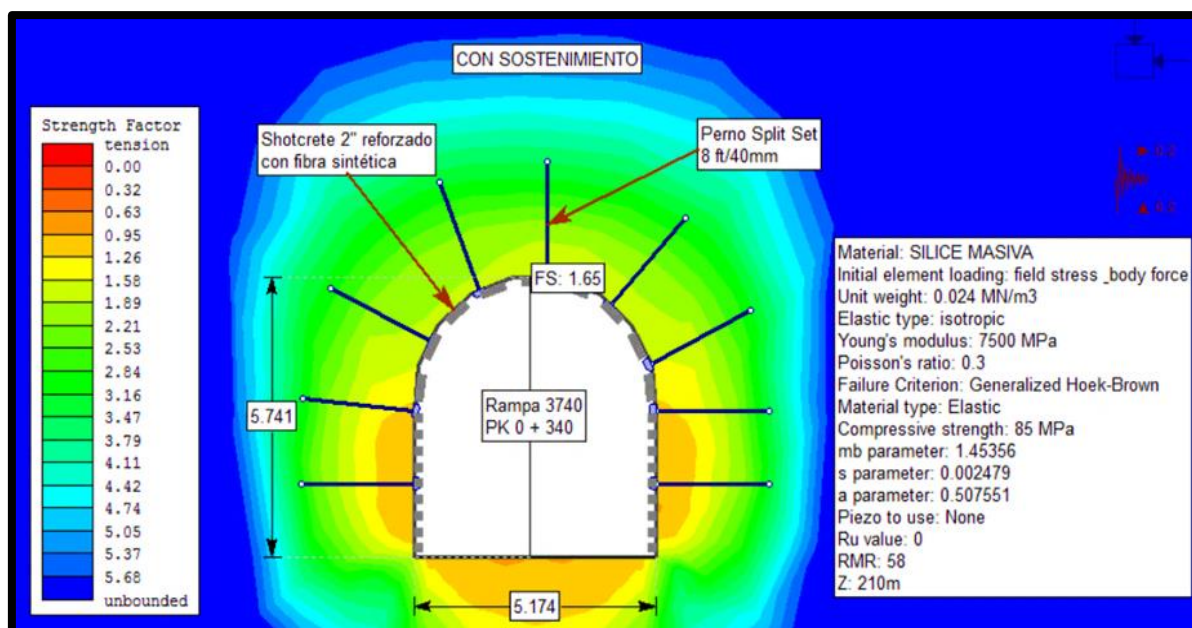
Figura 27 — Diseño de sostenimiento en la rampa virgen de Carmen de acuerdo a las clasificaciones geomecánicas de Barton



FUENTE: Elaboración propia.

Figura 28 — Diseño de enmallado del interior de la rampa según a las clasificaciones geomecánicas de Barton

El tipo de sostenimiento adecuado según Barton, se sugiere empernado sistemático con un espesor 6-9cm con fibra y reforzado con mallas sistemáticos.



FUENTE: Elaboración propia.

Figura 29 — Diseño de sostenimiento con shotcrete según Bieniawski

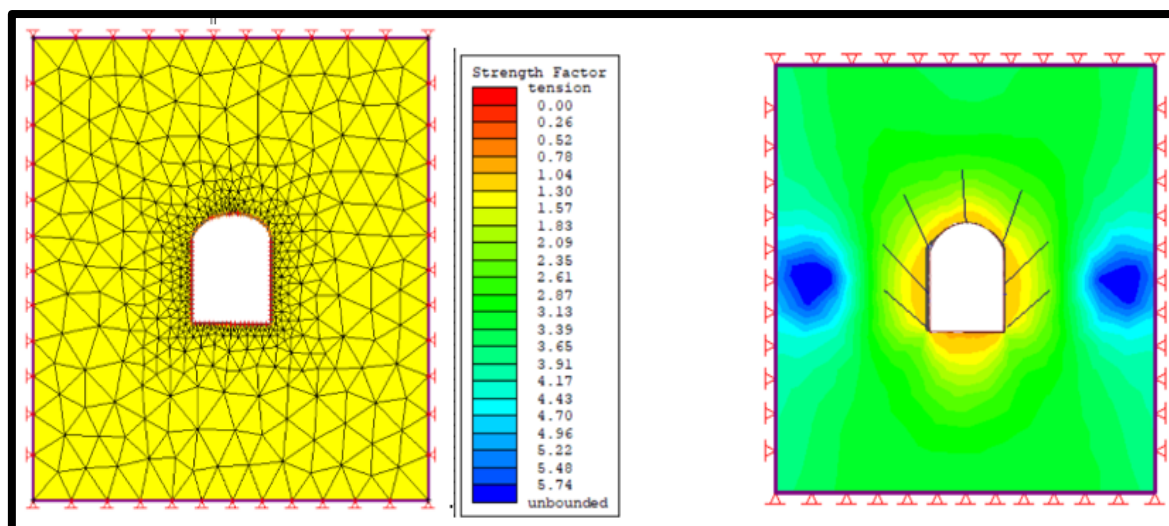
El diseño de sostenimiento según Bieniawski sugiere que el sostenimiento de la rampa virgen de Carmen, se determina el diseño de sostenimiento de shotcrete 2 pulgadas reforzado con fibra sintética y pernos Split Set de 8 pies de largo a 1.2m de espaciado. Se obtiene un factor de seguridad mayor a 1.58; lo cual indica que bajo estas condiciones de sostenimiento la labor es estable y segura.

d) Caracterizar las clasificaciones geomecánicas de Bieniawski para el diseño del sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcaccocha, Aymaraes, Apurímac 2024

Tabla 20 — Estimación de las clasificaciones geomecánicas para el diseño de sostenimiento de la Rampa virgen de Carmen.

Nombre del Proyecto:		Estimación de clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento mediante software Phase2 en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcaccocha, Aymaraes, Apurímac 2024											
Labor:		Rampa											
Ejecutado por:		Christiam Marshal Barazorda Gamarra											
SISTEMA RMR													
PARÁMETROS				VALOR						VALOR			
Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)				100	>250 (15)	X	100-250 (12)	50-100 (7)		25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	12	
RQD (%)				45%	90-100 (20)		75-90 (17)	50-75 (13)		25-50 (8)	X <25 (3)	8	
Espaciamiento de discontinuidades (cm)				0.6-0.8	>2m (20)		0,6-2 m (15)	0.2-0.6m (10)		0.06-0.2m (8)	X < 0.06m (5)	5	
CONDICION DE DISCONTINUIDADES													
Familia	Buz.	/D. Buz	f/m	Persistencia	<1m long. (6)		1-3 m Long. (5)	X	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	2	
D1	45	230	3	Abertura	Cerrada (6)		<0.1mm apert. (5)		0.1-1.0mm (2)	X	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4
D2	28	145	4	Rugosidad	Muy rugosa (6)		Rugosa (5)		Lig.rugosa (2)	X	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	3
D3	78	110	5	Relleno	Limpia (6)		Duro < 5mm (5)	X	Duro> 5mm (2)		Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	2
				Alteración	Sana (6)		Lig. Intempe. (5)		Mod.Intempe. (2)	X	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)	5
Agua subterránea:					Seco (15)	X	Humedo (5)	X	Mojado (7)		Goteo (4)	Flujo (0)	7
Orientación													-2
											RMR ₈₉ (Basico) =		48
											RMR ₈₉ (Corregido) =		46
Condiciones secas											RMR' ₈₉ (Condiciones Secas)=		41
	JRC			RMR	100 - 81		80 - 61		60 - 41		40 - 21	20 - 0	IV B
	(BARTON BANDIS)			DESCRIPCION	I MUY BUENA		II BUENA		III REGULAR		IV MALA	V MUY MALA	
FUENTE: Elaboración propia.													

Según la clasificación geomecánica de Bieniawski, los parámetros obtenidos indican una resistencia del macizo rocoso de aproximadamente 100 MPa, con un RQD cercano al 45%. Al considerar todos los valores correspondientes a las condiciones de discontinuidades, se concluye que la calidad del macizo rocoso varía de regular a mala, obteniendo un RMR de 46 Mpa.



FUENTE: Elaboración propia.

Figura 30 — Diseño de sostenimiento según las clasificaciones geomecánicas de RMR de Bieniawski.

