

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS:

**Diseño de malla de perforación de la RP 159N para optimizar
indicadores de voladura en el cuerpo mineralizado CN3 -**

Unidad Minera El Porvenir, 2024

Para optar el título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR:

Bach. Eliceo AYALA VASQUEZ

ASESOR:

MSc. Ing. Efraín César ALARCON MEDINA

AYACUCHO - PERÚ

2024

DEDICATORIA

A mi amado Rodrigo Ayala y mi adorada Inés quienes siempre son el impulso de continuar con mi carrera profesional.

A mis queridos padres, Epifanio Ayala y Cleofé Vásquez quienes siempre me apoyaron desde el momento que ingresé a la universidad hasta la culminación de mis estudios de pre grado.

AGRADECIMIENTO

A nuestro creador por guiarme diariamente en el trabajo y cuidar de mi salud y de mi familia, así cumplir mis objetivos trazados para lograr mi profesión.

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por brindarme la oportunidad de alcanzar mi formación profesional, a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas por abrirme sus puertas y acompañarme durante mi etapa estudiantil, y a su cuerpo docente por su esfuerzo constante, dedicación y compromiso en ofrecer una educación de excelencia a lo largo de mi carrera.

Al asesor Msc. Ing. Efraín César Alarcón Medina, por el compromiso, apoyo y la orientación constante que me brindó durante el desarrollo de la presente investigación.

A la empresa IESA S.A Unidad Minera El Porvenir, por darme la oportunidad y confianza de laborar y desarrollarme en el ámbito de la minería.

Finalmente, un sincero gracias a todos los que ayudaron a realizar esta investigación.

RESUMEN

La investigación titulada Diseño de malla de perforación de la RP 159N para optimizar indicadores de voladura en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024 tiene por objetivo principal evaluar el diseño de malla de perforación de la RP 159N para optimizar los indicadores de voladura, para lograr este objetivo se aplicó la metodología de enfoque cuantitativo en el análisis de datos y resultados, nivel descriptivo, tipo de investigación aplicativo y diseño cuasi experimental, la muestra se tomó de la RP 159N. Los resultados muestran que la clasificación del macizo rocoso de la RP 159N, presenta un RMR 44-50, tipo de roca III-B, por consiguiente, se realizó el diseño de malla de perforación utilizando el modelo matemático de Roger Holmberg, resultando un total de 49 taladros perforados con diámetro de 45 mm para taladros de producción y 102 mm para taladros de alivio para longitud de perforación de 13 pies (3.96m). Con este diseño se obtiene rendimientos en factor de carga lineal de 47.71 Kg/m, eficacia de avance de 3.40 m/disparo y eficiencia de voladura de 89%. Los resultados mostraron una reducción del número de taladros perforados, reducción del factor de carga lineal, aumentó significativamente la eficacia de avance y eficiencia de voladura, con estos resultados se cumplió el programa de avance mensual de la RP 159N durante el periodo de enero a agosto del 2024, además el cumplimiento de mayor metraje generó un incremento al valor económico de las valorizaciones mensuales. Llegamos a la conclusión que el diseño de malla de perforación influye significativamente en la optimización de indicadores de voladura en la RP 159N - Unidad Minera El Porvenir, 2024.

Palabras clave: Malla de perforación, Indicadores, Eficiencia, Eficacia, Factor de carga lineal.

ABSTRACT

The research titled RP 159N drilling mesh design to optimize blasting indicators in the mineralized body CN3 - El Porvenir Mining Unit, 2024 has the main objective of evaluating the drilling mesh design of the RP 159N to optimize the blasting indicators, to achieve this objective, the quantitative approach methodology was applied in the analysis of data and results, descriptive level, applicative type of research and quasi experimental design, the sample was taken from the RP 159N. The results show that the classification of the rock massif of the RP 159N presents an RMR 44-50, rock type III-B, consequently, the drilling mesh design was carried out using the Roger Holmberg mathematical model, resulting in a total of 49 drilled holes with a diameter of 45 mm for production holes and 102 mm for relief holes for a drilling length of 13 feet (3.96m). With this design, linear load factor yields of 47.71 Kg/m, feed efficiency of 3.40 m/shot and blasting efficiency of 89% were obtained. The results showed a reduction in the number of drilled holes, a reduction in the linear load factor, a significant increase in feed efficiency and blasting efficiency. With these results, the monthly advance program of RP 159N was fulfilled during the period from January to August 2024. In addition, the fulfillment of greater footage generated economic benefit due to the increase in monthly valuations. We concluded that the drilling grid design significantly influences the optimization of blasting indicators at RP 159N – El Porvenir Mining Unit, 2024.

Keywords: Drilling grid, Indicators, Efficiency, Effectiveness, Linear load factor.

Índice

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	2
RESUMEN	3
ABSTRACT.....	4
Índice	5
Lista de tablas	10
Lista de Figuras.....	11
CAPITULO I	13
INTRODUCCIÓN	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1. Descripción del problema	15
1.1.1. Realidad problemática.....	15
1.2. Delimitación del problema.....	16
1.2.1. Espacial (geográfica).....	16
1.2.2. Temporal	16
1.3. Formulación del problema	16
1.3.1. Formulación del problema general.....	16
1.3.2. Formulación del problema específico	17
1.4. Justificación e importancia.....	17
1.4.1. Justificación.....	17
1.4.2. Importancia	18
1.5. Limitaciones de la investigación.....	18

1.6.	Objetivos	18
1.6.1.	Objetivo general	18
1.6.2.	Objetivos específicos	18
CAPÍTULO II		19
MARCO TEÓRICO		20
2.1.	Antecedentes del problema	20
2.1.1.	Antecedentes internacionales	20
2.1.2.	Antecedentes nacionales	21
2.2.	Bases teóricas.....	24
2.2.1.	Operaciones unitarias del ciclo de minado.....	24
2.2.2.	Perforación	25
2.2.3.	Acciones básicas en la perforación	25
2.2.4.	Voladura.....	27
2.2.5.	Explosivos	27
2.2.6.	Accesorios de voladura	32
2.2.7.	Energía química de los explosivos	36
2.2.8.	Malla de perforación	36
2.2.9.	Rampa	39
2.2.10.	Sistema de avance	40
2.2.11.	Condiciones de perforación.....	41
2.2.12.	Errores y defectos de la perforación.....	41
2.2.13.	Diseño de arranque en minería subterránea	42
2.2.14.	Condiciones básicas para voladuras en frentes	42

2.2.15.	Modelo matemático de roger Holmberg	43
2.2.16.	Distribución y denominación de taladros	44
2.2.17.	Factor de carga lineal	45
2.2.18.	Macizo rocoso	45
2.2.19.	Caracterización del macizo rocoso.....	46
2.2.20.	Clasificación geomecánica del macizo rocoso.....	46
2.2.21.	Sistema RMR	46
2.2.22.	Índice GSI (Índice de Resistencia Geológica)	47
2.2.23.	Sistema Q de Barton.....	47
2.2.24.	Avance lineal.....	47
2.2.25.	Cara libre	48
2.2.26.	Burden	48
2.2.27.	Mapeo Geomecánico.....	48
2.2.28.	Eficacia.....	48
2.2.29.	Eficiencia	48
2.2.30.	Indicadores	48
2.2.31.	Optimización	49
2.2.32.	Optimización de avance lineal	49
2.2.33.	Productividad	50
CAPITULO III.....		51
METODOLOGÍA.....		51
3.1.	Enfoque de investigación	51
3.2.	Nivel de investigación.....	51

3.3.	Tipo de investigación	51
3.4.	Diseño de investigación	52
3.5.	Método de investigación	52
3.6.	Población y muestra	52
3.6.1.	Población.....	52
3.6.2.	Muestra.....	52
3.7.	Hipótesis.....	53
3.7.1.	Hipótesis General	53
3.7.2.	Hipótesis específicas	53
3.8.	Variables e indicadores	53
3.8.1.	Variable independiente.....	53
3.8.2.	Variable dependiente.....	54
3.9.	Operacionalización de variables, definición conceptual y operacional	55
3.10.	Técnicas e instrumentos	56
3.10.1.	Técnicas	56
3.10.2.	Instrumento	56
3.11.	Técnicas para el procesamiento del presente estudio.....	56
CAPITULO IV		57
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		57
4.1.	Generalidades de la mina	57
4.2.	Caracterización geomecánica del macizo rocoso.....	68
4.3.	Programa de perforación y voladura de la RP 159N.....	76
4.4.	Problemas detectados en la perforación y voladura	77

4.5.	Malla de perforación antes del nuevo diseño	78
4.5.1.	Malla de perforación inicial	78
4.5.2.	Distribución de carga explosiva de la malla inicial con 13 pies	79
4.5.3.	Análisis y resultados de la malla de perforación anterior	80
4.6.	Diseño de la nueva malla de perforación aplicando el modelo matemático de Roger Holmberg.	82
4.6.1.	Cálculos para el diseño de arranque	85
4.6.2.	Cálculo para el primer cuadrante	87
4.6.3.	Cálculo para el segundo cuadrante.....	88
4.6.4.	Cálculo para el tercer cuadrante	88
4.6.5.	Cálculo del arrastre	89
4.6.6.	Cálculo de la corona.....	90
4.6.7.	Cálculo de los hastiales	91
4.7.	Resultados comparativos de los indicadores con la implementación de la nueva malla de perforación.	100
4.8.	Resultados de productividad	104
4.9.	Resultados comparativos de la mejora con la implementación de la nueva malla de perforación.	105
4.10.	Evaluación económica después de la implementación de la malla de perforación	106
4.11.	Prueba de hipótesis.....	108
4.12.	Discusión de resultados.....	109
CONCLUSIONES		112
RECOMENDACIONES.....		113

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
GLOSARIO DE TÉRMINOS	117
ANEXOS	119

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades técnicas del Senatel pulsar.....	29
Tabla 2 Propiedades técnicas de Senatel Magnafrac	30
Tabla 3 Propiedades técnicas del ANFO	31
Tabla 4 Propiedades técnicas del Exel MS	33
Tabla 5 Propiedades técnicas del Exel LP	35
Tabla 6 Factor de Carga.....	39
Tabla7 Accesibilidad a la unidad minera.....	58
Tabla8 Unidades litológicas – mina El Porvenir	65
Tabla 9 Clasificación RMR de Bieniawski 1989.....	69
Tabla 10 Clasificación Rock Mass Rating – Tipo de roca IIIB.....	72
Tabla 11 Mapeo geomecánico realizado en la RP 159N, Cuerpo CN3, Tipo de roca IIIB	73
Tabla 12 Programa mensual de avances octubre 2023	76
Tabla 13 Avances programados vs ejecutado y su cumplimiento de la RP 159N, 2023	76
Tabla 14 Distribución de carga explosiva y cartuchos de la malla anterior - para Roca de tipo IIIA.....	80

Tabla 15 Análisis y resultados de la malla de perforación anterior con 13 pies en la RP 159N.....	81
Tabla 16 Parámetros para el diseño de malla.....	82
Tabla 17 Resumen de los resultados por el método Roger Holmberg.....	92
Tabla 18 Distribución de carga explosiva y cartuchos – para tipo de roca IIIB.....	93
Tabla 19 Rendimientos, Explosivos y accesorios del nuevo diseño de malla.	95
Tabla 20 Resultados obtenidos de la voladura utilizando la nueva malla de perforación en la RP 159N, 2024.	96
Tabla 21 Cuadro comparativo de resultados malla anterior y malla actual	105
Tabla 22 Cuadro comparativo de valorización del año 2023 y 2024	106
Tabla 23 Prueba de Normalidad	108
Tabla 24 Prueba t para comparar una muestra a un valor.....	109
Tabla 25 Cuadro comparativo de la malla anterior y malla implementada	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ciclo de minado de la RP 159 N	24
Figura 2 Acciones básicas en la perforación roto percutiva.....	25
Figura 3 Características del Equipo de perforación utilizada	27
Figura 4 Explosivo Senatel Pulsar	28
Figura 5 Senatel Magnafrag.....	29
Figura 6 Explosivo ANFO	31
Figura 7 Carmex	32
Figura 8 Exel MS	33
Figura 9 Exel LP	34
Figura 10 Cordón Detonante.....	35
Figura 11 Diseño de malla de perforación	37
Figura 12 Partes del túnel y sus secciones establecidas por Roger Holmberg.....	43
Figura 13 Distribución y Denominación de taladros	45
Figura 14 Relación de la productividad con la eficiencia, eficacia y efectividad	50
Figura 15 Mapa de ubicación.....	57
Figura 16 Columna estratigráfica de la unida minera El Porvenir	59
Figura 17 Sección transversal de la mina El Porvenir	62
Figura 18 Modelo litológico de la mina El Porvenir.....	65
Figura 19 Modelo de vetas.....	66
Figura 20 Modelo de vetas.....	67
Figura 21 Inventario de reservas y recursos UM El Porvenir 2023	67
Figura 22 Cartilla de clasificación geomecánica GSI (utilizado en mina).....	71
Figura 23 Plano Geomecánico de la RP 159N.....	75
Figura 24 Gráfico de avances programado vs ejecutado y su cumplimiento de la RP 159N. ...	77
Figura 25 Diseño de malla de perforación anterior sección 4.5mx4.5 - para Roca de tipo IIIA.	79

Figura 26 Área del frente de voladura	83
Figura 27 Distribución de explosivos Pulsar, Magnafrac y Amex en la malla implementada.	94
Figura 28 Diseño de malla de perforación actual sección 4.5mx4.5- tipo de roca IIIB.....	94
Figura 29 Factor de carga lineal promedio mensual	97
Figura 30 Eficacia de avance promedio mensual.....	98
Figura 31 Eficiencia de voladura promedio mensual.....	99
Figura 32 Comparativo del metraje mensual del año 2023 y 2024.....	100
Figura 33 Comparativo de factor de carga lineal promedio del año 2023 y 2024	101
Figura 34 Comparativo de la eficacia de avance promedio del año 2023 y 2024.....	102
Figura35 Comparativo de eficiencia promedio del año 2023 y 2024	103
Figura 36 Metros de avance por hombre entre la malla anterior y malla implementada	104
Figura 37 Valorización de metrajes entre la malla Inicial VS Malla Implementada	107

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En toda mina subterránea es fundamental garantizar una gestión eficaz del desarrollo y la preparación de la mina. Las operaciones unitarias de perforación y voladura son los procedimientos críticos dentro de estas fases. Identificar el déficit primario que surge de estos procedimientos es crucial para la eficiencia y la utilidad de la empresa.

El diseño de la malla de perforación es un aspecto muy importante en la optimización de los indicadores de voladura en operaciones mineras. En este contexto, la malla de perforación debe ser diseñada de manera adecuada a través de modelos matemáticos para asegurar que las voladuras sean efectivas y cumplan con los estándares de seguridad y eficiencia.

El presente estudio es un claro ejemplo de lo mostrado ya que en el periodo 2023 la empresa contratista IESA S.A encargada de ejecutar el desarrollo de la RP 159N no cumplió los metros de avance programados por deficiencias en las operaciones unitarias de perforación y voladura. Los indicadores que tuvieron mayor impacto fue la eficacia del avance (avance por disparo) y eficiencia de voladura, generando retrasos para llegar al cuerpo mineralizado CN3 que es la principal fuente de reservas minerales de Zinc, Plomo, Cobre y Plata para la Unidad Minera El Porvenir, así mismo el uso excesivo de explosivos (factor de carga lineal) que va generar penalizaciones.

