

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



Tesis

Optimización de la perforación y voladura mediante la evaluación de las clasificaciones geomecánicas en la Rampa 5000 - NV 4235, de la Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho - 2025

Presentado por:

Yorth Cristian Guevara Carbajal

Para optar el título de Ingeniero de Minas

Abancay, Perú

2025



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



TESIS

**Optimización de la perforación y voladura mediante la evaluación de las clasificaciones
geomecánicas en la Rampa 5000 - NV 4235, de la Unidad Minera Inmaculada,
Ayacucho - 2025**

Presentado por **Yorth Cristian Guevara Carbajal**, para optar el título de
Ingeniero de Minas.

Sustentado y aprobado el 02 de octubre de 2025 ante el jurado evaluador:

Presidente:




Dr. Walquer Huacani Calsin

Primer miembro:



Mg. Oscar Eugenio Álvarez Gamarra

Segundo miembro:



Mtro. Fortunato Pedro Vilchez Gago

Asesor:



Dr. Leoncio Teófilo Carnero Carnero



"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 237-2025

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la Tesis intitulada: **Optimización de la perforación y voladura mediante la evaluación de las clasificaciones geomecánicas en la Rampa 5000 - NV 4235, de la Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho - 2025**, presentado por el Bachr: **Yorth Cristian Guevara Carbajal**, 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 (8%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 30 de setiembre del 2025

Atentamente,


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

C. c.
Archivo
REG. N° 800

Agradecimiento

Agradezco a la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, que es mi alma mater gracias a la cual soy profesional, por lo que me dio la oportunidad de formarme como profesional.

Tengo el honor de poder agradecer a mis padres por su apoyo incondicional durante el tiempo que cursaba mis estudios en la Universidad.



Dedicatoria

Esta investigación la dedico con mucho cariño y gratitud a mis padres Juvenal Guevara Rios, Aydee Carbajal Donaires, pilares fundamentales en mi vida. Gracias por su amor incondicional, por su apoyo moral constante y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. Su ejemplo de esfuerzo, perseverancia y valores ha sido mi mayor inspiración para seguir adelante y culminar este trabajo. Cada logro alcanzado es también suyo, porque sin su guía, este camino habría sido mucho más difícil. A ustedes, con todo mi corazón, les entrego este pequeño fruto de tanto esfuerzo compartido.



Optimización de la perforación y voladura mediante la evaluación de las clasificaciones geomecánicas en la Rampa 5000 - NV 4235, de la Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho 2025

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 Problema general	6
1.1.2 Problemas específicos	6
1.1.3 Justificación de la investigación	6
1.1.4 Delimitación de la investigación	7
CAPÍTULO II	17
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	17
2.1 Objetivos de la investigación	17
2.2.1 Objetivo general	17
2.2.2 Objetivo general	17
2.2 Hipótesis de la investigación	17
2.2.3 Hipótesis general	17
2.2.4 Hipótesis específicas	18
2.3 Operacionalización de variables	19
CAPÍTULO III	20
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	20
3.1 Antecedentes	20
3.1.1 A nivel internacional	20
3.1.2 A nivel nacional	22
3.2 Marco teórico	29
3.2.1 Clasificaciones geomecánicas	29
3.2.2 Propiedades mecánicas	29
3.2.2.1 El RMR de Bieniawski (1989)	30
3.2.3 Clasificación geomecánica de Barton	33
3.2.4 Clasificación según el índice de GSI (HOEK BROWN)	40
3.2.4.1.1 Resistencia a compresión simple	43
3.2.5 Optimización de perforación y voladura	45



3.2.5.1	Perforacion de rocas	46
3.2.5.1.1	Componentes de un sistema de perforacion mecanico	46
3.2.5.1.2	Equipos de perforación	47
3.2.5.2	Malla de perforacion	47
3.2.5.3	Número de taladros	48
3.2.5.4	Carguío de voladura	49
3.2.5.5	Explosivo	49
3.2.5.6	Explosivos utilizados	52
3.2.5.7	Accesorios de voladura utilizado	53
3.2.5.8	Factores de voladura	55
3.2.6	Construcción de rampa	55
3.3	Marco conceptual	57
CAPÍTULO IV		59
METODOLOGÍA		59
4.1	Tipo y nivel de investigación	59
4.2	Diseño de la investigación	59
4.3	Descripción ética de la investigación	60
4.4	Población y muestra	60
4.5	Procedimiento	60
4.6	Técnica e instrumentos	61
4.7	Análisis estadístico	61
CAPÍTULO V		62
RESULTADOS Y DISCUSIONES		62
5.1	Resultados	62
5.2	Discusiones	89
CAPÍTULO VI		93
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		93
6.1	Conclusiones	93
6.2	Recomendaciones	95
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		96
ANEXOS		100



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 — Coordenadas geográficas de la mina Inmaculada	7
Tabla 2 — Coordenadas UTM (WGS-84, zona 18 Sur) de la mina Inmaculada	7
Tabla 3 — Accesibilidad hacia la mina Inmaculada	8
Tabla 4 — Accesibilidad hacia la mina Inmaculada	8
Tabla 5 — Operacionalización de variables	19
Tabla 6 — Parámetros de clasificación y sus valoraciones para estimar el RMR	31
Tabla 7 — Parámetro de resistencia de la roca sana en (Mpa)	32
Tabla 8 — Resistencia a la compresión simple de los diferentes tipos de roca	32
Tabla 9 — Clasificación geomecánica RQD (%)	33
Tabla 10 — Valoración del Índice de calidad de R.Q.D.	34
Tabla 11 — Valoración de la rugosidad de las discontinuidades	35
Tabla 12 — Valoración del número de discontinuidades	35
Tabla 13 — Valoración del número de discontinuidades	37
Tabla 14 — Valoración de coeficiente reductor por la presencia de agua	38
Tabla 15 — Valoración de factor de reducción por tensiones	38
Tabla 16 — Zonificación geomecánica de la masa rocosa	40
Tabla 17 — Clasificación geomecánica el RMR Y el GSI	42
Tabla 18 — Coeficiente de dureza de la roca	48
Tabla 19 — Coeficiente o factor de roca	49
Tabla 20 — Características técnicas del explosivo	53
Tabla 21 — Distribución de carga explosiva para el RMR	63
Tabla 22 — Distribución de carga explosiva	65
Tabla 23 — Distribución de carga explosiva en malla nueva de perforación y voladura	69
Tabla 24 — Análisis empleados en 3 semanas promedios de perforación y voladura	72
Tabla 25 — Análisis comparativo antes y después	75
Tabla 26 — Zonificación de las propiedades mecánicas	77
Tabla 27 — Parámetros de clasificación y sus valoraciones	78
Tabla 28 — Sistema de RMR de las clasificaciones geomecánicas	79
Tabla 29 — Evaluación de la optimización de perforación y voladura	80
Tabla 30 — Propiedades físicas del macizo rocoso	81

Tabla 31 — Análisis de costos de perforación y voladura propuesta	85
Tabla 32 — Análisis comparativo antes y después de perforación y voladura	87
Tabla 33 — Costo por disparo de pres y post implantación de la nueva malla	88
Tabla 34 — Matriz de consistencia	101



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 — Mapa de ubicación de la minera Inmaculada	9
Figura 2 — Veta Ángela, Juliana entre otras más	11
Figura 3 — Columna estratigráficas de la unidad minera Inmaculada	12
Figura 4 — Mineralización de la veta Ángela	16
Figura 5 — Arranque tipo circular	62
Figura 6 — Malla de perforación	64
Figura 7 — Mapeo geomecánico	66
Figura 8 — Determinación del RMR de la roca en la unidad minera inmaculada	67
Figura 9 — Distribución de los taladros en función de su zona de influencia	70
Figura 10 — Malla de voladura	71
Figura 11 — Promedio de avance de perforación	73
Figura 12 — Promedio factor de potencia	73
Figura 13 — Promedio de carga lineal	74
Figura 14 — Secuencia de la malla de perforación a partir de las propiedades físicas	84
Figura 15 — Plano de ubicación de la unidad minera Inmaculada	103
Figura 16 — Plano de avance y diseño geomecánico del NV 4235	104
Figura 17 — Diseño de la rampa 5000	105
Figura 18 — Geología estructural Unidad Inmaculada	106
Figura 19 — Mapeo geomecánico de RMR, Q y GSI	107
Figura 20 — Valores de los parámetros característicos del sistema Q de Barton	108
Figura 21 — Formato para el control de la malla de perforación	109
Figura 22 — Reconocimiento de las clasificaciones geomecánicas	110
Figura 23 — Muestreo de campo del macizo rocoso	110
Figura 24 — Inspección del diseño de malla de perforación en el frente de avance	111
Figura 25 — Recolección de datos para las clasificaciones geomecánicas del macizo	111
Figura 26 — Recolección de muestras litológicas en frente de avance	112
Figura 27 — Diseño de marcado de la malla de perforación	110
Figura 28 — Operación de frente con jumbo	113
Figura 29 — Carga de explosivos en los taladros perforados	113





INTRODUCCIÓN

La minería subterránea es una actividad económica importante en el Perú, contribuyendo significativamente al PIB nacional. Sin embargo, la eficiencia y seguridad en las operaciones mineras dependen en gran medida de la optimización de procesos como la perforación y voladura, que son fundamentales para el avance lineal en galerías y túneles. En este contexto, la geomecánica juega un papel muy importante al proporcionar herramientas para evaluar las condiciones del macizo rocoso y predecir su comportamiento bajo diferentes condiciones de las clasificaciones geomecánicas, en su constante búsqueda de eficiencia y optimización, enfrenta desafíos significativos relacionados con la perforación y voladura, procesos fundamentales para la extracción de minerales. La unidad minera Inmaculada, no es ajena a esta realidad, en la minería Inmaculada, las condiciones geomecánicas variables del macizo rocoso generan desafíos en la planificación y ejecución de la perforación y voladura, lo que puede resultar en una sobreexcavación, mala fragmentación y sobreconsumo de explosivos. Actualmente, no se cuenta con un modelo optimizado basado en clasificaciones geomecánicas que permita mejorar estos procesos. El uso de clasificaciones geomecánicas, como el RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton, ha demostrado ser una herramienta efectiva para caracterizar el macizo rocoso y diseñar estrategias de excavación más eficientes, investigaciones previas han abordado la relación entre geomecánica y voladura en minería subterránea, pero hay poca aplicación directa en unidades mineras como Inmaculada, lo que resalta la necesidad de este estudio.

Este estudio adoptó un enfoque descriptivo y aplicativo, así mismo se empleó técnicas estadísticas dentro de un diseño no experimental, el objetivo principal de la investigación fue optimizar la perforación y voladura en la Rampa 5000 - NV 4235 mediante la evaluación de las clasificaciones geomecánicas, con el fin de mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y minimizar impactos negativos en la estabilidad del macizo rocoso.

En el presente trabajo de investigación se propuso determinar las clasificaciones geomecánicas, para mejorar la eficiencia operativa en la Rampa 5000 - NV 4235, de la Unidad Minera

Inmaculada. En este sentido, el estudio se estructuró en los siguientes capítulos; Capítulo I, planteamiento del problema, Capítulo II, correspondiente a los objetivos e hipótesis; Capítulo III, que abarca los antecedentes, marco teórico y marco conceptual; el Capítulo IV, donde se presentó el diseño de la metodología desarrollada, Capítulo V, que comprendió los resultados y las discusiones y finalmente el capítulo VI, en el cual se expusieron las conclusiones y recomendaciones.



RESUMEN

La presente investigación titulada: “Optimización de la perforación y voladura mediante la evaluación de las clasificaciones geomecánicas en la Rampa 5 000 - NV 4 235, de la Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho – 2025”, se desarrolló con el propósito de mejorar la eficiencia en el avance de la excavación subterránea y reducir los costos unitarios asociados a la baja productividad y sobrerotura de la roca. El estudio se realizó en un macizo rocoso clasificado como tipo IIIB, con predominancia de andesita, donde se implementaron ajustes en la carga de explosivos en función de las características geomecánicas evaluadas. El objetivo general fue optimizar el proceso de perforación y voladura, y los objetivos específicos incluyeron evaluar las condiciones geomecánicas, analizar indicadores operativos, plantear mejoras técnicas y cuantificar su impacto en productividad y costos.

La metodología utilizada fue de tipo aplicada. Se empleó un diseño no experimental y un nivel de investigación descriptivo-explicativo. Para la evaluación se recopilaron datos en campo sobre las clasificaciones geomecánicas y se compararon con los resultados de la nueva propuesta técnica. Los principales indicadores analizados fueron el avance promedio por disparo, la longitud perforada, el factor de carga explosiva y la fragmentación de la roca.

Los resultados mostraron que el análisis geomecánico permitió entender con mayor precisión la calidad del macizo rocoso, identificándose una condición regular a mala, lo que sirvió como base para ajustar el diseño de perforación y voladura. A partir de esta mejora, el avance promedio por disparo aumentó de 3,10 m a 3,39 m, la sobrerotura disminuyó de 19,7 % a 8,3 %, y el uso de explosivos se volvió más eficiente, reflejado en la reducción del factor de carga lineal y un control más adecuado sobre la energía de voladura. Asimismo, este rediseño permitió reducir el costo unitario de perforación y voladura de 359,69 US\$/m a 304,72 US\$/m, evidenciando un impacto económico positivo.

Palabras clave: *Clasificaciones geomecánicas, macizo rocoso, perforación y voladura.*



ABSTRACT

This research, entitled: Drilling and Blasting “Optimization through the Evaluation of Geomechanical Classifications at Ramp 5 000 - NV 4 235, Inmaculada Mining Unit, Ayacucho 2025”, was developed with the purpose of improving the efficiency of underground excavation progress and reducing unit costs associated with low productivity and rock overburden.

The study was conducted in a rock mass classified as type IIIB, with a predominance of andesite, where adjustments were made to the explosive charge based on the evaluated geomechanical characteristics. The general objective was to optimize the drilling and blasting process, and the specific objectives included evaluating geomechanical conditions, analyzing operational indicators, proposing technical improvements, and quantifying their impact on productivity and costs.

The methodology used was applied, with a descriptive-explanatory research level. A non-experimental design was used. For the evaluation, field data on geomechanical classifications were collected and compared with the results of the new technical proposal. Key indicators were average progress per shot, drilled length, explosive load factor, and rock fragmentation. Among the main indicators analyzed were average progress per shot, drilled length, explosive load factor, and rock fragmentation.

The results showed that the geomechanical analysis made it possible to better understand the quality of the rock mass, identifying a regular to poor condition, which served as the basis for adjusting the drilling and blasting design. With this improvement, the average advance per blast increased from 3.10 m to 3.39 m, overbreak decreased from 19.7% to 8.3%, and the use of explosives became more efficient, reflected in the reduction of the linear charge factor and better control over blasting energy. Likewise, this redesign reduced the unit cost of drilling and blasting from 359.69 US\$/m to 304.72 US\$/m, demonstrating a positive economic impact.

Keywords: *Blasting, drilling, geomechanical classifications y rock mass.*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

La optimización de la perforación y voladura en minería subterránea constituye un factor determinante para garantizar la eficiencia operativa, la reducción de costos y la estabilidad de las excavaciones. En la Unidad Minera Inmaculada, situada en el distrito de Oyolo, provincia de Páucar, Sara Sara, región Ayacucho, se han identificado deficiencias en los procesos de perforación y voladura de la Rampa 5 000 – NV 4 235 que afectan de manera directa la productividad y la rentabilidad de la operación. Entre las principales problemáticas se encuentran la sobreexcavación, la fragmentación inadecuada del material, la inestabilidad en las paredes de las excavaciones y el elevado consumo de explosivos. Estas condiciones no solo incrementan los costos operativos, sino que también generan riesgos geotécnicos que pueden comprometer la seguridad del personal y de la infraestructura subterránea.

Actualmente, los parámetros de perforación y voladura no están ajustados en función de las características geomecánicas del macizo rocoso. Esta falta de correlación técnica provoca pérdidas de productividad, incrementa los costos unitarios y eleva los riesgos de accidentes por desprendimientos y daños estructurales

La ausencia de una caracterización integral del macizo, basada en clasificaciones geomecánicas reconocidas como el RMR de Bieniawski, el índice Q de Barton y el GSI, limita la posibilidad de diseñar patrones de perforación y voladura óptimos. Una evaluación geomecánica detallada que considere la resistencia de la roca intacta, las condiciones y espaciamiento de las discontinuidades, así como el grado de alteración, permitiría implementar parámetros técnicos adecuados que reduzcan la sobrerotura, mejoren la fragmentación, optimicen el uso de explosivos y fortalezcan la eficiencia y seguridad de las operaciones mineras subterráneas.



1.1.1 Problema general

¿Cómo optimizar la perforación y voladura mediante la evaluación de las clasificaciones geomecánicas en la Rampa 5 000 - NV 4 235, de la Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho - 2025?

1.1.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es la relación entre optimización de la perforación y voladura y las propiedades mecánicas del macizo rocoso en la Rampa 5 000 - NV 4 235, de la Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho - 2025?
- ¿Cuál es la relación entre optimización de la perforación y voladura y las propiedades físicas del macizo rocoso en la Rampa 5 000 - NV 4 235, de la Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho - 2025?
- ¿Qué impacto económico tendrá la optimización de la perforación y voladura con el nuevo diseño de la malla de perforación en la Rampa 5 000 - NV 4235, de la Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho - 2025?

1.1.3 Justificación de la investigación

La justificación del trabajo de investigación en la unidad minera Inmaculada se basa en los diversos aspectos claves. Desde el ámbito teórico, su relevancia radica en la aplicación de clasificaciones geomecánicas como el RMR de Bieniawski, para evaluar el macizo rocoso y optimizar la eficiencia de voladuras. Esto permitirá mejorar los procesos de perforación, reduciendo los tiempos de excavación y minimizando los efectos negativos en la estabilidad de la rampa 5000 - NV 4235, el uso de un diseño basado en estudios geomecánicos contribuirá a incrementar la estabilidad de las excavaciones, reduciendo riesgos como desprendimientos de roca y colapsos. Asimismo, ayudará a mitigar impactos ambientales asociados a vibraciones excesivas y acumulación descontrolada de escombros. El beneficio de esta optimización no solo impactó a la empresa minera, sino que también redujo los costos y mejoró la seguridad en las operaciones. Asimismo, generó mayores oportunidades de inversión en infraestructura y empleo, fortaleciendo la economía de la región. Los resultados obtenidos tuvieron un impacto positivo en los aspectos técnicos, económicos,

ambientales y de seguridad, contribuyendo al desarrollo sostenible de la minería subterránea en la unidad minera Inmaculada.

1.1.4 Delimitación de la investigación

1.1.4.1 Delimitación espacial

La mina Inmaculada está ubicada en el distrito de Oyolo, provincia de Paucar de Sarasara, Región de Ayacucho. Se localiza en la región central de la Cordillera Occidental de los Andes, entre las coordenadas, geográficas 14°57'19" Latitud Sur y 73°14'34" Longitud Oeste y coordenadas UTM (WGS-84 Zona 18 Sur) Este 688 957; Norte 8 345 851, a una altitud de 4 500 a 4 700 m.s.n.m.

- **Ubicación de la mina**

El viaje de Abancay a la unidad minera es de 9 horas 25 minutos.

Tabla 1 — Coordenadas geográficas de la mina Inmaculada

Sur	14° 57' 19"
Longitud Oeste	73° 14' 34"
Altitud	4 235 m.s.n.m.
FUENTE: Elaboración propia.	

Tabla 2 — Coordenadas UTM (WGS-84, zona 18 Sur) de la mina Inmaculada

Norte	8 345 851
Este	688 957
FUENTE: Elaboración propia.	

- **Accesibilidad**

Se puede acceder a la mina Inmaculada de las siguientes maneras:
El tiempo total de viaje desde Lima a la minera Inmaculada es aproximadamente 15,5 horas. Para acceder a la unidad minera se parte desde Lima vía la Panamericana Sur hasta Nazca, luego hacia el Este hasta Iscahuaca vía la carretera desde Nazca a Cusco, luego por una carretera comarcal no asfaltada hasta el cruce de

Huancamarca y luego siguiendo y atravesando la comunidad de Sauricay y Sorani. Accesos alternativos pueden hacerse desde Cusco viajando hacia el Oeste en la carretera Cusco Nazca y desviándose en el cruce de Chalhuanca a Iscahuaca, siguiendo a continuación el itinerario anterior. Otra alternativa es desde la ciudad de Arequipa (970 km al sur de Lima) y tomando la autopista que pasa por Majes-Chuquibamba luego en un camino comunal no asfaltado hasta Cotahuasi y de ahí por un camino no pavimentado hasta la zona de Inmaculada.

Tabla 3 — Accesibilidad hacia la mina Inmaculada

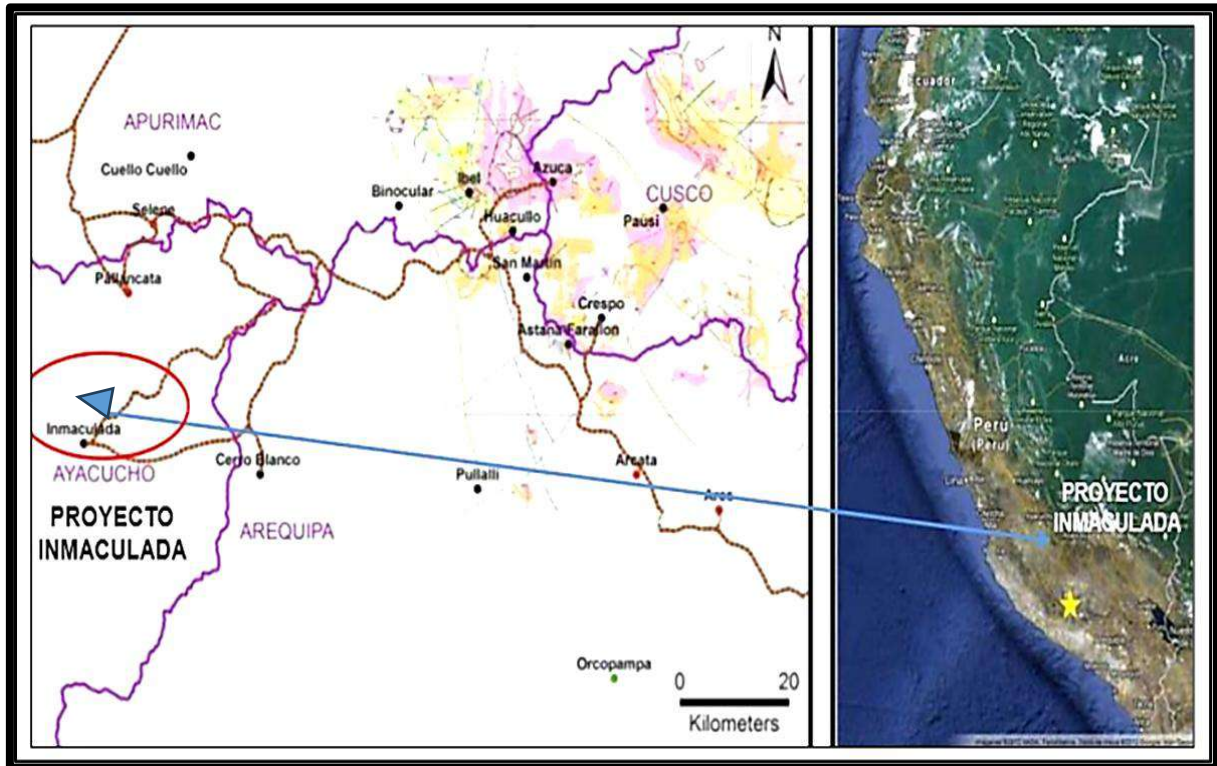
Tramo 1	Distancia (km)	Tiempo (Horas)	Descripción
Lima - Nazca	450	5,47	Carretera asfaltada
Nazca – Puquio	155	4	Carretera asfaltada
Puquio –Mina Inmaculada	90	3,5	Trocha

FUENTE: Elaboracion propia.

Tabla 4 — Accesibilidad hacia la mina Inmaculada

Tramo 2	Distancia (km)	Tiempo (Horas)	Descripción
Abancay – Chalhuanca	115	3,42	Carretera asfaltada
Chalhuanca – Puquio	130	4	carretera asfaltado
Puqio – Mina Inmaculada	90	3	Trocha

FUENTE: Elaboracion propia.



FUENTE: proEXPLO, 2025.

Figura 1 — Mapa de ubicación de la minera Inmaculada.

1.1.4.2 Delimitación social

La investigación involucró a los colaboradores del área de geología, operación, seguridad, planeamiento, costos y áreas auxiliares. A partir de ello, el comercio aumentará en la población, generando un movimiento económico entre las poblaciones aledañas de la Mina Inmaculada.

1.1.4.3 Delimitación temporal

Para el presente trabajo se estimó su desarrollo, en un aproximado de 1 año 3 meses.