Según el diseño adecuado de sostenimiento en la rampa virgen de Carmen se determina que el uso de pernos "Swellex" nos resultaría adecuado ya que la calidad de la roca es regular a mala el sostenimiento adecuado es con pernos sistemáticos de 1.50 x 1.50m con malla o cinta ocasional tiene una resistente elevadamente alterada, con unas discontinuidades rugosas levemente alterada, manchas de oxidación, ligeramente abiertas, se rompe con dos o más golpes de picotas, también lo recomendable es usar malla cimentadas con Split set sistemáticos. Es fundamental implementar un sistema de sostenimiento robusto que incluya pernos, mallas y hormigón proyectado, así como realizar un monitoreo continuo para garantizar la seguridad y estabilidad de las excavaciones

e) Determinar el diseño adecuado de sostenimiento para la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac 2024

• Diseño

Determinar el diseño más adecuado de sostenimiento para aplicar en la Rampa Virgen del Carmen es una solución combinada (híbrida) que tome lo más conservador y efectivo de ambos enfoques: pernos sistemáticos con espaciamiento reducido (≈ 1.2 m), malla metálica, y shotcrete reforzado con fibra de espesor entre 6 y 9 cm, apoyado por Split Set o Swellex según la litología local.

Para la Rampa Virgen del Carmen, dado que la calidad del macizo oscila entre regular y mala (RQD promedio ≈ 45 %, RMR ≈ 46), se recomienda adoptar un sostenimiento

sistemático híbrido: pernos sistemáticos (Split Set o Swellex de 1.8–2.4 m según sector) a 1.2 m × 1.2 m, malla electrosoldada y shotcrete proyectado reforzado con fibra de 6–9 cm. Este sistema combina la capacidad de control superficial (shotcrete + malla) con anclaje cercano (pernos) y está respaldado por los resultados numéricos (Phase2) que muestran $F.S. > 1.5$, además de proporcionar margen de seguridad frente a variaciones locales del macizo.

a) Pernos sistemáticos

Tipo: Split Set (sectores muy fracturados) o Swellex / perno adhesivo en sectores más competentes.

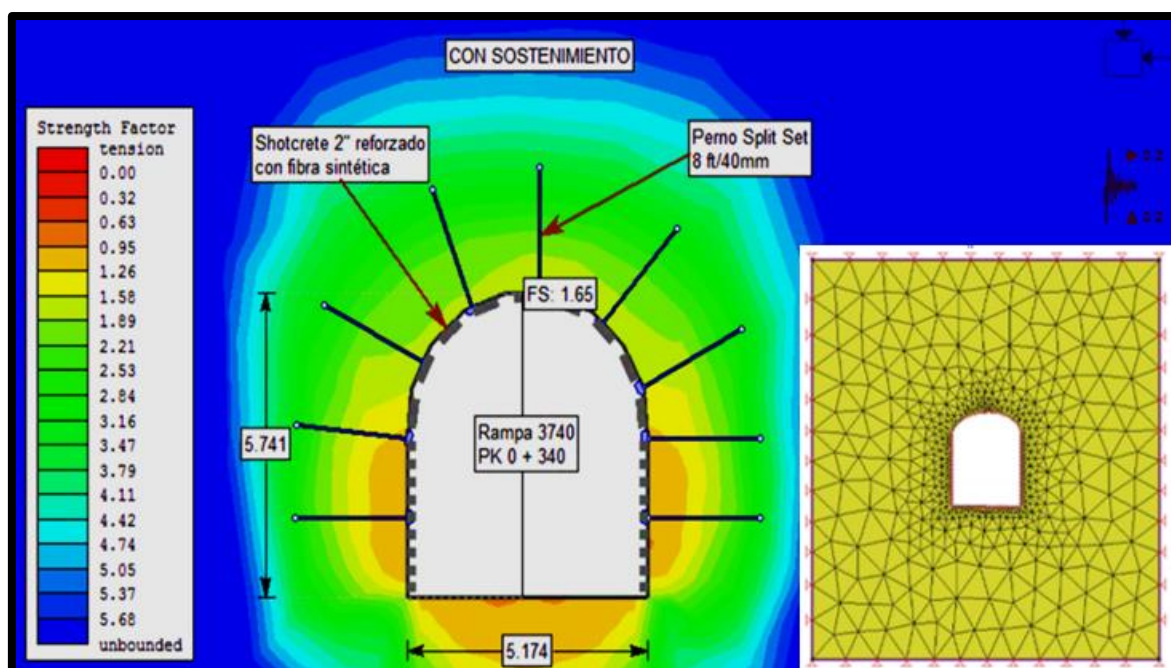
b) Malla metálica

Malla electrosoldada o malla de alta resistencia, instalada en coronamiento y hastiales bajo pernos.

c) Shotcrete proyectado con fibra

Espesor recomendado: 6 cm como mínimo; 8–9 cm en sectores críticos (para zonas con discontinuidades abiertas, desgaste o ataque por agua).

- Mapeo geomecánico y zonificación por calidad (zonas A: crítica; B: intermedia; C: estable).
- Instalación de pernos sistemáticos (1.2 m) inmediatamente tras avance de tramo.
- Colocación de malla electrosoldada.
- Aplicación de shotcrete con fibra (6–9 cm).
- Monitoreo con extensómetros / prismas / lectura convergencias.
- En análisis Phase2 para condiciones estáticas normales; verificar comportamiento bajo escenarios de peor caso (presencia de agua, rellenos, discontinuidades activas).



FUENTE: Elaboración propia

Figura 31 — Diseño eficiente de sostenimiento según parámetros geomecánicos, complementado con aplicaciones de software Phase 2

Tabla 21 — Análisis de costo de sostenimiento en la unidad minera Parccacocha

Costo de sostenimiento				
Tipo de sostenimiento	Costo total por mL (S/.)	Durabilidad	Seguridad	Observaciones
Cuadros de madera	≈ 2,200 – 2,500	Baja (6–12 meses, se pudre con humedad)	Media-baja	Requiere reemplazo frecuente, mayor riesgo de colapso.
Perno helicoidal 12 ft	2,693.62 (Tabla 07)	Media (3–5 años)	Media-alta	Buen control de bloques, pero limitado frente a agua y alta fracturación.
Malla + perno helicoidal 12 ft	3,989.05 (Tabla 06)	Media-alta (5–8 años)	Alta	Mayor seguridad superficial, pero costo elevado.
Shotcrete + pernos (Phase2)	3,502.51 – 6,196.13 (Tabla 08)	Alta (10–20 años)	Muy alta (FS > 1.58)	Sistema híbrido recomendado. pernos sistemáticos + malla + shotcrete con fibra.

FUENTE: Elaboración propia

El análisis de las clasificaciones geomecánicas y los costos de sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcaccocha, demuestra que el macizo rocoso presenta una calidad regular a mala ($RQD \approx 45 \%$, $RMR \approx 46$), lo que exige un sistema de soporte robusto. Los cuadros de madera, aunque más económicos en el corto plazo, no garantizan seguridad ni durabilidad, generando mayores gastos acumulados y riesgos operativos.

En contraste, el sostenimiento con shotcrete reforzado con fibra y pernos Split Set, alcanza un factor de seguridad superior a 1.58, asegurando estabilidad prolongada y reducción de costos indirectos por accidentes o paralización. Si bien la inversión inicial es mayor ($\approx$ S/. 3,500 – 5,200 por metro lineal), resulta más rentable a largo plazo.

Por tanto, la solución híbrida propuesta en la tesis —shotcrete + pernos sistemáticos— constituye la alternativa más eficiente y segura, alineada con los resultados geomecánicos y con la necesidad de garantizar continuidad y sostenibilidad en la explotación minera.

5.2 Discusión

- **Discusión 1**

El propósito de esta investigación fue estimar las clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, El análisis geomecánico realizado con el software Phase2 permitió evaluar la estabilidad de la rampa virgen de Carmen en condiciones naturales y con sostenimiento. Inicialmente, se obtuvo un factor de seguridad mínimo de $FS = 1.83$, lo que indica un estado crítico en ciertas zonas del macizo rocoso, principalmente en el techo (1.4 m) y en la caja (0.85 m). Estos valores evidencian que la resistencia del macizo es insuficiente frente a los esfuerzos inducidos por la excavación, lo que hace necesario implementar un sistema de sostenimiento adecuado. Con base en las recomendaciones de sostenimiento para la rampa virgen de Carmen, se implementó un diseño que consiste en shotcrete de 2 pulgadas reforzado con fibra sintética y pernos Split Set de 8 pies de longitud con espaciamiento de 1.2 m, logrando elevar el factor de seguridad a valores superiores a 1.58. Esto confirma que la labor se encuentra en condiciones estables y seguras, reduciendo significativamente el riesgo de fallas.