Por todo lo mencionado la presente investigación busca mejorar y disminuir la variación de los avances por disparo, eficiencia de voladura y uso excesivo de los explosivos en los procesos clave (perforación y voladura) a través del diseño de malla de

perforación basado en el modelo matemático de Roger Holmberg que va permitir un diseño óptimo para controlar los indicadores de voladura.

La investigación consta de cuatro capítulos; en el Capítulo I se delinea la estrategia y formulación del tema, objetivos de la investigación, delimitaciones, justificación y significación del estudio. En el Capítulo II se delinea la base teórica de la investigación. En el Capítulo III se aborda la metodología, población y muestra, hipótesis de estudio, metodologías e instrumentos, y operacionalización de variables. En el Capítulo IV se describen las características generales de la mina y se realiza un análisis y discusión de los hallazgos. Se presentan los resultados y sugerencias derivados de la investigación.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Realidad problemática

Las voladuras son una actividad unitaria crucial en la minería y su diseño se basa en varios modelos matemáticos. En la actualidad, las fallas en las voladuras plantean una dificultad que todas las empresas de la industria minera intentan gestionar.

En el sector minero, la optimización se logra mediante la evaluación y análisis de cada actividad unitaria esencial para la extracción de recursos minerales, una de ellas es la perforación, utilizada como técnica para la remoción de rocas, ya sean estériles o minerales (Rojas, 2023).

La mejora del avance de la excavación en labores mineras en la operación unitaria de perforación estará determinada según las características del macizo rocoso dicha clasificación será el punto de partida para crear una nueva malla de perforación que estará en función de cálculos matemáticos y el tipo de explosivo adecuado a utilizar.

En la actualidad la empresa especializada IESA S.A en la Unidad Minera El Porvenir viene ejecutando labores de desarrollo y preparación en las distintas zonas, el programa de estas labores está contemplado dentro de un plan mensual para su ejecución, se ha evidenciado que no se cumple el metraje mensual programado de la RP 159N que es de 60 m/mes debido a voladuras deficientes e incumplimientos de la perforación con longitud de 13 pies, generando demoras para llegar al cuerpo mineralizado CN3 que es la principal zona de minado para la compañía NEXA RESOURCES, así mismo se tiene penalizaciones por el uso excesivo de los explosivos(factor de carga lineal), los desvíos mencionados se debe a que los operadores de jumbo realizaban la perforación de frente según su experiencia o criterio, así mismo según encuesta realizada a la supervisión, operadores y cargadores involucrados en las operaciones existía falta de capacitación en el proceso de perforación y voladura, no se contaba con guiadores de perforación para que se evite la desviación de taladros, además se ha notado que la malla de perforación que se tiene en la empresa contratista no se encuentra de acuerdo al tipo de roca, explosivo, burden (0.28cm) y longitud de perforación, evidenciando la falta de inspección y seguimiento en el proceso de perforación y carguío de frentes.

1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Espacial (Geográfica)

El presente estudio se realizó en la unidad minera El Porvenir que pertenece a la empresa minera Nexa Resources, en el departamento de Pasco.

1.2.2. Temporal

El presente estudio estará basado en los datos que se han recopilado en la RP 159N durante el periodo comprendido entre 2023 y 2024.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1. Formulación del problema general

- ¿Cómo influye el diseño de malla de perforación en la RP 159N para optimizar indicadores de voladura en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024?

1.3.2. Formulación del problema específico

- ¿Cómo la clasificación del macizo rocoso repercute en el control del factor de carga lineal de la RP 159N en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024?
- ¿En qué medida el Burden y Espaciamiento influye en la eficacia del avance de la RP 159N en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024?
- ¿De qué manera la longitud de perforación incide en la eficiencia de voladura de la RP 159N en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024?

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

1.4.1. Justificación

La justificación del presente trabajo en base a carrasco (2006), es la importancia, utilidad y beneficios en una organización con el trabajo de investigación.

Radica en mejorar los resultados operativos de avances en la Unidad Minera El Porvenir. Al implementar un diseño de malla de perforación optimizado la RP 159N logrará interceptar al cuerpo mineralizado CN3 sin incumplimientos del avance mensual programado que será beneficioso para la empresa contratista en cumplir los metrajes

programados y para la compañía en dar continuidad a la explotación de las reservas minerales que se tiene en el cuerpo mineralizado CN3.

Por tanto, resultará importante la presente investigación a la empresa contratista IESA S.A, ya que brindará un diseño de malla de perforación por el método de Roger Holmberg estandarizado para llevar a cabo sus operaciones en labores de desarrollo para un tipo de roca de IIIB con sección de 4.5x4.5m, además le permitirá valorizar mayor metraje y cumplir con el programa de avance establecido por la compañía NEXA.

1.4.2. Importancia

La importancia de la presente investigación se ejecuta con la necesidad de mejorar los indicadores de voladura que serán reflejados en el cumplimiento de los metros de avance mensual de la empresa que ejecuta la RP 159N, lo cual se reflejará económicamente en la valorización mensual. Asimismo, servirá como referencia para otros proyectos similares.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación tuvo limitantes como; un grupo de operadores de Jumbo y cargadores se aponen al nuevo diseño de malla de perforación y voladura, también en algunas guardias no se llega al proceso de perforación y carguío por parte de la supervisión de voladura por la cantidad considerable de labores que se tiene en otras zonas.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. Objetivo General

Evaluar el diseño de malla de perforación de la RP 159N para optimizar indicadores de voladura en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024.

1.6.2. Objetivos específicos

- Analizar cómo la Clasificación del macizo rocoso repercute en el control de factor de carga lineal de la RP 159N en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024.
- Valorar en qué medida el Burden y Espaciamiento influye en la eficacia del avance de la RP 159N en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024.
- Conocer de qué manera la longitud de perforación incide en la Eficiencia de voladura de la RP 159N en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

2.1.1. Antecedentes Internacionales

(SANCHEZ VILLAREAL, 2019), en su artículo titulado "Optimización de los procesos de perforación y voladura en el avance de la rampa en la mina Bethzabeth". El objetivo fue mejorar los procedimientos de perforación y voladura para el avance de la rampa en la mina Bethzabeth. Metodológicamente, el análisis incluyó estudios de exploración, pruebas de resistencia a la compresión y peso específico, cálculo de cantidades de explosivos y diseño del patrón de perforación. El RQD del macizo rocoso que intersecta la rampa se determinó a partir del estudio de 75,22 m de núcleos de perforación diamantina, obteniendo un parámetro de 85,10%, que se encuentra dentro del rango de 80 a 100, por lo que se calificó como muy excelente. La cuadrícula de perforación propuesta para acceder a la rampa de las vetas Sucre y Tres Diablos, establecida de acuerdo con la novedosa teoría de cálculo de carga, necesita la utilización de explosivos con una mayor velocidad de detonación. Este ajuste tiene como objetivo disminuir el número de perforadoras de 62 a 48 y minimizar la cantidad de explosivos requeridos por voladura, lo que se traduce en una reducción del tiempo de perforación y carguío de 5 horas y 43 minutos a 4 horas y 42 minutos. Las características de los explosivos, en conjunto con las propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso, son cruciales para el diseño de la red de perforación. Una reducción en el número de perforadoras conduce a una disminución del tiempo de operación, optimizando así los procesos.

(ARAYA, 2018), este proyecto tuvo como objetivo implementar sistemáticamente el método matemático de Roger Holmberg para el diseño de frentes de túneles. Los resultados y criterios significativos se examinarán utilizando un escenario hipotético derivado de varios incidentes reales que ocurrieron en Chile. Este estudio adopta un marco teórico-explicativo. Finalmente, se concluye que lograr un diseño de malla óptimo no depende exclusivamente del enfoque matemático utilizado. Su correcta aplicación es esencial; sin embargo, también se deben evaluar criterios complementarios para garantizar que los resultados sean apropiados para cada contexto. Además, se debe considerar en la mayor medida posible la mitigación del error humano, que es intrínseco a todas las acciones emprendidas.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Espinoza & Carreño (2022), en su tesis titulada “Control Operacional de Metros de Avance por Disparo Utilizando la Metodología Lean Six Sigma”. La iniciativa tuvo como objetivo mejorar los ingresos mediante la mejora de la calidad y eficiencia de los metros de avance por disparo, ya que el problema operativo original era que el 63% del total de disparos, de una población de 618, estaban fuera de especificación durante el período de mayo a octubre. Esto indica que los disparos tuvieron una efectividad menor a 3,4 metros de avance. En consecuencia, se realizó un estudio a nivel de proceso para identificar el proceso clave y el indicador necesario para mejorar los problemas operativos, dando como resultado un proceso de nivel 03 (perforación y voladura) con el KPI de metros de avance por disparo (m./disp). El resultado final fue una capacidad preliminar del proceso de 54.27%. Solo 114 de las 210 explosiones realizadas en octubre de 2020 cumplieron con las especificaciones del cliente según las métricas del KPI de avance por disparo. De igual forma, las variables cuantitativas iniciales (carga, diámetro de perforación, número de perforaciones) fueron evaluadas mediante análisis de

regresión. Esto indica que el 79.72% de la varianza en metros de avance por disparo puede ser dilucidada por el modelo elaborado mediante análisis de regresión.

(MEDINA LOPEZ, 2023), La investigación denominada “Diseño de Parrilla de Perforación para Mejorar el Avance de la Rampa Brenda en la Unidad Minera Santa Bárbara” tuvo como objetivo desarrollar un sistema de parrilla de perforación para optimizar el avance de la Rampa Brenda. Esta investigación es cuantitativa, es decir, implica la recolección de datos mediante mediciones. Los hallazgos permitieron una reducción en el factor de carga de $1,9 \text{ kg/m}^3$ a $1,63 \text{ kg/m}^3$. La eficiencia de avance aumentó de 87,33% a 96,72%. De igual forma, los gastos por combustible de perforación disminuyeron de S/.66,690 a S/.38,070, mientras que los gastos de voladuras bajaron de S/.69,250 a S/.61,750, resultando en una reducción de 10,83%. En conclusión, el diseño de la nueva red ha permitido reducir el número de simulacros, pasando de 42 a 37. Se ha optimizado la cantidad de cartuchos por simulacro, pasando de 277 a 247 cartuchos explosivos.

(Osorio Yupanqui, 2021), Es autor de la tesis titulada “Diseño de la malla de perforación y voladura en la construcción del Bypass 4250 de la Empresa Administradora Chungar S.A.C.”, cuyo objetivo es optimizar la malla de perforación y voladura de este proyecto. El nuevo diseño redujo el número de perforadoras de 50 a 48 en un tramo de $4,5 \text{ m} \times 4,0 \text{ m}$, disminuyendo así el tiempo de perforación de 3.044 horas a 2.884 horas, lo que se traduce en un ahorro de tiempo de 9.57 minutos por malla. Esta mejora se refleja en una diferencia de factor de carga de 0.32 kg/m^3 . Adicionalmente, se seleccionaron explosivos alternativos para mejorar el desempeño sin dañar la roca, la cual presenta un Rock Mass Rating (RMR) de 35 a 50, clasificado como de malo a regular, característico de la roca marga roja predominante en la formación. Los yacimientos de la Empresa

Chungar consisten principalmente en margas y conglomerados. Al disminuir el número de perforadoras, se pudo obtener una utilidad de \$8,11 por ML. Además, al seleccionar un explosivo alternativo al que se emplea actualmente, se redujeron los costos, lo que produjo un ahorro de \$89,37 por ML. Esto dio como resultado un volumen quebrado de 58.22 m³ por disparo, con un tonelaje de 157.21 toneladas por disparo.

(Unocc, 2021), el trabajo titulado “Diseño de Parrillas de Perforación para Mejorar los Indicadores de Voladura en la Zona III – Mina Yauricocha – Sociedad Minera Corona S.A” tuvo como objetivo evaluar el impacto del diseño de parrillas de perforación en la mejora de los indicadores de voladura en la Zona III de la Mina Yauricocha. Se realizó un estudio científico aplicado a nivel descriptivo-explicativo, utilizando un diseño descriptivo comparativo. Se consideró como población las actividades de desarrollo en la Zona III y se seleccionó como muestra no probabilística la Rampa Escondida. El avance logrado en la nueva operación fue de 3 metros de longitud por disparo; en comparación con los 2,70 metros anteriores, esto es un aumento del 11%. El factor de carga original es de 3.34 kg/m³, mientras que los diseños mejorados proporcionan un factor de carga de 2.58 kg/m³, lo que resulta en una reducción del 29.5% en roca de grado IIIA. El consumo de explosivos puede disminuir en calidad IIIA en un 15.7%; en IIIB en un 29.24%; y en IVA un 36%

(Choque Velarde, 2017), En su tesis para optar el grado de ingeniero de minas titulada “Diseño de Perforación y Voladuras Utilizando el Método Roger Holmberg para Mitigar Incidencias de Voladuras Inadecuadas en Cía Minera Ares S.A.C. – U.O. Arcata.” el objetivo principal de esta investigación es disminuir las incidencias de voladuras inadecuadas, reducir el tiempo de inactividad en el ciclo minero, mejorar la eficiencia de las voladuras y cumplir con el plan de avance lineal mensual planificado. Se realizaron

análisis técnicos para examinar los problemas asociados con las voladuras inadecuadas en muchas regiones y se evaluaron los diseños de perforación y voladura anteriores a este trabajo. Se desarrollaron nuevas combinaciones de perforación y voladura utilizando la técnica modificada proporcionada por Roger Holmberg. La incidencia de eventos de voladuras inadecuadas disminuyó de un promedio de 61 quejas mensuales a solo 4 informes mensuales. Además, se mejoró la eficiencia de las voladuras, aumentando el avance lineal promedio de 2.33 metros por disparo a 2.97 metros por disparo, con una longitud de perforación de 3.20 metros. Los hallazgos de este estudio se derivaron utilizando la metodología de causa y efecto, y los diseños de perforación y voladura formulados se han adoptado como estándares operativos dentro de la unidad.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Operaciones Unitarias del ciclo de minado

En el sector minero, la extracción de minerales se realiza mediante técnicas de explotación a cielo abierto y subterránea. En este estudio de caso se examina la minería subterránea, es decir, las operaciones de desarrollo y preparación. Las actividades se organizan en operaciones unitarias ejecutadas en una secuencia determinada para facilitar el avance dentro de la mina, que incluyen: perforación, voladura, ventilación, limpieza, desatadura y soporte (Bastidas, 2020).

Figura 1

Ciclo de minado de la RP 159 N



Fuente: Plan gestión de procesos excavaciones subterráneas 2023 v 1.0 – IESA

2.2.2. Perforación

El proceso se basa en principios mecánicos de percusión, rotación y avance, en los que los efectos resultantes del impacto y la fricción facilitan el descascarillado y triturado de la roca dentro de un área correspondiente al diámetro de la broca y a una profundidad determinada por la longitud de la broca utilizada (EXSA, 2019).

En la minería subterránea, la perforación puede realizarse horizontalmente para frentes de progresión o verticalmente para tajos de mineral. Esta investigación proporcionará un examen completo de la perforación horizontal, en lo que respecta a las actividades de desarrollo y preparación.