1.1.4.4 Delimitación conceptual

Esta investigación se enfocó en estimar la optimización de la perforación y voladura mediante la evaluación de clasificaciones geomecánicas en la rampa 5 000, de la Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho, durante el año 2025.



1.1.4.5 Delimitación geológica

1.1.4.5.1 Geología regional

En el área de estudio de la unidad operativa Inmaculada se ha diferenciado dos series volcánicas. La primera está conformada en la base por alternancias de lavas andesíticas, las cuales infrayacen a las tobas de lapilli y tobas líticas andesíticas que afloran desde el área de Anta-Patari (3 100 – 3 500 m.s.n.m.) y continúan en forma hasta el área de Minascucho (4 100 – 3 900 m.s.n.m); las cuales han sido agrupados y asignados al grupo Tacaza por su composición mayoritariamente andesítica. una segunda serie volcánica la constituyen los afloramientos del área de Quellopata (4 300 - 4 800 m.s.n.m) conformados por lavas, de grano medio y porfíricas de color verde; la cual es correlacionada regionalmente con la formación Saycata que aflora ampliamente entre Pallancata y Seleneexplorador.

- **Basamiento Mesozoico**

Afloran en el área de San Salvador donde se encuentran expuestas por la erosión del río Ermo, aquí afloran areniscas verdosas y conglomerados areniscosos rojizos (fuente geología Inmaculada).

- **Formación Soraya (Ki-so)**

Está constituida por capas de areniscas de granulometría fina a media de color verde pálido y blanquecino, alternadas con delgados lentes de areniscas calcáreas y margas. Hacia el tope termina en conglomerados de textura matriz soportada, estratificados en bancos gruesos. Esta formación aflora a ambos márgenes del río Ermo, donde infrayacen a las capas rojas de la formación Mara, con buzamientos sub verticales hacia el norte (fuente geología Inmaculada).

- **Formación Mara (Ki-ma)**

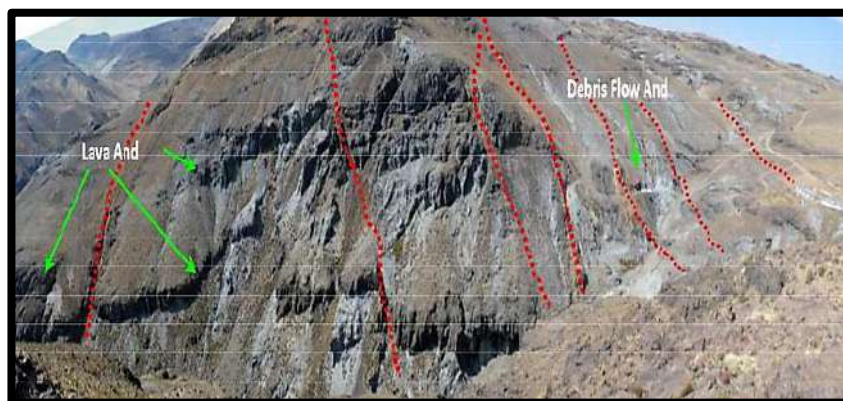
Está conformada por sedimentos de limonitas, areniscas y conglomerados rojizos con clastos de cuarcitas, calizas de color



plomizo y areniscas. Afloran ampliamente en San Salvador y la quebrada Ermo; estratificados en bancos gruesos y ligeramente laminados. Regionalmente en el sur del Perú esta formación es conocida también con el nombre de formación Murco (fuente geología Inmaculada).

- **Grupo Tacaza (Tm-ta)**

Está conformada por una secuencia continua de coladas de lava andesítico, tobas de lapilli, tobas líticas, andesíticos, expuestos ampliamente por toda la quebrada del río Patari (desde Anta-Patari hasta Minascucho y Huancute) que en conjunto son agrupados dentro de la serie volcánica inferior (Fuente Geología Inmaculada).



FUENTE: proEXPLO, 2025.

Figura 2 — Veta Ángela, Juliana entre otras más.

- **Formación Quellopata (Mi-que)**

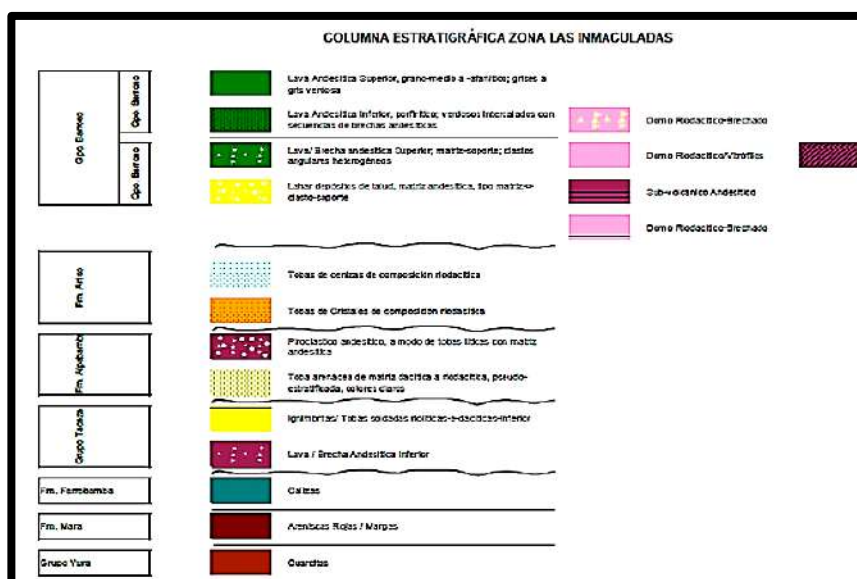
Corresponde a la serie volcánica superior del área de estudio. La litología corresponde a alternancias de coladas de lava y brecha-debris flow de composición andesítica de color verde violáceo. Esta formación es parte del estrato volcán de Huarmapata, la cual está conformada por flujos de masa de textura clasto soportada y matriz soportada con clastos de volcánicos andesíticos y matriz volcánica (tobas líticas, cenizas y roca triturada y en gran parte con autobrechamiento), intercalados con horizontes de coladas de lavas andesíticas de textura porfírica y fina. En matriz se observa

cristales de plagioclasas y hornblendas, magnetita fina y trazas de pirita. Los clastos y bombas son de naturaleza polimíctica, con formas sub redondeadas y sub-angulosas, las cuales presentan colores verdes y violáceos.

- **Diques de andesitas**

Afloran en las periferias de San Salvador, donde intruyen a los sedimentos jurásicos, llegándose a diferenciar dos familias de diques por sus características texturales. El primero corresponde a diques de andesitas de matriz fina de tonalidad verdosa y matriz cristalina con plagioclasas equigranulares. Presentan anchos de afloramiento de 2 a 3 m, las cuales intruyen a la Formación Mara, en forma oblicua con azimuth NE-SW y buzamiento sub vertical hacia el NW, con estructuras de bandeamientos de flujo débil hacia las cajas. El segundo tipo corresponde a diques de andesita de matriz argilizada de textura porfírica, orientados con azimuth NW-SE y buzamientos sub verticales, con fenocristales de plagioclasas mayores a 1 cm.

Ver la Figura N° 3, Donde la presenta la columna estratigráfica de la unidad minera Inmaculada.



FUENTE: Elaboración propia.

Figura 3 — Columna estratigráficas de la unidad minera Inmaculada.

1.1.4.5.2 Geología estructural

En contexto regional los mayores lineamientos estructurales son de azimut SE; los cuales son cortados a su vez por lineamientos de azimut NE. También se observan las estructuras circulares de las calderas de Selene - Explorador, Pallancata, Poracota, Caylloma, etc.

- **Fallas principales**

El lineamiento regional principal es de rumbo NW. Estas estructuras principales limitan y encierran las vetas en la zona de estudio. Como complemento según las observaciones de campo las vetas en la zona de estudio tienen una orientación predominante de NE, con algunas vetas EW. La mayoría de estas vetas buzando hacia el SE y relativamente con buzamiento pronunciado.

- **Fallas secundarias**

La veta Ángela, reconocida como la principal del sector al concentrar más del 90 % de los recursos minerales influenciada por un sistema de fallas secundarias que modifican su morfología y buzamiento. En superficie, esta veta exhibe una dirección predominante NE con buzamiento subvertical a vertical. Sin embargo, a medida que se profundiza, se observa una variación estructural significativa: el cuerpo mineralizado buza hacia el SE, con ángulos que varían entre 90° y 60° en los sectores más hacia el SW. Hacia el extremo NE de la veta, el buzamiento disminuye hasta alcanzar valores promedio de 40°.

Este comportamiento se atribuye a la presencia de fallas secundarias que cruzan o acompañan parcialmente el rumbo de la veta. Dichas estructuras, de orientación principalmente NE-SW, generan flexiones, desplazamientos y zonas de brechamiento que afectan la continuidad y geometría del depósito mineral.

Estas fallas no solo alteran el buzamiento, sino que también pueden actuar como controles geomecánicos para el emplazamiento mineral, zonas de permeabilidad diferenciada para la circulación de fluidos hidrotermales o focos de fracturamiento donde se concentran mayores leyes de mineral. (Hochschild Mining).

1.1.4.5.3 Geología económica

Este yacimiento es aurífero y es uno de los más importantes de la cordillera oriental del sur del Perú. El yacimiento es de tipo estratiforme, Stock Work y diseminado dentro de las rocas del paleozoico inferior. La característica estructural del sistema son vetas, mantos y diseminaciones debido a la acción de productos hidrotermales que ascendieron por medio de fracturas y microfracturas, llevando iones libres de oro y sulfuros. El oro se encuentra en los sulfuros de hierro, como metal libre diseminado en las rocas y dentro de los mantos de cuarzo gris ahumado, además existe oro blanco denominado Calaverita, por ser de fluidos de teluros. Entre los sulfuros se tiene los minerales como la pirrotita, que se encuentra en forma diseminada, en lentes, motas y acompañando a los mantos de cuarzo gris. La pirita, es común en la zona, se presenta en forma cúbica, se encuentra en las vetas, mantos, nódulos de cuarzo lechoso. La arsenopirita se encuentra acompañando a los sulfuros de fierro, plata y cobre. La estibina asociada a minerales de antimonio, plomo y en diseminados o en estructuras de mantos lenticulares de cuarzo gris emplazados en rocas filitas. La calcopirita, es la mena principal de cobre, se encuentra en pequeñas cantidades asociadas a la pirrotita, pirita, blenda, galena, esfalerita, etc. Es de origen hidrotermal.

- **Veta Ángela - epitermal de Au+ Ag**

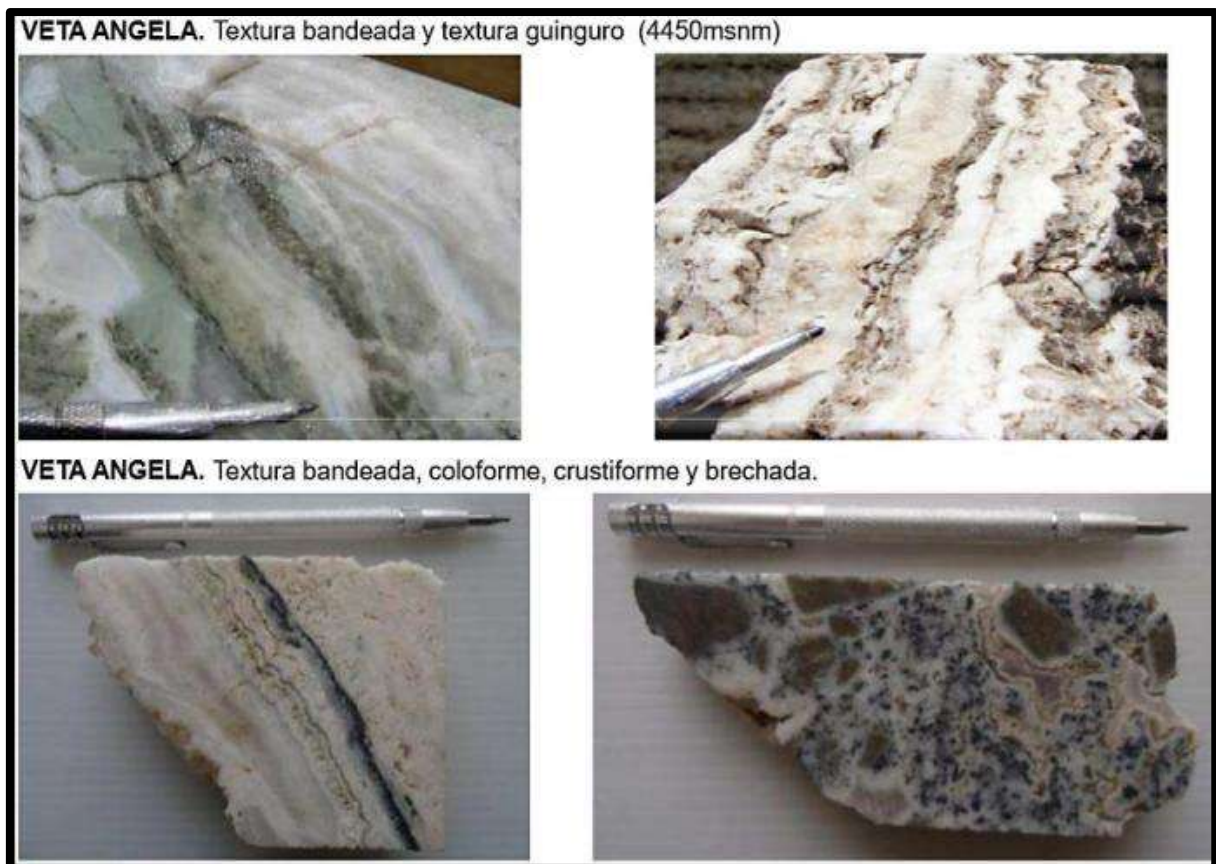
El relleno de veta está conformado por cuarzo blanco opalino con texturas de reemplazamiento, pseudomorfos de calcita y baritina, restos de calcita, cuarzo colofome bandeado, menor cuarzo



sacaroide y calcedonia, con buen desarrollo de espacios abiertos. Dentro de las vetas y hacia los bordes presenta pirita cúbica oxidada, óxidos de Fe, illita y esmectita como relleno de cavidades, trazas de marcasita.

- Zona 1: Veta de cuarzo blanco – hialino – calcedónico, con textura bandeada coloformecrustiforme y lamilar, diseminación de pirita 1%, sulfuros grises, óxidos de Fe y Mn.
- Zona 2: Veta de cuarzo blanco hialino, nódulos de cuarzo calcedónico, calcita-rodocrosita, texturas coloformes, crustiformes, masivas y reticulares, bandas de sílice gris, platas rojas (pirargirita), cobres grises.
- Zona 3: Veta de cuarzo blanco de grano fino, con textura oquerosa, bandeada, coloforme, presenta platas rojas (pirargirita), débil diseminación de pirita.
- Zona 4: Veta de cuarzo blanco de grano fino, con textura oquerosa, reemplazamiento, reticulada a bandeada, débil diseminación de sulfosales de Ag (pirargirita), trazas de pirita.

En la Figura N° 4, es presentada la mineralización de la veta Angela.



FUENTE: proEXPLO, 2025.

Figura 4 — Mineralización de la veta Ángela.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Optimizar la perforación y voladura mediante la evaluación de las clasificaciones geomecánicas en la Rampa 5 000 - NV 4 235, de la Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho – 2025.

2.1.2 Objetivos específicos

- Establecer la relación de la optimización de la perforación y voladura mediante las propiedades mecánicas del macizo rocoso en la Rampa 5 000 - NV 4 235, de la Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho – 2025.
- Determinar la relación de la optimización de la perforación y voladura con las propiedades físicas del macizo rocoso en la Rampa 5 000 - NV 4 235, de Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho – 2025.
- Estimar el impacto económico que tendrá la optimización de la perforación y voladura con implementación de la malla de perforación adecuada a la Rampa 5 000 - NV 4 235, de la Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho – 2025.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

Existe una relación significativa entre la optimización de la perforación y voladura mediante la evaluación de las clasificaciones geomecánicas en la Rampa 5 000 - NV 4 235, de la Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho – 2025.



2.2.2 Hipótesis específicas

- Existe una relación significativamente entre la optimización de la perforación y voladura con las propiedades mecánicas macizo rocoso en la Rampa 5 000 - NV 4 235, de la Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho – 2025.
- Existe relación significativa entre la optimización de la perforación y voladura con las propiedades físicas del macizo rocoso en la Rampa 5 000 - NV 4 235, de la Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho - 2025.
- El impacto económico es significativo entre la optimización de la perforación y voladura con el nuevo diseño de la malla de perforación en la Rampa 5 000 - NV 4 235, de la Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho – 2025.



2.3 Operacionalización de variables

- Variable independiente: Optimización de la perforación y voladura
- Variable dependiente: Clasificaciones geomecánicas

Tabla 5 — Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
<p>Variable independiente: Optimización de la perforación y voladura</p>	<p>La variable permite realizar con el fin de obtener una fragmentación eficiente de la roca, minimizar costos operativos y reducir impactos negativos en la estabilidad del macizo rocoso y en el entorno en la rampa 5 000 Nv 4235.</p>	<p>D1: Tiros cortados</p> <p>D2: Tiros anillados</p> <p>D2: Deficiencia de voladura</p>	<p>I1: Metros de perforación perdidos I2: Volumen de roca sin fragmentar I3: Porcentaje de tiros cortados</p> <p>I1: Desviación promedio de los taladros I2: Sobreexcavación I3: Incremento en costos por sobreconsumo de explosivos</p> <p>I1: Fragmentación inadecuada I2: Incremento en costos por sobreconsumo de explosivos</p>	<p>- 0 – 5 cm Alta precisión) - 5,1 – 10 cm (Moderada) - >10 cm (Deficiente) 0 – 10% (Controlada) 11% – 20% (Moderada) >20% (Excesiva)</p> <p>< 30 cm Adecuado 30 – 50 cm Regular > 50 cm Inadecuada</p> <p><5% muy bajo 5% - 10% Bajo 10% - 20% Moderado 20% - 30% Alto >30% Muy alto</p>
<p>Variable dependiente: Clasificaciones geomecánicas</p>	<p>Esta variable permite realizar los trabajos de cambio en cuantificar y analizar las propiedades mecánicas y físicas del macizo rocoso</p>	<p>D1: Tiros cortados</p> <p>D2: Tiros Anillados</p> <p>D3: Deficiencia de voladura</p>	<p>I1: RMR I2: Q DE BARTON I3: GSI</p> <p>I1: Peso específico I2: Porosidad I3: Absorción I4: Peso específico Aparente</p> <p>I1: Estructura del macizo rocoso. I2: Condición de las discontinuidades. I3: Orientación de las discontinuidades.</p>	<p>Excelente Aceptable Deficiente Optimo Moderado Crítico</p> <p>Muy malo Malo Regular Bueno Excelente</p> <p>Muy bajo Bajo Medio Alto</p> <p>Muy fracturado Fracturado Moderado Masivo Desfavorable Favorable Muy favorable</p>



CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 A nivel internacional

Chutas (2022), en su artículo de investigación titulada “Estudio del comportamiento geomecánico del macizo rocoso Chinchipe Ecuador - 2021” tuvo como objetivo analizar la influencia del comportamiento geomecánico utilizando parámetros como RQD, RMR y GSI. La investigación se desarrolló en las canteras de arena fina “Awchi” y “Chinchipe”, con el propósito de indentificar diferencia entre ambos yacimientos, aun cuando pertenecen a la misma formación geológica. El estudio fue de tipo experimental, con un diseño correlacional. Se estableció como variable dependiente el comportamiento geomecánico del macizo rocoso y como variable independiente el diseño de bancos, considerando las distintas metodologías de explotación aplicadas. El proceso metodológico comprendió trabajo de campo, análisis de laboratorio y gabinete, así como la caracterización geomecánica detallada de la matriz rocosa y de sus discontinuidades. Los análisis comparativos permitieron determinar un método óptimo, integral y económicamente viable para evaluar el comportamiento geomecánico en las canteras estudiadas. A partir de los datos de campo y su procesamiento, se identificaron distintos patrones de comportamiento geomecánico y se evidenciaron variaciones entre los dos yacimientos, pese a su origen geológico común.

Alvarado (2020), en su tesis de postgrado titulado “Modelamiento geoestadístico de la clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR) Santiago de Chile - 2020” tuvo como objetivo principal desarrollar un modelo predictivo para la clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR 1989) aplicado en un yacimiento, así como cuantificar la incertidumbre asociada a este parámetro mediante simulación geoestadística. Para ello se aplicó una metodología sintetizada orientada el cumplimiento de los objetivos propuestos, basada en un estudio de caso con un enfoque cuantitativo. Los resultados evidencian que las simulaciones geoestadísticas



permiten estimar de forma adecuada 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 caso. Estos rangos permiten clasificar el macizo rocoso como de calidad regular a buena, con una baja probabilidad de presencia de rocas de mala calidad, lo que sugiere un riesgo reducido para el desarrollo de futuras operaciones mineras. La investigación concluyó con la generación de mapas predictivos mediante dos enfoques metodológicos diferentes. La comparación entre ambos evidenció ciertas diferencias: la primera simulación presentó distribuciones menos dispersas y una mayor continuidad espacial a corta escala. Sin embargo, el análisis de las estadísticas de error obtenidas a partir de la validación cruzada, considerando el rango de RMR (0 a 100) y su dispersión, no permitió establecer una superioridad clara de alguno de los enfoques en términos de capacidad predictiva en áreas no muestreadas.

Cabrera (2018), en su tesis de pregrado de la Universidad de Chile Facultad de Ciencias y Físicas del departamento Ingeniería de Minas “estudio comparativo entre requerimientos de soporte y fortificación de túneles definitivos según métodos empíricos de clasificación geomecánica versus métodos analíticos y numéricos”, tuvo como objetivo evaluar los requerimientos de soporte en túneles mediante metodologías empíricas, comparando sus resultados tanto entre sí como con aquellos obtenidos a partir de modelos analíticos y numéricos desarrollados mediante software especializado. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un nivel descriptivo experimental. Los resultados, obtenidos a través del programa Phase2, permitieron analizar los desplazamientos totales del macizo rocoso, así como las zonas de plastificación tanto en el macizo como en las diaclasas, en el concreto proyectado (shotcrete) y en los pernos de anclaje instalados. Estos resultados respaldan la aplicabilidad de; software para los casos estudiados, considerando las capacidades físicas (hardware) disponibles. Finalmente concluyó que el rango de aplicación del programa está condicionado por la naturaleza del macizo rocoso, en particular por la presencia de discontinuidades que determinan su comportamiento como un material fracturado. No obstante, cuando los bloques presentan espaciamientos muy reducido, el modelo tiende a comportarse como un medio continuo y homogéneo, alejándose del comportamiento dominado por la interacción entre bloques. Este efecto se acentúa al analizar secciones de túnel de menor tamaño,



ya que el análisis se restringe a un rango más limitado de la relación CF ($CF=Dt/Db$), lo que reduce la necesidad de un refinamiento excesivo del modelo, manteniendo al mismo tiempo las características geométricas y el volumen de los bloques del macizo rocoso.

Cáceres (2021), en su tesis titulada “Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de malla de perforación adecuado en mina Guajirca, Colombia - 2021” tuvo como objetivo general definir, mediante el método Q de Barton, el diseño de malla de perforación más adecuado en función de los dominios geomecánicos identificados en la mina Guajirca. Para ello, se utilizó la clasificación geomecánica RMR de Bieniawski (1989), la cual permite asignar un valor representativo y asociarlo al comportamiento del macizo rocoso. El desarrollo del estudio consideró una primera etapa de recolección de información, que incluyó el levantamiento del registro geológico local y detallado, así como la recopilación de todos los datos necesarios para una correcta clasificación del macizo rocoso. En una segunda etapa, se efectuó la toma de muestras en cada labor minera, de acuerdo con la geología presente, con el fin de realizar una serie de ensayos de laboratorio. Posteriormente, se llevó a cabo el análisis integral de la información recopilada, donde se definieron las litologías de cada mina, los distintos dominios estructurales, así como las características y condiciones de las discontinuidades. Finalmente, a partir de los datos obtenidos para la clasificación geotécnica y la definición litológica, se desarrolló un proceso de modelamiento geomecánico bidimensional (2D), del cual se obtuvieron productos como la clasificación RMR cada 10 m en las distintas labores mineras estudiadas, la continuidad litológica y la identificación de estructuras locales. Mediante el modelamiento realizado a escalas 1:500, 1:250 y 1:200, fue posible identificar en detalle la calidad del macizo rocoso en cada mina analizada. Como resultado, se elaboró un mapa de susceptibilidad que muestra las distintas zonas del yacimiento, clasificadas principalmente en macizos de calidad buena y regular.