Este hallazgo tiene relación con el estudio de Calama (2021), en la tesis de pregrado “Evaluación geomecánica para la selección del tipo de sostenimiento en la construcción en la rampa-440, en la minera aurífera cuatro de enero s.a. (Macdesa)-Arequipa” concluye que una evaluación geomecánica constante y bien aplicada permite optimizar tanto la seguridad como los costos y tiempos de ejecución. Por lo tanto, la implementación de un sostenimiento basado en criterios geomecánicos, como se hizo en el presente estudio, no solo garantiza la estabilidad estructural de las labores subterráneas, sino que también respalda una gestión técnica eficiente en proyectos mineros subterráneos.

- **Discusión 2**

El propósito de esta investigación fue caracterizar las clasificaciones geomecánicas de Barton para el diseño del sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcaccocha, Aymaraes, Apurímac 2024. La aplicación del método de clasificación RMR89 en la rampa Virgen del Carmen indica una calidad regular del macizo rocoso ($RMR = 50$), lo que representa una condición de estabilidad media. Esto justifica la necesidad de un sostenimiento moderado, como el uso de pernos Split Set de 8 pies, shotcrete de 2 pulgadas con fibra sintética y malla metálica. El diseño propuesto proporciona un factor de seguridad superior a 1.58, evidenciando que la excavación es estable bajo dichas condiciones.

Este hallazgo guarda relación encontrada en la tesis de Mamani (2019), en la Rinconada, se identificó una calidad regular del macizo ($RMR = 48$, $Q = 0.96$) mediante diversas clasificaciones geomecánicas. El sostenimiento recomendado incluyó pernos de 3 a 4 m y shotcrete de hasta 10 cm, alcanzando un factor de seguridad de 1.26. El análisis cinemático reveló posibles fallas tipo cuña, que fueron consideradas en el diseño de soporte.

- **Discusión 3**

La intención de esta investigación fue caracterizar las clasificaciones geomecánicas de Bieniawski para el diseño de sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcaccocha, Aymaraes, Apurímac 2024. La evaluación geomecánica aplicada a la rampa Virgen del Carmen revela una calidad del macizo rocoso que varía entre regular y mala ($RMR \approx 46$), con una resistencia cercana a los 100 MPa y un RQD del 45%. Esta condición sugiere la necesidad de un sostenimiento reforzado, optando por pernos Swellex o Split Set sistemáticos, malla metálica ocasional y shotcrete, a fin de asegurar la estabilidad de la excavación.

Este hallazgo guarda relación encontrada en la tesis de Espinoza (2023), en la unidad Yauricocha, la Cámara del Winche del Nivel 720 también presentó una calidad regular del macizo ($RMR = 49$, $Q = 1.35$), conformado por calizas medianamente resistentes y múltiples sistemas de discontinuidades. El sostenimiento propuesto incluye pernos helicoidales sistemáticos, mallas electrosoldadas y shotcrete

reforzado con fibra, adecuado para una excavación de gran volumen (16.6 m x 21.0 m x 9.6 m).

- **Discusión 4**

La intención de esta investigación fue determinar el diseño adecuado de sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, aplicar solución combinada (híbrida) que tome lo más conservador y efectivo de ambos enfoques: pernos sistemáticos con espaciamiento reducido (≈ 1.2 m), malla metálica, y shotcrete reforzado con fibra de espesor entre 6 y 9 cm, apoyado por Split Set o Swellex según la litología local y validado por controles instrumentales, garantiza un comportamiento estructural estable, reduce los riesgos asociados a desprendimientos y colapsos locales, y proporciona un margen de seguridad adecuado frente a las condiciones geotécnicas encontradas

Este hallazgo guarda relación encontrada en la tesis de Catalan (2024), en su estudio titulado “Comportamiento geomecánico del macizo rocoso analizado mediante clasificaciones geomecánicas en la galería nivel 4040, Mina Victoria, Aymaraes”. En dicho trabajo, el autor aplicó una metodología cuantitativa con enfoque descriptivo-explicativo para caracterizar el macizo rocoso mediante ensayos de campo y clasificaciones geomecánicas, obteniendo como resultado que la roca presentaba una calidad regular, con resistencia promedio de 130 MPa y comportamiento elasto-frágil según el software Rocdata. Este comportamiento justificó la necesidad de un sostenimiento sistemático constituido por pernos de 4 m reforzados con malla y shotcrete de 5 a 10 cm, el cual demostró ser suficiente para mantener la estabilidad de la excavación incluso en sectores donde se evidenciaban zonas plásticas significativas.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- **Conclusión 1**

La presente investigación permitió estimar las clasificaciones geomecánicas necesarias para el diseño del sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha. El análisis realizado con el software Phase2 evidenció que, en condiciones naturales, el macizo rocoso presenta zonas críticas con factores de seguridad mínimos de $FS = 1.83$, siendo aún más vulnerables el techo 1.4 m y la caja 0.85 m. Esto demuestra que el macizo no es capaz de soportar adecuadamente los esfuerzos generados por la excavación.

Ante esta situación, se diseñó e implementó un sistema de sostenimiento compuesto por shotcrete de 2in reforzado con fibra sintética y pernos Split Set de 8 ft de longitud con espaciamiento de 1.2 m. Este sostenimiento elevó el factor de seguridad a valores superiores a 1.58, confirmando una mejora significativa en la estabilidad de la labor. Por tanto, se concluye que la aplicación de un enfoque geomecánico integral y el uso de herramientas de modelamiento numérico son fundamentales para garantizar la seguridad y sostenibilidad de las excavaciones subterráneas.

- **Conclusión 2**

La caracterización geomecánica de Q de Barton en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, permitió determinar que el macizo rocoso presenta una calidad regular, con un valor de $RMR = 50$ según la clasificación de Bieniawski (RMR89). Esta condición de estabilidad media requiere un sostenimiento moderado para garantizar la seguridad de la excavación. El diseño de sostenimiento propuesto, que incluye pernos Split Set de 8 pies, shotcrete de 2 pulgadas, reforzado con fibra sintética y malla metálica, elevó el factor de seguridad a valores superiores a 1.58. Por lo tanto, se concluye que la implementación de este sistema es adecuada y asegura condiciones estables para el desarrollo de labores subterráneas en la rampa evaluada.



- **Conclusión 3**

A través de la evaluación geomecánica de Bieniawski, se identificó que el macizo rocoso presenta una calidad que varía entre regular a mala, con un valor promedio de $RMR \approx 46$, una resistencia a compresión uniaxial cercana a los 100 MPa y un RQD del 45%. Estas condiciones indican la necesidad de un sistema de sostenimiento reforzado. En base a estos resultados, se concluye que para optimizar el sostenimiento en la Unidad Minera Parcacocha se debe realizar la implementación de pernos Swellex o Split Set instalados de forma sistemática, acompañados de malla metálica ocasional y shotcrete, como medidas eficaces para garantizar la estabilidad y seguridad de la excavación. El diseño propuesto responde adecuadamente a las condiciones geotécnicas del terreno, minimizando el riesgo de fallas y contribuyendo a la sostenibilidad operativa de la labor subterránea.

- **Conclusión 4**

Los análisis realizados mediante las clasificaciones geomecánicas RMR, Q junto con el modelamiento numérico en el software Phase2, permiten concluir que el macizo rocoso de la Rampa Virgen del Carmen presenta una calidad regular a mala ($RQD \approx 45\%$, $RMR \approx 46$), lo que exige un sistema de soporte robusto y confiable. Los cuadros de madera, aunque representan un menor costo inicial ($\approx$ S/. 2000 por mL), no garantizan seguridad ni durabilidad, generando mayores gastos acumulados y riesgos de colapso.

Los pernos helicoidales y la combinación con malla metálica ofrecen mejoras en seguridad, pero su efectividad frente a condiciones críticas es limitada. En contraste, el sostenimiento híbrido con shotcrete reforzado con fibra y pernos Split Set o Swellex, asegurando estabilidad prolongada, durabilidad de mayor a 10 años y reducción de costos indirectos por accidentes o paralización. Aunque la inversión inicial es mayor ($\approx$ S/. 3,500 por mL), resulta más rentable a largo plazo, alineándose con los objetivos de continuidad y sostenibilidad de la explotación minera.