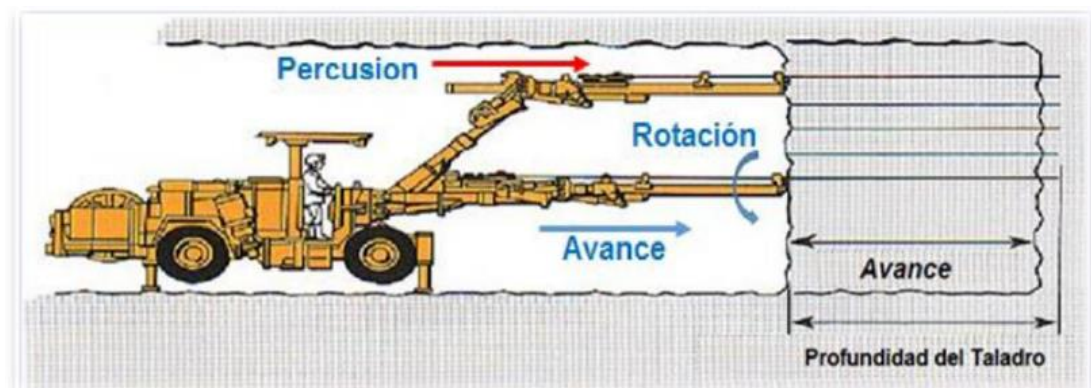
Esta acción unitaria inicia el ciclo de minería. Esta operación implica perforar agujeros cilíndricos en la roca in situ para introducir explosivos y sus dispositivos iniciadores con el fin de fragmentar y extraer el mineral para su explotación, preparación o desmonte durante el desarrollo. (Chinchay, 2018).

2.2.3. Acciones básicas en la perforación

Los métodos de perforación más empleadas y desarrolladas se basan en sistemas de perforación mecánicos, conocidos como sistemas de perforación a “rotación” y a “percusión”. Se muestran en la figura 2.

Figura 2

Acciones básicas en la perforación roto percutiva



Fuente: Manual de P & V- Lopez Jimeno

Percusión

La energía mecánica que utiliza esta técnica de perforación es la energía cinética. Los efectos generados por el choque del pistón producen ondas de choque que se envían a la broca a través de la varilla (con un martillo colocado encima) o directamente sobre ella (con un martillo colocado debajo). Al llegar a la broca, la onda de choque convierte una parte de su energía en trabajo, facilitando la penetración de la broca, mientras que el resto se refleja y viaja de vuelta a través de la varilla. La eficacia de esta transmisión es difícil de evaluar debido a que depende de varios elementos, entre ellos el tipo de roca y las características de la varilla (Lopez, 2005).

Rotación

Esta tecnología funciona bajo la premisa de transmitir energía a la roca mediante movimientos giratorios de la broca en varios puntos de la base de la perforadora. Cada

tipo de roca tiene una velocidad de rotación adecuada que maximiza la producción de escombros al utilizar la superficie libre de la cavidad formada después de cada contacto (Lopez, 2005).

Empuje

La energía producida por el mecanismo de impacto del martillo debe ser transmitida a la roca. Para ello es necesario que la broca mantenga un contacto constante con la base de la perforadora. Esto se logra mediante la fuerza de empuje proporcionada por un motor o cilindro de alimentación, que debe adaptarse al tipo específico de roca y broca de perforación (Lopez, 2005).

Equipo utilizado en la perforación

La operación unitaria de perforación cuenta con equipo mecanizado para las perforaciones horizontales. Posee un sistema mecánico, eléctrico e hidráulico. La contrata IESA S.A utiliza Jumbos de la marca EPIROC, modelo Boomer S1D de 1 brazo con barra de perforación de 14 pies.

Figura 3

Características del Equipo de perforación utilizada

EQUIPO DE PERFORACIÓN	CARACTERÍSTICAS	MEDIDAS
 BOOMER S1D (EPIROC)	Peso del equipo: 15,500 Kg Motor Diésel Deutz BF4L914 (72 KW, TIER II) Tanque de combustible: 60 L Sistema contraincendios ANSUL Capacidad de bomba hidráulica: 12 bar, 66 l/m Perforadora Hidráulica: ATLAS COPCO, 14 pies. Capacidad: 1 brazo Valor de Venta: 490,000 USD	Longitud: 13.6 m Ancho: 2.10 m Altura: 2.76 Radio de curvatura interno: 2.95 m Radio de curvatura externo: 4.95

2.2.4. Voladura

De acuerdo con los principios de la mecánica de fracturas, la voladura es un fenómeno tridimensional en el que las presiones producidas por los explosivos contenidos

en los barrenos perforados en la roca establecen una zona de concentración de alta energía, dando lugar a dos efectos dinámicos: fragmentación y desplazamiento.

El primero se refiere a las dimensiones de los fragmentos generados, su distribución y porcentajes de tamaño, mientras que el segundo se refiere al desplazamiento del macizo rocoso fragmentado (EXSA, 2019).

2.2.5. Explosivos

Es un producto químico o mezcla de productos químicos, que cuando reciben una energía inicial reaccionan violentamente de manera rápida, generando la liberación de calor, presión y generación de gases.

Los explosivos utilizados en el sector minero son materiales que explotan para generar una onda de choque de alta densidad y volúmenes sustanciales de gas, que, cuando están contenidos dentro de una perforadora, se expanden rápidamente, infiltrándose en pequeñas fisuras existentes en la roca y creando nuevas fracturas para facilitar la fragmentación de la roca.

De acuerdo al catálogo de fichas técnica (ORICA, 2024), Los explosivos y accesorios que se utilizan en las labores de desarrollo y preparación en la unidad minera el Porvenir son:

2.2.5.1. Senatel Pulsar

La emulsión del cartucho Senatel Pulsar es un explosivo resistente, de alta energía y sensible al detonador. La sustancia es gris y tiene una consistencia pastosa.

Figura 4

Explosivo Senatel Pulsar



Fuente: Ficha técnica ORICA -2024

Aplicación:

Senatel Pulsar es un explosivo a prueba de agua, basado en cartuchos, diseñado para usarse como carga de fondo o como carga de columna en rocas muy duras. La elevada velocidad de detonación y las características duraderas lo convierten en un explosivo óptimo para usar como iniciador de columna ANFO.

Tabla 1

Propiedades técnicas del Senatel pulsar

Propiedades Técnicas	
Producto	Senatel Pulsar
Densidad(g/cm3)	1.10 - 1.23
Diámetro mínimo de cartucho(mm)	28
Tipo de barreno	seco y con agua
VOD característica (m/s)	5400 - 6000
Energía Efectiva Relativa (REE)	
Energía relativa en peso - RWS (%)	134
Energía relativa en volumen - RBS (%)	201
CO2 Equivalente (Kg/t)	158

Fuente: ORICA, 2024

2.2.5.2. Senatel Magnafrac:

Es una emulsión explosiva encartuchada, robusta y sensible al detonador. El explosivo es de color blanco y tiene una consistencia pastosa.

Figura 5

Senatel Magnafrag



Fuente: Ficha técnica Orica -2024

Aplicación:

Senatel Magnafrag es un explosivo encartuchado resistente al agua diseñado para trabajar como carga de columna en rocas de dureza alta o como carga de fondo en rocas de dureza baja. La alta velocidad de detonación junto con la naturaleza robusta hace que sea un explosivo ideal para ser usado como iniciador de columnas de ANFO.

Tabla 2

Propiedades Técnicas de Senatel Magnafrag

Propiedades Técnicas	
Producto	Senatel Magnafrag
Densidad(g/cm3)	1.17 - 1.23
Diámetro mínimo de cartucho(mm)	22
Tipo de barreno	Húmedo y seco
VOD característica (m/s)	5700 - 6300
Energía Efectiva Relativa (REE)	
Energía relativa en peso - RWS (%)	117
Energía relativa en volumen - RBS (%)	175
CO2 Equivalente (Kg/t)	170

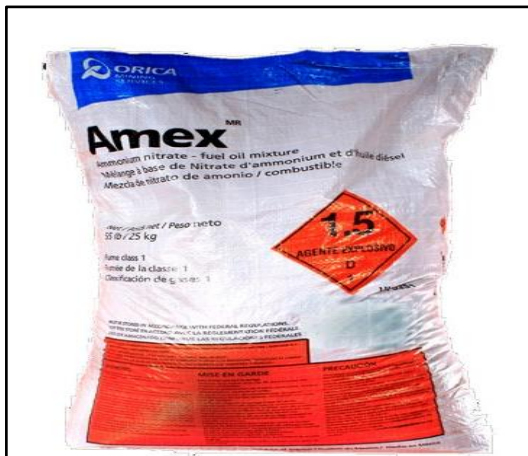
Fuente: ORICA, 2024

2.2.5.3. Anfo (Amex)

Es una mezcla balanceada entre prills de nitrato de amonio poroso y combustible diesel. Dependiendo de los requerimientos del cliente el ANFO se puede entregar empacado en sacos o a granel. No es adecuado para ser usado en entornos reactivos.

Figura 6

Explosivo ANFO



Fuente: Ficha técnica ORICA -2024

Aplicación

Es adecuado para su aplicación en pozos secos que permanecerán libres de humedad hasta la explosión. AMEX puede servir como carga de columna en minería a cielo abierto, minería subterránea, canteras y operaciones de voladura en general. Puede depositarse mecánicamente o descargarse en el pozo.

Tabla 3

Propiedades técnicas del ANFO

Propiedades Técnicas	
Producto	ANFO (AMEX)
Densidad(g/cm3)	0.80 ± 0.05
Diámetro mínimo barrenos (mm)	40
VOD típico (Km/s)	>2.5
Calor de formación (MJ/Kg)	3.82
Energía efectiva (MJ/Kg)	2.3
Energía Efectiva Relativa (REE)	
Fuerza relativa en peso	100
Fuerza relativa en volumen	100
Volumen de gases (l/Kg)	965
CO2 Equivalente (Kg/t)	191

Fuente: ORICA, 2024

2.2.6. Accesorios de voladura

2.2.6.1. Detonador ensamblado (Carmex)

El CARMEX ha sido desarrollado como un mecanismo de iniciación seguro y eficaz para voladuras convencionales.

El CARMEX consta de los siguientes componentes: un fulminante estándar del N° 8, un segmento de mecha de seguridad, una conexión para una mecha rápida y un bloque de sujeción, que es un dispositivo de seguridad de plástico diseñado para asegurar la mecha rápida. (FAMESA, 2023).

Figura 7

Carmex



Fuente: Ficha técnica ORICA -2024

2.2.6.2. Detonador no eléctrico (Exel MS)

Los detonadores exel MS son series de detonadores no eléctricos de alta potencia que presentan intervalos de retardo de milisegundos (MS) entre los sucesivos tiempos de disparo.

Figura 8

Exel MS



Fuente: Ficha técnica ORICA -2024

Aplicación

Los detonadores Exel proporcionan una serie de tiempos de retardo adecuados para su uso en minería de superficie, canteras e interior mina. Los detonadores Exel MS inician directamente los multiplicadores o los cartuchos de explosivos usados como iniciadores que son sensibles al detonador.

Tabla 4

Propiedades técnicas del Exel MS

Propiedades Técnicas	
Producto	Exel MS
Tubo de transmisión	Exel 3L naranja
Diámetro exterior (mm)	3.0±0.2
Resistencia nominal a la Tensión (min)	300 N + 20 C°
Longitudes (m)	3.6 - 45.0
Propagación de la onda de choque (m/s)	2000 ± 100
Potencia de salida	REF.DET. #3
Cápsula	Aluminio
Resistencia a la presión hidrostática	3 bares durante 7 días

Fuente: ORICA, 2024

2.2.6.3. Detonador no eléctrico (Exel LP)

Los detonadores Exel LP son una colección de detonadores no eléctricos de alta energía que se caracterizan por intervalos de retardo prolongados entre detonaciones consecutivas. La configuración de un detonador Exel LP comprende un detonador no eléctrico y un tubo de transmisión de señal Exel de color amarillo. El tubo de transmisión de señal Exel, responsable de transmitir la señal de iniciación al detonador, tiene una gran resistencia a la tracción y a la abrasión.

Figura 9

Exel LP



Fuente: Ficha técnica ORICA -2024

Aplicación

Los detonadores Exel LP ofrecen una variedad de duraciones de retardo adecuadas para voladuras de minas subterráneas y construcción de túneles civiles.

Los detonadores Exel LP activan inmediatamente los multiplicadores o cartuchos explosivos utilizados como cebadores que responden a la detonación.

Tabla 5

Propiedades técnicas del Exel LP

Propiedades Técnicas	
Producto	Exel LP
Tubo de transmisión	Amarillo Exel 3L o 3L XU
Diametro exterior (mm)	3.0±0.2
Resistencia nominal a la Tensión (min)	300 N + 20 C°
Longitudes (m)	4.8 - 7.8
Propagación de la onda de choque (m/s)	2000 ± 100
Detonador	
Potencia de salida	REF.DET. #3
Cápsula	Aluminio

Fuente: ORICA, 2024

2.2.6.4. Cordtex (Cordón detonante)

Cordtex es un cable detonante robusto y flexible, que consta de un núcleo de Pentrita recubierto de un tejido de fibras plásticas, que a su vez está envuelto en una capa de plástico (PVC).

Figura 10

Cordón Detonante



Fuente: Ficha técnica ORICA -2024

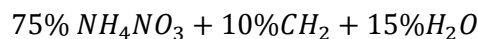
Aplicación

Los cordones detonantes proporcionan un sistema de iniciación no eléctrico en voladuras en minería a cielo abierto, en minería subterránea, canteras y obras civiles.

2.2.7. Energía química de los explosivos

La energía química de los explosivos es la energía potencial que se transforma en calor, luz y energía cinética cuando se detonan, además los explosivos al ser compuestos químicos se descomponen rápidamente al ser sometidos al calor, impacto o choque esta descomposición libera calor y gases que se expanden y generan altas presiones.

Ecuación química del explosivo Anfo y emulsión Pulsar: La emulsión es un sistema bifásico de una solución acuosa combinada con sales oxidantes inorgánicas, a saber, nitrato de amonio, disuelto en agua, mientras que la fase oleosa se compone principalmente de hidrocarburos diésel. Las emulsiones se utilizan por dos razones, la primera es resistente al agua y la segunda por presentar alta velocidad de detonación del explosivo (VOD).



2.2.8. Malla de Perforación

La cuadrícula de perforación se refiere a la disposición de las perforadoras en una operación de voladura. Se examina la correlación entre la carga por perforadora (carga) y la distancia entre perforadoras (espaciamiento), así como su asociación directa con la profundidad de perforación. El diseño de la cuadrícula de perforación consta de la ayuda inicial, la primera ayuda, la segunda ayuda, la tercera ayuda, la ayuda de hastial, la ayuda de corona, hastial, corona y arrastre (QUISPE, 2018).