3.1.2 A nivel nacional

Flores (2021), el autor en la tesis de pregrado presentada a la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga cuyo título denominado “Caracterización geomecánica del macizo rocoso para determinar el tipo de malla de perforación en la concesión minera subterránea Zenit 1, distrito de San Luis” tuvo como objetivo realizar la



caracterización geomecánica del macizo rocoso con el fin de definir el tipo de malla de perforación más adecuado para dicha concesión minera subterránea. La investigación se desarrolló mediante una metodología orientada al estudio del macizo rocoso, que incluyó el mapeo geomecánico y la evaluación de sus principales características. Los resultados del estudio evidenciaron que la calidad del macizo rocoso es deficiente, principalmente debido a las condiciones de afloramiento, lo que genera un comportamiento inestable y desfavorable para la extracción del mineral. Asimismo, se evaluaron los parámetros geomecánicos a través de la clasificación RMR de Bieniawski, determinándose que la calidad y la competencia del macizo rocoso influyen de manera directa en la planificación y ejecución de las operaciones mineras. Finalmente, se concluyó que, en relación con los objetivos de la metodología empleada, un análisis más completo y confiable se obtiene mediante el uso de programas de simulación y modelamiento de esfuerzos del macizo rocoso, ya que estos permiten evaluar con mayor precisión su comportamiento geomecánico y facilitan la optimización de los parámetros de perforación y voladura, logrando mejoras significativas en la fragmentación del material y en la eficiencia de las labores mineras subterráneas.

Gamboa (2019), en la tesis de pregrado presentada a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga de título denominado “Evaluación geomecánica del macizo rocoso para la aplicación de optimización de perforación y voladura en la mina Hércules – Minera Lincuna S.A” tuvo como objetivo determinar el estado geomecánico del macizo rocoso en la mina Hércules, aplicando una metodología basada en el método científico. La investigación fue de tipo aplicada y de nivel explicativo. Como resultado del estudio, se identificaron diversos tipos de roca, los cuales fueron clasificados geomecánicamente en categorías que incluyen los tipos II-A, II-B, III-A, III-B, IV-A y IV-B. Las conclusiones del trabajo destacan que las clasificaciones geomecánicas presentan dos aplicaciones fundamentales: en primer lugar, la selección del sistema de sostenimiento requerido para garantizar la estabilidad de las labores subterráneas; y, en segundo lugar, su utilización como parámetro base para el diseño adecuado de la malla de perforación y voladura. De acuerdo con la clasificación GSI, en el nivel 4 300 de la mina Hércules, la calidad del macizo rocoso presenta una variabilidad que va desde roca de buena calidad



(RMR entre 51 y 70) hasta roca de mala calidad (RMR entre 21 y 40), registrándose valores de RMR entre 21 y 75 y valores del índice Q entre 3 y 9. Asimismo, la clasificación geomecánica permitió identificar tres tipos principales de roca, lo que facilitó no solo la determinación de los requerimientos de estabilidad, sino también la estimación de costos unitarios de excavación, considerando el proceso constructivo y los valores de RMR obtenidos. Finalmente, el macizo rocoso fue agrupado en cuatro tipos principales: I, II, III y IV, proporcionando una base técnica para la toma de decisiones en el diseño de excavaciones, sostenimiento y optimización de los procesos de perforación y voladura.

Nina (2021), en la tesis de pregrado presentado a la Universidad Nacional San Abad del Cusco cuyo título denominado “Evaluación geomecánica para la selección del tipo de malla de perforación para el acceso en la rampa-440, en la minera aurífera Cuatro de Enero S.A (Macdesa)-Arequipa” desarrolló un estudio aplicado en la rampa 440 de dicha unidad minera, con el objetivo de analizar las condiciones del macizo rocoso mediante clasificaciones geomecánicas. La investigación se llevó a cabo bajo un enfoque descriptivo y de diseño no experimental, empleando las clasificaciones geomecánicas de Bieniawski (1989) y el índice Q de Barton para la caracterización del terreno. Los resultados evidenciaron que una evaluación geomecánica continua y precisa tiene un impacto directo en la optimización de los procesos operativos, especialmente en la planificación de las actividades de perforación y voladura. Asimismo, la caracterización del macizo rocoso permitió identificar zonas con distintos comportamientos geotécnicos, lo que facilitó el ajuste de parámetros técnicos tales como el diseño de la malla de perforación, la selección del tipo de explosivo y la definición del patrón de voladura. En conjunto, estos ajustes contribuyeron a una ejecución de las labores mineras más eficiente, segura y económicamente viable.

Cueva (2021), en su trabajo de investigación “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, 2019” uvo como objetivo comprender el comportamiento estructural y físico-mecánico del macizo rocoso en el área de estudio. La investigación fue de tipo descriptiva, explicativa y cuantitativa, y se



sustentó en la aplicación de las clasificaciones geomecánicas RMR de Bieniawski (1989) y Q de Barton para la evaluación de las condiciones del terreno. Los resultados indicaron que el macizo rocoso presenta una calidad regular, con un valor promedio de RMR de 56, resistencia a la compresión entre 1 y 2 MPa, un RQD de 78 %, espaciado promedio de discontinuidades de 29,7 cm, persistencia entre 3 y 10 m, abertura de 1 a 5 mm, superficies ligeramente rugosas, relleno de cuarzo mayor a 5 mm y presencia de humedad. De acuerdo con la clasificación Q de Barton, el macizo fue calificado como roca de mala calidad, lo que evidencia condiciones estructurales complejas que requieren ajustes técnicos en los procesos de excavación y sostenimiento. Si bien el estudio estuvo orientado principalmente a la toma de decisiones estructurales, los resultados obtenidos permiten inferir que una caracterización geomecánica detallada proporciona información clave para la optimización de parámetros operativos, tales como el diseño de la malla de perforación, la selección del tipo de explosivo y la definición del patrón de voladura. La identificación precisa de las propiedades del macizo rocoso posibilita la adaptación de las estrategias de perforación y voladura a las condiciones reales del terreno, contribuyendo a mejorar la eficiencia, la seguridad y la viabilidad económica de las operaciones mineras.

Fernández (2024), en la tesis de pregrado presentada a la Universidad Continental de Arequipa de título denominado “Optimización de la perforación y voladura para mejorar el avance lineal de la rampa 04, nivel 1 375, Unidad Minera Andaychagua”, tuvo como objetivo optimizar los procesos de perforación y voladura con el fin de incrementar el avance lineal en la rampa 04, nivel 1 375, de la Unidad Minera Andaychagua. La investigación se desarrolló bajo el método general científico y un método específico experimental de enfoque inductivo-deductivo. El estudio fue de tipo aplicado, con un nivel descriptivo y un diseño experimental. La población estuvo conformada por todas las rampas de la Unidad Minera Andaychagua, mientras que la muestra correspondió específicamente a la rampa 04, nivel 1 375. La recolección de datos se realizó en campo mediante técnicas de observación directa, lo que permitió obtener información actualizada sobre las condiciones de perforación y voladura en el área de estudio. En la condición inicial de la rampa 04, nivel 1 375, utilizando el diseño previo de malla de perforación y voladura, el promedio de diez

disparos ejecutados con barras de 12 pies arrojó un avance efectivo promedio de 2,8 m, una eficiencia de disparo del 80 % y un tonelaje promedio a remover de 128,21 t. Posteriormente, tras la implementación del nuevo diseño optimizado de malla de perforación y voladura, y considerando el promedio de diez disparos realizados con barras de 14 pies, se obtuvo un avance efectivo promedio de 3,6 m, una eficiencia de disparo del 90 % y un tonelaje promedio a remover de 160,42 t. Estos resultados evidencian que la optimización del diseño de perforación y voladura permitió mejorar significativamente el avance lineal, la eficiencia del disparo y el volumen de material excavado, contribuyendo a una mayor productividad en la rampa evaluada.

Paytan (2024), en su tesis de pregrado presentado a la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) denominado de título “Optimización del proceso de perforación y voladura para mejorar el avance lineal de galerías en la Unidad Minera Americana de Alpayana S.A.”, analizó cómo la optimización del proceso de perforación y voladura puede incrementar el avance lineal de las galerías en dicha unidad minera. La investigación se desarrolló mediante un enfoque empírico-racional, de tipo aplicado, con un nivel de análisis descriptivo y un diseño de investigación igualmente descriptivo, lo que permitió caracterizar y evaluar de manera sistemática los factores que influyen en el desempeño del proceso de perforación y voladura. Los resultados evidenciaron que la optimización del procedimiento contribuye a un incremento aproximado del 10 % en el avance lineal de las galerías, mejorando la eficiencia y precisión del método mediante la reducción de la generación de fracturas, discontinuidades y sobreexcavación durante la explotación del mineral. Asimismo, al comparar el coeficiente de avance lineal antes y después de la implementación de las mejoras, se observó un incremento del 12 % en el avance promedio, el cual pasó de 3,12 m a 3,50 m. Estos resultados confirman que la optimización del proceso de perforación y voladura tiene un impacto positivo y significativo en la productividad y control geométrico de las labores subterráneas.

Luna (2021), en su tesis cuyo título denominado “Optimización de perforación y voladura mediante un nuevo diseño de malla en la ejecución del By pass 4 200 m de la unidad minera Inmaculada Hochschild Mining - Ayacucho”, desarrolló su estudio en la Unidad Minera Inmaculada, operada por la Compañía Minera ARES S.A., parte



del grupo Hochschild Mining, ubicada en el distrito de Oyolo, Ayacucho. El trabajo se centró en el By Pass 4 200 m, donde se identificaron problemas en el avance lineal por disparo debido a un diseño ineficiente de la malla de perforación y voladura, lo que generaba altos costos operativos en ambas actividades. El objetivo principal de la investigación fue optimizar los procesos de perforación y voladura mediante un nuevo diseño de malla. La metodología empleada fue de tipo aplicativo, cuantitativo y cuasi-experimental. Inicialmente, se evaluó el diseño anterior considerando parámetros técnicos como burden, espaciamiento, número de taladros y tipo y cantidad de explosivos. Posteriormente, se propuso una nueva malla basada en modelos matemáticos y fundamentos teóricos, la cual fue verificada mediante pruebas de campo realizadas durante 30 días. Los resultados evidenciaron mejoras significativas: el avance por disparo aumentó de 3,25 m a 3,55 m, el factor de carga se redujo de 33,92 Kg/m a 30,49 Kg/m, y los costos disminuyeron de US\$487,38/m a US\$444,51/m, representando un ahorro de US\$42,87/m y una mejora del 8,8 % en la eficiencia operativa. Estos resultados confirman que la implementación de un diseño optimizado de malla de perforación y voladura contribuye a un mayor avance lineal, reducción de costos y eficiencia en las operaciones subterráneas.

Huachaca (2024), en su tesis de pregrado presentada a la Universidad Nacional de Micaela Bastidas de Apurímac cuyo título denominado “Optimización de la perforación y voladura en la construcción de la rampa negativa 7 300 en la Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho 2023”, tuvo como objetivo general determinar estrategias para optimizar la perforación y voladura en la construcción de la rampa negativa 7 300, con el fin de aumentar el avance y reducir los costos unitarios asociados a la baja eficiencia de los disparos. La investigación se centró en la aplicación de una nueva malla de perforación y voladura en roca tipo IIIB, con predominancia de andesita, con el propósito de optimizar la productividad en la construcción de la rampa. El estudio fue de tipo aplicativo, con nivel explicativo y diseño experimental. Se realizó una recopilación de datos de campo sobre la malla estandarizada utilizada previamente, para posteriormente efectuar pruebas con la propuesta técnica optimizada de perforación y voladura. Los resultados mostraron mejoras significativas: el número de taladros cargados se redujo de 43 a 41, disminuyendo la longitud de perforación por disparo de 229,68 m a 221,76 m, lo que



representa una reducción de 7,92 m. El factor de carga lineal se redujo de 37,32 a 32,8 kg/m, con una variación de 4,80 kg/m de avance, lo que contribuyó a la disminución de la sobrerotura, de 19,70 % a 8,30 %. Además, mediante la implementación de un arranque tipo hexagonal con un burden de 0,25 m, el avance promedio por disparo aumentó de 3,10 m a 3,39 m. Finalmente, el costo unitario se redujo de 359,69 US\$/m a 304,72 US\$/m, logrando un ahorro de 54,97 US\$/m. Estos resultados evidencian que la optimización de la malla de perforación y voladura permite incrementar el avance lineal, mejorar la eficiencia de los disparos y reducir los costos operativos en la construcción de rampas subterráneas.



3.2 Marco teórico

3.2.1 Clasificaciones geomecánicas

Las clasificaciones geomecánicas según Rodríguez (2020) son sistemas utilizados para evaluar la calidad y el comportamiento de un macizo rocoso en función de sus características geomecánicas. Aportan índices de calidad relacionados con los son sistemas utilizados en minería para evaluar estabilidad de un macizo rocoso. Entre las más comunes están el RMR de Bieniawski, que clasifica la roca según su resistencia y las características de las discontinuidades; el Q System de Barton, que considera la frecuencia y tipo de fracturas, y el GSI de Hoek, que evalúa la estructura geológica y la fracturación. Estas clasificaciones son clave para determinar el tipo de malla necesario, optimizando la seguridad y eficiencia en las excavaciones subterráneas y operaciones mineras.

3.2.2 Propiedades mecánicas

Benavente (2022), indica la caracterización de las propiedades mecánicas de las rocas puede abordar desde el punto de vista estático y dinámico; desde el punto de vista estático, la resistencia de las rocas se cuantifica mediante ensayos de compresión y tracción. Dado que los ensayos directos presentan dificultades experimentales, Dado que los ensayos directos de tracción presentan dificultades experimentales, es frecuente determinar la resistencia a la tracción de manera indirecta mediante ensayos de flexión o brasileño. Estos ensayos requieren prensas capaces de someter las muestras a tensiones elevadas del orden de los MPa (o Kg/cm²). Desde el punto de vista dinámico, las propiedades elásticas de las rocas se obtienen a partir de las velocidades de las ondas longitudinales y transversales mediante ensayos de resonancia. La medición de las velocidades de las ondas ultrasónicas se realiza con transductores especiales, polarizados para emitir y recibir tanto la onda longitudinal como la transversal, junto con un equipo capaz de generar y registrar los pulsos transmitidos a los transductores en función del tiempo. El ensayo de resonancia consiste en aplicar distintas frecuencias de vibración a la roca hasta identificar su frecuencia de resonancia fundamental, a partir de la cual se determinan las constantes elásticas dinámicas del material.

3.2.2.1 El RMR de Bieniawski (1989)

Esta clasificación geomecánica RMR o Rock Mass Rating fue desarrollada por Bieniawski durante los años 1972-73, y modificado posteriormente en 1976 y 1979, en base a más de 300 casos reales de túneles, cavernas, taludes y cimentaciones. Actualmente se usa la edición 1989, que coincide sustancialmente con la de 1979. 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. 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 de la roca intacta.
- R.Q.D. Índice de calidad de la roca intacta
- Espaciado de las discontinuidades
- Condiciones de las discontinuidades
- Condiciones hidrogeológicas
- Orientación de las discontinuidades

La estimación de RMR resulta de la sumatoria de los valores de los parámetros se hace uso de la siguiente Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8, donde presentamos la resistencia a la compresión simple de diferentes tipos de roca.

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

A. 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 compresión uniaxial		
		Resistencia compresiva uniaxial	>250MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
Valoración			1	12	7	4	2	1	0
2	Calidad de testigo de perforación RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%		
	Valoración		2	17	13	8	3		
3	Espaciamiento de discontinuidades		>2m	0,6-2m	0,2-0,6m	60-200	<60mm		
	Valoración		2	15	10	8	5		
4	Condiciones de las discontinuidades		Superficies muy rugosas no continuas Cerradas sin apertura Paredes rocosas	Superficies ligeramente y rugosas Apertura<1 mm Paredes ligeramente intemperie.	Superficies ligeramente rugosas Apertura<1 mm Paredes altamente intemperie.	Espejo de falla o panizo <5mm de espesor Apertura de 1-5mm	Pánico suave >5mm de espesor o apertura >5mm Juntas continuas		
	Valoración		3	25	20	10	0		
5	Agua subterránea	Flujo de 10m de longitud de túnel (l/m) presión de agua / principal máximo condición general	Ninguno	< 10	10-25	25-125	>125		
			0	<0,1	<0,1	0,1-0,2	>0,5		
Valoración			Completamente en seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo		
Valoración			1	10	7	4	0		

NOTA: Clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos
 FUENTE: Bieniawski (1972)



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

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A 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

NOTA: Clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos
FUENTE: Bieniawski (1972)

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
Esquisto	31	70	43
Pizarra	33	150	70
Arenisca	40	179	95
Mármol	60	140	112
Caliza	69	180	121
Dolomía	83	165	127
Andesita	127	138	128
Granito	153	233	188
Gneis	159	256	195
Basalto	168	359	252
Cuarcita	200	304	252
Dolerita	227	319	280
Gabro	290	326	298

NOTA: Clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos según
FUENTE: Bieniawski (1972)

a) **Índice de calidad de la Roca (RQD)**

Fue desarrollado por Palmstron, el RQD:

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

Para el segundo caso se utiliza la siguiente fórmula:

- $RQD = 115 - 3,3 \text{ Palmstron (1974)}$

Para el tercer caso se utiliza la siguiente fórmula:

- $RQD = 100 e^{(0,1\lambda)} (0,1\lambda + 1)$
- RQD: 100 para $J_v < 4,5$

Tabla 9 — Clasificación geomecánica RQD (%)

ÍNDICE DE CALIDAD RQD (%)	CALIDAD	VALORACIÓN
0-20	Muy mala	3
21-40	Mala	8
41-60	Regular	13
61-80	Buena	17
81-100	Muy buena	20

FUENTE: Bieniawski (1972)

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.

Esta clasificación utiliza seis parámetros para definir la clase de macizo:

- R.Q.D
- Índice de fracturamiento (J_n)
- Índice de la rugosidad, relleno y continuidad de las discontinuidades (J_r)
- Índice de la alteración de las discontinuidades (J_a)
- Coeficiente reductor por la presencia de agua (J_w)



- El coeficiente que tiene en cuenta la influencia del estado tensional sobre el macizo rocoso (SRF).
- SRF: índice del estado de tensión del macizo.
- SRF 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.

El valor numérico de este índice 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.

La 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 10 — 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

NOTA: Clasificaciones geomecánicas de Q de Barton
FUENTE: Barton (1976)



Tabla 11 — Valoración de la rugosidad de las discontinuidades

FACTOR DE RUGOSIDAD 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.

Las descripciones se refieren a las características de pequeña escala y características de intermedia, en ese orden

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: Diseño y Ejecución de Obras Subterráneas - Arequipa (2017).

Tabla 12 — Valoración del número de discontinuidades

NÚMERO 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 más (roca muy fracturada)	15
Roca triturada (Terrosa)	20
Nota:	
i) Para intersecciones de túneles, usar $(3,0 \cdot J_n)$	
ii) Para portales usar $(2,0 \cdot J_n)$	
FUENTE: Diseño y Ejecución de Obras Subterráneas - Arequipa (2017).	



Tabla 13 — 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	6 - 8
	Arcilla (ver G, H, J para la descripción de los tipos de arcilla)	8 - 12
N O, P, Q	Zona de arcilla limosa o arenosa	5
	Zonas potentes y continuas de arcilla	10 - 13
	(Ver G,H,J para la descripción de los tipos de arcilla)	13 - 20
FUENTE: Diseño y ejecución de obras subterráneas - Arequipa (2017).		

Tabla 14 — 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.

i) Factores C a F son estimaciones básicas. Aumentar Jw si se han instalado medidas de drenaje.

ii) Especiales problemas causados por la formación de hielo no son considerados.

iii) Para la caracterización general de las masas de roca distantes de las influencias de excavación, el uso de Jw = 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 / Jn 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, en combinación con los valores apropiados de caracterización SRF. Correlaciones con módulo de deformación estática y la profundidad dependen de la velocidad sísmica. En la práctica usar estos valores cuando se desarrollan.

FUENTE: Diseño y Ejecución de Obras Subterráneas - Arequipa (2017)

Tabla 15 — Valoración de factor de reducción por tensiones

FACTOR DE REDUCCIÓN POR TENSIONES	DESCRIPCIÓN	SRF
A)	Las zonas débiles intersectan 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
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		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 $5 \leq s1/s3 \leq 10$, reducir sc en $0.75sc$, cuando $s1/s3 > 10$, 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 litostáticas		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: Diseño y ejecución de obras Subterráneas Arequipa (2017).				








• **Zonificación geomecánica del macizo rocoso**

Para aplicar de manera efectiva los distintos métodos de cálculo en la mecánica de rocas, es fundamental dividir la masa rocosa en áreas que compartan características estructurales y mecánicas similares. Esto se debe a que los criterios de diseño y el análisis de los



resultados solo serán relevantes y precisos dentro de zonas que tengan propiedades físicas y mecánicas parecidas. Por lo tanto, es práctica habitual definir la región de investigación basándose en zonas geomecánicas o dominios estructurales concretos a la hora de diseñar las excavaciones subterráneas. Dado que existen muchas calidades de masa rocosa en cada tipo de roca, que se muestran en el resumen de estos datos, el criterio que ha prevalecido en la zonificación geomecánica del área de estudio ha sido la calidad de la masa rocosa que aparece con mayor presencia Huaman (2020)

Tabla 16 — Zonificación geomecánica de la masa rocosa

CLASIFICACIÓN	TIPO	RMR	Q	COD. COLORES
Roca muy mala	V	0 – 20	0,002	
Roca mala B	IV – B	20 – 30	0,02	
Roca mala A	IV – A	30 – 40	0,1	
Roca regular B	III – B	40 – 50	0,5	
Roca regular A	III – A	50 – 60	2,2	
Roca buena B	II – B	60 – 70	10	
Roca buena A	II - A	70 – 80	46,4	

FUENTE: Huamán (2017)

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)



La determinación del G.S.I, es el primer paso a seguir, definir en forma empírica la resistencia y deformabilidad del macizo rocoso, basándose en las condiciones estructurales (grado de fracturamiento) y de superficie (alteración, forma de fracturas, relleno) Chura (2018)

La clasificación según su estructura varía de:

- a) Levemente fracturado (LF).
- b) Fracturada (F).
- c) Muy fracturada (MF), 12 a 20 fracturas/m.
- d) Intensamente fracturada (IF), mayor de 20 fracturas/m.
- e) Brechado o triturado (T).

La clasificación según sus condiciones superficiales varía de:

- a) Muy buena (MB)
- b) Regular (R)
- c) Pobre (P)
- d) Muy pobre (MP)

Mediante su aplicación puede obtenerse una clasificación geológica muy básica, como fracturado, regular (F/R) o muy fracturado, muy pobre (MF/MP). Utilizando la tabla Abacus de GSI, se puede obtener una evaluación perteneciente a estas características geológicas promediando los límites de las líneas Abacus que cruzan la casilla asociada a esa descripción Chura (2018)

3.2.4.1.1 Resistencia a compresión simple

Iñigues (2020), 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 Delgado (2019)



Propiedades físicas

Las propiedades físicas de las rocas son las que controlan las características resistentes y deformaciones de los granos mineralizados y de la matriz rocosa (composición mineralógica, densidad, estructura, porosidad, permeabilidad, alterabilidad, dureza, etc.), y son resultado de génesis, condiciones y procesos geológicos y tectónicos sufridos por las rocas a lo largo de su historia. Por lo tanto, las propiedades físicas de las rocas son el resultado de su composición de los granos mineralógicos, estructura e historia geológica, deformaciones y ambiental, incluyendo los procesos de alteración y meteorización.

a) Peso específico o peso unitario

El peso específico o peso unitario de la roca depende de sus componentes, y se define como el peso por unidad de volumen. Sus unidades son las de fuerza (kilopondio, newton, tonelada-fuerza, etc.) por volumen. En general se considera el mismo valor para el peso específico y para la densidad.

$$PE = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen del testigo}}$$

b) Porosidad

La porosidad eficaz es la relación entre el volumen de poros interconectados y el volumen de la muestra. Puede obtenerse a partir de los pesos seco y saturado de la muestra:

$$n_e = \frac{W_{sat} - W_{seco}}{\gamma_w V}$$

En las rocas es frecuente que los poros no estén interconectados, por lo que la porosidad real será mayor que la eficaz. El índice de los poros se define como la relación entre el volumen ocupado por los huecos (V_v) y el volumen ocupado por las partículas sólidas (V_{sol}):



$$e = \frac{V_v}{V_{sol}}$$

c) Absorción

La absorción de la roca se cuantifica con el coeficiente de absorción capilar. Para ello se mide en una balanza la masa de agua absorbida, $M(t)$, en función del tiempo. Con estos datos, el coeficiente de absorción capilar se obtiene a partir de la ecuación:

$$\frac{M(t)}{S}$$

d) Factor de esponjamiento

El esponjamiento de un macizo rocoso juega un papel importante en la planificación y diseño de minería, especialmente en términos de propagación del hundimiento, subsidencia de superficie y recuperación de mineral. El esponjamiento del macizo rocoso depende de las características y propiedades del macizo. Factores importantes incluyen la cantidad de juntas, así como su orientación, esponjamiento y persistencia, que controlan la fragmentación “in-situ”. Otros factores son las condiciones de esfuerzos in situ y si existe un vacío de aire.

e) Peso específico aparente

Es el peso total con respecto al volumen total por encima del nivel freático, se emplea el término aparente ya que considera el volumen que incluye a sus poros, huecos e intersticios. Las rocas que contienen minerales con valores elevados de peso específico, generalmente son las rocas ígneas y metamórficas. El peso específico aparente se expresa:

$$\gamma_a = \frac{W_t}{V_t}$$

3.2.5 Optimización de perforación y voladura

La optimización busca hacer que una actividad, como la perforación y voladura, se lleve a cabo de la manera más eficiente posible, por lo que se trata de sacar el máximo provecho de los recursos disponibles y, al mismo tiempo, realizar el



trabajo en el menor tiempo posible sin desperdiciar esfuerzo ni materiales. Westreicher (2020)

3.2.5.1 Perforación de rocas

El concepto de perforación de rocas, consiste en la operación de llevar a cabo varias perforaciones cilíndricas en la superficie del macizo rocoso que se pretende arrancar. Estas perforaciones se llaman taladros y tienen una distribución y un ángulo de inclinación que están diseñados según unos criterios geométricos y cálculos matemáticos o estimaciones empíricas para producir el arranque, la fragmentación y el desplazamiento de parte del macizo rocoso.