6.2 Recomendaciones

- **Recomendación 1**

Es recomendable para asegurar la estabilidad del macizo rocoso tras la colocación de pernos, es clave un monitoreo constante diariamente durante la primera semana y luego cada 2–3 días, para detectar cualquier cambio. Anticiparse a factores como agua, vibraciones o cargas dinámicas es fundamental para ajustar el soporte o instalar drenajes. El uso de software especializado para modelar los refuerzos y la capacitación rigurosa del personal en protocolos de seguridad son también esenciales.

- **Recomendación 2**

Se recomienda que, en la unidad minera Parcacocha, es mejor ser precavido al evaluar la calidad de la roca, especialmente si las condiciones son malas. Usar valores más conservadores para estimar su capacidad de autosoporte hace que la excavación sea más segura. Confiar demasiado en la buena calidad de la roca puede ser peligroso y aumentar el riesgo de desprendimientos, que son una de las principales causas de accidentes y daños en la minería subterránea.

- **Recomendación 3**

Se recomienda replicar este diseño de sostenimiento en otras zonas con características geomecánicas similares dentro de la unidad minera Parcacocha. La validación del modelo mediante el software Phase2 respalda su eficiencia técnica, por lo que debe adoptarse como base para futuras excavaciones. Es importante, además, actualizar los modelos numéricos con datos reales obtenidos en campo para una mejor precisión.

- **Recomendación 4**

Se recomienda implementar un sostenimiento híbrido y debe aplicarse siguiendo el orden técnico adecuado: mapeo y zonificación geomecánica, instalación de pernos, colocación de malla y finalmente aplicación de shotcrete. Asimismo, se recomienda realizar un monitoreo continuo mediante extensómetros, prismas o lectura de convergencias para verificar el desempeño del sostenimiento en el tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO, Fabiola.** Modelamiento geoestadístico de la clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR). Santiago de Chile : s.n., 2020.
- ALVARES, Danny.** Modelamiento geoestadístico de las clasificaciones geomecánicas de Bieniawski. Puno : UNI, 2020.
- ARANA, Jhonny y CUEVA, Jimmy.** Caracterización geomecánica del macizo rocoso y su influencia en el tipo de sostenimiento en el nivel 05 de la mina subterránea paredones, san pablo, Cajamarca : Universidad Nacional de Cajamarca , 2019.
- ARANGO, Eber.** Elección del tipo de sostenimiento requerido por cambio del dominio estructural en la construcción de nuevo pique yauricocha. Huancayo : s.n., 2020.
- BACA, Lucas.** Manual de capacitación para empujadores de puntales y tolvas. Trujillo : Minera Aurífera Retamas, 2018.
- BARRICK, EMPRESA MINERA.** geología regional para minas artesanales de Chalhuanca. INGEMMET. Lima : s.n., 2021.
- BEHAR, Daniel.** Metodología de la investigación. Bogotá, Colombia : Shalom, ISBN: 978-959-212-783-7, pág. 94, 2008.
- BENAVENTE, David y CAÑAS, Juan.** Estudio de propiedades físicas de las rocas. Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante. Valencia : s.n., pág. 65, 2004.
- BRAJA M, Das.** Fundamento de ingeniería geotécnica. s.l. : GENGAGE Learning, 2015.
- CABRERA, Luey.** Diseño de un sistema de gestión con cimbras metálicas . Lima : Universidad Tecnológica del Perú , 2021.
- CAIRO, Juan.** Metodología de diseño óptimo de rampas en minería subterránea-Chile. [En línea] 12 de Agosto de 2022. [Citado el: 2025 de mayo de 18.] <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/145145/Metodologia-para-dise%C3%B1o-optimizado-semiautomatico-de-rampas-en-mineria-subterranea.pdf?sequence=4&isAllowed=y>, 2022.
- CALAMA, Alexander.** Evaluación geomecánica para la selección del tipo de sostenimiento en la construcción de la rampa-440, en la minería aurífera cuatro de enero S.A. (MACDESA)-Arequipa. Cusco : UNSAAC, 2021.
- CATALAN , David.** Comportamiento geomecánico del macizo rocoso analizados mediante clasificaciones geomecánicas en la mina victoria. [En línea] UNAMBA, [Citado el: 10 de diciembre de 2025.] <https://repositorio.unamba.edu.pe/server/api/core/bitstreams/12edf2e3-628f-4d71-b5f4-34f35bb77340/content>, 2024.



- CAYLLAHUA, Rodriguez.** Diseño de sostenimiento para tuneles y excavaciones mineras . Cusco : UNSACC, 2020.
- CHAVEZ, Nilson.** Evaluacion geomecanica para implementar el sistema de sostenimiento . Lima : Universidad Continental , 2021.
- CHUTAS, Carlos.** Estudio del comportamiento geomecanico del macizo rocoso. Lima : Universidad Cesar Vallejo, pág 27, 2019.
- CONTRADO, Laura.** Caracterizacion geomecanica del macizo rocoso para el diseño de un sostenimiento adecuado en mina Chaparra, Caraveli, Arequipa-2021. Arequipa : Universidad Nacional San Agustin , 2021.
- CORDOVA, Hector.** Sostenimiento con relleno hidraulico . Cusco : UNSAAC, 2022.
- CRUZ, Javier.** Importancia de la aplicacion de Shocrete. Lima : Pontificie Catolica del Peru, 2022.
- DAS, Maria.** Fundamentos de Ingenieria Geotecnica. Cuarta edicion. s.l. : CENGAGE Learning, 2015.
- DEERE, Victor.** Medicion de fracturacion del macizo rocoso. [En línea] UNIVERSIDDA POLITECNICA DE VALENCIA. [Citado el: 10 de Diciembre de 2025.] <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/07/30/medicion-del-grado-de-fracturacion-de-un-macizo-rocoso-el-indice-rqd/>, 2018.
- DONAIRE, Valdivia.** Comportamiento geomecanico del macizo rocoso por el metodo Kriging . Lima : Universidad Nacional San Agustin , 2020.
- ESPINOZA, Midler.** Evaluación Geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento de la cámara para el Winche de producción del Nv. 720 en la Unidad yauricocha. Evaluación Geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento de la cámara para el Winche de producción del Nv. 720 en la Unidad yauricocha. [En línea] 2023. [Citado el: 22 de 01 de 2025.] http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/3508/1/T026_46869701_T.pdf, 2025.
- FERNANDEZ, Carlos.** Metodologia de la Investigacion. Madrid : McGraw-Hill 7ta. 978-1-4562-4972-0, 2022.
- FLORES, Guillermo.** Caracterizacion geomecanica del macizo rocoso para determinar el tipo de rocoso para determinar el tipo de sostenimiento en la conseccion minera subterranea zenit 1, distrito san luis. Cajamarca - Peru : s.n., 2021.
- GONZALES, Daniel.** Metodologia de la investigacion. Bogota : s.n., 2021. 9789586486026.
- HERMAN, Laufer.** Clasificación del macizo rocoso para la construcción de túneles. Austria : Universidad central de Europa , 2019.
- HERNANDEZ, Carlos.** Metodologia de la Investigacion. 6ta. Mexico : McGraw-Hili _ Interamericana,1234567890, 2011



HOYOS, Fabian. Getecnia diccionario basico. Medellin : s.n., 2012.

HUAMAN , Franklin. Evaluacion geomecanica y diseño de sostenimiento. Cajamarca : Universiodad privada del norte, 2022.

HUAMANI , Jeanpier. Implementar sostenimiento en chimieneas para optimizar los costos operativos en la asociación pepas de oro. [En línea] UNAMBA, 2022. [Citado el: 10 de diciembre de 2025.] <https://repositorio.unamba.edu.pe/server/api/core/bitstreams/13f5a7b9-2809-4e6f-996b-e80e4f4429bb/content>, 2022.

INCAÑAUPA, Oseas. Evaluación geomecánica para el diseño de sostenimiento en la galería de acceso y rampa 430-E Minera Aurífera Retamas, 2023. Evaluación geomecánica para el diseño de sostenimiento en la galería de acceso y rampa 430-E Minera Aurífera Retamas, [En línea] 2018. [Citado el: 01 de 22 de 2025.] <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/f692b836-15f9-4557-85a2-7b04474f3b0d>, 2023.

INGEMMET. Prospeccion geologica minera chalhuanca -abancay. Lima : Instituto geologico minero y metalurgico, 2018.

IÑIGUEZ, Diana. Velocidad de Corte en Rocas y su relacion con la Resistencia a la Compreseion Simple. Cuenca - Ecuador : s.n., 2020.

JUARES, Jaime. Calsificacion de macizos de roca. Lima : Pontificia Universidad Catolica del Peru, 2021.