Un diseño de cuadrícula de perforación consta de líneas de cuadrícula precalculadas colocadas en una superficie para ayudar al perforador. Cada tipo de roca

2.2.8.1. Numero de taladros

La determinación dependerá en cierta medida del ancho efectivo de la sección, la técnica de corte inicial seleccionada y los atributos del aparato de perforación. El uso de un corte quemado permite profundidades de perforación de hasta 2 a 3 metros, mientras que un corte en “V” permite el acceso a túneles de sección diminuta de solo 1 a 2 metros. Para determinar la longitud de las aberturas de corte en V, cuña o pirámide, se puede utilizar la siguiente relación (EXSA, 2019).

$$L = Lb \times Ep$$

Donde:

Lb: longitud de barra (m)

Ep: eficiencia de perforación %

2.2.8.2. Cantidad de carga

Depende El resultado depende de la dureza de la roca y las dimensiones del frente de voladura. Los factores posteriores: la cantidad, el diámetro y la profundidad de los agujeros, así como el tipo de explosivos e iniciadores utilizados. La cantidad de explosivo necesaria por metro cuadrado para la voladura disminuye a medida que crece la sección del túnel y aumenta con la dureza de la roca.

Generalmente, los siguientes elementos pueden evaluarse en kilos de explosivos por metro cúbico de roca. El uso de dinamita en minería suele oscilar entre 300 y 800g/m³.

Tabla 6

Factor de Carga

Tipo de roca	Factor (kg/m3)
Muy duras	1,5 a 1,8
Duras	1,3 a 1,5
Blandas	1,1 a 1,3
Muy blandas	1,0 a 1,2

Fuente: EXSA, 2015

En donde podemos considerar:

- Rocas muy duras.
- Rocas duras.
- Rocas blandas.
- Rocas muy blandas.

Valores estimados para galería con una sola cara libre, para disparos con 2 caras libres se pueden considerar valores de 0,4 a 0,6 kg/m³. (EXSA, 2015)

2.2.9. Rampa

Son labores características de la minería sin rieles, denominados desarrollos inclinados tienen por objetivo su construcción para ganar altura o profundidad ya sea positiva o negativa respectivamente, normalmente su construcción se realiza fuera de veta.

Las rampas son labores de acceso de superficie a interior mina donde existan labores y zonas mineralizadas, estas rampas permiten movilizar maquinaria, personal, así mismo sirve para la extracción de mineral de forma rápida con volquetes y dumper. Se tiene rampas de tipo recta, espiral, zigzag, basculantes y rampas en 8.

La presente investigación se enfoca en el desarrollo de la rampa de tipo espiral.

Rampa espiral:

Es un sistema que vincula dos niveles, implementado en el interior del cuerpo mineralizado por donde transitan todos los equipos motorizados. Funciona como mecanismo de transporte y facilita la secuencia minera, con rampas en ambos extremos diseñadas para las actividades mineras. Se presentan las especificaciones de la rampa espiral construida en la Unidad Minera Porvenir.

- Sección: 4.5 x 4.5 m
- Gradiente +12% (Ascendente) y -12% (Descendente)
- Longitud total en cada espiral: 200m
- Altura de paso (altura en una vuelta): 20 m
- Radio de curvatura interno y externo: 13m y 17 m respectivamente.

2.2.10. Sistema de avance

Para determinar el avance dentro de una operación minera, es fundamental identificar los factores que influyen: el equipo de perforación empleado, el tiempo asignado para la ejecución de la tarea, el tipo de roca designada para las actividades de perforación y voladura, las medidas de seguridad tanto para el equipo como para el personal, y las diversas funciones operativas de la unidad minera. Además, también se debe considerar el sistema de ventilación para el avance de los programas dentro de la unidad minera (Lopez, 2005).

2.2.11. Condiciones de Perforación

El proceso de perforación y la elección del explosivo son factores críticos para una voladura efectiva. Ambas responsabilidades deben ejecutarse con diligencia y discernimiento. Es lamentable ver que el supervisor de la operación de perforación en las unidades mineras no la ejecuta bien. Esto da como resultado fallas en la calidad del trabajo, incluyendo perforadoras desalineadas, espaciado inadecuado, longitudes irregulares y otros problemas. Establecer una supervisión adecuada en la perforación y voladura es crucial para garantizar una ejecución precisa y maximizar la eficiencia de la voladura en las operaciones mineras (Rojas, 2023).

2.2.12. Errores y defectos de la perforación

La perforación se realiza utilizando jumbos electrohidráulicos, lo que requiere operadores altamente capacitados y experimentados. La experiencia y los conocimientos del operador influyen directamente en la eficiencia de las operaciones de perforación y voladura.

Para lograr la máxima eficiencia, se desea una eficiencia de voladura del 95 % de la longitud perforada. Los errores en el proceso de perforación pueden tener repercusiones importantes, en particular si influyen en el inicio de la explosión. Se recomienda la formación y la experiencia continuas del operador para garantizar una perforación y voladura eficaces.

Los errores son significativos, especialmente si afectan el arranque del disparo. Entre ellos tenemos:

- Insuficiente diámetro o número de taladros de alivio.
- Desviaciones en el paralelismo.

- Espaciamientos irregulares entre taladros.
- La irregular longitud de taladros.
- Intersección entre taladros.
- Mayor número de taladros que los necesarios o diámetros muy grandes (excesiva densidad de carga).

2.2.13. Diseño de arranque en minería subterránea

La premisa esencial de la voladura de túneles consiste en crear una cavidad inicial, denominada corte o arranque, que facilita la formación de un segundo frente libre con una extensa área de superficie. El frente secundario permite el desmantelamiento del segmento de túnel restante, permitiendo que las perforadoras situadas en el núcleo y el perímetro excaven la roca hacia esa cavidad (Rojas, 2023).

El punto de partida estará supeditado a las características del macizo rocoso. Idealmente, los cortes deben ubicarse en la región central de la sección frontal para optimizar la distribución de las perforadoras de acuerdo con el diseño y los cálculos de espaciamiento y carga dentro de los cuadrantes.

2.2.14. Condiciones básicas para voladuras en frentes

- Cara libre o alivio
- Traza de perforación y alineamiento de taladros
- Carga explosiva
- Secuencia de salidas

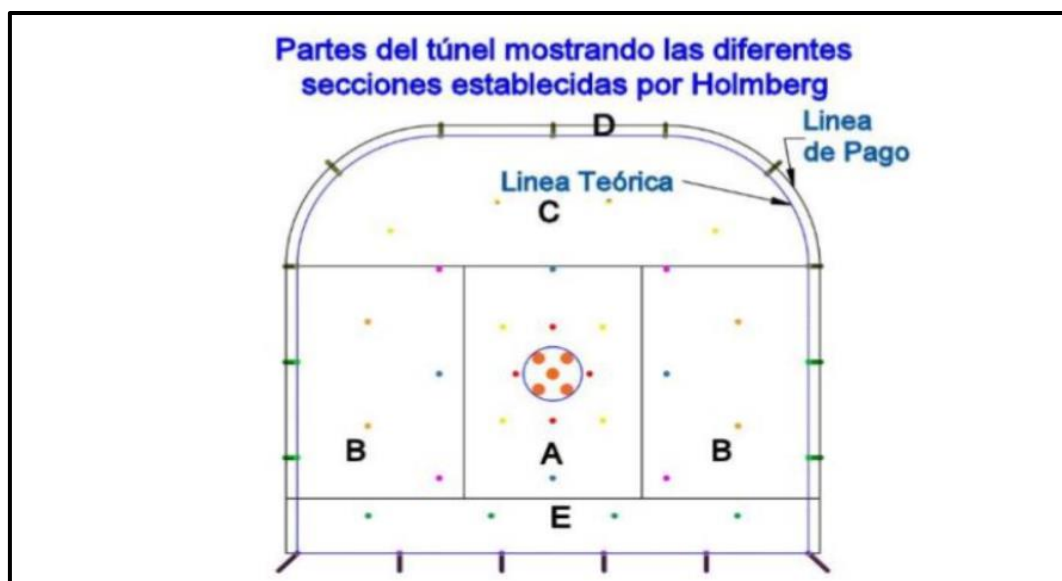
2.2.15. Modelo Matemático de Roger Holmberg

El científico sueco Roger Holmberg creó un modelo matemático para la asignación de perforadoras con cargas explosivas para operaciones extensivas, principalmente en minería subterránea mecanizada, particularmente para proyectos de uso prolongado como galerías, rampas y subniveles.

Holmberg categoriza el diseño de perforación y voladura de túneles en cinco secciones distintas y recomienda fórmulas únicas para cada escenario. Las partes incluyen: corte, picado, elevación (núcleo), contorno y arrastre.

Figura 12

Partes del túnel y sus secciones establecidas por Roger Holmberg



Fuente: Manual de P & V- Lopez Jimeno

Donde:

A: sección de corte (cut).

B: sección de tajeo (stopping).

C: sección de alza (stopping)

D: sección de contorno (contuor)

E: sección de arrastre (lifters)

2.2.16. Distribución y Denominación de taladros

(EXSA, 2019), todos los simulacros se asignan desde la región media del frente, y sus designaciones son las siguientes:

2.2.16.1. Taladros de Alivio

Su composición consiste en taladros vacíos, todos desprovistos de carga explosiva, con el propósito de crear un frente libre durante el proceso de voladura.

2.2.16.2. Taladros de arranque o corte

La sección media comprende todos los taladros cargados, que detonan en el frente para crear el primer pozo; estos taladros poseen una densidad de carga de 1.3 a 1.5 veces mayor que la de los otros taladros.

2.2.16.3. Taladros de ayuda del arranque

Estos simulacros se adhieren a la pista de arranque e incluyen el taladro de arranque que detona posterior a la explosión de arranque. A las primeras ayudas de la malla le siguen las segundas y terceras ayudas, que consisten en ejercicios de demolición o desmonte introducidos en el segundo término.

2.2.16.4. Cuadradores

Los ejercicios se sitúan en los cajones laterales o frontones que constituyen las paredes laterales del túnel.

2.2.16.5. Alzas

Estas perforaciones se sitúan en el techo o bóveda del frente y se denominan ejercicios de corona. En una explosión de corte, las piqueras y los cuadrados se detonan

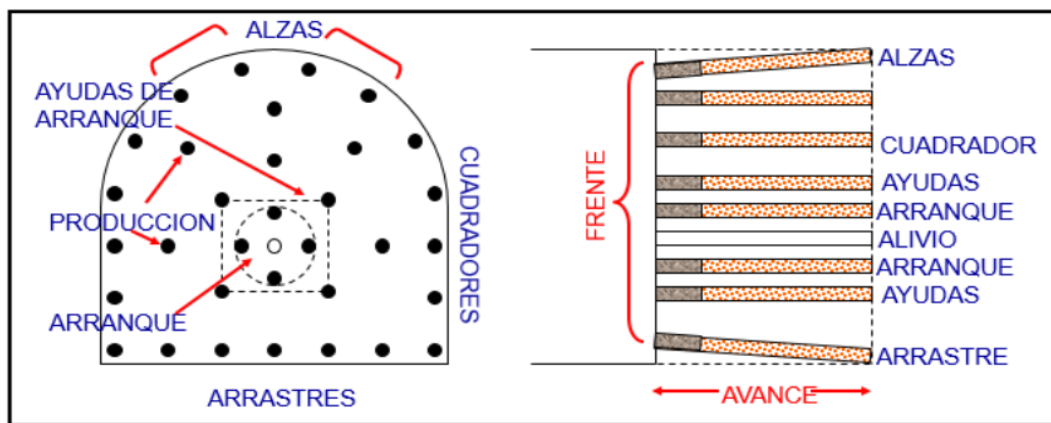
simultáneamente al concluir la ronda completa; en conjunto, se denominan ejercicios periféricos.

2.2.16.6. Arrastre

Estos taladros, correspondientes al piso frente, se detonan al final de toda la secuencia de la ronda. Su función principal es delimitar la excavación del piso, asegurando un perfil adecuado y favoreciendo el movimiento del material fragmentado. Esto tiene como objetivo principal facilitar las operaciones de carguío, optimizando la eficiencia y reduciendo el esfuerzo requerido en las etapas posteriores del proceso.

Figura 13

Distribución y Denominación de taladros



Fuente: Manual práctico de perforación y voladura Exsa, 2019

2.2.17. Factor de Carga Lineal

El factor de carga lineal se expresa como el kilogramo de explosivo utilizado en un metro de avance en la voladura de un frente.

$$FC = \frac{\text{Total de explosivo utilizado (Kg)}}{1 \text{ Metro lineal (m)}}$$

2.2.18. Macizo rocoso

El macizo rocoso se define como la interacción entre la matriz rocosa (roca intacta) y el sistema de discontinuidades generado por las tensiones a las que está

sometida la masa rocosa. Mecánicamente, los macizos rocosos se caracterizan por ser discontinuos, heterogéneos y anisotrópicos, lo que provoca variaciones en su resistencia a la compresión simple. Su comportamiento y propiedades mecánicas están influenciados por factores geológicos como la litología y las propiedades de la matriz rocosa, la estructura geológica y las discontinuidades, el estado de esfuerzos, el grado de alteración o meteorización, y las condiciones hidrogeológicas.

2.2.19. Caracterización del macizo rocoso

Se realiza a través del análisis detallado de datos obtenidos tanto en laboratorio, mediante ensayos que determinan sus propiedades físicas y mecánicas, como en campo, mediante el mapeo geomecánico y pruebas de detonación de taladros. Estos estudios permiten estimar el comportamiento del macizo rocoso (Chinchay, 2018).

2.2.20. Clasificación Geomecánica del macizo rocoso

La clasificación del macizo rocoso tiene como objetivo obtener diversos parámetros fundamentales para su aplicación en el diseño y desarrollo de proyectos de ingeniería. Entre las clasificaciones más reconocidas y utilizadas en mecánica de rocas se encuentran el "RMR" de Bieniawski, el "Q de Barton" y el "GSI". Estas metodologías evalúan la calidad del macizo rocoso considerando las propiedades de la matriz rocosa y las características de las discontinuidades, permitiendo estimar sus propiedades resistentes globales (Chinchay, 2018).

2.2.21. Sistema RMR

Desarrollado por Bieniawski entre 1972 y 1989, es una clasificación geomecánica basada en estudios de campo de más de 300 túneles. Evalúa seis parámetros fundamentales: resistencia a la compresión simple de la roca matriz, RQD del macizo rocoso, espaciamiento de las discontinuidades, condiciones de las discontinuidades (que

incluyen apertura, persistencia, rugosidad, alteración y relleno), presencia de agua, y orientación de las discontinuidades. Este sistema permite valorar la calidad del macizo rocoso y es ampliamente utilizado en proyectos de ingeniería geotécnica y minería.

2.2.22. Índice GSI (Índice de Resistencia Geológica)

Es un sistema de clasificación geomecánica que evalúa la calidad del macizo rocoso con base en la estructura de la roca y las condiciones superficiales de las discontinuidades. El índice GSI permite estimar parámetros como la resistencia y la deformabilidad del macizo rocoso para aplicaciones en diseño geotécnico y minería.

2.2.23. Sistema Q de Barton

Es un método de clasificación del macizo rocoso desarrollado por Barton que se basa en seis parámetros clave: calidad de las juntas (RQD), número de juntas (Jn), resistencia de las juntas (Jr), condiciones de las juntas (Ja), tensión efectiva (Jw), y esfuerzo de corte inducido por excavación (SRF). Este sistema calcula el valor Q, que sirve como indicador de la estabilidad del macizo y guía para el diseño de sostenimiento en túneles y excavaciones (Barton, 1974).