La técnica de perforación forma parte de la operación global de perforación y voladura de rocas que significan a la vez, una parte importante de los costos de la operación minera. En terrenos geomecánicamente competentes en los que los métodos mecánicos no son económicamente viables, puede utilizarse el método de perforación y voladura para extraer la roca.

- **Componentes de un sistema de perforación mecánico**

Rijalba (2019), el sistema de perforación está compuesto por cuatro componentes esenciales, cada uno desempeñando un papel clave para garantizar un proceso de perforación mecánica eficiente, la cuales son:

- **Perforadora:** La perforadora es la que inicia el trabajo del sistema, convirtiendo la energía de su forma original (fluida, eléctrica, neumática o motores de combustión) a energía mecánica, para hacer actuar al sistema.
- **Sarta de perforación (transmisor):** El barreno (The ROD) o Drill Stell o STEM o PIPE, es el elemento que transmite la energía de la perforadora o fuente hacia la broca o aplicador.



- **Broca (Aplicador):** La broca (bit), es el elemento encargado de aplicar la energía del sistema, haciendo el ataque de la roca mecánicamente para lograr la penetración dentro de esta.
- **Fluido de circulación (limpiador):** La circulación de un fluido (agua) sirve para limpiar los taladros, controlar el polvo, enfriar la roca y a veces puede ser usado para estabilizar las paredes del taladro. Diseño de arranque o corte.

3.2.5.1.1 Equipos de perforación

En la unidad minera Inmaculada, se usa el Boomer S1, un perforador hidráulico frontal que es perfecto para trabajar en galerías y túneles pequeños, con secciones de hasta 31 m² Epiroc (2023)

3.2.5.2 Malla de perforación

La malla de perforación es el diseño que distribuye los taladros en un frente de avance. Su distribución establece dónde se colocan, qué profundidad alcanzan y en qué dirección se orientan, lo que juega un papel fundamental en la fracturación de la roca al momento de la detonación Mining Alati (2024).

- **Arranque:** Famesa (2019), la base de la voladura en túneles tiene como principio el arranque, corte o cuele, que se utiliza como cara libre inicial del frente de perforación y voladura el cual determina un buen avance, teniendo en los taladros de arranque ser simétricos y tener paralelismo. Para llevar a cabo el disparo de la primera fase, existen diversas maneras de hacerlo para formar la cavidad de corte.
- **Tipo de corte en paralelo:**
Son taladros paralelos con diferentes medidas en burden y espaciamiento de acuerdo a las condiciones geomecánicas y aplicación in situ.

- **Corte quemado:** Se refiere a un grupo de taladros del mismo diámetro que se perforan muy cerca unos de otros y tienen patrones variables de distribución; algunos de estos no poseen cargas explosivas, lo que significa que sus espacios vacíos actúan como caras libres Exsa (2014)
- **Corte cilindro:** “Este tipo de corte mantiene unas distribuciones similares a las del corte quemado, sin embargo, se distingue por la presencia de uno o más taladros vacíos con un diámetro mayor que el resto. Esta característica facilita la creación de la cavidad cilíndrica” Exsa (2014)

3.2.5.3 Número de taladros

Según el autor Jimeno (1995), se puede calcular el número de taladros en forma más precisa mediante la siguiente relación:

$$N^{\circ}tal = \frac{S}{E \cdot B}$$

- S: Área de la sección del túnel (m²)
- B: Burden o espaciamiento entre filas (m)
- E: Espaciamiento entre taladros (m)

Tabla 18 — Coeficiente de dureza de la roca

Dureza de la roca	Distancia entre los taladros (m)
Tenaz	0,50 a 0,55
Intermedia	0,60 a 0,65
Friable	0,70 a 0,75
FUENTE: EXSA, 2014	



Tabla 19 — Coeficiente o factor de roca

Dureza de la roca	Coeficiente de la roca (m)
Tenaz	2,00
Intermedia	1,50
Friable	1,00
FUENTE: EXSA, 2014	

3.2.5.4 Carguío de voladura

Es el proceso de llenar los taladros mediante el uso de sustancias químicas conocidas como explosivos. Para llevar a cabo esta tarea con eficacia, hay que aplicar la ingeniería, y es crucial predecir con exactitud el tipo de roca, el tipo de explosivo que se va a utilizar y la cantidad que habrá que cargar en el frente FAMESA (2019)

3.2.5.5 Explosivo

Se trata de sustancias químicas que, sometidas a circunstancias específicas o estímulos externos, se descomponen violentamente y liberan grandes cantidades de energía y gas. La principal fuente de energía en el proceso de voladura son estos explosivos, que pueden transformarse en productos gaseosos y condensados en una fracción de microsegundo y alterar su volumen inicial en una masa gaseosa que alcanza temperaturas extremadamente elevadas y, en consecuencia, presiones extremadamente altas. Cuando los explosivos estallan, se producen una serie de subproductos gaseosos a altas temperaturas y presiones que ocupan un volumen mayor que el volumen original del espacio donde estaba contenido el explosivo, entre 1 000 y 10 000 veces mayor.

a) Propiedades de los explosivos

- **Velocidad de detonación.** Se le considera a la velocidad con la cual la onda de la detonación se mueve por medio del explosivo, ello muestra un indicador del ritmo de la energía. También caracteriza la velocidad de la onda a medida que se desplaza a lo largo de una columna de explosivo EXSA (2014)
- **Densidad del explosivo.** Es la relación entre masa y el volumen del explosivo, expresada en g/cm³. Ello muestra cuántos gramos de masa contiene una sustancia con un volumen de 1 cm³. Tiene un impacto significativo en la sensibilidad y la velocidad de detonación de los explosivos.
- **Presión de detonación.** “Es la presión que se genera en el plano "CJ" detrás del frente de detonación, a medida que la onda de detonación avanza. Esta presión depende de la densidad y de la velocidad al cuadrado, y se mide en kilobares (kbar) o MegaPascales (MPa). En los explosivos comerciales, esta presión varía entre 500 y 1 500 MPa”.

La presión de detonación debe tenerse en cuenta al utilizar explosivos como iniciadores.

$$P_d = \frac{\rho_e \cdot VOD^2 \cdot 10^{-5}}{4}$$

Donde:

Pd: Presión de detonación

ρ : Densidad del explosivo

VOD: Velocidad de detonación

- **Presión de taladro.** Fuerza de empuje que ejercen los gases sobre las paredes del taladro. Se expresa en kg/cm², en kilobares (kbar) o en Mega Pascales (MPa).

- **Potencia relativa.** Es la energía que contiene el explosivo para realizar un trabajo. Para medirla se utiliza el ensayo de Trauzl, que evalúa la expansión del explosivo al detonar 10 g en el interior de una cavidad cilíndrica de 70 cm³ situada en la parte superior de un molde cilíndrico de plomo de dimensiones determinadas.

- **Sensibilidad.**

La sensibilidad de un explosivo se refiere a la cantidad de energía necesaria para que se inicie y, a continuación, se produzca su detonación, siendo mayor o menor según el tipo de explosivo. EXSA (2014)

EXSA (2014), se pueden considerar una amplia variedad de aspectos relativos a la sensibilidad de los explosivos; algunos de ellos inciden directamente en la seguridad durante las diferentes etapas de manipulación, como la fabricación, el transporte y la utilización, mientras que otros aspectos están relacionados con su iniciación en el proceso de voladura:

- Sensibilidad al detonador.
 - Sensibilidad a la onda explosiva.
 - Sensibilidad al choque y al rozamiento.
- **Resistencia al agua.** Es la capacidad de soportar la exposición prolongada al agua sin que sus propiedades se vean afectadas, es decir, su capacidad para evitar que el agua lo penetre. Se mide en horas EXSA (2014)
- **Categoría de humos.** Cuando se detona un explosivo comercial, se generan diversos subproductos, como polvo, vapor de agua (H₂O), óxidos de nitrógeno (NO y NO₂), óxidos de carbono (CO y CO₂), y en algunos casos, gases sulfurosos (H₂S y SO₃) o aluminatos (ALO₂), según la presencia de aluminio o azufre en el explosivo, suele haber



una cierta proporción de compuestos irritantes peligrosos o mortales, entre los gases inocuos producidos llamados en conjunto como “humus”, como el dióxido de nitrógeno y el monóxido de carbono EXSA (2014)

- **Simpatía.** Hace referencia a que si un cartucho que detona puede hacer que otro cartucho cercano detone también por “simpatía”. Esta transmisión de la detonación puede producirse a lo largo de muchos centímetros en dinamitas sensibles. La detonación completa de una columna explosiva está garantizada por una transmisión fiable.

3.2.5.6 Explosivos utilizados en la unidad minera Inmaculada

Los explosivos que se utilizan en la unidad minera Inmaculada son suministrados por la empresa proveedora FAMESA, y el producto se llama Emulnor. FAMESA (2023) es una emulsión explosiva encartuchada en una envoltura plástica que posee propiedades de seguridad, potencia, resistencia al agua y buena calidad de los gases de voladura.

La empresa proveedora Famesa Explosivos S.A.C. cuenta con los siguientes productos:

- “EMULNOR 500: para la voladura de rocas muy suaves” (FAMESA, 2023).
- “EMULNOR 1000: para la voladura de rocas suaves a intermedias” (FAMESA. 2023).
- “EMULNOR 3000: para la voladura de rocas intermedias a duras” (FAMESA. 2023).
- “EMULNOR 5000: para la voladura de rocas muy duras” (FAMESA)

Tabla 20 — Características técnicas del explosivo

NOMBRE	UNIDAD	EMULNOR 500	EMULNOR 1000	EMULNOR 3000	EMULNOR 5000
Densidad relativa	g/cm ³	0,90 ± 0,15	1,13 ± 0,1	1,14 ± 0,1	1,16 ± 0,1
Velocidad de detonación confinado (*)	m/s	4 400 ± 300	5 800 ± 300	5 700 ± 300	5 500 ± 300
Velocidad de detonación sin confinar (**)	m/s	3 500 ± 300	4 400 ± 300	4 400 ± 300	4 200 ± 300
Presión de detonación	kbar	44	95	93	88
Energía	kcal/kg	628	785	920	1010
Volumen normal de gases	%	952	920	880	870
Potencia relativa en peso (**)	%		87	102	112
Potencia relativa en volumen (**)	%	77	120	142	159
Sensibilidad al Fulminante	.....	Nº 8	Nº 8	Nº 8	Nº 8
Resistencia al agua	.....	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Categoría de humos	.....	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1

FUENTE: FAMESA, 2023

3.2.5.7 Accesorios de voladura utilizado

- a) **Carmex**: Esta herramienta se utiliza para realizar voladuras de forma segura y eficaz o para iniciar taladros en minería convencional. Un fulminante estándar n.º 8, un fusible de seguridad, una conexión de fusible rápido y un bloque de sujeción, un cierre de plástico fabricado para fijar el fusible rápido al conector, son sus elementos con las que está compuesto FAMESA (2023)

- b) Mecha rápida:** Forma parte del sistema de iniciación de la detonación, que también incluye dos alambres, una capa exterior de plástico y una masa pirotécnica. Garantiza que la mecha de seguridad se encienda eficazmente al producir una llama incandescente lo suficientemente caliente como para activar la masa pirotécnica del conector de mecha rápida cuando se enciende FAMESA (2023)
- c) Cordón detonante:** Es un accesorio de voladura de alta velocidad, fácil de manejar y seguro, disponible en varias presentaciones para distintos usos. El cual está formado por un núcleo de pentrita, el cual está forrado con material plástico y cubierta por fibras sintéticas” FAMESA (2023). En los proyectos de avances en la unidad minera immaculada se utiliza.
- d) Cordón detonante 3P:** Es un cordón detonante de bajo gramaje, diseñado especialmente para iniciar el fanel, mininel y para las voladuras secundarias. FAMESA (2023)
- e) Cordón detonante 5P:** “Normalmente, se utiliza tanto en minería a cielo abierto como subterránea, ya sea como línea descendente en taladros de pequeño o mediano diámetro o como línea principal en voladuras primarias o secundarias. También puede ser empleada para iniciar el Mininel o Fanel” FAMESA (2023)

f) Fanel

FAMESA (2023), se trata de un accesorio de voladura que ha mejorado las propiedades de tracción y abrasión de la manguera fanel, por lo que resulta apropiado para todas las aplicaciones de minería de superficie, minería subterránea y obras civiles, lo que se traduce en una gran productividad, seguridad y eficacia. Está construido con el fulminante de retardo en un extremo y sellado por ultrasonidos en el otro. La escala de tiempo del retardo fanel se puede determinar por el color de la Manguera fanel, o, la Manguera fanel es de color amarillo para periodos largos (LP) y de color rojo o naranja (MS) para periodos cortos.



3.2.5.8 Factores de voladura

- **Factor de carga (FC):**

El factor de carga útil es la cantidad de explosivos en kilogramos necesarios para detonar un metro cúbico de roca.

$$FC = \frac{\text{Cantidad de explosivo (Kg)}}{\text{Volumen roto (m3)}}$$

- **Factor de potencia (FP):**

El factor de potencia se define como la cantidad de explosivo usado para fragmentar una tonelada de material ya sea mineral o desmonte.

$$FP = \frac{\text{Cantidad de explosivo (Kg)}}{\text{Toneladas roto (tm)}}$$

- **Factor de carga lineal (FC):**

Esta es la cantidad de explosivos utilizados por metro lineal de avance.

$$FC = \frac{\text{Cantidad de explosivo (Kg)}}{\text{Metro lieal (m)}}$$

3.2.6 Construcción de rampa

Según el (D.S. 023-2017-EM), es la ejecución de la rampa a una galería inclinada con pendiente positiva o negativa que permite la conexión entre dos niveles de distintas alturas. La principal tarea auxiliar en minería es el acceso a la rampa, que debe facilitar a los mineros la entrada y salida de la mina, así como el traslado de la maquinaria, equipos y suministros necesarios. Durante la fase de diseño de la rampa deben tenerse en cuenta los siguientes elementos:

- a) **Gradiente:** La pendiente máxima que pueden tener las rampas para permitir la mayor disponibilidad de la maquinaria y/o equipos que



trabajan en ellas se conoce como pendiente operativa. Según el (DS 024 - 2016 EM) y su revisión (DS 023 - 2017 EM), se ha considerado una pendiente máxima del 12% para la inclinación de la rampa, proporcionando resultados satisfactorios para los equipos de transporte en la evacuación de mineral y roca estéril. (D.S. 023-2017-EM).

- b) **Peralte:** El peralte es la inclinación de la labor en curva está diseñado para evitar accidentes causados por la fuerza centrífuga producida por la velocidad del equipo, al equilibrar la acción de la fuerza creada por el paso del equipo sobre una curva. Al calcular el peralte deben tenerse en cuenta tanto las fuerzas centrífugas como las gravitatorias (D.S. 023- 2017-EM).

- c) **Radio curvatura:** Es la distancia que define qué tan pronunciada es una curva en una galería, rampa, túnel o acceso subterráneo, lo cual es especialmente importante en minería subterránea, es el diseño en forma de zigzag de la rampa y el tamaño de la maquinaria utilizada para transportar el mineral Luna (2018)

3.3 Marco conceptual

- a) **Clasificaciones geomecánicas.** Gonzales (2022), indica 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.
- b) **Equipos de perforación.** Monge (2018, p. 185) señala que en la Unidad Minera Inmaculada se utiliza el Boomer S1, un perforador hidráulico frontal especialmente diseñada para operaciones subterráneas en condiciones de alta productividad y eficiencia.
- c) **Fracturas.** Iñiguez (2020, p.16) señala que las fracturas pueden definirse 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 sería: 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) **Mecánica de rocas.** Gonzales (2022, p. 118) indica que la mecánica de rocas se ocupa del estudio teórico y práctico de las propiedades y comportamiento mecánico de los materiales rocosos, y de su respuesta ante la acción de fuerzas aplicadas en su entorno físico.
- e) **Optimización de la perforación y voladura.** Monge (2018, p. 175) “La optimización busca hacer que una actividad, como la perforación y voladura, se lleve a cabo de la manera más eficiente posible, por lo que se trata de sacar el máximo provecho de los recursos disponibles y, al mismo tiempo, realizar el trabajo en el menor tiempo posible sin desperdiciar esfuerzo ni materiales”.

- f) **Perforación de rocas.** Consiste en la operación de llevar a cabo varias perforaciones cilíndricas en la superficie del macizo rocoso que se pretende arrancar. Estas perforaciones se llaman barrenos y tienen una distribución y un ángulo de inclinación que están diseñados según unos criterios geométricos y cálculos matemáticos o estimaciones empíricas para producir el arranque, la fragmentación y el desplazamiento de parte del macizo rocoso Neveille (2019).
- g) **Propiedades mecánicas de las rocas.** (Monge, 2018 p. 82) señala que 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.



CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

Quispe (2018), indica que 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.

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 como el análisis de dos o más variables como se relacionan y explicar cómo y por qué ocurre un fenómeno.

La presente investigación recogió información de los fenómenos las características y como se manifiestan, se analiza la relación que existe entre las variables según el valor que se les dé en un contexto particular y se explica las causas de los eventos, como ocurre un fenómeno y porque se relacionan las variables.

Con la información revisada la presente tesis se clasificó del nivel descriptivo - explicativo.

4.2 Diseño de la investigación

Cruz (2022), considera que el diseño es no experimental consiste en observar los sucesos sin participar y dejar que ocurran naturalmente.

El diseño de la investigación fue no experimental. Se describieron los fenómenos, sus características y la manera en que se manifestaron y se recogieron datos de la Mina Inmaculada.



4.3 Descripción ética de la investigación

En la presente investigación se respetaron los principios éticos fundamentales. Se garantizaron la validez de los resultados, la propiedad intelectual y la confidencialidad de la información obtenida.

4.4 Población y muestra

Según Gonzales (2009), considera la población como un conjunto de elementos del mismo tipo con cualidades fijas y que se estudia sus rasgos y relaciones para la unidad minera Inmaculada.

La **población** estuvo compuesta por todas las labores de la mina Inmaculada.

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 se tomó la Rampa 5 000 - NV 4 235, de la Unidad Minera Inmaculada.

4.5 Procedimiento

En esta indagación el procedimiento usado es la recolección, procesamiento, análisis de datos e interpretación de resultados.

- **Recolección**

Recolección de información mediante una prospección y mapeo en campo en función con las fichas de caracterización geomecánica y a su vez extracción de testigo. Las técnicas de levantamiento de información insitu mediante las diferentes clasificaciones geomecánicas mediante los instrumentos y formatos para cada clasificación geomecánica y estos datos serán generados en una base de datos como hojas excel, en CAD planos de secciones y perfiles.

Determinación de resultados mediante la utilización de Laboratorio y analiza

- **Procesamiento y análisis de datos**, Una vez obtenida la información, se planea de acuerdo con las variables y dimensiones de la investigación. Para ello, se



emplearon herramientas informáticas, hojas de cálculo, fichas de interpretación, entre otros recursos.

- **Interpretación de resultados**, la interpretación de los resultados obtenidos en la investigación se basa en las dimensiones propuestas, analizando la información teórica disponible y estableciendo correlaciones. Además, se encuentra generar discusiones fundamentadas en los antecedentes relacionados con el proyecto de investigación.

4.6 Técnica e instrumentos

La técnica: Montañes (2012), define la técnica de la observación directa como acción de visualizar cualquier manifestación que suceda en la naturaleza o sociedad bajo los criterios de investigación y objetivos definidos.

Instrumentos: Arias (2018), indica que la recolección de datos es recoger información que posteriormente el investigador puede trasladar a una ficha.

En la presente investigación se aplicó como instrumento las fichas de recopilación de datos.

4.7 Análisis estadístico

Para procesamiento de datos se utilizó el Office Microsoft Excel-2023.

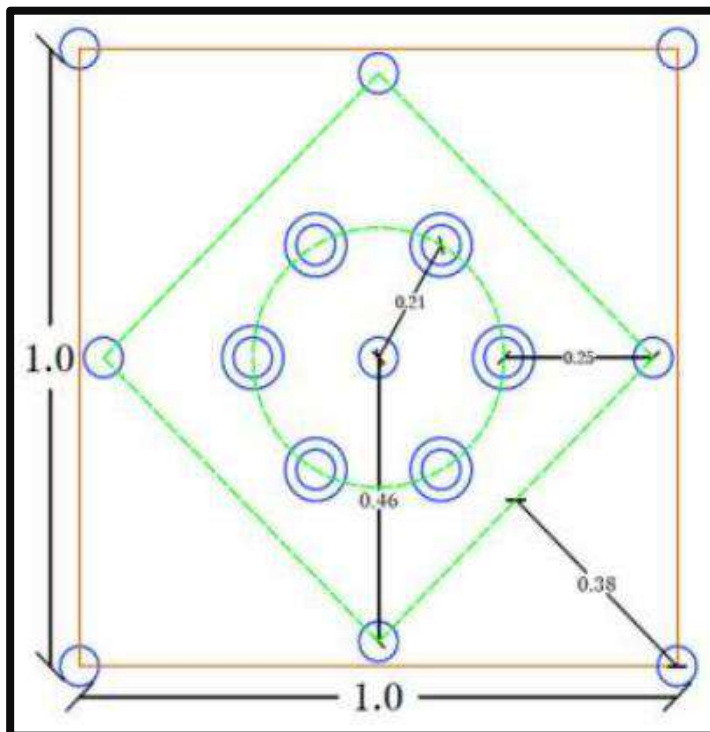
CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. Resultados

5.1.1 Optimizar la perforación y voladura mediante la evaluación de las clasificaciones geomecánicas en la Rampa 5 000 - NV 4 235, de la Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho – 2025.

En la unidad minera Inmaculada, se observó el proceso de perforación y voladura con el diseño de mallas estandarizada, con un arranque de tipo Circular. Lo cual inicialmente fue aplicada en la rampa negativa 5 000, sin embargo, no dio los resultados esperados.



FUENTE: Área de planeamiento Unidad Minera Inmaculada (2025).

Figura 5 — Arranque tipo circular

En el diseño inicial de malla de perforación, con el tipo de arranque circular donde es determinante la posición del primer taladro de arranque en el centro, lo cual no debe presentar desviación y debe tener paralelismo con respecto a los taladros de alivio, para obtener resultados de acuerdo a lo planeados.

Tabla 21 — Distribución de carga explosiva para el RMR

Tipo de roca III B ANDESITA		RMR 41-50	
SECCIÓN		4,5 m x 4,5 m	
Barreno 14 pies = 4,26 m	Longitud de perforación: 3,90 metros		
Ubicación de taladros	Número de taladros	Diámetro	
Rimados	6	102 mm	
Arranque	5	45 mm	
Primera ayuda	4	45 mm	
Segunda ayuda	4	45 mm	
Tercera ayuda	4	45 mm	
Taladros de producción	8	45 mm	
Cuadrador	4	45 mm	
Ayuda de corona	3	45 mm	
Corona	6	45 mm	
Arrastre	5	45 mm	
Taladros de Alivio	9	45 mm	
TOTAL	58		
FUENTE: Elaboración propia.			

Distribución de carga explosiva

La distribución de la carga explosiva se usa un total de 246 cartuchos de Emulsión 3000 y 201 cartuchos de Emulsión 1 000 llegando a un total 115,68 kilogramos de explosivo.