MAELSA. Mallas electrosoldadas . Lima : Aceros Arequipa, 2022.

MAMANI , Lucio. clasificacion geomecanica para el dise{o de sostenimiento en la galeria principa contrata minera peyols. ananea : universidad uni de puno, 2019.

MODESTO, Javier. Resistencia a la compresion simple del macizo rocoso. Ayacucho : Universidad Nacional San cristobal de Haumanga, 2019.

MONGE, ALeandro. Mecanica de rocas : fundamentos e ingenieria de taludes. Madrid : OpenAire, 2018.

NEVEILLE, G. Fundamentos de las mecanicas de rocas. España : s.n., 2019.

OCHOA QUESADA, Alexander. Propuesta de una clasificación geomecánica para la evaluación del comportamiento del macizo rocoso en el frente de arranque del Tunel Levisa-Mayari Tramo IV. Moa : s.n., 2018.

PAITAN, Hipolito. Metodologia de la investigacion. Bogota : s.n., 2014. 9789587621884.

PIERRE, Juan. Sostenimiento de labores subterranas . Lima : s.n., 2019.

PUMACAYO, Roger. Evaluacion de clasificaciones geomecanicas para el diseño de sostenimiento . [En línea] UNAMBA, [Citado el: 10 de diciembre de 2025.] <https://repositorio.unamba.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e3208e32-19ca-4e72-82d7-16fc8368acce/content>, Octubre de 2025.



- QUESADA, OCHOA.** Comportamiento geomecanico del macizo rocoso. Trujillo : Universidad publico de Trujillo , 2018.
- RAMIREZ OYANGUREN, Pedro y ALEJANO MONGE, Leandro.** Mecanica de Rocas: Fundamentos e Ingenieria de Taludes. 2004.
- RIOS, Samier.** Metodologia de la investigacion. Mexico : s.n., 9781456223960, 2005.
- RODRIGUEZ, Alonso.** Ingenieria geologica: Caracterizacion de macizos rocosos. Madrid : s.n., 2007.
- RODRIGUEZ, Javier.** Ingenieria Geologica Caracterizacion de macizos rocosos. Oviedo : s.n., pág. 14, 2020.
- ROJAS, Andre.** Evaluacion geomecanica y diseño de sostenimiento . Cajamarca : Universidad privada del norte , 2023.
- SAEZ, Esteban.** Fundamentos de Geotecnia. s.l. : ICE, 2010.
- SALAZAR, Edgar.** Evaluacion geomecanica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotacion por el metodo de corte y relleno ascendente Unidad Minera Yauricocha-Sociedad Minera Corona S.A. Huancayo : Cesar Vallejo, 2020.
- TACURI GAMBOA, Amilcar.** Evaluacion geomecanica del macizo rocoso para la aplicacion del sostenimiento en la mina hercules-cia minera Lincuna s.a. Ayacucho : Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga , 2019.
- THOMAS, Carlos.** Estudio comparativo entre requerimientos de soporte y fortificacion de tuneles definidos segun metodos empiricos de clasificaciones geomecanicas versus metodos analiticos y numericos. Santiago de Chile : s.n., 2018.
- TORAL, Mario.** [En línea] SAN MARCOS, Enero. <https://es.scribd.com/document/262872036/Fracturas-de-Las-Rocas>, 2020.
- TORRES, Oscar.** Aplicacion de clasificacion geomecanica para eleccion de sostenimiento. Chiclayo : Universidad Cesar Vallejo, 2019.
- VALDIVIA, Alex.** Estimacion del comportamiento geomecanico, mediante metodo de kriging para el macizo rocoso del cerro callacpuma-sector huayrapongo,2020. Cajamarca-Peru : s.n., 2020.
- VALLEJO, Luis.** Ingenieria Geologica, mecanica de rocas. Madrid : Pearson, 84-205-3104-9, pág 77, 2022.
- ZAPANA, Reiser.** Diseño de sostenimiento del tunel central Nv. 500 de la Minera Ana Maria universidad san agustin de arequipa, 2020.



ANEXOS



Anexo A

Título: Estimación de clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento mediante software Phase2 en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac 2024.

Tabla 22 — Matriz de consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores
Problema general ¿Cómo estimar las clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac 2024? Problemas específicos ¿Cómo influye las clasificaciones geomecánicas de Q de Barton para el diseño del sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac 2024? ¿Cómo influye las clasificaciones geomecánicas de Bieniawski para el diseño del sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac 2024? ¿Cuál es el diseño adecuado del sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac 2024?	Objetivo general Estimar las clasificaciones geomecánicas para el diseño del sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac 2024. Objetivos específicos - Caracterizar las clasificaciones geomecánicas según el sistema Q de Barton para aportar al diseño del sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac 2024. - Caracterizar las clasificaciones geomecánicas de Bieniawski para el diseño del sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac 2024. - Determinar el diseño adecuado del sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac 2024.	Hipótesis general Es posible que la adecuada estimación de las clasificaciones geomecánicas puedan permitir el diseño adecuado de sostenimiento en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac 2024. Hipótesis específicas - Las clasificaciones geomecánicas de Q de Barton influyen significativamente en la selección del sostenimiento adecuado para el diseño de la rampa virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac 2024. - Las clasificaciones geomecánicas de Bieniawski proporciona parámetros fundamentales para el diseño del sostenimiento en la rampa virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac 2024. - El diseño de sostenimiento obtenido a partir de las clasificaciones geomecánicas mediante análisis, permite garantizar la estabilidad de la excavación en la rampa Virgen del Carmen, mina Parcacocha, Aymaraes, Apurímac 2024.	V1: Evaluación de clasificaciones geomecánicas V2: Diseño de sostenimiento	D1: Barton D2: Bieniawski D3: GSI D1: Parámetros de resistencia D2: Determinación analítica de estabilidad D3: Análisis de excavaciones subterráneas	I1: Espaciamiento I2: Condición de juntas I3: presencia de agua subterránea I4: corrección por orientación I1: Resistencia a la compresión simple I2: R.Q.D I3: Espacio de las discontinuidades I4: condición de discontinuidades I5.- presencia de agua I6.- orientación de discontinuidades I1: Estructura del macizo rocoso I2: Condiciones de la superficie de las discontinuidades I3: condición de discontinuidades I1: Roca muy buena I2: Roca buena I3: Roca regular I4: Roca mala I5: Roca muy mala I1: extremadamente dura I2: Muy dura I3: Moderadamente dura I4: Blanda muy blanda I1: Muy malo I2: Malo I3: Medio I4: Bueno I5: Excelente

Anexo B

Panel Fotográfico



Figura 32 — Paisaje de la unidad minera Parcaccocha



Figura 33 — Acceso principal de la Unidad minera Parcaccocha

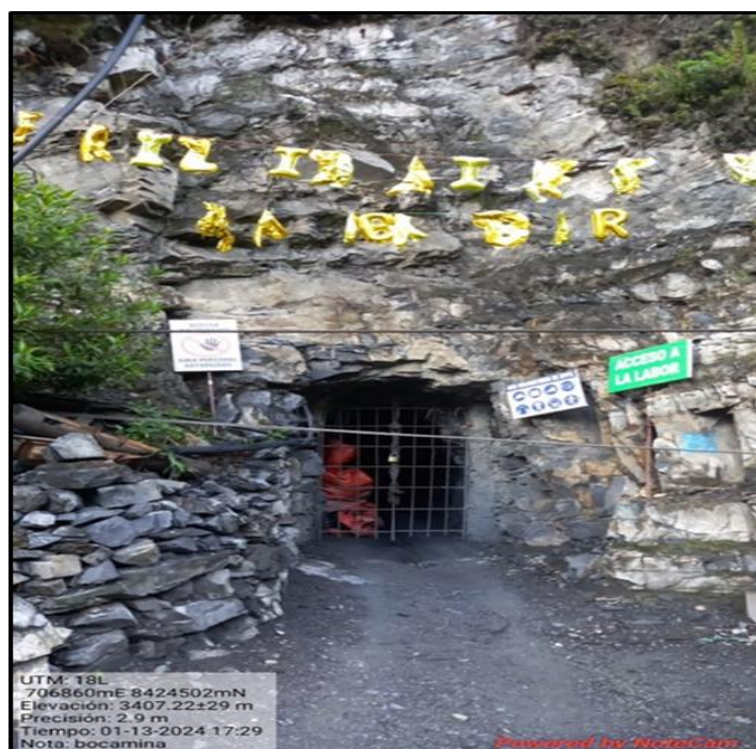


Figura 34 — Identificación actual de la unidad minera Parcacocha



Figura 35 — Proceso de reconocimiento y selección del tipo de muestreo utilizado en la Unidad Minera Parcacocha.