El **índice Q** está basado en una evaluación numérica de seis parámetros dados por la expresión:

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

RQD: Índice de calidad de la roca, **Jn:** Es el índice de diaclasado, **Jr:** Índice de rugosidad de las discontinuidades, **Ja:** Índice de alteración de las discontinuidades, **Jw:** Factor de reducción por presencia de agua, **SRF:** Condiciones tensionales de la roca.

2.2.24. Avance lineal

Medida de la longitud recorrida o progresada en una dirección específica durante las operaciones de perforación y voladura, generalmente expresada en metros por ciclo o disparo.

2.2.25. Cara Libre

Superficie expuesta de la roca que no está restringida por material adyacente, permitiendo la expansión y fractura eficaz durante la voladura.

2.2.26. Burden

Distancia perpendicular entre un taladro y la cara libre o entre taladros consecutivos, que influye directamente en la efectividad de la fragmentación de la roca.

2.2.27. Mapeo Geomecánico

Proceso de identificación y evaluación de las propiedades estructurales y mecánicas de las rocas y discontinuidades, utilizando métodos de campo para comprender el comportamiento del macizo rocoso.

2.2.28. Eficacia

Capacidad de alcanzar los resultados esperados o cumplir con los objetivos planteados, independientemente de los recursos utilizados.

La eficacia es la relación entre los resultados logrados y los resultados que se habían propuesto (obtención de metas).

2.2.29. Eficiencia

Capacidad de lograr los resultados deseados utilizando el mínimo de recursos posibles, maximizando la relación entre los resultados obtenidos y los recursos empleados.

2.2.30. Indicadores

Los indicadores son mediciones que nos ayudan a identificar el rendimiento de una determinada acción y nos indican nuestro nivel de desempeño en base a uno o más objetivos que hemos fijado con anterioridad. Se utilizan para monitorear la información y resultados del proceso minero como es la perforación, voladura, limpieza, sostenimiento, transporte, relleno, etc.

Las ventajas que ofrece es la de comparar la información y determinar las estrategias para controlar los parámetros de las diferentes tareas y tomar mejores decisiones.

2.2.31. Optimización

Implica encontrar una alternativa superior a la existente mediante posibles modificaciones. Las variaciones del cambio se rigen por cálculos matemáticos destinados a maximizar y reducir una variable independiente para abordar una cuestión general, con el objetivo de identificar el elemento óptimo.

2.2.32. Optimización de avance lineal

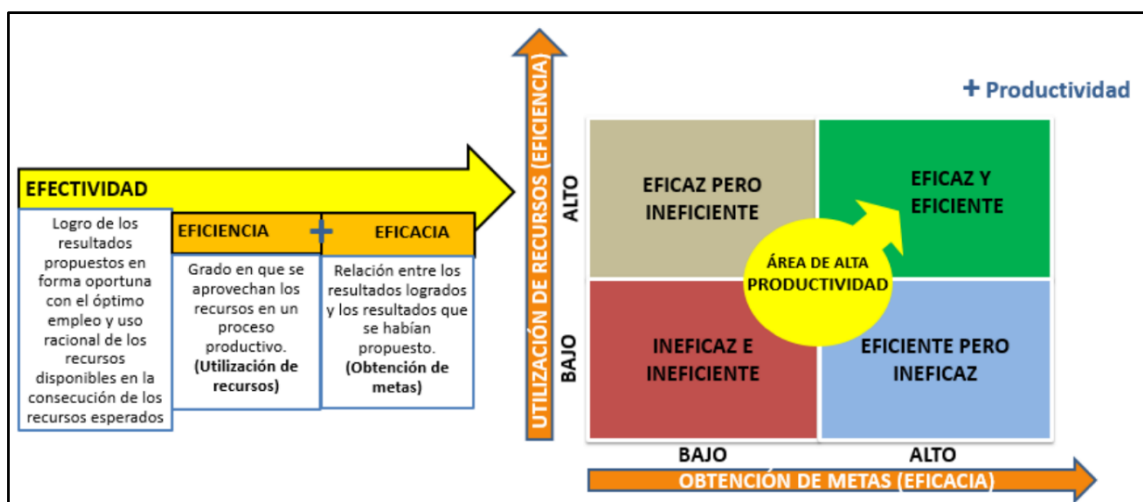
La optimización del avance lineal se logra mediante el incremento del rendimiento en las operaciones de perforación y voladura, lo cual depende en gran medida de la habilidad del operador para mantener el paralelismo de los taladros y realizar un correcto pintado de la malla de arranque. Para ello, es fundamental supervisar y controlar las operaciones unitarias, garantizar el cumplimiento del diseño de la malla de perforación para cada tipo de roca, delinear la malla según el espaciamiento y el burden establecidos, respetar el paralelismo entre los taladros durante la perforación, y asegurar un correcto carguío de los taladros con una distribución adecuada de la carga explosiva.

2.2.33. Productividad

La productividad se refiere a la relación entre el resultado generado por un sistema de producción y los recursos utilizados para lograrlo. Se define por la interacción de la eficiencia, la eficacia y la efectividad en la utilización de los recursos para lograr los resultados deseados. La efectividad implica lograr los resultados propuestos de manera oportuna mediante el uso óptimo y prudente de los recursos disponibles, como materiales, finanzas y personal, para cumplir con las expectativas. La integración y el equilibrio de estos tres conceptos son cruciales para el éxito del proceso de producción, medido por la obtención de resultados con eficacia, asegurando la calidad en los objetivos mediante una gestión sistemática y minimizando el desperdicio de recursos.

Figura 14

Relación de la productividad con la eficiencia, eficacia y efectividad



Fuente: Revista Universidad EAFIT (2004)

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

Este estudio tuvo un enfoque cuantitativo y se aplica de acuerdo al propósito. De acuerdo con Sampieri Hernandez & Mendoza, (2018), este enfoque es “Probatorio y secuencial, es decir que cada etapa se tiene que respetar, lo cual permitirá la adecuada obtención de información que se recolecta de diferentes formas”. Además, mediante este enfoque se puede medir, cuantificar, expresar en cifras, los parámetros de estudio de una población.

3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación fue descriptiva y proporciona un análisis integral de los parámetros de diseño existentes para mallas de perforación y voladura en operaciones de preparación y desarrollo. Según Sampieri Hernandez & Mendoza, (2018), la investigación de nivel descriptivo tiene como propósito “Explicar y detallar la incidencia y justificación de las variables para luego establecer soluciones o alternativas al problema”.

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación fue de naturaleza aplicada, centrándose en causa y efecto, donde la causa es el diseño de la malla de perforación y el efecto son los hallazgos adquiridos después de la voladura, informando así el nuevo diseño de la malla de perforación. Según Sánchez & Reyes (2006), mencionan que la “investigación aplicada, por ser una puesta en práctica del saber científico, constituye el primer esfuerzo para transformar los conocimientos científicos en tecnología”.

3.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La investigación fue cuasi experimental desde su inicio y posteriormente incluyó un nuevo diseño de la red de perforación, que incluye carga, espaciamiento, número de perforaciones y carga explosiva utilizada. En última instancia, estos datos se compararán para evaluar la mejora de la longitud de avance prevista.

3.5. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación adoptó un método científico, utilizando datos auténticos recopilados en el sitio durante las operaciones de perforación en la UM El Porvenir. Se emplearon métodos sistemáticos y rigurosos para recopilar, evaluar y validar los datos, proporcionando una base sólida para el diseño de la red de perforación. Según Kerlinger (1981), el método científico se define como "la aplicación sistemática del pensamiento a la investigación, caracterizada por su naturaleza reflexiva". El estudio abordó desafíos específicos relacionados con la fragmentación de rocas en las operaciones de perforación y voladura incorporando varios recursos de conocimiento disponibles.

3.6. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.6.1. Población

La población estuvo conformada por las labores de desarrollo del cuerpo mineralizado CN3 de la Unidad minera El Porvenir.

Para Hernández Sampieri (2018), "una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones" (p. 65).

3.6.2. Muestra

La muestra esta conformada por la RP 159N del cuerpo mineralizado CN3 de la Unidad minera El Porvenir.

“La muestra es, en esencia, un subgrupo de la población. Es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que se le llama población” (H. Sampieri, citado por Balestrini, 2001. Pag. 141).

3.7. HIPÓTESIS

3.7.1. Hipótesis General

- El diseño de malla de perforación de la RP 159N influye significativamente para optimizar indicadores de voladura en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024

3.7.2. Hipótesis específicas

- La Clasificación del macizo rocoso repercute en el control de factor de carga lineal de la RP 159N en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024.
- El Burden y Espaciamiento influye Significativamente en la eficacia del avance de la RP 159N en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024.
- La longitud de perforación incide significativamente en la Eficiencia de voladura de la RP 159N en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024.

3.8. VARIABLES E INDICADORES

3.8.1. Variable independiente

Diseño de malla de perforación

3.8.1.1. Indicadores

Burden y espaciamiento

Clasificación del macizo rocoso

Longitud de perforación

3.8.2. Variable dependiente

Indicadores de voladura

2.8.2.1. Indicadores

Factor de carga lineal

Eficacia del avance

Eficiencia de voladura

3.9. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES, DEFINICIÓN CONCEPTUAL Y OPERACIONAL

Variable	Definición Conceptual	Indicadores	Tipo de variable
Variable independiente Diseño de malla de perforación	La malla de perforación se refiere a la distribución de los taladros en una voladura y tienen una ubicación, diámetro, profundidad, inclinación, burden y espaciamiento entre los taladros. Este diseño busca optimizar la fragmentación de la roca, reducir los gastos de perforación, minimizar el uso de explosivos, obtener buen avance, determinar el orden y salida de taladros y garantizar la seguridad del proceso. Se basa en factores como la geología del terreno, el tipo de roca y el tamaño de la voladura deseada.	Burden y espaciamiento	Cuantitativo
		Clasificación del macizo rocoso	
		Longitud de perforación	
Variable dependiente Indicadores de Voladura	Los indicadores de voladura son mediciones que nos ayudan a identificar el rendimiento después del proceso de perforación y voladura, nos indica el nivel de desempeño en base a uno o más objetivos que hemos fijado con anterioridad. Además, se va utilizar para comparar la información y determinar las estrategias para controlar los parámetros de los distintos indicadores y tomar decisiones óptimas.	Factor de carga lineal	Cuantitativo
		Eficacia del avance	
		Eficiencia de voladura	

3.10. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.10.1. Técnicas

Según, (CARRASCO, 2006) y (ARIAS, 2016) las técnicas constituyen el conjunto de reglas y pautas que guían las actividades que realizan los investigadores en cada una de las etapas de investigación científica, se entiende por técnica de investigación la forma particular de obtener información. Las técnicas que se aplicaron en el estudio fueron la recolección de datos de campo, observaciones y mediciones, revisiones bibliográficas, trabajos similares para determinar los resultados del nuevo diseño de malla de perforación en la RP 159N cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024.

3.10.2. Instrumento

Según, (CARRASCO, 2006) y (ARIAS, 2016) el instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (escrito o digital), que sirve para obtener y almacenar información por ello el instrumento es una herramienta importante para gestionar información. Durante el trabajo en campo y gabinete en la realización de la tesis se utilizó los siguientes instrumentos: Formato de avance por guardia, planos topográficos, base de datos del área de Voladura, reporte diario de avances por guardia, reportes semanal y mensual de operación, libreta de campo. Para determinar la Clasificación del macizo rocoso se usó la “Clasificación geomecánica del macizo roco de acuerdo a BIENIAWSKI, 1989 (RMR 89)”

3.11. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DEL PRESENTE ESTUDIO

El procesamiento de los datos se realizó mediante el software Microsoft Excel, nos permitirá presentar los resultados mediante gráficos estadísticos y software SPSS Statistics 25 para la prueba de normalidad.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

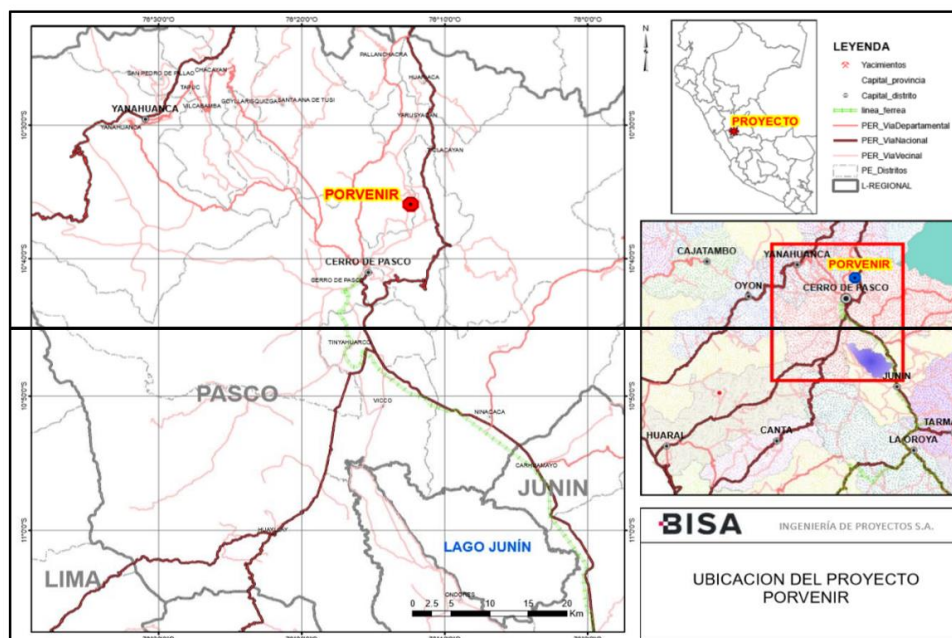
4.1. GENERALIDADES DE LA MINA

4.1.1. Ubicación de la mina

La unidad minera está asociada políticamente al municipio de San Juan de Milpo, dentro del distrito de San Francisco de Yarusyacán, provincia de Cerro de Pasco, departamento de Pasco. Se ubica en la Cordillera Central, en el nodo de inflexión de Pasco, en el lado oriental de la falla Milpo-Atacocha, entre los ríos Tingo y Huallaga, a una altitud promedio de 4200 msnm. Sus coordenadas geográficas son 10°35' de latitud sur y 76°12' de longitud oeste.

Figura 15

Mapa de ubicación



Fuente: Elaborado por BISA, 2022

4.1.2. Accesibilidad a la Unidad Minera

La principal vía de acceso al yacimiento desde Lima en la tabla 7.

Tabla 7:

Accesibilidad a la unidad minera

Tramo	Distancia	Tiempo	Estado
Lima - Oroya - Cerro de Pasco	305 km	6 horas	Vía asfaltada
Cerro de Pasco – Mina	16 km	40 min	Trocha

Fuente: Elaborado por BISA

4.1.3. Aspectos geológicos

4.1.3.1. Geología local

En El Porvenir predominan afloramientos de rocas clásticas y sedimentarias del Mesozoico, depositadas en la extensa cuenca de Pucará, junto con afloramientos de rocas subvolcánicas del Terciario, que se presentan en pequeños stocks de menos de 1 km². Caracterizándose la mineralización polimetálica Zn-Pb-Cu-Ag-Au tipo skarn, en el contexto litológico, las calizas del Pucará son cortadas por intrusivos del Paleógeno (30 Ma).

Estructuralmente, la mineralización está relacionada a las fallas Milpo-Atacocha (N-S) y al sistema de fallas 13 (NO-SE).