Tabla 22 — Distribución de carga explosiva

SECCIÓN RMR	4,5 mx 4,5 m 41-50	TIPO DE ROCA DISTRIBUCIÓN DE CARGA	IIIB
UBICACIÓN DE TALADROS	Nº Tal.	E 3000 1 1/4"x12"	E 1000 1 1/4"x12"
Arranque	5	12	
Primera ayuda	4	11	
Segunda ayuda	4	10	
Tercera ayuda	4	5	5
Taladros de producción	8	5	6
Cuadrador	4	2	9
Ayuda de corona	3	6	8
Corona	6	1	8
Arrastre	5	5	5
TOTAL DE CARTUCHOS	43	246	201
VOLADURA		UNIDAD	Cantidad
Emulnor 1000 1 1/4"x12"		kg	50.25
Emulnor 3000 1 1/4"x12"		kg	65.43
Total explosivo		kg	115.68
Cordón detonante 5P		m	30
Cordón detonante 3P		m	40
Mecha Rápida		m	0.5
Fanel MS		pzs.	5
Fanel LP		pzs.	38
Detective ensamblado 7'		pzs.	2
FUENTE: Elaboración propia.			

• **Mapeo geomecánico**

Se realizó el seguimiento el mapeo geomecánica diario, llevado a cabo en los cuadernos geomecánicas de la labor y posteriormente digitalizados en Excel. Para calcular el RQD lineal se utiliza.

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

$$\lambda = N^{\circ} \text{ discontinuidades/m}$$

donde:

- RQD = Representa el índice estimado de calidad de la roca (%)
- e = es la constante de Euler, aproximadamente igual a 2,718
- λ = número de discontinuidades /m.

Nombre del proyecto de investigación: Optimización de perforación y voladura mediante la evaluación de clasificaciones geomecánicas en la Rampa 5000 - NV 4235, de Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho 2025																																																													
EJECUTADO POR:		Yorth Cristian Guevara Carbajal				LITOLOGIA		Andesita																																																					
NIVEL	NV 4235																																																												
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)	<10(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	Persistenc	<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)	Húmedo (10)		Mojado (7) X	Goteo (4)	Flujo (0)	7																																																		
Orientación		<table border="1"> <tr> <th colspan="4">Rumbo perpendicular al eje de la excavación</th> <th colspan="4">Rumbo paralelo al eje de la excavación</th> <th rowspan="2">Buzamiento 0°-20° independiente al del rumbo</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Direccion con el buzamiento</th> <th colspan="2">Direccion contra el buzamiento</th> <th colspan="2">Direccion con el buzamiento</th> <th colspan="2">Direccion contra el buzamiento</th> </tr> <tr> <td>Bz</td><td>Bz</td><td>Bz</td><td>Bz</td><td>Bz</td><td>Bz</td><td>Bz</td><td>Bz</td><td></td> </tr> <tr> <td>45°-90°</td><td>20°-45°</td><td>45°-90°</td><td>20°-45°</td><td>45°-90°</td><td>20°-45°</td><td>45°-90°</td><td>20°-45°</td><td></td> </tr> <tr> <td>Muy Favorable</td><td>Favorable</td><td>Regular</td><td>Desfavorable</td><td>Muy Desfavorable</td><td>Regular</td><td>Muy Desfavorable</td><td>Desfavorable</td><td></td> </tr> <tr> <td>0</td><td>-2</td><td>-5</td><td>-10</td><td>-12</td><td>-5</td><td>-10</td><td>-10</td><td></td> </tr> </table>				Rumbo perpendicular al eje de la excavación				Rumbo paralelo al eje de la excavación				Buzamiento 0°-20° independiente al del rumbo	Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento		Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento		Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz		45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°		Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Muy Desfavorable	Desfavorable		0	-2	-5	-10	-12	-5	-10	-10				-5
Rumbo perpendicular al eje de la excavación				Rumbo paralelo al eje de la excavación				Buzamiento 0°-20° independiente al del rumbo																																																					
Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento		Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento																																																							
Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz																																																						
45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°																																																						
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Muy Desfavorable	Desfavorable																																																						
0	-2	-5	-10	-12	-5	-10	-10																																																						
		RMR ₉₉ (Basico) =							47																																																				
		RMR ₉₉ (Corregido) =							42																																																				
Condiciones secas		RMR' ₉₉ (Condiciones Secas) =							40																																																				
		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: Elaboración propia.

Figura 7 — Mapeo geomecánico



El RMR tiene la finalidad de definir la calidad del macizo rocoso, para lo cual la calidad de la roca se hace el uso de los seis parámetros básicos del terreno como son: resistencia de la roca, abertura, rugosidad, relleno y alteración.

Los resultados del cálculo del RMR del macizo rocoso según Bieniawski, indican que el macizo rocoso clasifica dentro de la categoría III (Regular), según el rango de 60 – 41, y al estar más cerca del límite inferior, se aproxima a una clasificación IV (Mala) (calidad del macizo rocoso regular a mala). Esto sugiere que el macizo rocoso presenta condiciones geomecánicas moderadamente desfavorables.

En la Unidad Minera Inmaculada el proceso de perforación y voladura con el diseño de mallas estandarizada, con un arranque de tipo circular, lo cual inicialmente fue aplicada en la rampa 5000.

CLASIFICACION GEOMECANICA				ZONA: III		NIVEL: 4200		LABOR: (-)7300				
RMR				REFER. TOPOG.		FECHA:						
AREA GEOMECANICA				LITOLOGIA:		HECHOPOR:						
REG. TRON		# FAMILIAS DE JUNTAS	AZIMUT(LABOR)	CONDICION DE LA EXPOSICION: FRESCA, DES COMPUESTA, DES INTEGRADA, (5 USURAYAK)								
				DIMENSION DE LA LABOR: 4.50x5.10				BUZAMIENTO: 13%				
VA (en toneladas)	°C	RQD	Espaciamiento entre discontinuidades	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					AGUAS SUBTERRANEAS	Orientacion Discontinuidades	RMR	
				Permeabilidad	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	1	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42
2	1	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42
3	1	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42
4	1	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42
5	1	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42
6	1	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42
7	1	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42
8	1	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42
9	1	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42
10	1	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42
11	1	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42
12	1	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42
13	1	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42
14	1	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42
15	1	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42
16	1	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42
17	1	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42
18	1	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42
19	1	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42
20	1	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42

FUENTE: Elaboración propia.

Figura 8 — Determinación del RMR de la roca en la unidad minera inmaculada.



Después de revisar el diseño de la malla de perforación anterior y observar deficiencias en su aplicación, decidimos rediseñar la malla de perforación. Para ello, hemos considerado la aplicación de las clasificaciones geomecánicas y varios parámetros importantes, como el diámetro del taladro, el tipo de arranque circular que tiene una sola opción de iniciación y el levantamiento geomecánico, los cuales recopilamos directamente de la labor en ejecución.

- **Cálculo del área**

$$\text{Área (s)} = \frac{\pi r^2}{2} + r(A - 2 * r) + A * (H - r)$$

$$\text{Área (s)} = \frac{3,1416 * 1,50^2}{2} + 1,50 * (4,50 - 2 * 1,50) + 4,50 * (4,5 - 1,50)$$

$$\text{Área (s)} = 19,28 \text{ m}^2$$

- **Cálculo de perímetro**

$$P = \pi * r + 2(H - r) + 2(A - r)$$

$$P = 3,1416 * 1,50 + 2(4,50 - 1,50) + 2(4,50 - 1,50)$$

$$P = 16,71 \text{ m}$$

- **Cálculo de número de taladros**

- $\text{N}^\circ \text{ Tal } \frac{P}{dt} + s *$

- $\text{N}^\circ \text{ Tal } = \frac{16,71}{0,75} + 19,28 * 1$

- $\text{N}^\circ \text{ Tal } = 43,56 \text{ taladros}$

- $\text{N}^\circ \text{ Tal } = 43 \text{ taladros}$

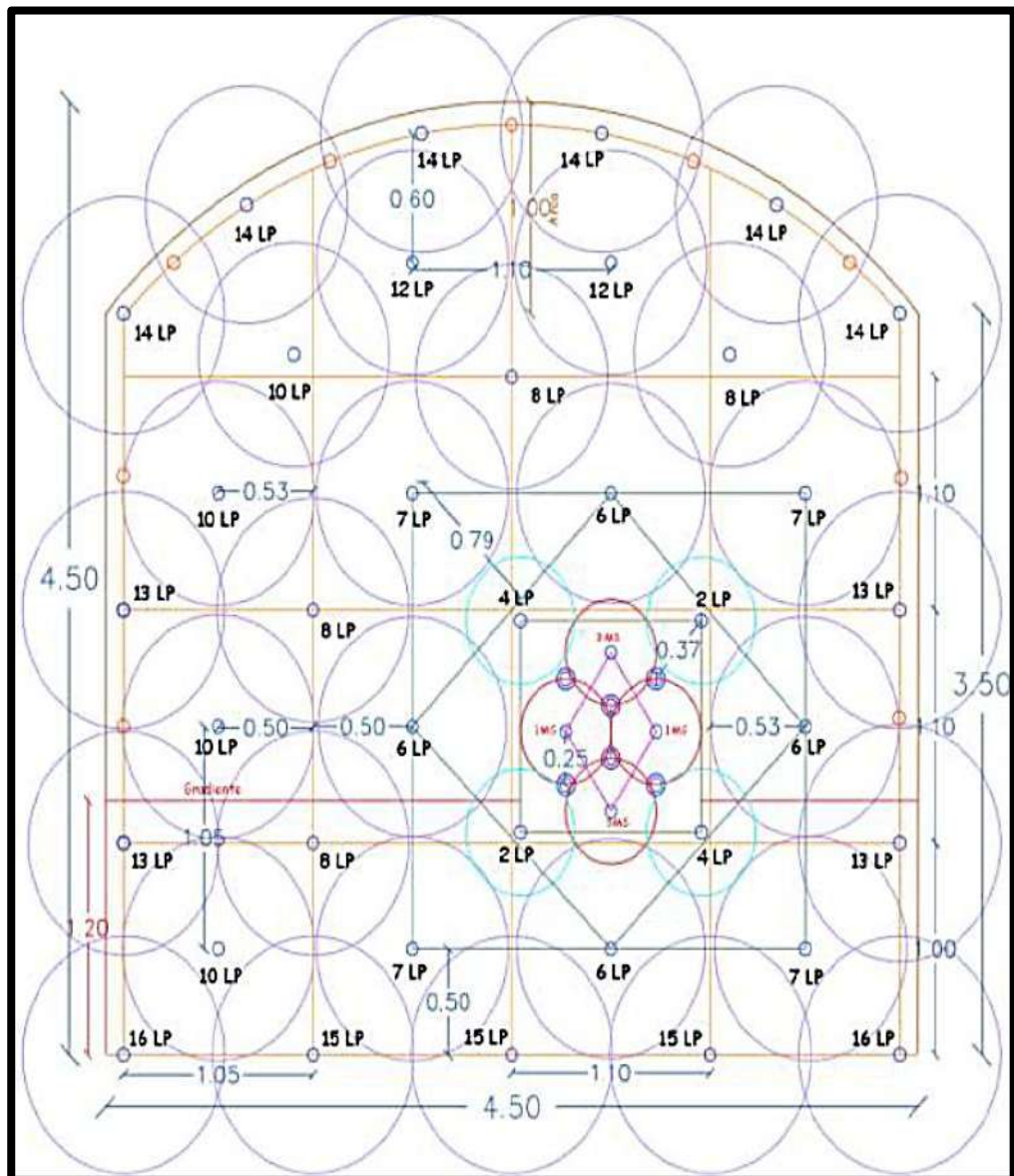
Tabla 23 — Distribución de carga explosiva en malla nueva de perforación y voladura

Parámetro	Valor	Unidad
RQD	65	%
Resistencia a la compresión	968,73	kg/cm ²
Factor de seguridad (Fs)	1,82	—
Diámetro de perforación	0,032	m
Diámetro de taladro (Dt)	0,038	m
Longitud de explosivo (Le)	1,05	m
Acoplamiento (Ac)	111,1	%
Longitud de perforación	3,96	m
Número de cartuchos	1	Cart/tal
Presión de detonación (Cc)	94,73	Kbar
Presión de detonación (Cf)	95,3	Kbar
Longitud carga explosiva	1,05	m
Longitud columna de confinamiento	2,905	m
Longitud total de carga (Lcarga)	1,05	m
Presión detonación del taladro	305,73	Kbar
Factor de carga de fondo (Fcf)	3,89	%
Factor de carguío de columna (Fc)	2,44	%
Presión de detonación del taladro	30132,61	kg/cm ²
Burden nominal	0,42	m
Burden (Bn)	1,24	m
Burden (BI)	0,66	m
Espaciamiento (S)	0,56	m

FUENTE: Elaboración propia.

- **Diseño de la nueva malla perforación**

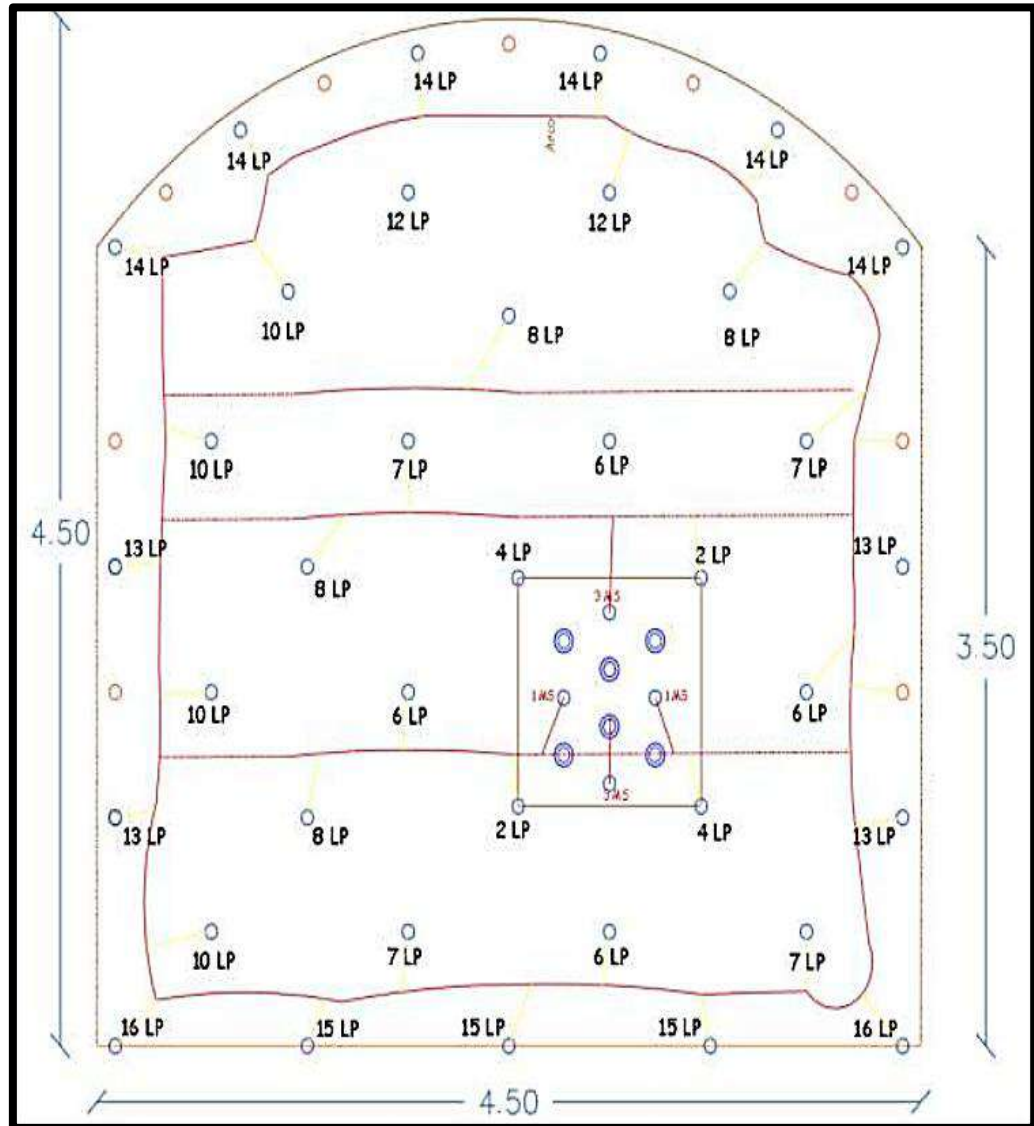
Se presenta la malla de perforación optimizada en el tipo de arranque, malla de perforación en la rampa negativa 5 000 con una sección de 4,5 m x 4,5 m. con un arranque de tipo “H”, así como un total de 41 taladros con diámetro de 45 mm más rimados de con diámetro de 102 mm. Se utilizaron barrenos de 14 pies, sin embargo, debido a las recomendaciones del área de geomecánica, y considerando las condiciones geomecánicas del terreno, se estableció que la perforación debía ser de 3,96 m de longitud.



FUENTE: Área de voladura Unidad Minera Inmaculada (2025).

Figura 9 — Distribución de los taladros en función de su zona de influencia





FUENTE: Área de voladura Unidad Minera Inmaculada (2025).

Figura 10 — Malla de voladura

Teniendo los datos hallamos la optimización de perforación y voladura

- **Volumen excavado = Área sección × Avance**

$$V = 4,5m \times 4,5m \times 3,5m = 70,875 m^3$$

- **Factor de carga (Fc)**

$$FC = \frac{\text{Cantidad de explosivo (kg)}}{\text{Volumen roto (m}^3\text{)}}$$



$$FC = \frac{115,68}{70,875} = 1,63 \text{ kg/m}$$

- **Factor de potencia**

$$Fp = \frac{\text{Cantidad de explosivo (Kg)}}{\text{Volumen roto (Tn)}}$$

$$Fp = \frac{115,68 \text{ Kg}}{187,82 \text{ Tn}} = 0,62 \text{ kg/Tn}$$

- **Factor de carga lineal**

$$FC = \frac{\text{Cantidad de explosivo (Kg)}}{\text{Metro lineal (m)}}$$

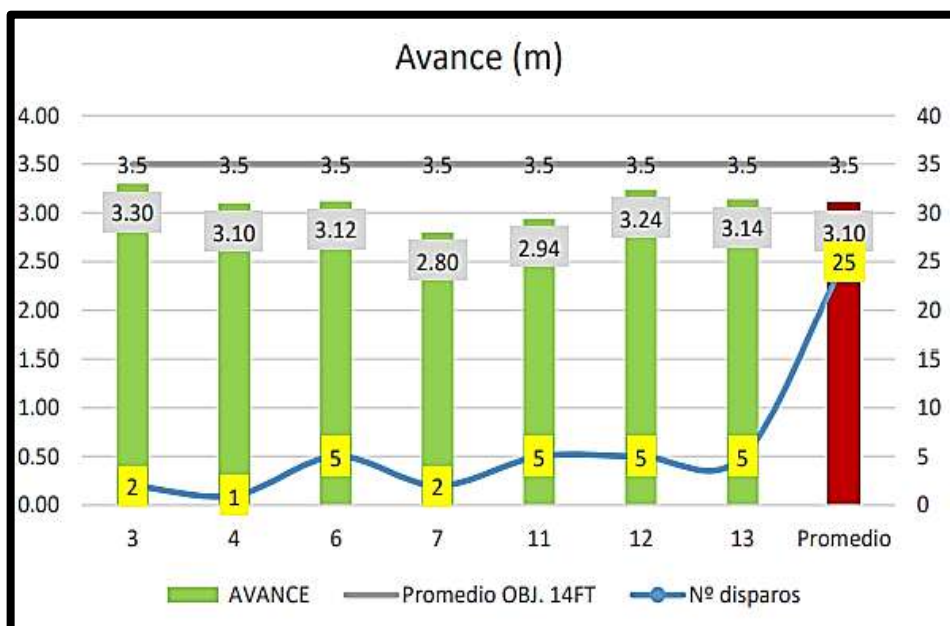
$$FC = \frac{115,68 \text{ Kg}}{136,23 \text{ m}} = 0,85 \text{ kg/m}$$

Tabla 24 — Análisis empleados en 3 semanas promedios de perforación y voladura

Semana N.º	Disparos	Prom. Avance (m)	Prom. Explosivos (kg)	Prom. F.P. (kg/Tn)	Prom. F.C.L. (kg/m.l.)	Prom. Sobrerotura (%)
3	2	3,30	113,53	0,55	34,69	23,47
4	1	3,10	113,41	0,58	36,58	23,93
6	5	3,12	113,61	0,61	36,44	19,24
7	2	2,80	113,53	0,68	40,60	19,40
11	5	2,94	113,46	0,65	39,00	20,90
12	5	3,24	113,51	0,59	35,27	19,21
13	5	3,14	113,46	0,63	36,47	17,38

FUENTE: Elaboración propia.

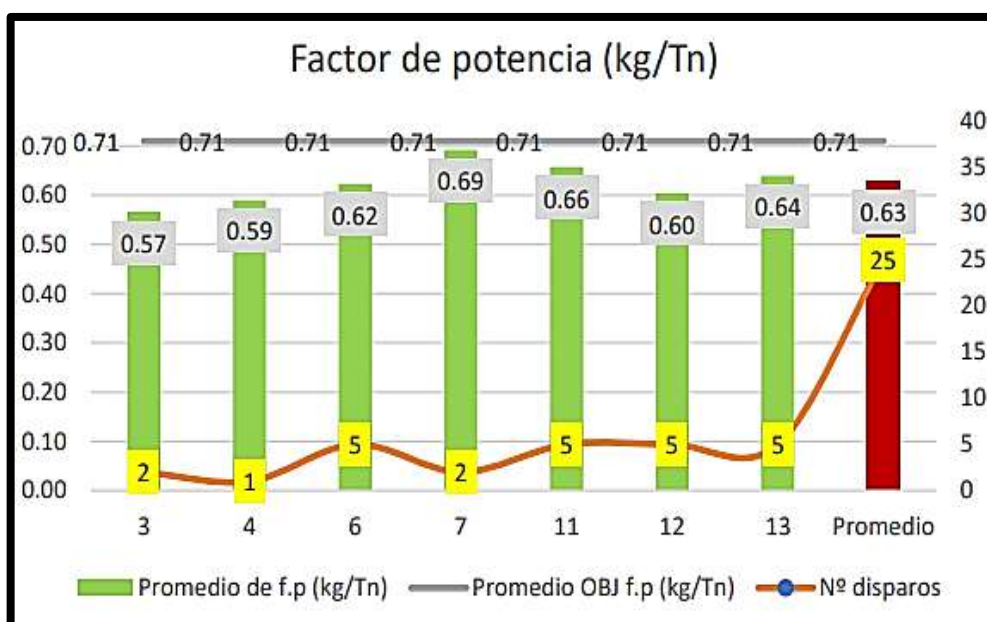




FUENTE: Elaboración propia.

Figura 11 — Promedio de avance de perforación

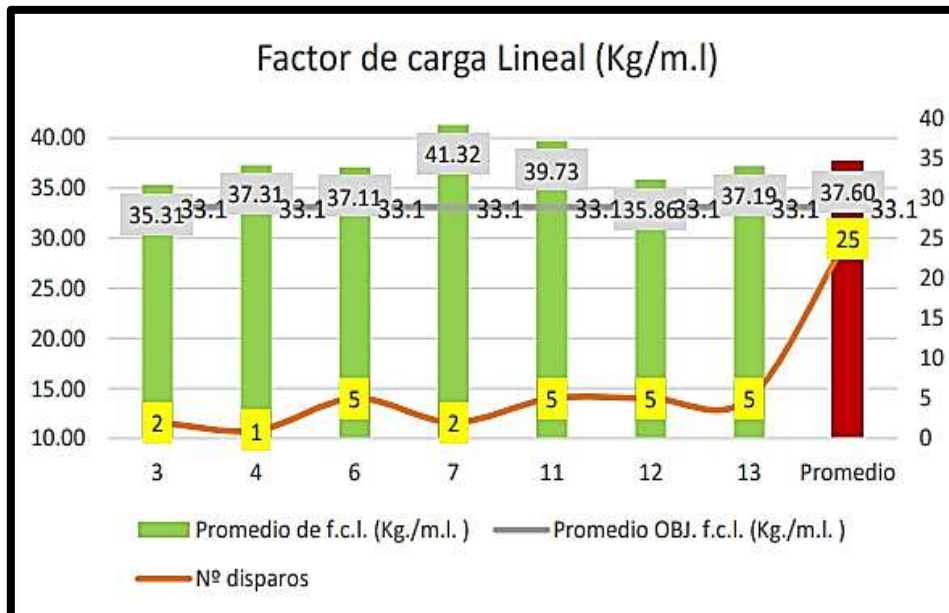
Se observa que el avance promedio es 3,10 metros la cual está por debajo del avance planeado de 3,50, con una diferencia de 0,40 m. Esto sugiere que hay deficiencias en la aplicación de la malla de perforación y voladura estandarizada.