Anexo C

Tabla 23 — Resultados de ensayo a la compresión uniaxial

Ensayos de la resistencia a la carga puntual								
Dominio estructural 01								
Muestra	Litología	Sección de la muestra				Carga (P)	Is	C
		W1	W2	Ancho	Largo			
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kN)		(MPa)
M-1	Andesita	45.00	51.00	48.00	104.00	26.00	4.09	132.04
M-2	Andesita	52.00	48.00	50.00	115.00	25.00	3.41	115.84
M-3	Arenisca	53.00	50.00	51.50	98.00	26.00	4.05	131.11
M-4	Arenisca	45.00	45.00	45.00	100.00	27.00	4.71	146.63
Promedio								131.41
Dominio estructural 02								
Muestra	Litología	Sección de la muestra				Carga (P)	Is	C
		W1	W2	Ancho	Largo			
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kN)		(MPa)
M-1	Caliza	62.00	58.00	60.00	118.00	26.00	2.88	105.21
M-2	Caliza	49.00	48.00	48.50	108.00	27.00	4.05	132.91
M-3	Andesita	53.00	50.00	51.50	130.00	28.00	3.28	117.51
M-4	Andesita	45.00	45.00	45.00	100.00	28.00	4.89	152.06
Promedio								126.93
Dominio estructural 03								
Muestra	Litología	Sección de la muestra				Carga (P)	Is	C
		W1	W2	Ancho	Largo			
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kN)		(MPa)
M-1	Caliza	58.00	53.00	55.50	110.00	27.00	3.47	120.33
M-2	Caliza	55.00	49.00	52.00	111.00	26.00	3.54	120.18
M-3	Andesita	53.00	50.00	51.50	106.00	28.00	4.03	134.19
M-4	Andesita	45.00	36.00	40.50	89.00	26.00	5.67	162.88
Promedio								134.40
Promedio total								100.25
FUENTE: UNAMBA, 2025.								

Anexo D Cartillas de mapeo geomecánico

FORMATO DE MAPEO GEOMECANICO RMR, Q y GSI										ESTACION	
										E1	
Nombre del Proyecto: GUAYLON DE CASAPIC geomecánicos para el diseño de sostenimiento Nivel: 3690 Labor: MPN Esperanza Ejecutado por: ROGER A. GONZALEZ Fecha: 15/07/24										Litología: ROCAS IGNEAS Andesita	
Altura litostática (h): Rc / Sv:										# Fracturas: 100 RQD (%): 98	
Parametros:										S1: 12 S2: 8 S3: 10 S4: 12	
Resistencia a la compresión uniaxial (MPa): 130										X: 0.09 0.11 0.8 0.1	
RQD (%): 40										λ: 12 7.5 10.5 9	
Espaciamiento de discontinuidades (cm):										RQD (%): 60.3 83.1 69.5 39.	
CONDICION DE DISCONTINUIDADES										DONDE: $\lambda = 1/X$ $RQD = 100 \times e^{-0.1\lambda}$ (0.1λ + 1)	
Familia: Buz. ID. Buz. ltm Persistencia										MARTILLO SCHMIDT (INDICE DE REBOTE)	
D1 45 230 3 Abertura										TRAMO: A B C D PROMEDIO	
D2 28 145 4 Rugosidad										15 70	
D3 78 110 5 Relleno										12 68	
Alteración										13 63	
Agua subterránea										14 59	
Orientación										15 58	
Condiciones secas										16 53	
JRC (BARTON BANDER)										17 49	
RMR										18 46	
RMR (BASIC) =										19 43	
RMR (CORREGIDO) =										20 41	
RMR (CONDICIONES SECAS) =										21 38	
DESCRIPCION: I MUY BUENA II BUENA III REGULAR IV MALA V MUY MALA										22 35	
SISTEMA DE CLASIFICACION Q										23 33	
PARAMETROS										24 31	
RQD %										25 29	
Número de discontinuidades										26 27	
Número de rugosidad										27 25	
Número de alteración										28 23	
Número de agua subterránea										29 21	
Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)										30 20	
Q = (RQD/J _d) x (J _r /J _a) x (J _w /SRF)										RESISTENCIA DE LA ROCA	
Q = (RQD/J _d) x (J _r /J _a)										Poco competente UCS/Sv ≤ 8	
RMR = 9 Ln Q + 44										Competencia Intermedia 8 < UCS/Sv ≤ 15	
RMR = 9 Ln Q + 44										Competencia Alta UCS/Sv > 15	
Q										Donde: h=Altura litostática Sv= Esfuerzo Vertical 0.027=Constante Universal	
DESCRIPCION: EXCEPCIONALMENTE BUENA EXTREMADAMENTE BUENA MUY BUENA BUENA REGULAR POBRE MUY POBRE EXTREMADAMENTE POBRE EXCEPCIONALMENTE POBRE										SKETCH	
INDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA										PARA CALCULO DE SISTEMA RMR BASICO SE REALIZA CALCULO DE SUMATORIA DE LOS PARAMETROS DE LA ROCA Y LA SUMATORIA DEL RMR CORREGIDO	
TABLA GEOMECANICA (GSI)										VALORES: GSI RMR Q GSI	
OBSERVACIONES										39 37 0.67 MPN	

FUENTE: Elaboración propia.