Figura 16

Columna estratigráfica de la unida minera El Porvenir

ERA	SISTEMA	UNIDAD ESTRATIGRÁFICA	LITOLOGÍA	COLUMNA	MINERALIZACIÓN (INTRUSIVOS)
CENOZOICO	CUATERNARIO	Conglomerado calcáreo	Fragmentos de caliza con matriz calcárea arcilloza rojiza.		
	EOCENO - PALEOCENO	Fm. Pocobamba	Brechas calcáreas con algunos lentes de areniscas.		
MESOZOICO	CRETÁCEO	Fm. Chulec	Calizas, calizas margosas dolomitizadas.		Basalto con textura alveolar.
		Fm. Goyllarisquiza	Areniscas cuarzosas, ortocuarcitas con estratificación cruzada.		Au - Ag - Pb en vetillas (Sheer zone) Cuarzo, sericita, arcilla.
	JURÁSICO	Brecha sedimentaria	Brecha calcárea con matriz detrítico calcáreo rojizo, con clastos de areniscas, calizas y chert.		Intrusivo Atacocha - San Gerardo Cuarzodiorita (bt, hb) Skarn Zn - Pb - Ag en vetas, cuerpos de reemplazamiento.
		Fm. Condorsinga	F		
		Fm. Aramachay	E		
	TRIÁSICO	Gpo. Pucará	D		
			C		Brecha, sílicea y heterolítica Zn - Pb - Ag en vetas, cuerpos.
			B		
			A		Intrusivo Santa Bárbara y Milpo Cuarzodiorita (bt, hb) Skarn Zn - Pb - Ag.

Fuente: Anuario Minero Nexa Resources, 2015

Rocas intrusivas

El área de estudio comprende tres cuerpos intrusivos: Santa Bárbara, Milpo y Atacocha-San Gerardo. Si bien Atacocha y San Gerardo aparecen como afloramientos distintos en la superficie, convergen en profundidad, clasificándolos como una sola unidad intrusiva. La datación radiométrica ubica a estos intrusivos entre 29,5 y 29,8 Ma, acompañados de una sucesión de diques de composición similar. Cabe destacar que la intrusión Santa Bárbara, compuesta de diorita a cuarzo-diorita con un desarrollo limitado de biotita, está situada al este de la falla Milpo-Atacocha en la quebrada Chicrín, dentro

de la formación Chambará. Forma skarns de contacto con la caliza, sirviendo como roca huésped para cuerpos y vetas mineralizadas.

Milpo: de composición cuarzo-diorita-biotita, se ubica al este de la Falla Milpo-Atacocha y del pueblo San Juan de Milpo, se emplaza también en la formación Chambará formado el skarn con el desarrollo de cuerpos y vetas proximales y distales.

Atacocha-San Gerardo: Compuesta principalmente por cuarzo-diorita, esta intrusión se ubica al oeste de la falla Milpo-Atacocha y se extiende hacia el oeste a lo largo de la falla 13. Intruye hacia el este en las calizas Aramachay y Condorsinga, así como en las areniscas Goyllarisquizga, formando zonas mineralizadas dentro de las calizas y capas de sílice-arcilla de las areniscas. Esta interacción da lugar a dos tipos distintos de mineralización: calizas de tipo skarn enriquecidas con Zn, Pb y Ag, y areniscas epitermales que contienen Au, Ag y P.

4.1.3.2. Geología estructural y tectónica

Las zonas de operación mineras actuales de la mina El Porvenir se ubican en el oeste-este de la intersección de las fallas Milpo-Atacocha (norte-sur) y falla Lineamiento Milpo (noroeste-sureste).

Las estructuras principales que controlan el yacimiento de El Porvenir en orden cronológico, son las siguientes:

- El Sinclinal Milpo-Atacocha
- Falla Regional Milpo-Atacocha
- Sistemas menores de fracturamiento

Los estratos del yacimiento sufrieron una importante compresión este-oeste durante la segunda fase de la orogenia andina (plegamiento inca), que transcurrió durante las épocas del Eoceno y el Oligoceno. Las calizas de Pucará están orientadas verticalmente a lo largo del eje central, pero la formación Goyllarisquizga exhibe un buzamiento gradualmente menos profundo hacia los lados.

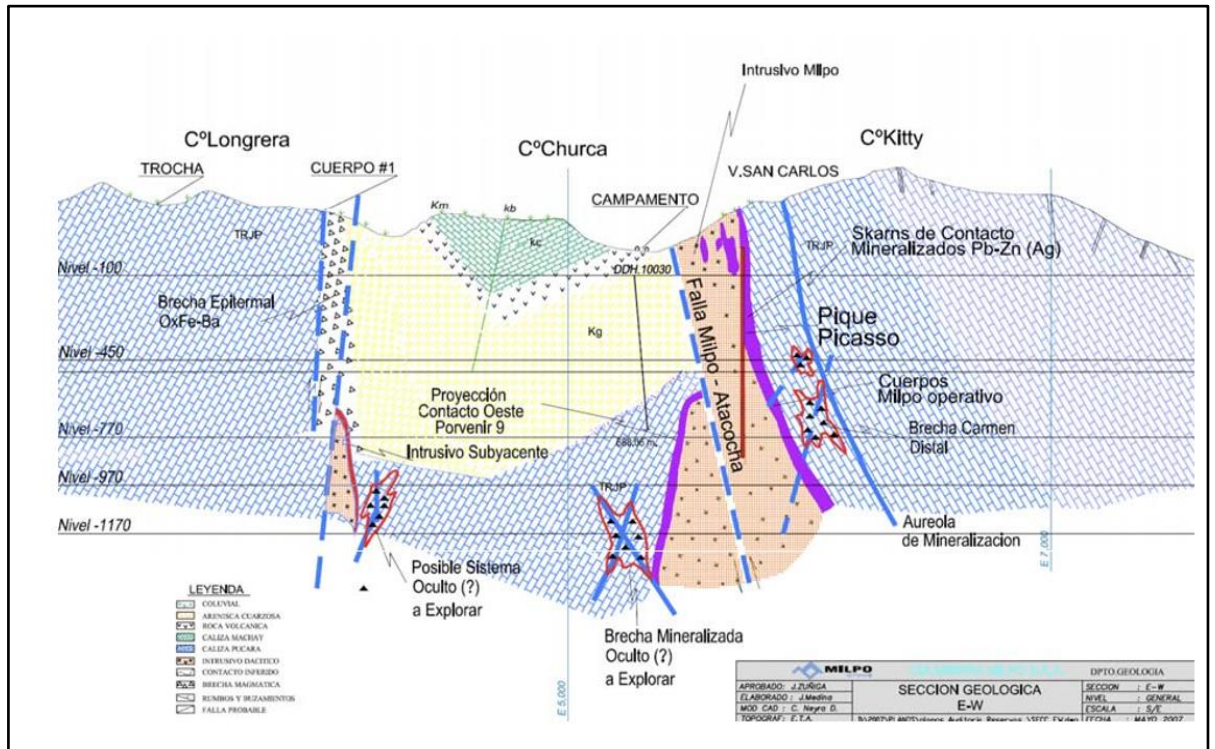
Al oeste de Milpo, las areniscas exhiben un buzamiento de 50° hacia el noroeste, pero en el sur, están inclinadas hacia arriba desde una orientación vertical, con las cimas inclinadas hacia el oeste. Se han encontrado múltiples ejes de plegamiento vinculados al sinclinal, que están conectados con la mineralización.

La falla Milpo-Atacocha es la principal característica geológica de la región minera, con una orientación promedio norte-sur, que se extiende desde Yarusyacán en el norte hasta el valle de Carmen Chico en el sur.

El posicionamiento de los intrusivos hipoabisales en el distrito estuvo regulado y vinculado a la falla Milpo-Atacocha, además de las diversas fases del proceso de formación del depósito.

Figura 17

Sección transversal de la mina El Porvenir



Fuente: Anuario Minero Nexa Resources, 2015

4.1.3.3. Sistema de Fallas

Sistemas de fallas N-S

Este sistema de falla se encuentra en las áreas que involucra las minas Atacocha y Milpo, mostrándose como rasgo estructural principal en la evolución tectónica, estratigráfica y magmática. Son fallas con rumbo esencialmente N-S y que en general suelen ser subverticales. Las principales fallas reconocidas para este sistema son la falla Milpo-Atacocha y la falla Longreras.

Sistemas de fallas NO-SE

Este sistema de falla se emplaza al oeste de la falla Milpo-Atacocha, entre las fallas Carmen Chico al sur y el Lineamiento Falla Santa Bárbara. Su emplazamiento al este de la falla Milpo-Atacocha es limitada a algunos lineamientos y fallas menores. Este sistema presenta una orientación promedio de 310 a 330 e inclinación hacia el NE, presentando diques discontinuos de composición andesítica-diorítica en las trazas de las fallas. Las principales fallas reconocidas en este sistema son falla 13, falla Estrella, falla Manuel 5 y falla Carmen Chico.

La información del control estructural del distrito minero es tomada del *Estudio geológico de mina El Porvenir* (Anglo peruana Terra, 2016).

Sistemas de fallas E-O

Este sistema de falla se emplaza al oeste de la falla Milpo-Atacocha, entre el intrusivo Santa Bárbara y la mina El Porvenir, relacionado a la mineralización no económica, mostrando una orientación predominante E-O y alto ángulo de inclinación (desde 80° a 90°), asimismo, estos son cortados por los sistemas de fallas antes mencionados.

4.1.3.4. Mineralización

La mina El Porvenir es de tipo reemplazamiento metasomático en skarn con mineralización polimetálica de Ag, Pb, Zn, Cu y Au. La mineralización se presenta en cuerpos y vetas ligadas a diques en las periferias de los intrusivos dacíticos y al interior de las calizas de Pucará, así como en vetas y disseminaciones que se encuentran en las areniscas y basaltos de la formación Goyllarisquiza, al oeste de la Falla Milpo-Atacocha.

Las masas mineralizadas presentan contornos irregulares de tamaño significativo, caracterizados por formas alargadas verticalmente similares a tubos, con una distribución variada. Estas se ubican en las aureolas de contacto asociadas a la intrusión dacítica.

La magnitud del reemplazo y las disseminaciones está dictada por el alcance del modelo de fractura, marcado por una aureola de caliza descolorida que metamorfosea en mármol.

En Milpo, las formaciones primarias de tipo veta están intrincadamente asociadas a sistemas de fracturamiento tensional orientados este-oeste, junto con fracturas con tendencias N65° a 70°E y N50° a 60°E, todas con buzamiento hacia el norte.

4.1.3.5. Alteración

En los intrusivos se identifican minerales de alteración, como epidota, clorita y calcita, los cuales se originan a partir de la descomposición de minerales ferromagnésicos. Asimismo, se observan clorita, sericita y caolín, que se forman debido a la alteración de los feldespatos.

La alteración en las calizas se aprecia en la alteración de contacto: aureola de recristalización o marmolización, silicificación (skarn) y piritización, relacionadas con la mineralización de Pb y Zn.

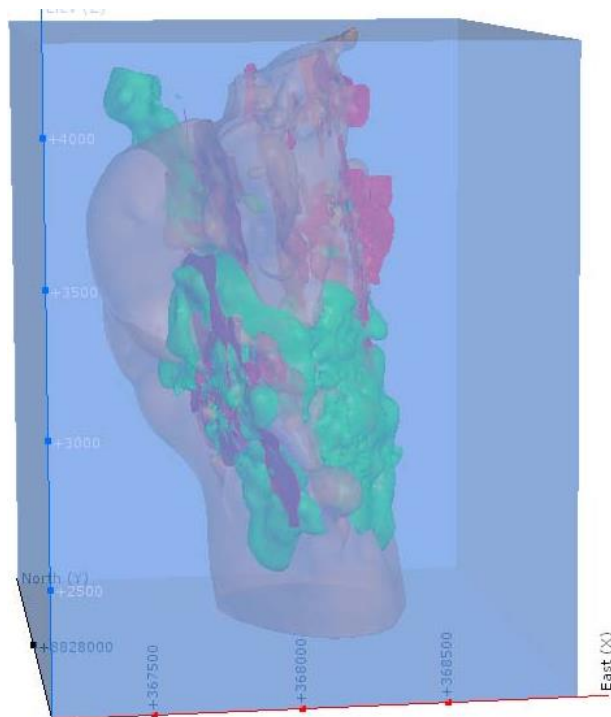
La alteración del yacimiento de Milpo está representada principalmente por marmolización, silicificación, sericitización en el dominio de la roca carbonatada; sericitización, propilitización y argilitización en el dominio de la roca intrusiva.

4.1.3.6. Modelo geológico 3D

El modelo litológico del área de estudio fue proporcionado por el área de geología de Nexa en formato del *software* Leapfrog Geo en 3D, dentro del área de estudio se pudo identificar 5 dominios litológico-geomecánicos los cuales se mencionan en el la tabla 4 y se muestran en la figura 9.

Figura 18

Modelo litológico de la mina El Porvenir



Fuente: Área de geología Nexa Resources, 2022

Tabla 8

Unidades litológicas – mina El Porvenir

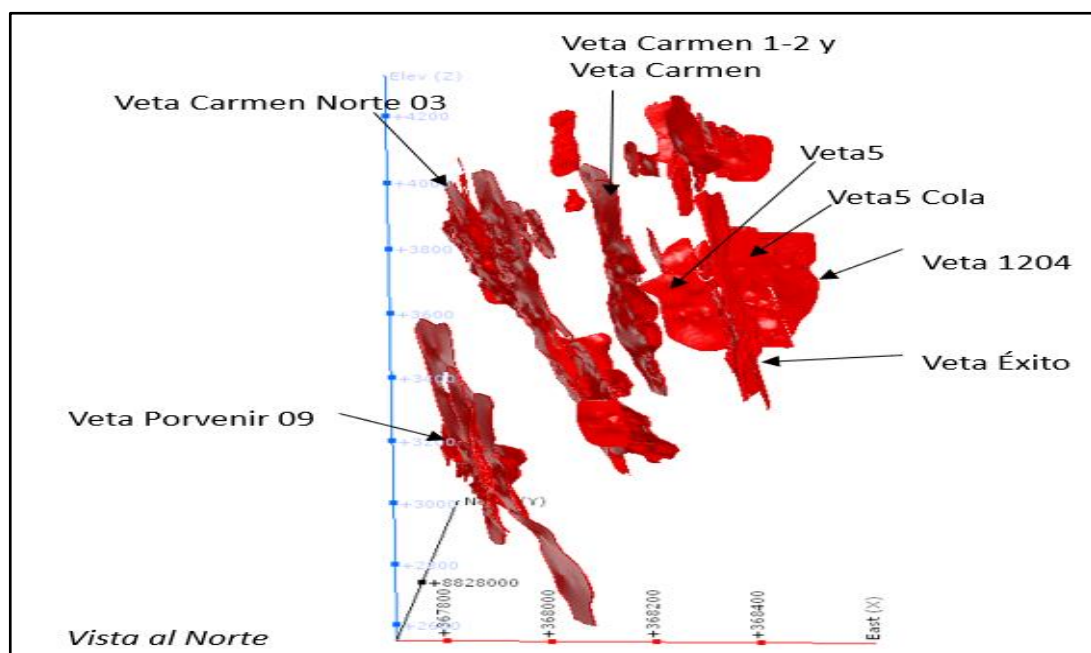
Nº	UNIDAD LITOLÓGICA	COLOR
1	Caliza	Blue
2	Intrusivo	Orange
3	Skarn	Green
4	Mineral (Vetas)	Red
5	Brecha	Yellow

Fuente: Área de geología Nexa Resources, 2022

El modelo está compuesto en su mayoría por roca caliza con emplazamiento de intrusivos que generaron zonas de skarnización en la roca caja (exoskarn) y en el intrusivo (endoskarn) y a su vez generaron un conjunto de vetas de mineral (galena, esfalerita, sulfosales) que dan valor al yacimiento ubicados alrededor de un intrusivo, las principales vetas que se consideraran en el estudio geomecánico de la mina El Porvenir tienen por nombre Porvenir 09, Carmen Norte 03, Carmen, Carmen 1-2, Éxito, Veta 5, Veta 05 cola y Veta 1204 y se muestran en la figura 10.