FUENTE: Elaboración propia.

Figura 12 — Promedio factor de potencia

El factor de potencia promedio en la malla con arranque circular es de 0,62 lo cual indica que estamos por debajo de 0,71; que es el estándar en la unidad minera, contrastando con el avance no indica que hay mucha sobrerotura.



FUENTE: Elaboración propia.

Figura 13 — Promedio de carga lineal

Tabla 25 — Análisis comparativo antes y después de perforación y voladura

OPERACIÓN	UNIDAD	ANTES	DESPUÉS	Δ
Sección		4,50X4,50	4,50X4,50	
Tipo de roca	Según GSI	III B	III B	ANDESITA
Longitud de barra de perforación	pies	14	14	
Longitud efectiva de perforación	metro	3,96	3,96	
Tipo de arranque		Circular	Hexagonal	
Taladros rimados	taladros	6	6	0,0
Taladros de alivio de recortes	taladros	9	9	0,0
Taladros cargados	taladros	43	41	2
Taladros perforados	taladros	58	56	2
Metros perforados por disparo	metros	229,68	221,76	7,92
Emulsión 3000 de 1 1/4" x 12"	kilogramos	65,43	61,97	3,46
Emulsión 1000 de 1 1/4" x 12"	kilogramos	50,25	48,75	1,5
Explosivos Kg/disparo	kilogramos	115,68	110,72	4,96
Avance promedio	metros	3,1	3,39	0,29
Sobrerotura	%	19,70%	8,30%	11,40%
Eficiencia de voladura	%	78,28%	85,61%	7,32%
Volumen promedio por disparo	m ³	68,63	72,8	-4,17
Factor de carga lineal	kg/m	37,6	32,8	4,8
Factor de carga promedio	kg/Tn	0,65	0,58	007
Costo de perforación y voladura	US\$/m	359,69	304,72	54,97

FUENTE: Elaboración propia.

El análisis comparativo de los resultados obtenidos antes y después de la modificación en el diseño de perforación y voladura muestra mejoras significativas en la operación. El cambio de arranque circular a hexagonal generó una disminución en el consumo de explosivos por disparo, con una reducción de 4,96 kg, lo que representa un uso más eficiente de los insumos. Asimismo, se observa un incremento del avance promedio de 3,10 m a 3,39 m, reflejando mayor rendimiento por ciclo. La sobre rotura se redujo de manera notable, pasando de 19,7% a 8,3%, lo que implica una mejor estabilidad del macizo rocoso y reducción de daños estructurales. La eficiencia de voladura mejoró en 7,32%, alcanzando 85,61%, lo que confirma un mejor aprovechamiento de la energía de los explosivos. Además, el costo de perforación y voladura por metro disminuyó de 359,69 US\$/m a 304,72 US\$/m, generando un ahorro de 54,97 US\$/m. Estos resultados evidencian que la nueva metodología aplicada es más eficiente, económica y compatible con la clasificación geomecánica del macizo rocoso (III B).

5.1.2 Establecer la relación de optimización de la perforación y voladura con las propiedades mecánicas del macizo rocoso en la Rampa 5 000 - NV 4 235, de la Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho – 2025.

Se ha clasificado el macizo rocoso del área de estudio mediante la utilización del Sistema RMR (Rock Mass Rating – Valoración de la masa rocosa) de Bieniawski (1989), también se ha utilizado el índice de caracterización GSI (Geological Strength Index – Índice de Resistencia Geológico) de Hoek et al. (1994 – 2002), Q Barton 2002.

Se ha realizado la zonificación de acuerdo a la agrupación espacial de la clasificación geomecánica producto del mapeo geomecánico en la ejecución de la Rampa 5 000 - NV 4 235, Mediante esta actividad se han determinado los dominios estructurales (zonas de similares características geomecánicas), los cuales han sido delimitados tomando en cuenta los aspectos litológicos, estructurales y de calidad de la masa rocosa. Esta información, es muy importante para los análisis de diseño.



Tabla 26 — Zonificación de las propiedades mecánicas

DOMINIO ESTRUCTURAL 01								
MUESTR A	LITOLÓGÍA	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	4,0 9	132,04
M-2	ANDESITA	52,00	48,00	50,00	115,00	25,00	3,4 1	115,84
M-3	ANDESITA	53,00	50,00	51,50	98,00	26,00	4,0 5	131,11
M-4	ANDESITA	45,00	45,00	45,00	100,00	27,00	4,7 1	146,63
PROMEDIO								131,41
DOMINIO ESTRUCTURAL 02								
MUESTR A	LITOLÓGÍA	SECCIÓN DE LA MUESTRA				CARGA (P)	Is	C
		W1	W2	ANCHO	LARGO			
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(KN)	(Mpa)	
M-1	ARENISCA	62,00	58,00	60,00	118,00	26,00	2,8 8	105,21
M-2	ARENISCA	49,00	48,00	48,50	108,00	27,00	4,0 5	132,91
M-3	ARENISCA	53,00	50,00	51,50	130,00	28,00	3,2 8	117,51
M-4	ARENISCA	45,00	45,00	45,00	100,00	28,00	4,8 9	152,06
PROMEDIO								126,93
PROMEDIO								134,40
PROMEDIO TOTAL								139,91
FUENTE: Elaboración propia.								

Tabla 27 — Parámetros de clasificación y sus valoraciones

A. 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 compresión uniaxial		
		Resistencia compresiva uniaxial	>250MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	Valora	15	12	7	4	2	1	0	
2	Calidad de testigo de perforación RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25		
	Valora		20	17	13	8	3		
3	Espaciamiento de discontinuidades		>2m	0,6-2m	0,2-0,6m	60-200	<60mm		
	Valora		20	15	10	8	5		
4	Condiciones de las discontinuidades		Superficies muy rugosas no continuas Cerradas sin apertura Paredes rocosas sanas	Superficies ligeramente rugosas Apertura<1 mm Paredes ligeramente intemper.	Superficies ligeramente 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		
	Valora		30	25	20	10	0		
5	Agua subterránea	Flujo de 10m de longitud de túnel(l/m) presión de agua / principal máximo	Ningun o 0	< 10	10-25	25-125	>125		
		Condición general	Completamente seco	<0,1 Húmedo	<0,1 Mojado	0,1-0,2 Goteo	>0,5 Flujo		
	Valora		15	10	7	4	0		

FUENTE: Elaboración propia.

Los resultados del cálculo del RMR del macizo rocoso, indican que el macizo rocoso clasifica dentro de la categoría III (Regular), según el rango de 60 – 41, y al estar más cerca del límite inferior, se aproxima a una clasificación IV (Mala) (calidad del macizo rocoso regular a mala). Esto sugiere que el macizo rocoso presenta condiciones geomecánicas moderadamente desfavorables.



Tabla 28 — Sistema de RMR de las clasificaciones geomecánicas

SISTEMA RMR																																																											
PARÁMETROS				VALOR							VALOR																																																
Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)				140	>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				<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Rumbo perpendicular al eje de la excavación</th> <th colspan="4">Rumbo paralelo al eje de la excavación</th> <th rowspan="3">Buzamiento 0°-20° independient e del rumbo</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Direccion con el buzamiento</th> <th colspan="2">Direccion contra el buzamiento</th> <th colspan="2">Direccion con el buzamiento</th> <th colspan="2">Direccion contra el buzamiento</th> </tr> <tr> <th>Bz</th> <th>Bz</th> <th>Bz</th> <th>Bz</th> <th>Bz</th> <th>Bz</th> <th>Bz</th> <th>Bz</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>45°-90°</td> <td>20°-45°</td> <td>45°-90°</td> <td>20°-45°</td> <td>45°-90°</td> <td>20°-45°</td> <td>45°-90°</td> <td>20°-45°</td> </tr> <tr> <td>Muy Favorable</td> <td>Favorable</td> <td>Regular</td> <td>Desfavorable</td> <td>Muy Desfavorable</td> <td>Regular</td> <td>Desfavorable</td> <td>Desfavorable</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>-2</td> <td>-5</td> <td>-10</td> <td>-12</td> <td>-5</td> <td>-10</td> <td>-10</td> </tr> </tbody> </table>						Rumbo perpendicular al eje de la excavación				Rumbo paralelo al eje de la excavación				Buzamiento 0°-20° independient e del rumbo	Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento		Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento		Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	Desfavorable	0	-2	-5	-10	-12	-5	-10	-10	-5
Rumbo perpendicular al eje de la excavación				Rumbo paralelo al eje de la excavación				Buzamiento 0°-20° independient e del rumbo																																																			
Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento		Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento																																																					
Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz																																																				
45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°																																																				
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	Desfavorable																																																				
0	-2	-5	-10	-12	-5	-10	-10																																																				
										RMR₈₉ (Basico) = 47																																																	
										RMR₈₉ (Corregido) = 42																																																	
Condiciones secas				RMR'₈₉ (Condiciones Secas)= 40																																																							
					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: Elaboración propia.



Tabla 29 — Evaluación de la optimización de perforación y voladura

Parámetro	Recomendación para optimización
Tipo de corte	Corte en quemado (burn cut), que ya se está utilizando.
Explosivo en contorno	Uso de cartuchos de menor energía , para evitar sobrerotura.
Diámetro y espaciamiento	Espaciado entre taladros: 0,9 a 1,0 m (máximo), para controlar la fragmentación.
Longitud de taladro	Se puede mantener en 3,3 m como el avance planeado.
Retacado	Al menos 30% del taladro debe retacarse adecuadamente para mejorar la eficiencia del disparo.
Secuencia de disparo	Iniciar con el corte y seguir por zonas laterales y de contorno para mejorar la fragmentación.
Factor de Potencia (FP)	Se estima un FP $\approx 1,7 \text{ kg/m}^3$ → valor adecuado para roca media . No requiere aumento de carga.
FUENTE: Elaboración propia.	

La clasificación RMR como herramienta de análisis fue fundamental para optimizar los parámetros de perforación y voladura, garantizando eficiencia, seguridad y sostenibilidad en la operación minera. al conocer la calidad media del macizo rocoso, fue posible ajustar el diseño de malla con espaciamientos adecuados, reduciendo la sobrerotura y mejorando la uniformidad de la fragmentación. Asimismo, la elección de explosivos de menor energía en el contorno respondió a la necesidad de proteger la estabilidad de la excavación. El análisis geomecánico también orientó la determinación de la longitud de los taladros y del retacado, garantizando un uso eficiente de la energía del explosivo. La secuencia de disparo fue optimizada siguiendo criterios derivados de la clasificación, lo que mejoró el control sobre la liberación de tensiones en el macizo. Estas medidas permitieron no solo mejorar el rendimiento técnico de la voladura, sino también reducir costos operativos y riesgos de inestabilidad.

La clasificación geomecánica RMR en la Rampa 5 000 - NV 4 235, que arroja un promedio de RMR ≈ 47 (roca de calidad media), se concluye que es posible **optimizar la operación de perforación y voladura** mediante el uso de explosivos de menor energía en taladros de contorno, control de espaciamientos, secuencias de disparo adecuadas y una correcta técnica de

retacado. Estas medidas permitirán reducir la sobrerotura, mejorar la fragmentación y disminuir los costos operativos, sin comprometer la estabilidad del macizo rocoso.

5.1.3 Determinar la relación de optimización de la perforación y voladura con las propiedades físicas del macizo rocoso en la Rampa 5 000 - NV 4 235, de la Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho – 2025.

Tabla 30 — Propiedades físicas del macizo rocoso

Dominio Estructura I	Muestra	Litología	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Carga (kN)	UCS (MPa)
Dominio 01	M-1	Andesita	54	120	317,25	138,52
	M-2	Andesita	54	120	315,9	137,93
	M-3	Andesita	54	135	297,5	129,9
	M-4	Andesita	54	135	284,1	124,05
Dominio 02	M-1	Andesita	54	120	291,3	127,19
	M-2	Andesita	54	135	319,91	139,68
	M-3	Andesita	54	136	310,57	135,61
	M-4	Andesita	54	134	270,12	117,94
FUENTE: Elaboración propia.						



- **Densidad**

$$\gamma = \frac{\text{Peso seco } \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)}{\text{Volumen}}$$

- **Peso Específico Aparente**

$$\text{P.E.A.} = \frac{\text{Peso seco} \times 9,81(\text{KN/m}^3)}{\text{Volumen}}$$

- **Porosidad Aparente**

$$\text{P.a.} = \frac{\text{Peso Saturado} - \text{Peso Seco} \times 100 (\%)}{\gamma_w \times \text{volumen}}$$

- **Absorción (en peso)**

$$\text{Abs} = \frac{\text{Peso Saturado} - \text{Peso Seco} \times 100 (\%)}{\text{Peso Seco}}$$

Siendo: γ_w = Densidad del agua (g/cm^3)

- **Cálculos de las muestras del dominio estructural 01**

$$\text{Muestra 1 } \sigma_c = \frac{P}{(\pi D^2/4)} = 317,25 \text{ KN}/(\pi \times 0,054\text{m}^2/4) = 138,52 \text{ Mpa}$$

$$\text{Muestra 2 } \sigma_c = \frac{P}{(\pi D^2/4)} = 315,90 \text{ KN}/(\pi \times 0,054\text{m}^2/4) = 137,93 \text{ Mpa}$$

$$\text{Muestra 3 } \sigma_c = \frac{P}{(\pi D^2/4)} = 297,50 \text{ KN}/(\pi \times 0,054\text{m}^2/4) = 129,90 \text{ Mpa}$$

$$\text{Muestra 4 } \sigma_c = \frac{P}{(\pi D^2/4)} = 284,10 \text{ KN}/(\pi \times 0,054\text{m}^2/4) = 124,05 \text{ Mpa}$$

- **Cálculos de las muestras del dominio estructural 02**

$$\text{Muestra 1 } \sigma_c = \frac{P}{(\pi D^2/4)} = 291,30 \text{ KN}/(\pi \times 0,054\text{m}^2/4) = 127,19 \text{ Mpa}$$

$$\text{Muestra 2 } \sigma_c = \frac{P}{(\pi D^2/4)} = 319,91 \text{ KN}/(\pi \times 0,054\text{m}^2/4) = 139,68 \text{ Mpa}$$

$$\text{Muestra 3 } \sigma_c = \frac{P}{(\pi D^2/4)} = 310,57 \text{ KN}/(\pi \times 0,054\text{m}^2/4) = 135,61 \text{ Mpa}$$

$$\text{Muestra 4 } \sigma_c = \frac{P}{(\pi D^2/4)} = 270,12 \text{ KN}/(\pi \times 0,054\text{m}^2/4) = 117,94 \text{ Mpa}$$

- **Demostración de los cálculos de las propiedades físicas**

Cálculos de densidad

Pesos secos obtenidos:

Peso seco de la muestra 1=107,28 g

Peso seco de la muestra 2=109,11 g

Volumen de muestras obtenidas:



Volumen de la muestra 1 = 41,58 cm³

Volumen de la muestra 2 = 42,13 cm³

γ = Peso Seco (gr/cm³) / volumen

Densidad M1= 107,28 g/41,58cm³ = 2,58 (g/cm³)

Densidad M2= 109,11 g/42,13cm³ = 2,59 (g/cm³)

- **Cálculos de peso específico aparente**

P.E.A. = Peso Seco x 9,81 (KN/m³) / volumen

P.E.A. M1 = 107,28 g x 9,81 (KN/m³) = 25,31 (KN/m³)
41,58 cm³

P.E.A. M2 = 109,11 g x 9,81 (KN/m³) = 25,41 (KN/m³)
42,13 cm³

- **Cálculos de porosidad aparente**

P.a = Peso saturado - Peso seco x 100 (%) / γ_w x volumen

Peso saturado de la muestra 1=108,36 g

Peso saturado de la muestra 2=110,30 g

- **Cálculos de absorción**

P.a = Peso saturado - Peso seco x 100 (%) / Peso seco

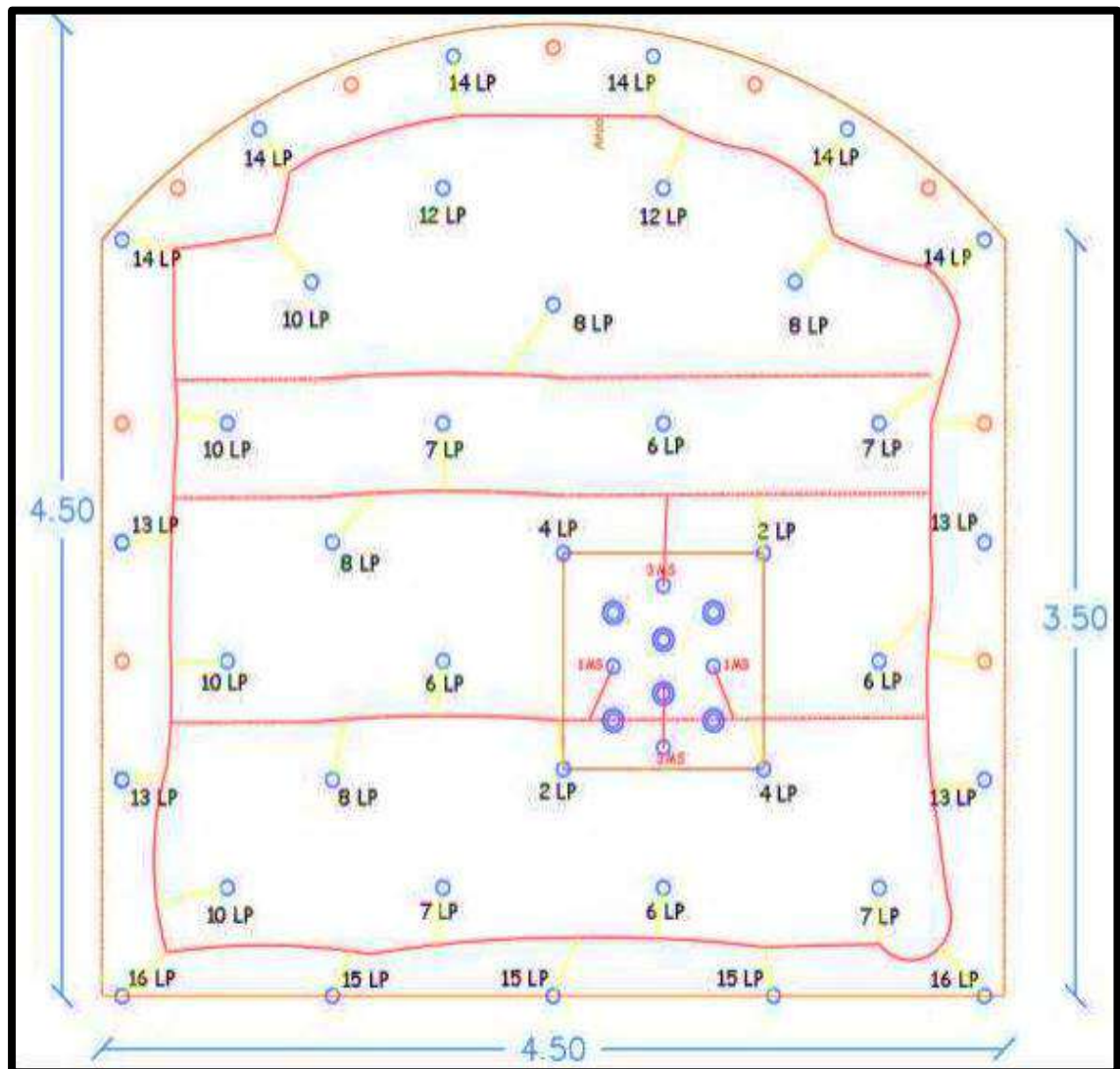
Pesos saturados obtenidos:

Peso saturado de la muestra 1=108,36 g

Peso saturado de la muestra 2=110,30 g

Abs M1 = 108,36 g – 107,28gr x 100 (%) = 1,01
107,28 g

Abs M2 = 110,30 g – 109,11gr x 100 (%) = 1,09 %
109,11 g



FUENTE: Área de voladura Unidad Minera Inmaculada (2025).

Figura 14 — Secuencia de la malla de perforación a partir de las propiedades físicas del macizo rocoso

Según la clasificación geomecánica de Bieniawski, los parámetros obtenidos indican una resistencia del macizo rocoso de aproximadamente 130 MPa, con un RQD cercano al 40%. 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 42 MPa.

La optimización de la perforación y voladura está estrechamente vinculada a las propiedades físicas del macizo rocoso, como la densidad, porosidad, textura, estructura, humedad y grado de alteración. Estas propiedades influyen en la manera en que la roca

transmite, absorbe y resiste la energía de los explosivos. En rocas densas y compactas se requiere mayor energía específica, lo que obliga a reducir el burden y espaciamiento, además de aumentar la carga lineal de explosivo para obtener una fragmentación eficiente. En cambio, en rocas más porosas, alteradas o con humedad elevada, la energía del explosivo se disipa con mayor facilidad, por lo que se ajusta la malla para evitar sobre fragmentación y sobreconsumo de insumos. La correcta evaluación de estas propiedades físicas permite definir parámetros como diámetro de taladro, longitud de perforación, tipo de explosivo y factor de carga. De esta manera, se logra un arranque más controlado, con adecuada granulometría, reducción de costos y mayor seguridad operacional. En conclusión, la relación se basa en que el conocimiento de las propiedades físicas del macizo rocoso es la base para diseñar y ejecutar de forma óptima la perforación y voladura en la Rampa 5 000 – NV 4 235 de la Unidad Minera Inmaculada.

5.1.4 Estimar el impacto económico que tendrá la optimización de la perforación y voladura con implementación de una malla adecuada la Rampa 5000 - NV 4235, de la Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho – 2025.

Tabla 31— Análisis de costos de perforación y voladura propuesta

Descripción	s/disparo	s/m	US\$/disparo	US\$/m
1. Mano de obra	524,29	154,66	134,43	39,66
2. Aceros de perforación	416,96	123	106,91	31,54
3. Herramientas y otros	153,77	45,36	39,43	11,63
4. Implementos de seguridad	63,58	45,36	16,3	11,63
5. Equipos	1304,71	384,87	334,54	98,68
Sub-total costos directos	2463,31	778,67	631,62	199,66
Utilidad		77,87		19,97
Total costos directos		856,54		219,63
6. Explosivos y accesorios	288,46		288,46	85,09
COSTO TOTAL				304,72

FUENTE: Elaboración propia.



El costo promedio por disparo durante la aplicación de la malla estandarizada es de 304,72 US\$ por metro.

Comparación de resultados entre la malla estandarizada y la propuesta

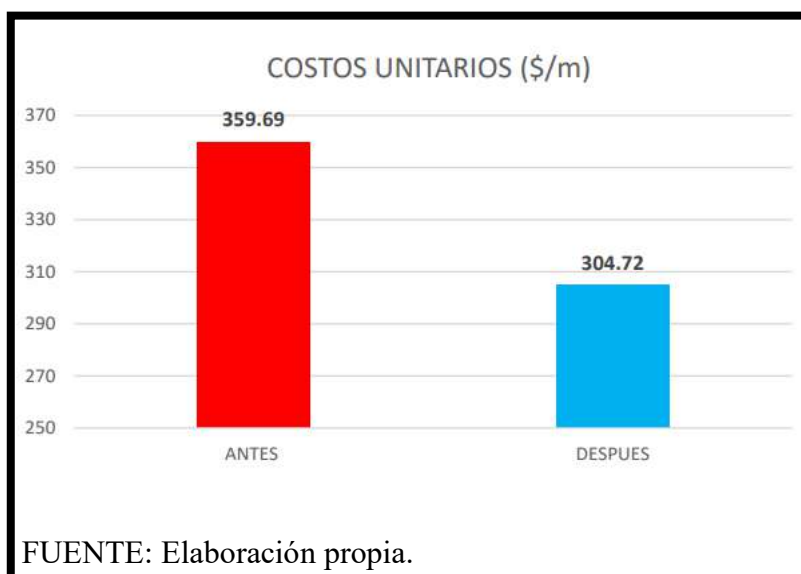
Se llevó a cabo un seguimiento de los 41 disparos en campo para analizar los resultados del nuevo diseño malla de perforación y la nueva distribución de carga explosiva, lo que permitió determinar la eficiencia al implementar la nueva malla con arranque hexagonal. 9.10%, 9.56%, 7.34%, 6.61%, 8.30%, 12%, 12%, 12%, 12%, 12% y 8, 14, 15, 16 y 18. Promedio Sobrerotura (10%). Se presentan los resultados de las pruebas realizadas con la malla de perforación y voladura estandarizada, así como con la malla propuesta para la optimización. Se detalla la diferencia en los promedios de los parámetros y costos de perforación y voladura en la rampa 5 000.