Figura 36 — Mapeo geomecánico de RMR, Q y GSI

TABLA DE VALORES DE LOS SEIS PARAMETROS CARACTERISTICOS DEL SISTEMA Q BARTON

1.- INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA	
Descripción	RQD %
MUY POBRE	0 - 25
POBRE	25 - 50
REGULAR	50 - 75
BUENA	75 - 90
EXCELENTE	90 - 100
Nota: i) Estimar el RQD con 5% de aproximación ii) Cuando no se disponga de testigos $RQD = 115 - 3.3 J_v$ Donde: J_v : N° de Diaclasas por m3 iii) Si el RQD es menor de 10, emplear un valor nominal 10	
2.- NUMERO DE DISCONTINUIDADES	
Descripción	J _n
Masiva o con muy poca discontinuidad	0.5 - 1.0
Un sistema de discontinuidad	2
Un sistema de principal y uno secundario	3
Dos sistemas de discontinuidad	4
Dos sistemas principales y uno secundario	6
Tres sistemas de discontinuidades	9
Tres sistemas principales y uno secundario	12
Cuatro sistemas de discontinuidades o mas (roca muy fracturada)	15
Roca triturada (Terrosa)	20
Nota: i) Para intersecciones de tuneles, usar (3.0° J _n) ii) Para portales usar (2.0° J _n)	
FACTOR DE REDUCCION POR CONTENIDO DE AGUA EN FRACTURAS	
DESCRIPCION	J _w
A Diaclasas discontinuas	1
B Rugosas e irregulares, onduladas	3
C Lisas, Onduladas	2
D Lustrosas Ondulantes	1.5
E Rugosas o irregulares, planares	1.5
F Lisas, Planares	1
G Lustrosas, Planares	0.5
H Zona conteniendo arcillas en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la fractura	1
J Zona de material arenoso en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la fractura	1
NOTAS: En grupos A hasta la G, el contacto entre las superficies de la discontinuidad se logra con desplazamientos de cizalla inferiores a los 10 cm. Las descripciones se refieren a las características de pequeña escala y características de escala intermedia, en ese orden. En los grupos H y J no se produce contacto entre las superficies al ocurrir desplazamientos de cizalla	
FACTOR DE ALTERACION DE LAS DISCONTINUIDADES	
DESCRIPCION	J _a
a) Contacto entre superficies de la discontinuidad (sin relleno de minerales, solo recubrimientos)	
A Ajustadas, rellenas con material compacto	0.75
B Superficies mates, ligeros manchados de oxidación	1
C Superficies ligeramente alteradas, cubiertas con material granular no arcilloso, producto de la desintegración de la roca	2
D Capas superficiales de material limoso o arcilloso arenoso, con una pequeña fracción cohesiva	3
E Capas superficiales de arcilla (caolinita, mica, cloritas, etc.)	4
F Relleno granular no cohesivo, roca desintegrada libre de partículas arcillosas	4
G Material con alto grado de consolidación, relleno continuo (hasta de 5mm. de espesor) de material arcilloso compacto.	6
H, I Relleno continuo (hasta de 5mm. de espesor) de material arcilloso compacto con bajo grado de consolidación	8
J Relleno continuo de arcilla expansivas (Montmorillonita)	8 - 12
el valor de J _a dependerá del % de expansión, el tamaño de las partículas arcillosas, la accesibilidad del agua, etc. c) No contacto entre superficies de la discontinuidad después de cizalla (relleno de mineral grueso)	
K, L, M Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcilla (ver G, H, J para la descripción de los tipos de arcilla)	6 - 8 ó 8 - 12
N Zona de arcilla limosa o arenosa	5
O, P, Q Zonas potentes y continuas de arcilla (ver G, H, J para la descripción de los tipos de arcilla)	10 - 13 ó 13 - 20
FACTOR DE REDUCCION POR TENSIONES	
DESCRIPCION	SRF
A) Las zonas debiles intersectan a la excavación, pudiendo producirse desprendimientos de rocas a medida que la excavación del túnel va avanzando	
A Muchas zonas debiles de arcilla con evidencias de desintegración química roca circundante muy suelta cualquier profundidad	10
B Zona debil aislada con arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad menor 50m)	5
C Zona de falla aislada con arcilla o roca desintegrada, profundidad mayor 50m	2.5
D Muchas zonas de falla en roca competente, roca circundante suelta. (cualquier profundidad)	7.5
E Zona de falla aislada en roca competente profundidad menor a 50 m.	5
F Zona de falla aislada en roca competente profundidad mayor a 50 m.	2.5
G Diaclasas abiertas y sueltas roca intensamente fracturada en tórnos, cualquier prof.	5
Nota: i) Reducir estos valores de SRF por 25-50% si las zonas de fallas influyen pero no intersectan la excavación. B) Rocas competentes, problemas tensionales en las rocas	
H Tensiones bajas, poca profundidad, diaclasas abiertas	> 200 < 0.01 2.5
J Tensiones moderadas, condiciones tensionales favorables	200 - 10 0.01 - 0.3 1
K Tensiones elevadas, estructura muy compacta. Normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales	10 - 5 0.3 - 0.4 0.5 - 2
L Lajamiento moderado de la roca después de 1 hora en rocas masivas	5 - 3 0.5 - 0.65 5 - 50
M Lajamiento y estallido de la roca después de pocos minutos en rocas masivas	3 - 2 0.65 - 1 50 - 200
N Estallidos violentos de roca (deformación explosiva) y deformaciones dinámicas inmediatas en rocas masivas	< 2 > 1 200 - 400
Nota: i) Para campos eslu fuertemente anisotropico (si se ha medido): cuando $5 < \sigma_1 / \sigma_3 < 10$, reducir σ_c en 0.75%; cuando $\sigma_1 / \sigma_3 > 10$, reducir σ_c a 0.5%; donde σ_c es el esfuerzo compresivo sin confinamiento, σ_1 y σ_3 son los esfuerzos principales mayores y menores y $\sigma_1 - \sigma_3$ es el esfuerzo tangencial máximo (estimado de la teoría de la elasticidad) ii) Existen algunos registros disponibles que señalan que la altura del techo de la excavación a superficie es mejor que el ancho de la labor. Para estos casos se sugiere incrementar de 2.5 a 5 para estos casos (ver H)	
FACTOR DE REDUCCION POR TENSIONES	
DESCRIPCION	SRF
C) Rocas deformables: flujo plástico de roca incompetente a altas presiones litostáticas	
O Presión de deformación suave	1 - 5 5 a 10
P Presión de deformación intensa	> 5 10 a 20
Nota: iv) Casos de deformaciones de roca pueden ocurrir para profundidades $H > 350^\circ Q^{(1/3)}$. La resistencia a la compresión de la masa rocosa puede ser estimada como $q = 7^\circ Q^{(1/3)}$, donde q = densidad de la roca (gm/cc) D) Rocas expansivas: Actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua	
R Presión de expansión suave	5 - 10
S Presión de expansión intensa	10 - 15

FUENTE: Elaboración propia.

Figura 37 — Valores de los parámetros característicos del sistema Q de Barton

SISTEMA DE CLASIFICACION Q										
PARAMEROS					RANGO				VALOR	
RQD %					RQD	40 %			8	
Número de discontinuidades					Jn	4 D			9	
Número de rugosidad					Jr	Lisa			3	
Número de alteración					Ja	ligero			2	
Número de agua subterránea					Jw	seco			1	
Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)					SRF	tension elevada			2	
$Q = (RQD/J_n) \times (J_r / J_a) \times (J_w / SRF)$								Q =	0.67	
$Q' = (RQD/J_n) \times (J_r / J_a)$								Q' =	1.33	
RMR = 9 Ln Q + 44										
RMR' = 9 Ln Q' + 44										
Q	1000-400	400-100	100-40	40-10	10-4,0	4-1,0	1-0,1	0,1-0,01	0,01-0,001	POBRE
DESCRIPCION	EXCEPCIONAL MENTE BUENA	EXTREMENADA MENTE BUENA	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE	EXTREMENADAMENTE POBRE	EXCEPCIONAL MENTE POBRE	

FUENTE: Elaboración propia.