Figura 19

Modelo de vetas

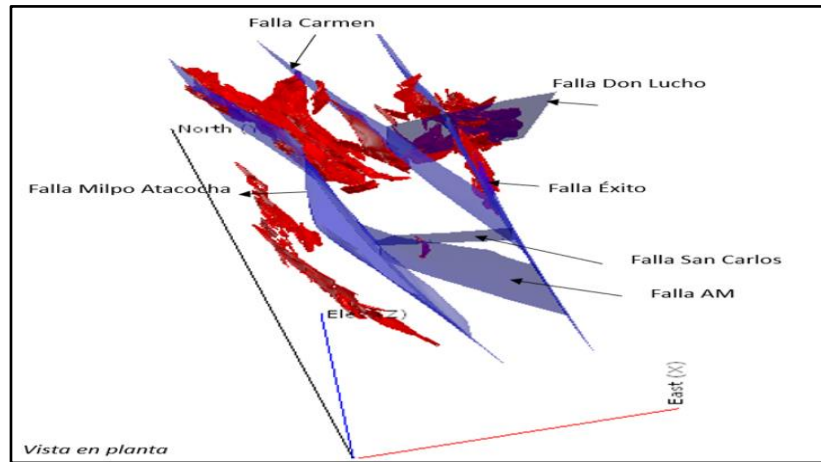


Fuente: Área de geología Nexa Resources, 2022

Las fallas que podrían afectar la estabilidad de la mina El Porvenir y que se consideraron en el estudio fueron proporcionados por el área de geología de Nexa y se presentan en la figura 18.

Figura 20

Modelo de vetas



Fuente: Área de geología Nexa Resources, 2022

4.1.3.7. Recursos y Reservas

La unidad minera El Porvenir cuenta con reservas de 15,32 millones de toneladas de material, compuestas en su mayoría por zinc (3,57%), plomo (1,04%), cobre (0,20%) y plata (69,51 g/t). Todas estas reservas pertenecen a categorías probadas y probables, obtenidas de minería subterránea, sin documentación de recursos provenientes de minería a cielo abierto.

Figura 21

Inventario de reservas y recursos UM El Porvenir 2023

UM EL PORVENIR: Inventario de Reservas y Recursos					
Reservas	Millones Toneladas	Zn(%)	Pb(%)	Cu(%)	Ag(g/t)
Reservas					
Reservas probadas	3.32	3.7	1.08	0.24	68.63
Reservas probables	12	3.54	1.03	0.19	69.8
Total de reservas	15.32	3.57	1.04	0.2	69.5
Recursos					
Recursos medidos	0.65	2.66	0.2	60.7	0.85
Recursos indicados	3.03	2.96	0.2	48.2	0.76
Subtotal Recursos	3.68	2.91	0.2	50.4	0.78
Recursos inferidos	10.42	3.85	0.21	69.2	0.95

Fuente: Memoria anual 2023 Nexa Resources Perú S.A.A

4.2. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO

Para la caracterización geomecánica del macizo rocoso se aplica el sistema propuesto por Bieniawski en 1989 (RMR₈₉), este sistema de clasificación se fundamenta en 06 parámetros para definir la caracterización del macizo rocoso, se asignan puntuaciones mostradas en la tabla 9.

Para determinar el RMR se da una puntuación a cada parámetro de acuerdo a su condición y luego se suman los primeros cinco parámetros determinándose el RMR Básico (RMR_b), posteriormente se determinará el RMR corregido, que resulta al aplicar una corrección por orientación del sistema preferente de discontinuidades (Bieniawski, 1989).

$$\text{RMR} = \text{UCS} + \text{RQD} + \text{JS} + \text{JC} + \text{GC} - \text{JO}$$

En este estudio se utilizaron los criterios de clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR₈₉) y Hoek-Brown (GSI).

En la unidad minera El Porvenir se tiene una sub clasificación en función del mapeo realizado y que será de guía para desarrollar el dimensionamiento del sostenimiento. Esta subclasificación fue generada para crear una mayor caracterización del macizo y reducir el espectro de datos entre calidades de macizo rocoso y más aún cuando pretendemos establecer una guía para dimensionar un sistema de soporte para excavaciones permanentes y temporales.

Tabla 9

Clasificación RMR de Bieniawski 1989

PARAMETRO			ESTIMACION Y ESCALA DE VALORES						
1	Resistencia de la roca sana	Carga puntual MPa⇔ Kg/cm² (aprox)⇔	> 10 100	4 – 10 40 - 100	2 – 4 20 - 40	1 – 2 10 - 20	Únicamente Compresión Simple		
		Compr. Simple MPa⇔ Kg/cm² (aprox)⇔	> 250 >2 500	100 – 250 1 000-2 500	50 – 100 500 – 1 000	25 – 50 250 - 500	5-25 50-250	1-5 10-50	< 1 <10
		Valoración	15	12	7	4	2	1	0
	2	RQD %	90 – 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
		Valoración	20	17	13	8	3		
3	Separación de discontinuidades		> 2 m	0,6 – 2 m	0,2 – 0,6 m	0,06 – 0,2 m	< 0,06 m		
	Valoración		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades (ver guía especial)		Muy rugosas. Discontinuas. Sin separaciones. Borde sano y duro.	Ligeramente rugosas. Abertura <1 mm. Bordes duros.	Ligeramente rugosas Abertura<1mm Bordes blandos	Espejo de falla o con relleno < 5 mm o abiertas 1 – 5 mm. Diaclasas continuas	Relleno blando > 5 mm o abertura > 5 mm Diaclasa Continua		
	Valoración		30	25	20	10	0		
5	Presencia de agua	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 L/min	10 – 25 L/min	25 – 125 L/min	>125 L/min		
		Relación entre la presión de agua y la mayor del terreno σ_w / σ_1	0	0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
	Valoración		15	10	7	4	0		
Corrección por orientación de las discontinuidades (ver guía especial)									
6	Dirección y Buzamiento		Muy favorable	Favorable	Medio o regular	Desfavorable	Muy desfavorable		
	Valoración para	Túneles	0	- 2	- 5	- 10	- 12		
		Cimentación	0	- 2	- 7	- 15	- 25		
		Taludes	0	- 5	- 25	- 50	- 60		

Fuente: Bieniawski 1989

Se puede observar en la tabla 9 que el estado de las discontinuidades se valora mediante parámetros que se evalúan individualmente entre ellos:

- **Persistencia:** Se refiere a la extensión o continuidad de una discontinuidad dentro de una masa rocosa. Es una medida del alcance o la longitud de la fractura en la roca, influyendo en su estabilidad estructural.
- **Apertura:** Es la separación o distancia entre las caras de una discontinuidad. Indica el espacio entre las fracturas, el cual puede estar vacío o relleno con materiales.

- **Rugosidad:** Describe la textura superficial de las caras de una discontinuidad. Es un factor clave en la resistencia al deslizamiento, ya que superficies más rugosas tienden a ofrecer mayor resistencia.
- **Relleno:** Se refiere al material presente dentro de una discontinuidad. Puede incluir sedimentos, minerales o residuos, y afecta la resistencia y permeabilidad de la fractura.
- **Meteorización:** Indica el grado de alteración de las superficies de las discontinuidades debido a procesos físicos, químicos o biológicos. Afecta la integridad y resistencia de la roca.

GSI (Índice de Resistencia Geológica) de Hoek y Brown

Es un método de descripción de la clasificación del macizo rocoso, el cual se caracteriza por considerar 02 condiciones fundamentales: Condición estructural (numero de fracturas por metro lineal, RQD y condición superficial (resistencia de la roca a través de golpes de picota o una barretilla). Su finalidad ser una guía para determinar el tipo de sostenimiento con base en la clasificación geomecánica del macizo rocoso, tomando como aspectos relevantes los factores influyentes propios de la unidad minera, así como el tiempo de servicio o vida útil de la excavación.

La Cartilla Geomecánica, está compuesta por un área donde se define la calidad del macizo rocoso en base a un sistema de clasificación GSI (local) y relacionado al sistema RMR. El área donde se describen los códigos de sostenimiento muestra dos tipos de excavaciones “permanentes y temporales”, Así mismo se muestra la distribución de

los anclajes para cada tipo de excavación y se considera el tipo de sostenimiento por calidad de macizo rocoso.

Figura 22

Cartilla de clasificación geomecánica GSI (utilizado en mina)

CARTILLA GEOMECHANICA Versión 4.0			
CLASIFICACION GSI/RMR Sostenimiento Inmediato Metro Avanzado Metro Sostenido	CONDICION SUPERFICIAL (B) BUENA (MUY RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) (R) REGULAR (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) (P) POBRE (MODERADAMENTE RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) (MP) MUY POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA)	CONDICION ESTRUCTURAL (LF) LEVEMENTE FRACTURADA (F) FRACTURADA (MF) MUY FRACTURADA (IF) INTENSAMENTE FRACTURADA (T) TRITURADA O RELLENO	CONDICION SUPERFICIAL (B) BUENA (MUY RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) (R) REGULAR (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) (P) POBRE (MODERADAMENTE RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) (MP) MUY POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA)
CONDICION ESTRUCTURAL (LF) LEVEMENTE FRACTURADA (F) FRACTURADA (MF) MUY FRACTURADA (IF) INTENSAMENTE FRACTURADA (T) TRITURADA O RELLENO	CONDICION SUPERFICIAL (B) BUENA (MUY RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) (R) REGULAR (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) (P) POBRE (MODERADAMENTE RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) (MP) MUY POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA)	CONDICION ESTRUCTURAL (LF) LEVEMENTE FRACTURADA (F) FRACTURADA (MF) MUY FRACTURADA (IF) INTENSAMENTE FRACTURADA (T) TRITURADA O RELLENO	CONDICION SUPERFICIAL (B) BUENA (MUY RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) (R) REGULAR (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) (P) POBRE (MODERADAMENTE RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) (MP) MUY POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA)

LABOR PERMANENTE				SECCIÓN DE LABOR (m)	TIEMPO DE AUTOSORTE
TIPO DE ROCA	CALIDAD	Clasificación GSI	Condición superficial	Excavaciones hasta 6.0 m	
I	Muy buena	LF-FB // LF-R	CONDICION SUPERFICIAL BUENA	P1	3 días
II	Buena	MF-FB // F-LFR	CONDICION SUPERFICIAL BUENA	P2	3 días
III-A	Regular A	IF-MF-B // MF-FR // F-MF-P	CONDICION SUPERFICIAL BUENA	P3	3 días
III-B	Regular B	IF-B // IF-MF-R // F-MF-P	CONDICION SUPERFICIAL BUENA	P4	14 - 24 horas
IV-A	Mala A	IF-R // IF-MF-P // F-MF-P	CONDICION SUPERFICIAL BUENA	P5	5 - 7.5 horas
IV-B	Mala B	IF-T-P // IF-MF-P	CONDICION SUPERFICIAL BUENA	P6	Inmediato
V	Muy mala	T-P // T-IF-MP	CONDICION SUPERFICIAL BUENA	NO EXCAVAR	NO EXCAVAR
LABOR TEMPORAL				SECCIÓN DE LABOR (m)	TIEMPO DE AUTOSORTE
TIPO DE ROCA	CALIDAD	Clasificación GSI	Condición estructural	Excavaciones hasta 8.0 m	
I	Muy buena	LF-FB // LF-R	CONDICION ESTRUCTURAL BUENA	T1	3 días
II	Buena	MF-FB // F-LFR	CONDICION ESTRUCTURAL BUENA	T2	3 días
III-A	Regular A	IF-MF-B // MF-FR // F-MF-P	CONDICION ESTRUCTURAL BUENA	T3	3 días
III-B	Regular B	IF-B // IF-MF-R // F-MF-P	CONDICION ESTRUCTURAL BUENA	T4-A o T4-B	9 - 24 horas
IV-A	Mala A	IF-R // IF-MF-P // F-MF-P	CONDICION ESTRUCTURAL BUENA	T5-A o T5-B	0 - 7.5 horas
IV-B	Mala B	IF-T-P // IF-MF-P	CONDICION ESTRUCTURAL BUENA	T6	Inmediato
V	Muy mala	T-P // T-IF-MP	CONDICION ESTRUCTURAL BUENA	T7	Inmediato

COD				FACTORES INFLUYENTES
Diseno del sostenimiento en el avance de la labor	Diseno del sostenimiento como sacrificio en el frente	Diseno del sostenimiento como sacrificio en el frente	Diseno del sostenimiento como sacrificio en el frente	FACTORES INFLUYENTES
P1 P. Helicoidal 7° sistemático e=1.50 m	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	FLUJO DE AGUA
P2 Sostenimiento Primario: Malla + P. Split Set 7°	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	ESFUERZOS INDUCIDOS
P3 Sostenimiento Secundario: Malla + P. Split Set 7°	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	VOLADURA DEFICIENTE
P4 Shotcrete 2" + P. Helicoidal 7° e=1.50 m	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	PRESENCIA DE FALLAS
P5 Sostenimiento Primario: Shotcrete 2" + Malla + P. Split Set 7°	Shotcrete 2" a 1.50 m del piso	Shotcrete 2" a 1.50 m del piso	Shotcrete 2" a 1.50 m del piso	SIN FACTORES INFLUYENTES
P6 Shotcrete 2" + Cimbra e=1.20 - 1.50 m	Shotcrete 2" a 1.50 m del piso	Shotcrete 2" a 1.50 m del piso	Shotcrete 2" a 1.50 m del piso	CON FACTORES INFLUYENTES
T1 P. Splitset 7° sistemático e=2.0 m	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	
T2 Malla + P. Splitset 7° e=1.50 m	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	
T3 Malla + P. Splitset 7° e=1.20 m	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	
T4-A Malla + P. Splitset 7° e=1.00 m	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	
T4-B Shotcrete 2" + P. Splitset 7° e=1.50 m	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	Malla + Split set 9' a 1.50 m del piso	
T5-A Shotcrete 2" + Malla + P. Splitset 7° e=1.20 m	Shotcrete 2" a 1.50 m del piso	Shotcrete 2" a 1.50 m del piso	Shotcrete 2" a 1.50 m del piso	
T5-B Shotcrete 2" + P. Splitset 7° e=1.00 m	Shotcrete 2" a 1.50 m del piso	Shotcrete 2" a 1.50 m del piso	Shotcrete 2" a 1.50 m del piso	
T6 Shotcrete 2" + Malla + P. Splitset 7° e=1.20 m + Shotcrete 2"	Shotcrete 2" frente completo + P. Split set 9' e=1.20 m	Shotcrete 2" frente completo + P. Split set 9' e=1.20 m	Shotcrete 2" frente completo + P. Split set 9' e=1.20 m	
T7 Shotcrete 2" + Cimbra e=1.20 m	Shotcrete 2" a 1.50 m del piso	Shotcrete 2" a 1.50 m del piso	Shotcrete 2" a 1.50 m del piso	

Fuente: Departamento de Geomecánica Nexa Resources 2024

4.2.1. Mapeo geomecánico de la RP 159N

El realizó mediante mapeo geomecánico por celdas, lo cual se desarrolla a través de la ejecución de estaciones geomecánicas, abarcando un área aproximada de 3m x 3m el cual se ubicó en el avance de la RP 159 N.