Tabla 32 — Análisis comparativo antes y después de perforación y voladura

OPERACIÓN	UNIDAD	ANTES	DESPUÉS	Δ
Sección		4.50X4.50	4.50X4.50	
Tipo de roca	Según GSI	III B	III B	ANDESITA
Longitud de barra de perforación	pies	14	14	
Longitud efectiva de perforación	metro	3,96	3,96	
Tipo de Arranque		Circular	Hexagonal	
Taladros rimados	taladros	6	6	0
Taladros de alivio de recortes	taladros	9	9	0
Taladros cargados	taladros	43	41	2
Taladros perforados	taladros	58	56	2
Metros perforados por disparo	metros	229,68	221,76	7,92
Emulsión 3000 de 1 1/4" x 12"	kilogramos	65,43	61,97	3,46
Emulsión 1000 de 1 1/4" x 12"	kilogramos	50,25	48,75	1,5
Explosivos Kg/disparo	kilogramos	115,68	110,72	4,96
Avance promedio	metros	3,1	3,39	0,29
Sobrerotura	%	19,70%	8,30%	11,40%
Eficiencia de voladura	%	78,28%	85,61%	7,32%
Volumen promedio por disparo	m ³	68,63	72,8	-4,17
Factor de carga lineal	kg/m	37,6	32,8	4,8
Factor de carga promedio	kg/Tn	0,65	0,58	0,07
Costo de perforación y voladura	US\$/m	369,69	302,72	52,97

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 33 — Costo por disparo de pres y post implantación de la nueva malla



El seguimiento de costos de perforación en relación con los metros de avance mostró que el uso de la nueva malla de perforación con arranque hexagonal, en lugar de la circular, permitió reducir el costo unitario de 359,69 US\$/m a 304,72 US\$/m, logrando un ahorro de 54,97 US\$/m en costos.

La implementación de una malla de perforación optimizada con arranque hexagonal, en reemplazo del diseño circular estandarizado, permitió mejorar significativamente los indicadores operativos en la construcción de la rampa negativa 5 000. El seguimiento de 43 disparos en campo evidenció una reducción promedio del costo unitario de perforación y voladura de 359,69 US\$/m a 304,72 US\$/m, logrando un ahorro de 54,97 US\$/m. Asimismo, se observó una disminución en los niveles de sobrerotura, lo que contribuye directamente a la eficiencia del arranque y al control de sobreexcavación. Estos resultados confirman que la evaluación geomecánica aplicada al diseño de malla y distribución de carga explosiva permite optimizar los procesos de perforación y voladura, generando beneficios técnicos y económicos tangibles. La adaptación del diseño a las condiciones reales del macizo rocoso no solo mejora el rendimiento operativo, sino que también fortalece la planificación estratégica en labores subterráneas.



5.2. Discusiones

Discusión 1.

La intención de esta investigación fue estimar la optimización de perforación y voladura mediante la evaluación de clasificaciones geomecánicas en la Rampa 5 000 - NV 4 235, de Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho 2025, a optimización del proceso de perforación y voladura en minería subterránea depende directamente del conocimiento detallado del comportamiento del macizo rocoso, el cual puede evaluarse eficazmente mediante clasificaciones geomecánicas como el RMR (Rock Mass Rating) y el Q de Barton. Estas herramientas permiten caracterizar las condiciones geomecánicas del entorno, facilitando decisiones técnicas más precisas respecto al diseño de mallas de perforación, la selección de explosivos y el espaciamiento entre taladros.

Este hallazgo guarda relación por encontrado por Arango (2020) quien en su investigación “Optimización del proceso de Perforación y Voladura en una mina dedicada a la extracción metálica a pequeña escala en la comunidad la Fortuna, Ponce Enríquez”, estudio el proceso de perforación y voladura en la Sociedad Minera “Los Caprichosos Reina del Rosario”, mediante la aplicación del modelo matemático de Holmberg. Esto buscaba mejorar aspectos económicos, productivos y operativos relacionados con el avance de las galerías. La pequeña empresa minera, que hasta entonces empleaba métodos empíricos y poco técnicos, necesitaba mejorar la eficiencia del avance en sus frentes de trabajo. Para alcanzar un avance superior al 95%, se realizó un análisis del proceso operativo, el tipo de roca y los explosivos usados. Basándose en ello, se diseñó y aplicó una malla de perforación utilizando el método de Holmberg y el modelo Kuz-Ram, con el fin de controlar el tamaño de los fragmentos en el frente de explotación. Los resultados mostraron un avance del 97,03%, una disminución en el costo de perforación de US\$0,07 por metro y un ahorro de US\$18,80 por frente de trabajo tras la implementación de esta malla.

Discusión 2.

La estimación de la optimización del proceso de perforación y voladura en la Rampa 5000 - NV 4235 de la Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho 2025, a partir de las propiedades mecánicas del macizo rocoso, es un aspecto fundamental para mejorar la eficiencia y seguridad en la explotación minera. Las características mecánicas del macizo rocoso, como la resistencia a la compresión, la tenacidad, la fracturabilidad y la heterogeneidad, influyen directamente en la selección de parámetros de perforación y voladura. Un adecuado conocimiento y evaluación de estas propiedades permite diseñar una malla de perforación óptima, elegir el tipo y cantidad de explosivo adecuados, y establecer un patrón de voladura que favorezca la fragmentación controlada del material, evitando daños innecesarios al macizo rocoso y reduciendo costos operativos. Además, la optimización basada en las propiedades geomecánicas contribuye a mejorar la estabilidad de la rampa, la seguridad del personal y equipos minimizando riesgos de colapsos o vibraciones excesivas.

Guarda relación con la investigación del estudio de Condori (2020) enfocado en optimizar la perforación y voladura en la minera aurífera Estrella de Chaparra S.A. mediante el método de Roger Holmberg. La investigación utilizó un enfoque descriptivo, analítico y aplicado con diseño experimental y método hipotético-deductivo. Como resultado, se redujo significativamente el número de perforaciones y los costos de perforación y voladura bajaron de US\$11,39 a US\$6,68 por tonelada métrica. Además, la producción aumentó a 11,13 toneladas por broca con un contenido de oro de 28,04 g Au por broca. La optimización se logró diseñando una malla de perforación de 2 x 10 metros. Esto mejoró la eficiencia y rentabilidad en el proceso de voladura.

Discusión 3.

La optimización de la perforación y voladura en la Rampa 5 000 - NV 4 235, de la Unidad Minera Inmaculada, depende en gran medida de las propiedades físicas del macizo rocoso. Características como la densidad, porosidad y dureza influyen directamente en la fragmentación y el comportamiento del material durante la voladura. Conocer estas propiedades permite ajustar parámetros como el espaciamiento de perforación y la carga explosiva para maximizar la eficiencia. Además, una adecuada evaluación física ayuda a minimizar costos y daños al macizo, garantizando mayor seguridad. Así, se mejora el avance en la rampa con un uso más racional de recursos. En resumen, integrar las propiedades físicas es clave para una voladura optimizada y rentable.

Esta investigación guarda relación con el estudio de Calderon (2018), en su tesis sobre la optimización de perforación y voladura en la minera Macdesa, busca aumentar la producción y reducir costos mediante mejoras en estos procesos. La investigación responde a cómo optimizar dichos procedimientos para maximizar el avance y producción, minimizando gastos. Se emplea una metodología descriptiva, analítica y aplicada con diseño experimental y método hipotético-deductivo. Los resultados muestran que la implementación de buenas prácticas reduce significativamente las fallas en la voladura. Además, se evidencia que desconocer estas prácticas genera costos elevados en perforación y voladura. En conclusión, mejorar estos procesos es clave para la eficiencia operativa y económica.

Discusión 4.

La evaluación del impacto económico de la optimización en perforación y voladura en la Rampa 5 000 – NV 4 235 de la Unidad Minera Inmaculada (Ayacucho – 2025) evidenció que la aplicación de una nueva malla de perforación con diseño hexagonal, en reemplazo de la circular, permitió disminuir el costo por metro de avance de 359,69 US\$/m a 304,72 US\$/m, lo que representa un ahorro de 54,97 US\$/m.

Esta investigación guarda relación con el estudio de Gamboa (2019), en la tesis de pregrado presentado a la universidad de UNSCH de título denominado “Evaluación



geomecánica del macizo rocoso para la aplicación de optimización de perforación y voladura en la mina Hércules – Minera Lincuna S.A” tuvo como objetivo de esta investigación fue determinar el estado geomecánico del macizo rocoso en la mina Hércules, aplicando una metodología basada en el método científicos, De acuerdo con la clasificación GSI, en el nivel 4 300 de la mina Hércules se encontraron rocas con calidades variables, desde buenas (RMR entre 51 y 70) hasta malas (RMR entre 21 y 40), con valores de RMR entre 21 y 75 y de Q entre 3 y 9. Esta caracterización geomecánica no solo permitió reconocer los tipos de roca predominantes, sino también establecer los costos unitarios de excavación, tomando en cuenta el proceso constructivo y los valores de RMR. En ese sentido, la investigación resaltó que la adecuada clasificación del macizo rocoso contribuye directamente a optimizar la perforación y voladura, reduciendo los costos por metro de avance en la excavación subterránea.



CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- **Conclusión 1.**

Se determinó que la optimización de la perforación y voladura tuvo un impacto significativo en el incremento del avance promedio, pasando de 3,10 metros a 3,39 metros, lo que representa una mejora de 0,29 metros. Asimismo, la sobrerrotura se redujo del 19,70% al 8,30%, equivalente a una disminución del 11,40%.

- **Conclusión 2**

La optimización de la perforación y voladura basada en las propiedades mecánicas del macizo rocoso permitió ajustar la carga y geometría de voladura a las características reales de la roca. Las dimensiones de los testigos, el diámetro de taladros (1 ¼ pulgadas), longitud promedio y masa específica fueron claves en calcular la energía requerida por unidad de volumen. La masa total de explosivos usada (115,68 kg) se adecuó según estas propiedades, logrando un mejor uso del explosivo por tonelada de roca.

- **Conclusión 3**

La estimación de la optimización de perforación y voladura mediante las propiedades físicas del macizo rocoso permitió mejorar significativamente la eficiencia del diseño de malla de perforación. Se analizaron parámetros como el diámetro y longitud de los taladros, la densidad de la roca y el volumen excavado. La adecuada selección y distribución de los explosivos, considerando estas propiedades, garantizó una fragmentación controlada. El uso de explosivos Emulnor 1 000 y 3 000 se ajustó correctamente al volumen y densidad de andesita perforada. Esto permitió reducir el consumo energético por tonelada de roca. En resumen, el análisis físico del macizo optimizó los costos y mejoró el rendimiento operacional.



- **Conclusión 4**

La implementación de una malla de perforación optimizada con arranque hexagonal en la Rampa 5 000 permitió reducir de manera significativa los costos unitarios de perforación y voladura, pasando de 359,69 US\$/m a 304,72 US\$/m, lo que representa un ahorro de 54,97 US\$/m. Además, el seguimiento de 43 disparos en campo evidenció una disminución en los niveles de sobrerotura, lo que contribuye al control de sobreexcavación y a una mayor eficiencia operativa. Estos resultados demuestran que la adaptación del diseño de malla a las condiciones geomecánicas reales del macizo rocoso no solo optimiza el rendimiento técnico, sino que también genera beneficios económicos tangibles, fortaleciendo la planificación y sostenibilidad de las labores subterráneas.



6.2 Recomendaciones

- **Recomendación 1.**

Se recomienda implementar un programa de monitoreo continuo para evaluar el comportamiento del macizo rocoso. Es crucial planificar para condiciones que puedan afectar la estabilidad, como agua, vibraciones o cargas dinámicas, y la optimización de perforación y voladura. Además, utilizar software especializado para modelar la optimización de perforación y voladura.

- **Recomendación 2.**

Se recomienda realizar un reajuste en la distribución de la carga de explosivos según las condiciones geomecánicas de la labor minera, con el objetivo de aprovechar al máximo su potencia explosiva.

- **Recomendación 3.**

Para reducir la sobrerotura en la sección de labor, se recomienda disminuir la carga explosiva en la corona. Además, para mejorar el avance, se sugiere utilizar un diseño de arranque que incluya al menos dos taladros de inicio del disparo.

- **Recomendación 4.**

Se recomienda continuar aplicando y ajustando la malla de perforación con arranque hexagonal en futuros proyectos, ya que ha demostrado reducir los costos unitarios de perforación y voladura y mejorar el control de sobrerotura. Asimismo, es importante realizar evaluaciones geomecánicas periódicas para adaptar el diseño a las condiciones reales del macizo rocoso, garantizando una mayor eficiencia técnica, ahorro económico y sostenibilidad en las labores subterráneas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO VALDES, Fabiola.** Modelamiento geostatístico de la clasificación geomecánica de bieniawski (RMR). Santiago de Chile : s.n., 2020.
- ALVARADO, Danny.** Modelamiento geostatístico de las clasificaciones geomecánicas de Bieniawski. [En línea] 15 de Enero de 2020. [Citado el: 12 de Junio de 2025.] <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/176858>.
- ARANGO, Eber.** Elección del tipo de malla requerido por cambio del dominio estructural en la construcción de nuevo pique yauricocha. Huancayo : s.n., 2020.
- BACA HUAMAN, Lucas.** Manual de capacitación para emmanadores de puntales y tolvas . Trujillo : Minera Aurífera Retamas , 2018.
- BARRICK, EMOPRES MINERA.** GEOLOGIA REGIONAL PARA MIERIAS ARTESANALES DE CHALHUANCA. 2021.
- BEHAR, Daniel Salomón.** Metodología de la investigación. Bogotá, Colombia : Shalom, 2008. pág. 94. ISBN: 978-959-212-783-7.
- BENAVENTE, David, BERNABEU , Ana y CAÑAVERAS, Juan.** Estudio de propiedades físicas de las rocas. Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante. Valencia : s.n., 2004. pág. 65.
- BRAJA M., Das.** Fundamento de ingeniería geotécnica. s.l. : GENGAGE Learning, 2015.
- CABRERA, Carlos.** Estudio comparativo entre requerimientos de soporte y fortificación de túneles definidos según métodos empíricos de clasificaciones geomecánicas versus métodos analíticos y numéricos. [En línea] Universidad Nacional de Chile , octubre de 2018. [Citado el: 23 de marzo de 2025.] <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/13>, 2024.
- CABRERA, Luey.** 2021. Diseño de un sistema de gestión con cimbras metálicas . Lima : Universidad Tecnológica del Perú , 2021.
- CACERES, Oreana.** Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de malla de perforación adecuado en mina Guajira 2021. [En línea] UPTC, 2021. [Citado el: 17 de Abril de 2025.] <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/5732>.
- CALDERON.** Comportamiento geomecánico del macizo rocoso. Trujillo : Universidad Pública de Trujillo, 2018.
- CAYLLAHUA, RODRIGUEZ.** Diseño de sostenimiento para túneles 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. [En línea] 10 de abril de 2022. [Citado el: 15 de mayo de 2025.] <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/6021>.
- CONDORI.** Comportamiento geomecanico del macizo rocoso por el metodo Kriging. Lima : Universidad Nacional San Agustin, 2020.
- CORDOVA, Hector.** Sostenimiento con relleno hidraulico . Cusco : UNSAAC, 2022.
- CRUZ, Carlos.** 2022. Metodologia de la Investigacion. Madrid : McGraw-Hill 7ta, 2022. 978-1-4562-4972-0.
- CUEVA, Jimm.** Caracterizacion geomecanica del macizo rocoso y su influencia en el tipo de malla de perforacion en el nivel 05 de la mina subterranea paredones, san pablo, Cajamarca,2019. [En línea] Universidad san Agustin de Cajamarca , 2021. [Citado el: 12 de Julio de 2025.] <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/renati/2423681?mode=full>.
- DAS, Braja M.** 2015. Fundamentos de Ingenieria Geotecnica. Cuarta edicion. s.l. : CENGAGE Learning, 2015.
- DEERE, Don.** “Engineering classification and index properties for intact rock.”. [En línea] University of Illinois at Urbana-Champaign (EE. UU.), octubre de 1996. [Citado el: 12 de junio de 2025.] <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/07/30/medicion-del-grado-de-fracturacion-de-un-macizo-rocoso-el-indice-rqd/>.
- DELGADO, Javier.** Resistencia a la compresion simple del macizo rocoso. Ayacucho : Universidad Nacional San cristobal de Haumanga, 2019.
- FAMESA EXSA.** Manual de FAMESA, [En línea] Junio de 2014. [Citado el: 10 de Abril de 2025.] <https://www.win-win-drill.com/info/rock-hardness-classification-30813551.html>.
- FERNANDEZ, Antonio.** Optimización de la perforación y voladura para mejorar el avance lineal de la rampa 04, nivel 1375, unidad minera Andaychagua. [En línea] Universidad Continental, 2024. [Citado el: 14 de enero de 2025.] https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/15821/4/IV_FIN_110_TE_Fernandez_Galvan_2024.pdf.
- FLORES, Guillermo.** Caracterizacion geomecanica del macizo rocoso para determinar el tipo de rocoso para determinar el tipo demalla de perforacion en la consecion minera subterranea zenit 1, distrito san luis. Huamanga, San Cristobal de Huamanga . Cajamarca - Peru : s.n., 2021.



GAMBOA, Amilcar. Evaluacion geomecanica del macizo rocoso para la aplicacion de la malla de perforacion en la mina hercules-cia minera Lincuna s.a. [En línea] 2019. https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/1478/T_1478.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

GONZALES, Daniel. Metodologia de la investigacion. [trad.] <https://editorial.inudi.edu.pe/index.php/editorialinudi/catalog/download/90/133/157?inline=1>. Bogota : s.n., 2009. 9789586486026.

GONZALES, Luis. Ingenieria Geologica, mecanica de rocas. [En línea] 2022. [Citado el: 25 de marzo de 2025.] https://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf. 84-205-3104-9.

HERMAN, Laufer. 2019. Clasificación del macizo rocoso para la construcción de túneles. Austria : Universidad central de Europa , 2019.

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

HUACHACA, Crimaldo. Optimización de la perforación y voladura en la construcción de la rampa negativa 7300 en la Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho 2023. [En línea] Julio de 2024. [Citado el: 12 de mayo de 2025.] <https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/1603/T-1603.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

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

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

IÑIGUES, Diana. Velocidad de Corte en Rocas y su relacion con la Resistencia a la Compreseion Simple. [En línea] 2020. [Citado el: 10 de abril de 2025.] <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9967>.

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

LOPEZ CRUZ, Javier. 2022. Importancia de la amplicacion de Shocrete. Lima : Pontificie Catolica del Peru , 2022.

LUNA, Wilber. Optimizacion de perforacion y voladura mediante un nuevo diseño de malla en la ejecucuion by pass 4200 de la unidad minera immaculada Hochschild-Ayacucho. [En línea] enero de 2021. [Citado el: 10 de abril de 2025.]



http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/17519/Luna_Mamani_Wilber.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

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

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

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

NINA, Alexande. Evaluacion geomecanica para la seleccion del tipo de malla de perforacion en la construccion de la rampa-440, en la mineria aurifera cuatro de enero S.A. (MACDESA)-Arequipa. [En línea] UNSAAC, 2021. [Citado el: 12 de Julio de 2025.] <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/5715>.

OCHOA QUESADA, Alexander. 2018. 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, H. Metodologia de la investigacion. Bogota : s.n., 2014. 9789587621884.

PAYTAN, David. Optimización del proceso de perforación y voladura para mejorar el avance lineal de galerías en la Unidad Minera Americana de Alpayana S.A. [En línea] Universidad nacional del centro del Peru facultad de Ingenieria de Minas , 2024. [Citado el: 05 de marzo de 2025.]

https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/11792/T010_77710093_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

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

QUISPE, C. Metodologia de la Investigacion. 6ta . Mexico : McGraw-Hili _ Interamericana, 2011. 1234567890.

Ramirez Oyanguren, Pedro y Alejano Monge, Leandro. Mecanica de Rocas: Fundamentos e ingenieria de Taludes. 2004.

RAMIREZ OYANGUREN, Pedro y ALEJANO MONGE, Leandro. Mecanica de Rocas: Fundamentos e Ingenieria de Taludes. 2004.

RAMIREZ, Jaime. Mecanica de Rocas Fundamentos e Ingenieria de Taludes. 2020.

RIOS. 2005. Metodologia de la investigacion. Mexico : s.n., 2005. 9781456223960.

RODRIGUEZ, JAVIER ALONSO. Ingenieria geologica: Caracterizacion de macizos rocosos. Madrid : s.n., 2007.

RODRIGUEZ, Javier. Ingenieria Geologica Caracterizacion de macizos rocosos. [En línea] 2020. [Citado el: 15 de Marzo de 2025.]



https://www.researchgate.net/publication/364328640_Caracterizacion_de_macizos_rocosos_Abril_2007.

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.

TORRES, Oscar. 2019. Aplicacion de clasificacion geomecanica para eleccion de sostenimiento. Chiclayo : Universidad Cesar Vallejo, 2019.

VALDIVIA DONAYRE, Alex Fredy. Estimacion del comportamiento geomecanico, mediante metodo de kriging para el macizo rocoso del cerro callacpuma-sector huayrapongo,2020. Cajamarca-Peru : s.n., 2020.

ZAPANA MAMANI, Reiser. Diseño de sostenimiento del tunel central Nv. 500 de la Minera Ana Maria. Arequipa : UNI, 2020. pág. 30.



**ANEXO A:
MATRIZ DE CONSISTENCIA**

Tabla 34 — Matriz de consistencia

Optimización de la perforación y voladura mediante la evaluación de las clasificaciones geomecánicas en la Rampa 5000 - NV 4235, de la Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho 2025					
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES E INDICADORES	MÉTODO
<p>Problema general</p> <p>¿Cómo optimizar la perforación y voladura mediante la evaluación de clasificaciones geomecánicas en la Rampa 5000 - NV 4235, de Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho 2025?</p> <p>Problema específico</p> <p>¿Cuál es la relación entre optimización de la perforación y voladura y las propiedades mecánicas del macizo rocoso en la Rampa 5000 - NV 4235, de Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho 2025?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Optimizar la perforación y voladura mediante la evaluación de clasificaciones geomecánicas en la Rampa 5000 - NV 4235, de Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho 2025</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>OE 1. Establecer de la optimización de perforación y voladura mediante las propiedades mecánicas del macizo rocoso en la Rampa 5000 - NV 4235, de Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho 2025</p> <p>OE 2. Determinar la relación de la optimización de la perforación y voladura con las</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>Existiría una relación entre la optimización de la perforación y voladura mediante la evaluación de clasificaciones geomecánicas en la Rampa 5000 - NV 4235, de Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho 2025</p> <p>Hipótesis específicas</p> <p>HE 1. Existiría una relación entre la optimización de la perforación y voladura con las propiedades mecánicas macizo rocoso en la Rampa 5000 - NV 4235, de Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho 2025</p>	<p>V1: Optimización de perforación y voladura</p> <p>V2: Evaluación de las Geomecánicas</p>	<p>D1: Tiros cortados</p> <p>I1. Desviación promedio de los taladros</p> <p>I2. Sobreexcavación</p> <p>I3. Incremento en costos por sobre consumo de explosivos</p> <p>D2: Tiros anillados</p> <p>I1. Fragmentación inadecuada</p> <p>I2. Tiempo adicional en perfilado o sostenimiento</p> <p>I3. Incremento en costos por sobre consumo de explosivos</p> <p>D3: Deficiencias en la voladura</p> <p>I1. Avance promedio</p> <p>I2. Consumo de explosivos</p> <p>I3. Factor de carga lineal</p> <p>D1: Propiedades mecánicas en macizo rocoso</p> <p>I1. RMR</p> <p>I2. Q de BARTON</p> <p>I3. GSI</p>	<p>MÉTODO: Deductivo</p> <p>Gómez (2012) es un proceso racional que viene de lo general para llegar a lo específico</p> <p>TIPO: Aplicada</p> <p>Egg (2011) consiste en utilizar los conocimientos y aplicarlos para resolver problemas</p> <p>NIVEL: Descriptivo – Explicativo</p> <p>Hernández et al. (2014) definir las cualidades del objeto de investigación y como el análisis de dos o más variables se relaciona.</p> <p>DISEÑO: No experimental</p> <p>Behar (2008) es observar lo sucesos sin participar.</p> <p>POBLACIÓN: Mina victoria</p> <p>Lerma (2009) es un conjunto de elementos del mismo tipo</p> <p>MUESTRA: galería nivel 4040</p>