Figura 38 — Mapeo geomecánico de Barton

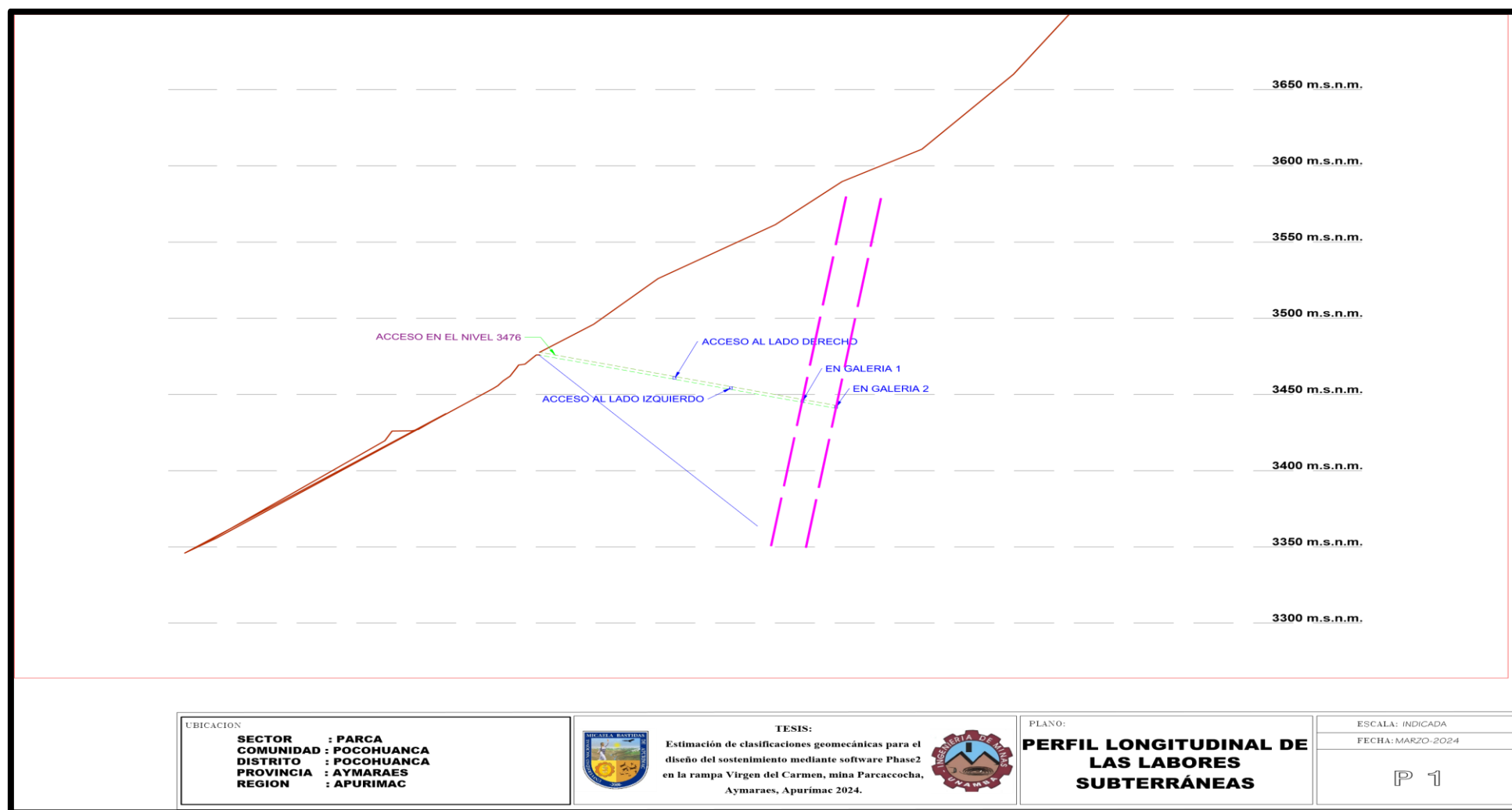


Figura 39 — Croquis de la labor minera Paracacocha

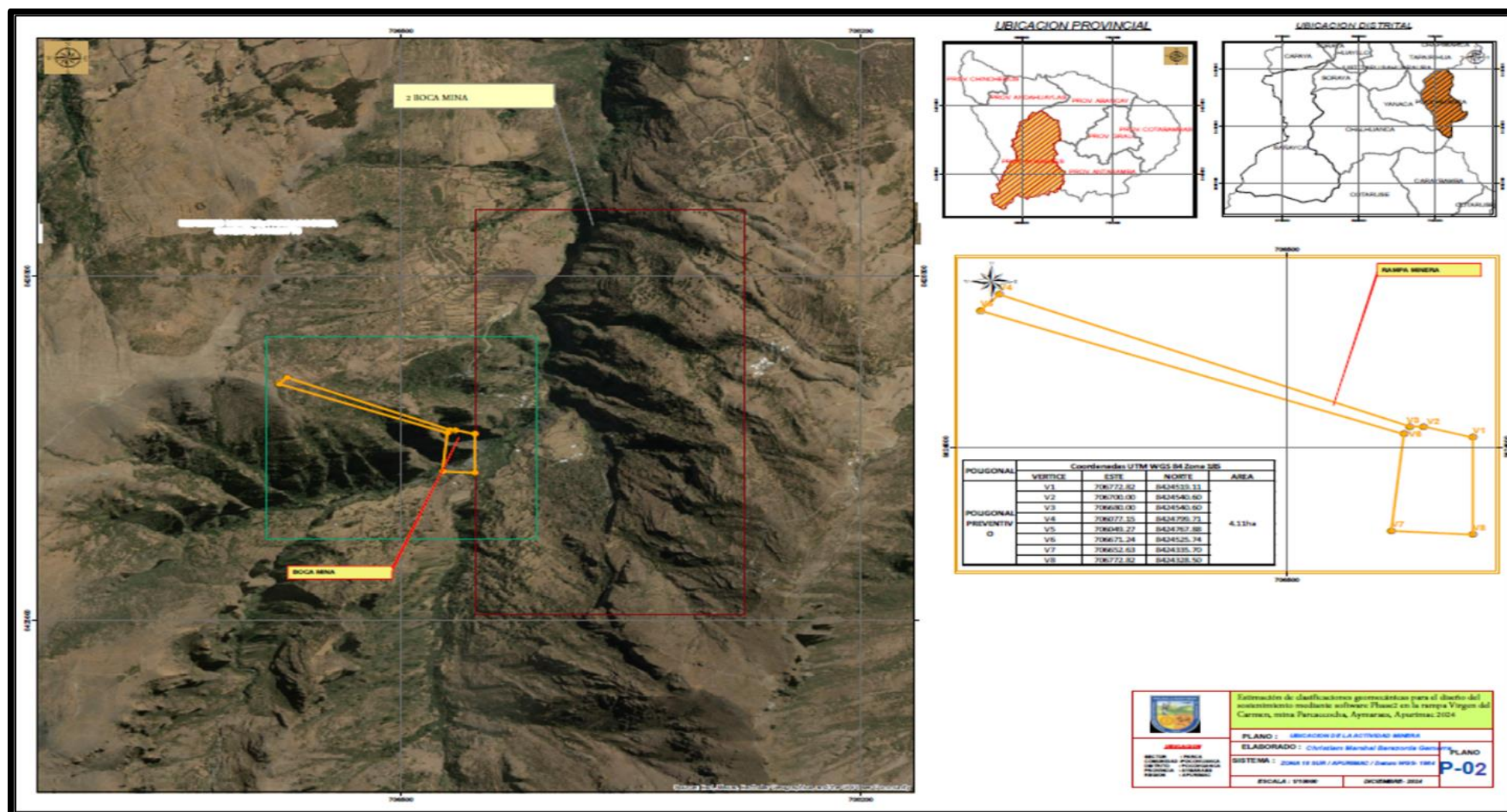


Figura 40 — Mapa de ubicación de la unidad minera Paracocha

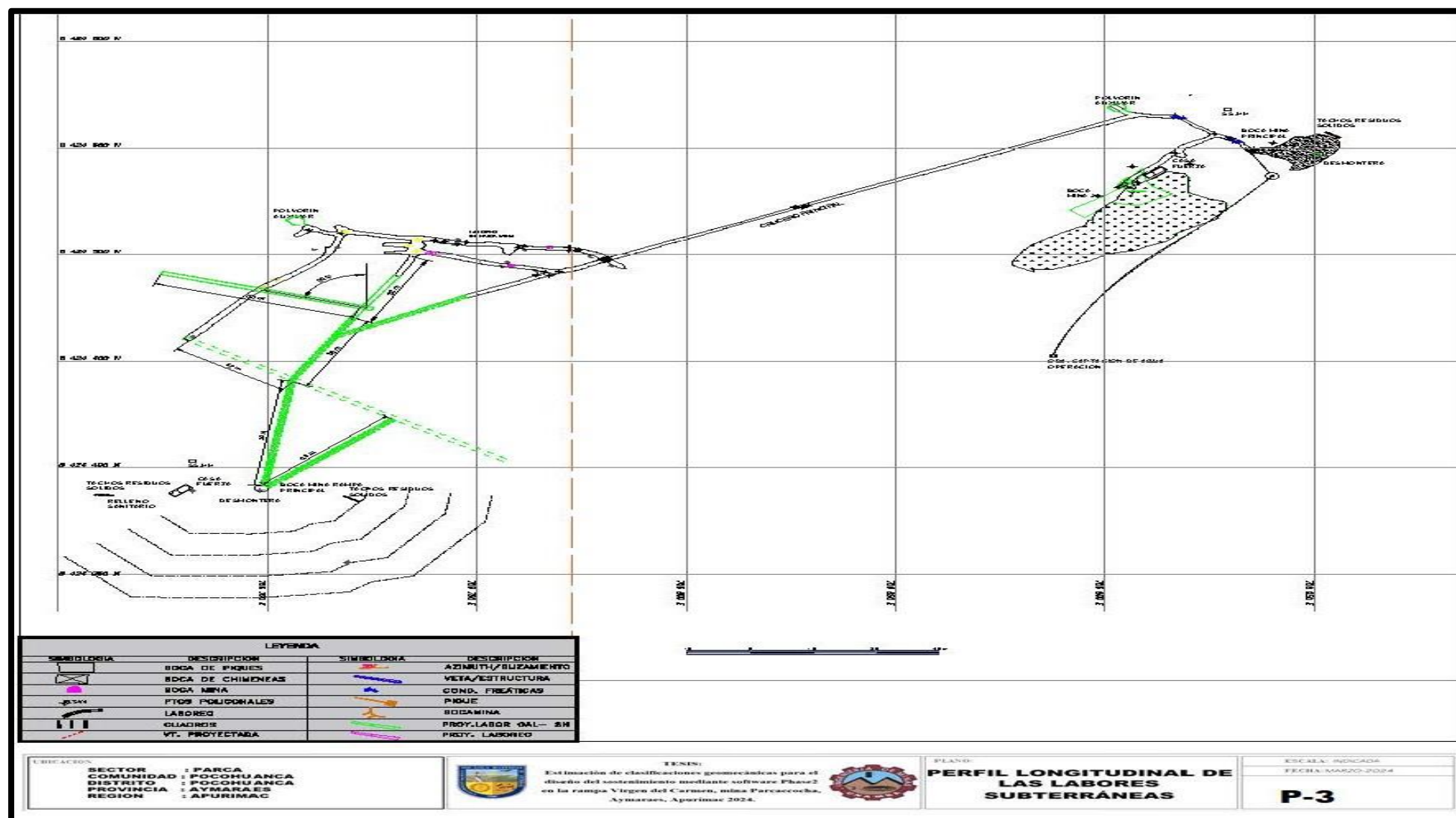


Figura 41 — Vista en planta de la rampa Carmen - Pocohuanca