<p>Inmaculada, Ayacucho 2025?</p> <p>¿Cuál es la relación entre optimización de la perforación y voladura y las propiedades físicas del macizo rocoso en la Rampa 5000 - NV 4235, de Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho 2025?</p> <p>¿Qué impacto económico tendrá la optimización de la perforación y voladura con el nuevo diseño de la malla de perforación en la Rampa 5000 - NV 4235, de Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho 2025 ?</p>	<p>propiedades físicas del macizo rocoso en la Rampa 5000 - NV 4235, de Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho 2025</p> <p>OE 3. Estimar el impacto económico que tendrá la optimización de la perforación y voladura con implementación de una malla de perforación adecuada a la Rampa 5000 - NV 4235, de Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho 2025</p>	<p>HE 2. Existiría una relación entre la optimización de la perforación y voladura con las propiedades físicas del macizo rocoso en la Rampa 5000 - NV 4235, de Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho 2025</p> <p>HE3: Existiría una relación entre la optimización de la perforación y voladura con el nuevo diseño de la malla de perforación en la Rampa 5000 - NV 4235, de Unidad Minera Inmaculada, Ayacucho 2025</p>		<p>D2: Propiedades físicas del macizo rocoso</p> <p>I1. Peso específico de la roca</p> <p>I2. Porosidad</p> <p>I3. Absorción</p> <p>D3: Diseño de la malla de perforación</p> <p>I1. Numero de taladros de frente</p> <p>I2. Metros perforados</p> <p>I3. Volumen de roca abatida</p> <p>I4. Porcentaje dex tiros cortados</p>	<p>Ñaupas et al. (2018) la selección de un subconjunto.</p> <p>MUESTREO:</p> <p>No probabilístico</p> <p>Niño (2011) el investigador selecciona la muestra bajo un criterio establecido.</p> <p>TÉCNICA: Observación directa</p> <p>Arias (2012) la acción de visualizar cualquier manifestación</p> <p>INSTRUMENTO: Fichas de recopilación de datos.</p> <p>Cabezas et al. (2018) es recoger información que posteriormente el investigador puede trasladar a una ficha</p>
---	--	---	--	--	--

ANEXO B: PLANOS

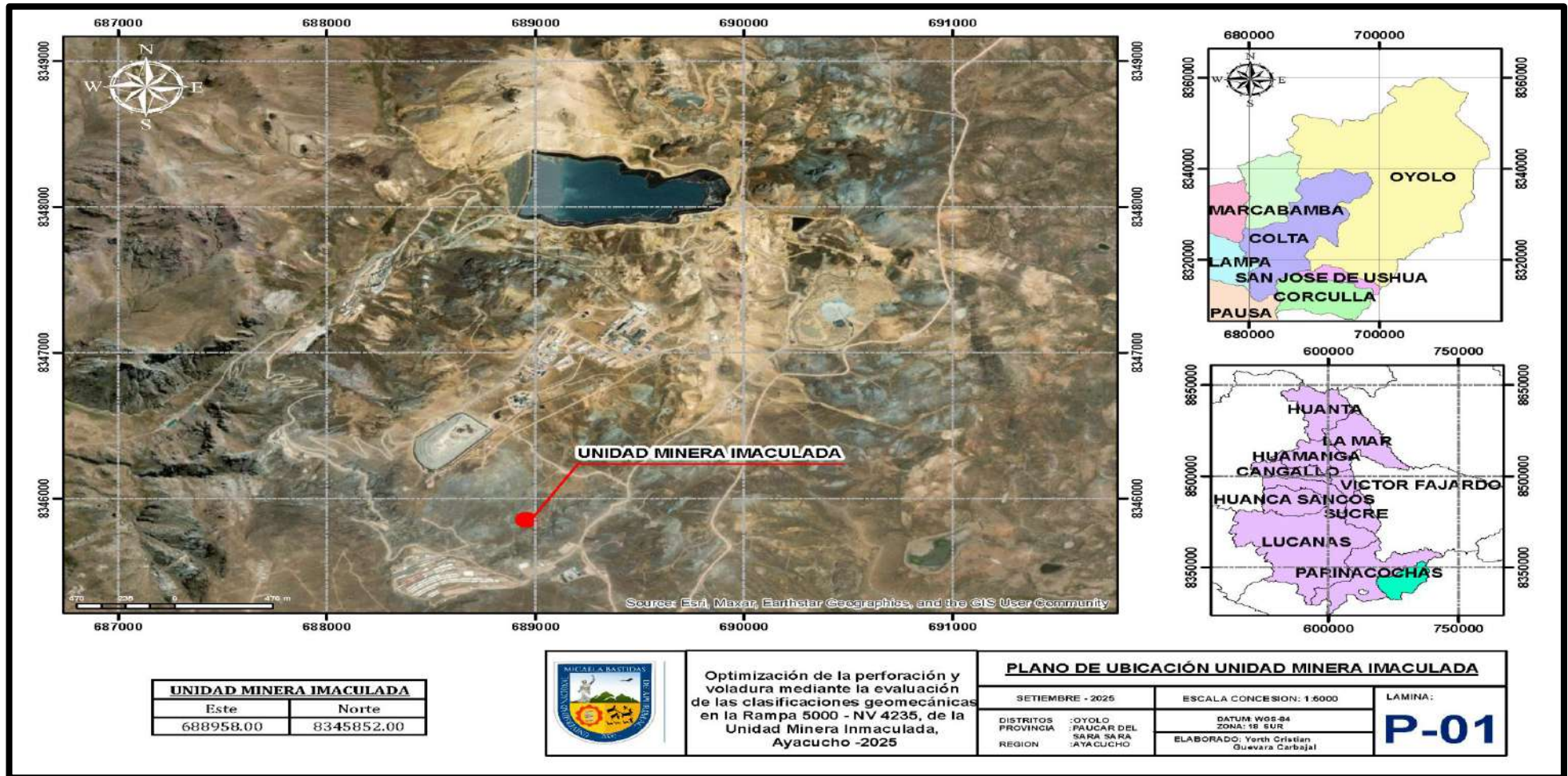


Figura 15 — Plano de ubicación de la Unidad Minera Inmaculada

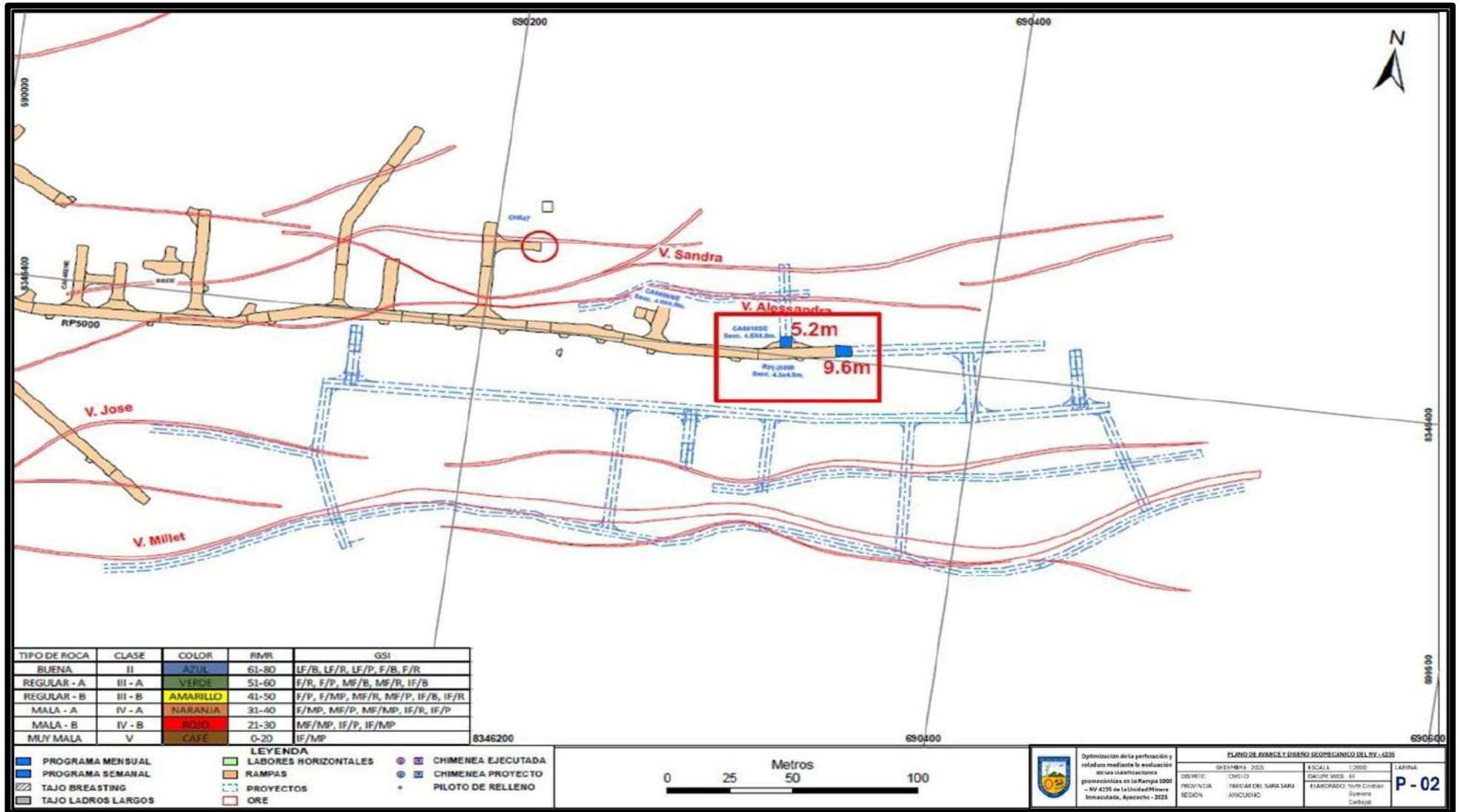


Figura 16 — Plano de avance y diseño geomecánico del NV – 4235

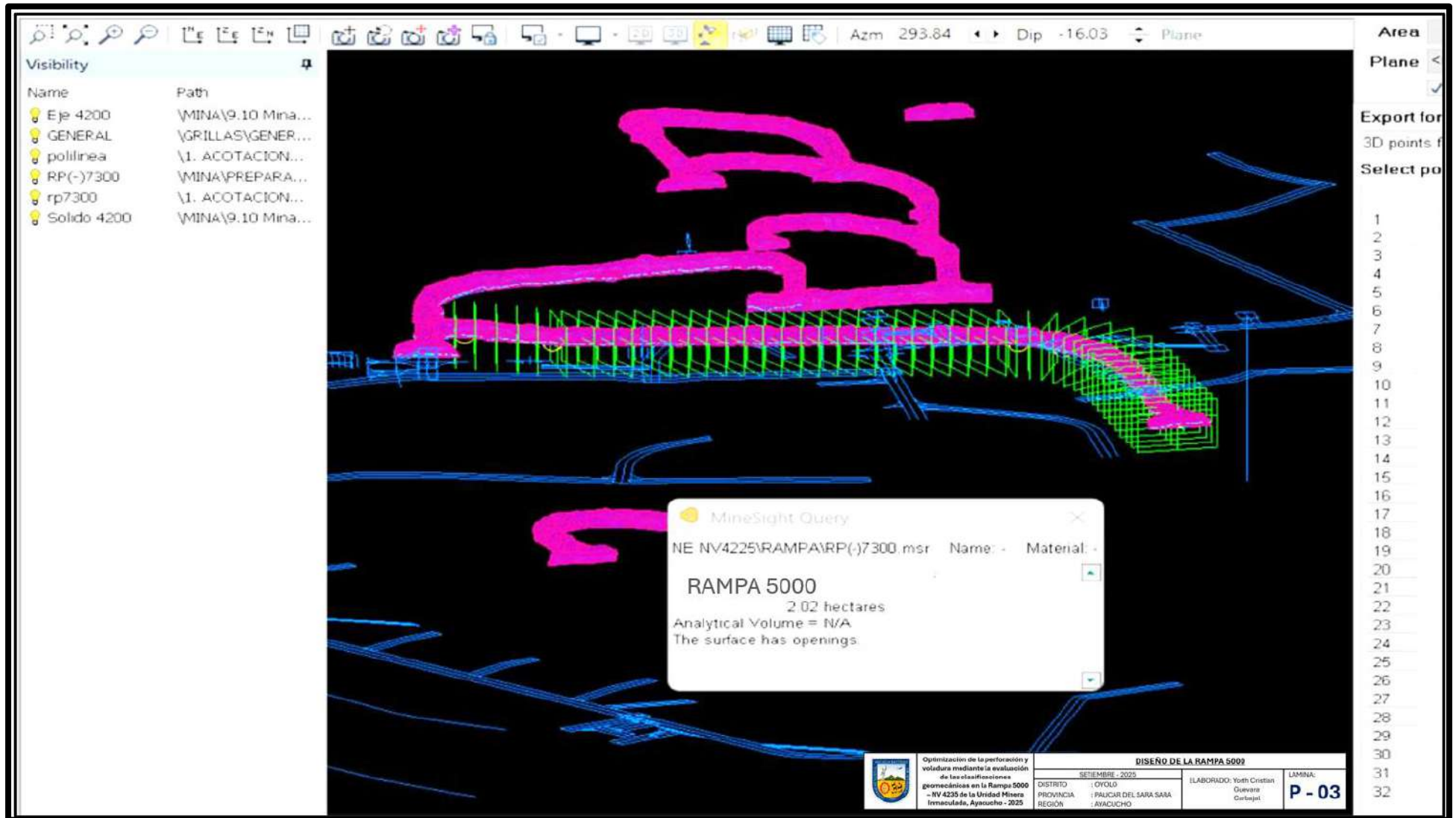
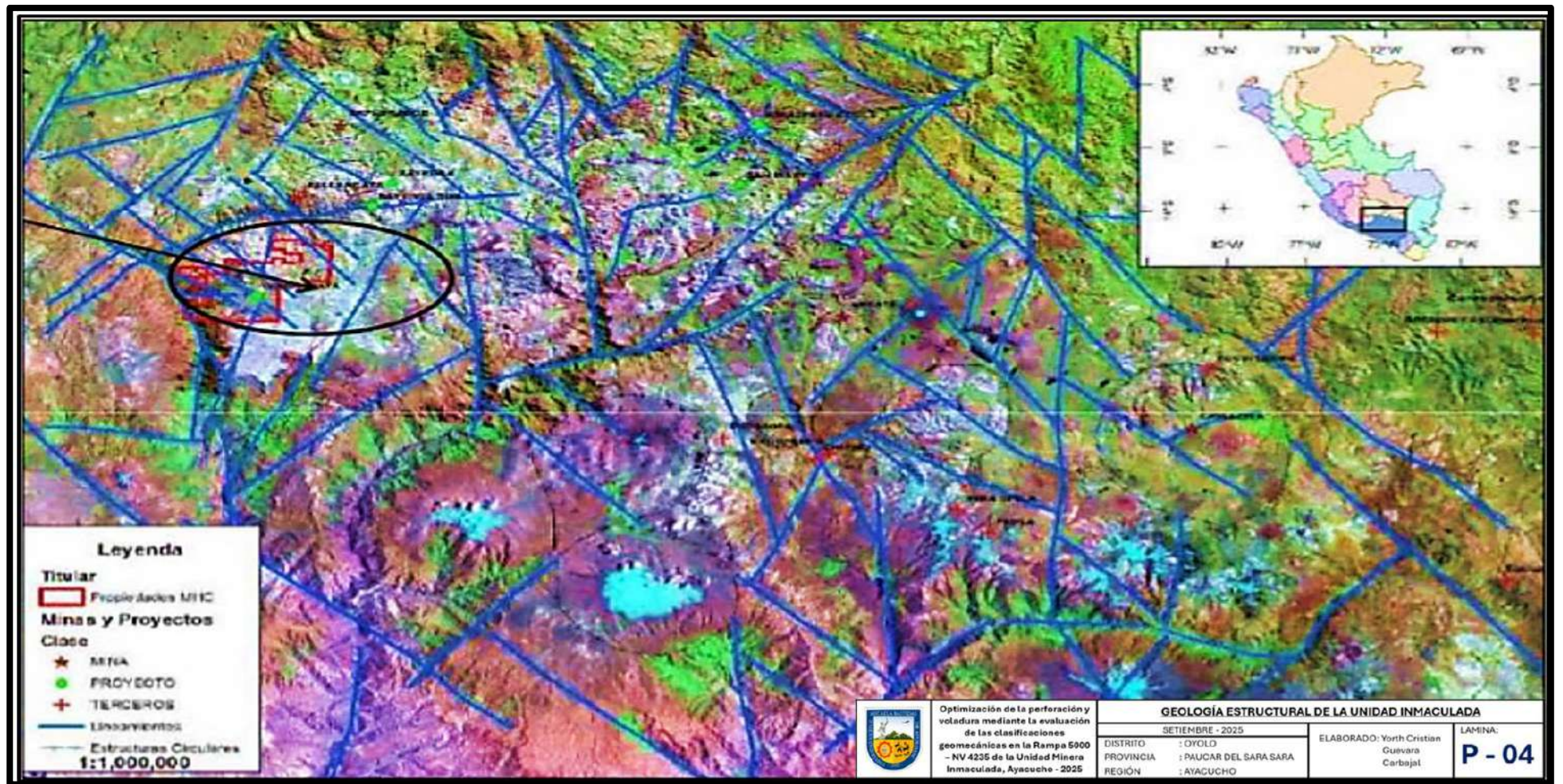


Figura 17 — Diseño de la rampa 5000



FUENTE: pro Explo (2013).
Figura 18 — Geología estructural Unidad Inmaculada

Y CASIRIAN CUCURANA C

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

1.- INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA	
Descripción	ROD %
MUY POBRE	0 - 25
POBRE	25 - 50
REGULAR	50 - 75
BUENA	75 - 90
EXCELENTE	90 - 100

Nota: 1) Estimar el ROD con 5% de aproximación
 2) Cuando no se dispone de testigos
 ROD = 115 - 3.3 Jv. Donde Jv = N° de Dacetas por m3
 3) Si el ROD es menor de 10, emplear un valor nominal 10

2.- NUMERO DE DISCONTINUIDADES DESCRIPCION		Jv	Jw
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 de discontinuidad 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: 1) Para intersecciones de tuneles, usar (3.0*Jv)
 2) Para portales usar (2.0*Jv)

FACTOR DE REDUCCION POR TENSIONES DESCRIPCION		cc/oc	SRF
A) Las zonas debiles interseccion a la excavacion, pudiendo producirse desplazamientos de rocas a medida que la excavacion del tunel va avanzando.			
A	Muchas zonas debiles de arcilla con evidencias de desintegracion quimica		10
B	Zona de falla aislada con arcilla o roca desintegrada quimicamente (profundidad menor 50m)		5
C	Zona debil 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		6
F	Zona de falla aislada en roca competente, profundidad mayor a 50 m		2.5
G	Dacetas abiertas y sueltas roca inmensamente fracturada en tonos, cualquier prof		5
Nota: 1) Reducir estos valores de SRF por 25-50% si las zonas de fallas influyen pero no interseccion a la excavacion			
B) Rocas competentes, problemas tensionales en las rocas		cc/oc	SRF
H	Tensiones bajas, poca profundidad, diaclasas abiertas	> 200	< 0.01
I	Tensiones altas, diaclasas favorables	200 - 10	0.01 - 0.3
J	Tensiones elevadas, estructura muy compacta	10 - 5	0.3 - 0.4
K	Normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los masales		0.5 - 2
L	Lajamiento moderado de la roca despues de 1 hora en rocas masivas	5 - 3	0.5 - 0.65
M	Lajamiento y estallido de la roca despues de pocos minutos en rocas masivas	3 - 2	0.65 - 1
N	Estallidos violentos de roca (deformacion explosiva) y deformaciones dinamicas inmediatas en rocas masivas	< 2	> 1
Nota: 1) Para campos mas, fuertemente anisotropicos se ha medido cuando $f = m \cdot \sigma_1 + c$, donde f es el esfuerzo principal mayor y m es el esfuerzo principal mayor normalizado de la leona de la elasticidad. 2) Existen algunos registros disponibles que señalan que la altura del techo de la excavacion a superficies es mejor que el ancho de la labor. Para estos caso se sugiere incrementar de 2.5 a 5 para estos casos (ver H)			
C) Rocas deformables, flujo plastico de roca incompetente a altas presiones		cc/oc	SRF
O	Presion de deformacion suave	1 - 5	5 a 10
P	Presion de deformacion intensa	> 5	10 - 20
Nota: 1) Casos de deformaciones de roca pueden ocurrir para profundidades H=350*Q*(1/3). La resistencia a la compresion de la masa rocosa puede ser estimada como $q = 7 \cdot Q^{0.113}$, donde Q es la resistencia de la roca (MPa)			
D) Rocas expansivas: Actividad expansiva quimica dependiendo de la presencia de agua			
R	Presion de expansion suave		5 - 10
S	Presion de expansion intensa		10 - 15

FACTOR DE ALTERACION DE LAS DISCONTINUIDADES DESCRIPCION		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 oxidacion	1
C	Superficies ligeramente alteradas, cubiertas con material granular no arcilloso, producto de la desintegracion de la roca	2
D	Capas superficiales de material limoso o arcilloso arenoso, con una pequena fraccion cohesiva	3
E	Capas superficiales de arcilla (capilina mica, bentonita, etc)	4
b) Contacto con relleno de mineral fino		
F	Repleno granular no cohesivo, roca desintegrada libre de particulas arcillosas	4
G	Material con alto grado de consolidacion, relleno continuo (hasta de 5mm. de espesor)	6
H	Repleno continuo (hasta de 5mm. de espesor) de material arcilloso compacto	8
I	arcillosos compacto con bajo grado de consolidacion	
J	Repleno continuo de arcilla expansivas (Montmorillonita)	B - 12
c) No contacto entre superficies de la discontinuidad despues de cizalla (relleno de mineral grueso)		
K	Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcilla (ver G, H, J para la descripcion de los tipos de arcilla)	6 - 8 ó
L	Zona de arcilla limosa o arenosa	5
M	Zonas potentes y continuas de arcilla (ver G, H, J para la descripcion de los tipos de arcilla)	10 - 13 ó
N	Descripción de los tipos de arcilla)	13 - 20

FACTOR DE REDUCCION POR CONTENIDO DE AGUA EN FRACTURAS DESCRIPCION		Jw
A	Secas o flujos bajos (< 5 l/min)	1
B	Flujos a presiones medias que ocasionen erosion 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 erosion 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 disminucion en el tiempo	0.1 - 0.05

NOTAS:
 i) Factores C a F son estimaciones basicas. Aumentar Jw si se han instalado medidas de drenaje.
 ii) Especiales problemas causados por la formacion de hielo no son considerados.
 iii) Para la caracterizacion general de las masas de roca distantes de las influencias de excavacion el uso de Jw = 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 ROD / Jv es lo suficientemente bajo (ejemplo 0.5-25) para una buena conectividad hidraulica. Esto le ayudara a ajustar Q para algunos de las tensiones efectivas y los efectos de ablandamiento de agua, en combinacion con los valores apropiados de caracterizacion SRF.
 Correlaciones con modulo de deformacion elastica y la profundidad dependen de la velocidad sismica. En la practica usar estos valores cuando se desarrollan

FUENTE: Elaboración Propia

Figura 20 — Valores de los parámetros característicos del sistema Q de Barton



ANEXO D: PANEL FOTOGRÁFICO

CLASIFICACION GEOMECANICA				ZONA: III		NIVEL: 4200		LABOR: (-)7300													
R M R				REFER. TOP. OG.		FECHA:															
AREA GEOMECANICA				LITOLOGIA:		HECHO POR: Grimaldo Buendia Huachaca															
REGIS. TRON ^N		# FAMILIAS DE JUNTAS		AZIMUTH (LABOR)		CONDICION DE LA EXPOSICION: FRESCA, DES COMPLESTA, DESINTEGRADA, (SUBRAYAR)															
						DIMENSION DE LA LABOR: 4,50X3,50		BUZAMIENTO: 12%													
V.A. PARAMETRO	σ C		Espaciamiento entre Discontinuidad	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					AGUAS SUBTERRANEA	Orientacion Discontinuidades	R M R										
	Resistencia a la Compresion			Persistencia	Apertura	Rugosidad	Repleno	Alteracion													
PUNTO DEL MAJUELO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	15	12	17	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42
2	15	12	17	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43
3	15	12	17	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43
4	15	12	17	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
5	15	12	17	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46
6	15	12	17	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
7	15	12	17	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42
8	15	12	17	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
9	15	12	17	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
10	15	12	17	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46
11	15	12	17	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43
12	15	12	17	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
13	15	12	17	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48
14	15	12	17	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
15	15	12	17	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48
16	15	12	17	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
17	15	12	17	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48
18	15	12	17	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47
19	15	12	17	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
20	15	12	17	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49

FUENTE: Elaboración propia

Figura 21 — Formato para el control de la malla de perforación





Figura 22 — Reconocimiento de las clasificaciones geomecánicas



Figura 23 — Muestreo de campo del macizo rocoso



Figura 24 — Inspección del diseño de malla de perforación en el frente de avance



Figura 25 — Recolección de datos para las clasificaciones geomecánicas del macizo rocoso



Figura 26 — Recolección de muestras litológicas en frente de avance



Figura 27 — Diseño de marcado de la malla de perforación



Figura 28 — Operación de frente con jumbo



Figura 29 — Carga de explosivos en los taladros perforados



Figura 30 — Preparación de explosivos