Se aplicó el mapeo geomecánico con el objetivo de identificar y cuantificar las propiedades de las principales familias de discontinuidades. Para cada familia se analizaron aspectos como el tipo, la orientación (inclinación y dirección de inclinación), la resistencia, el espaciamiento, la persistencia, la apertura, el relleno, la rugosidad y el nivel de meteorización, se realizó con el sistema de clasificación geomecánica RMR₈₉ de Bieniawski y de acuerdo los estándares de mapeo por celda donde el proceso requiere agrupar las discontinuidades por familias o set con similar orientación y descripción geológica.

4.2.2. Resultados obtenidos de la caracterización del macizo rocoso en la RP 159 N

Una vez hecha la revisión teórica para la determinación de las características geomecánicas del macizo rocoso de la RP 159N, se utilizaron las clasificaciones geomecánica de Bieniawski (RMR) y GSI de Hoek. Después del trabajo de campo se obtuvieron los siguientes datos de acuerdo al mapeo geomecánico por celdas.

Tabla 10

Clasificación Rock Mass Rating – Tipo de roca IIIB

RAMPA 159 N		
Parámetro	Valor	Puntuación
RCU (Mpa)	50 – 100	7
RQD %	50 - 75	13
Espaciamiento	0,6m - 0,2 m	10
Persistencia	3m - 10m	2
Apertura	0,1mm - 1mm	4
Rugosidad	Rugosa	5
Relleno	Duro < 5mm	4
Intemperización	Mod. Intempe.	3
Agua subterránea	Mojado	7
TOTAL, RMR		55
AJUSTE POR ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES		10
RMR FINAL		45

Tabla 11

Mapeo geomecánico realizado en la RP 159N, Cuerpo CN3, Tipo de roca IIIB

			Mina : El Porvenir				Tipo de Labor: RP 159N				
			Zona : Baja - CN3				Nivel :3210				
			Estación: E1				Fecha : 10/01/2024				
TIPO ESTRUCC.	ORIENTACIÓN		ESPACIAMIENTO (m)	RELLENO			Observaciones				
	DIREC. BZ(°)	BZ (°)		TIPO	ESPESOR (mm)						
	D	340	70	2.00	Cal	1-2 cm					> 4 m
	D	245	88	0.60	Cal	< 1 mm					>4 m
	D	70	88	0.60	Cal	< 1 mm					>4 m
	D	160	68	1.00	Cal	1-2 cm					> 4m
	D	130	65	0.40	Cal	1-2 cm					> 4m
D	34	68	1.00	Cal	< 1 mm	>4 m					
ESTIMACIÓN DE CAMPO Jr - Jn - Ja (BARTON)											
JRC Estructura Techo	JRC Estructura central	JRC Estructura Piso	JRC - CP (media)	JRC - E (Media)	JRC - CP (Media)	Jn		Ja			
2, 3, 3, 2	5,4,5,5	3, 3, 3, 3	2.5	4.8	2.5	Tres familias		9-12-9		Moderada 2-4-2	
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE - MARTILLO											
"Número de rebotes"											
48	46	48	46	48	46	48	46	48			
Rpromedio :47					Beverly (1979) UCS = 12.74 e^Λ (0.185 √ Rn) = 295.381 Mpa						
Densidad :36.00 kN / m³					Sachpazis (1990) UCS = 4.29 Rn - 67.5 = 134.988 Mpa						
Ensayo : Horizontal											
UCS _{abaco} :100 a 150 Mpa											
VALORIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (RMR 89)											
PARÁMETRO			RANGO DE VALORES				VALOR ESTIMADO		VALORACIÓN		
RESIS. COMPRES. UNIAxIAL (Mpa)			1	> 250 (15)	100 - 250 (12)	50 - 100 (7)	25 - 50 (4)	<25 (2) <5 (1) <1 (0)	1	7	
RQD %			2	90 - 100 (20)	75 - 90 (17)	50 - 75 (13)	25 - 50 (8)	< 25 (3)	2	13	
ESPACIAMIENTO			3	> 2m (20)	0,6m - 2m (15)	0,6m - 0,2 m (10)	0,2m - 0,06m (8)	< 0,06m (5)	3	10	
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA		4	< 1m (6)	1m - 3m (4)	3m - 10m (2)	10m - 20m (1)	> 20m (0)	4A	2	
	APERTURA			Cerrada (6)	< 0,1 mm. (5)	0,1mm - 1mm (4)	1mm - 5 mm (1)	> 5mm (0)	4B	4	
	RUGOSIDAD			Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	5	
	RELLENO			Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro > 5mm (2)	Suave < 5mm (1)	Suave > 5mm (0)	4D	4	
	INTEMPERIZACIÓN			Sana (6)	Lig. Intempe. (5)	Mod. Intempe (3)	Muy intempe. (2)	Descompuesta (0)	4E	3	
AGUA SUBTERRÁNEA			5	Seco (15)	Húmedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	7	
RMR BÁSICO											55
AJUSTE POR ORIENTACIÓN DE ESTRUCTURAS											10

RMR AJUSTADO										45	
CLASE DE MACIZO ROCOSO										RMR IIB	
RMR	100 - 81		80 – 61		60 – 41		40 - 21		20 - 0		
CLASE	I		II		III		IV		V		
SUBCLASE	100 - 91 I A	90 - 81 I B	80 - 71 II A	70 -61 II B	60 - 51 III A	50 - 41 III B	40 - 31 IV A	30 - 21 IV B	20 - 31 V A		10 - 0 V B

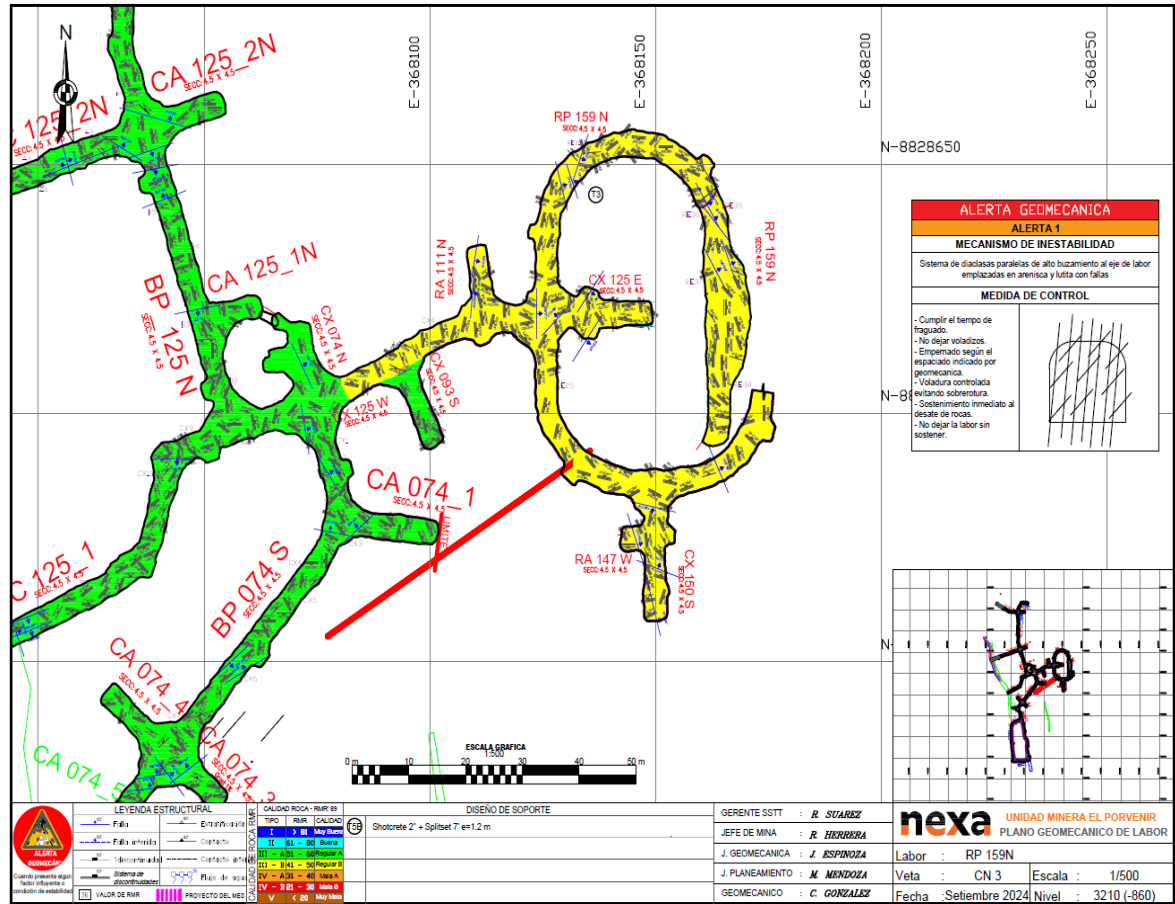
CORRECCIÓN POR ORIENTACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS						
MUY FAVORABLE	FAVORABLE		MEDIA	DESFAVORABLE		MUY DESFAVORABLE
0	-2		-5	-10		-12
DIRECCIÓN PERPENDICULAR AL EJE DEL TÚNEL				DIRECCIÓN PARALELA AL EJE DEL TÚNEL		BUZ. 0°-20° CUALQUIER DIRECCIÓN
EXCAVACIÓN CON EL BUZ.		EXCAVACIÓN CONTRA EL BUZ.				
BUZ. 45° - 90°	BUZ. 20° - 45°	BUZ. 45° - 90°	BUZ. 20° - 45°	BUZ. 45° - 90°	BUZ. 20° - 45°	
MUY FAVORABLE	FAVORABLE	MEDIA	DESFAVORABLE	MUY DESFAVORABLE	MEDIA	

GRADO	ÍNDICE DE RESISTENCIAS - IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	Rango Resist. Comp. (Mpa)	Nomenclatura Hrn=hornfels Bx=brecha d = diaclasas e = estrat. F= falla Ox = oxidos Pz= panizo Cz= cuarzo Ca =carbonato ss = split set hy = hydrabolt HD= h. derecho
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo, se desconcha con una cuchilla.	1 - 5	
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la rocacon golpe firme de martillo (de punta).	5 - 25	
R3	No se raya ni se desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme de martillo.	25 - 50	
R4	La muestra se rompe con más de un golpe de martillo.	50 - 100	
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra.	100 - 250	
R6	Sólo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo.	> 250	

En la tabla 11 se muestra los resultados según la clasificación del macizo rocoso en la RP 159N, desde el punto de vista litológico se encuentra emplazada sobre Caliza Negra recristalizada, con venillas de calcita. Desde un punto de vista estructural, se encuentra controlado por tres sistemas principales de diaclasamiento, generando cuñas con potencial de caída. Presenta un RMR ajustado de 44-50, tipo de roca III-B, va variando según se va desarrollando la rampa, GSI: MF/R, con RCU de 50 -100 MPa, Índice de calidad de roca de 50 - 65%, con espaciamiento de 0.15-0.20 metros, ligera alteración y en aguas subterráneas presenta de húmedo a mojado.

Figura 23

Plano Geomecánico de la RP 159N



Fuente: Departamento de geomecánica IESA S.A, 2024

4.3. PROGRAMA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA DE LA RP 159N

La empresa contratista IESA S.A como socio estratégico de la compañía Nexa Resources, viene ejecutando actividades de preparación y desarrollo referido a avances lineales con el objetivo de cumplir con el programa mensual y semanal de avances. En los avances programados se evidencia que en la RP 59N no se cumple el avance programado mensual que es de 60 metros lineales, tales incumplimientos generan retrasos para el acceso al cuerpo mineralizado CN3 que es la principal reserva de minerales de zinc, plomo, plata y cobre afectando la producción mensual de la compañía.

Tabla 12

Programa mensual de avances octubre 2023

PROGRAMA MENSUAL DE AVANCES OCTUBRE 2023									
ZONA	NIVEL	NV REF	ESTRUCTURA	CATEGORIA	METODO	LABOR	SECCIÓN	METROS	
BAJA	3100	-970	CN3	CAPEX	OCF	NV.3110 WENDY CA 399	4.50 X 4.50	9.6	
BAJA	3100	-970	CN3	CAPEX	OCF	NV.3100 CN3 CA 125 3	4.50 X 4.50	12.8	
BAJA	3100	-970	CN3	CAPEX	SLS	NV.3100 CN3 BP 120	4.50 X 4.50	54.4	
BAJA	3100	-970	CN3	CAPEX	SLS	NV.3100 CN3 RP 159N	4.50 X 4.50	60.0	
BAJA	3100	-970	CN3	CAPEX	SLS	NV.3100 CN3 BP 121	4.50 X 4.50	38.4	
BAJA	3100	-970	CN3	CAPEX	SLS	NV.3100 CN3 CA 120 6	4.50 X 4.50	22.4	
BAJA	3100	-970	CN3	OPEX	OCF	NV.3100 CN3 AC 125 3	4.50 X 4.50	25.6	
BAJA	3100	-970	CN3	OPEX	OCF	NV.3100 CN3 AC 125 2	4.50 X 4.50	19.2	
BAJA	3100	-970	CN3	OPEX	SLS	NV.3100 CN3 AC 121 1	4.50 X 4.50	54.4	
BAJA	3100	-970	EXITO	CAPEX	SLS	NV.3100 EXITO RP 411(+)	4.50 X 4.50	48.0	
BAJA	3100	-970	EXITO	CAPEX	SLS	NV.3100 EXITO CA 910 2	4.50 X 4.50	10.5	
BAJA	3100	-970	EXITO	OPEX	SLS	NV.3100 EXITO SN 910 N	6.00 X 4.50	64.0	
BAJA	3100	-970	EXITO	OPEX	SLS	NV.3100 EXITO AC 411 2	4.50 X 4.50	22.4	
BAJA	3100	-970	V1204	OPEX	SLS	NV.3100 V1204 GL 910 NE	4.50 X 4.50	9.6	
BAJA	2900	-1170	EXITO	CAPEX	SLS	NV.2900 EXITO RP 411(-)	4.50 X 4.50	32.0	
BAJA	2900	-1170	EXITO	OPEX	SLS	NV.2900 EXITO AC 995	4.50 X 4.50	44.8	
BAJA	2900	-1170	EXITO	OPEX	SLS	NV.2900 EXITO CA 995 1	4.50 X 4.50	16.0	
BAJA	2900	-1170	POR 9	CAPEX	SLS	NV.2900 POR 9 RP 950(+)	4.50 X 4.50	44.8	
Total BAJA								588.9	

Fuente: Área de Planeamiento IESA S.A, 2023

Tabla 13

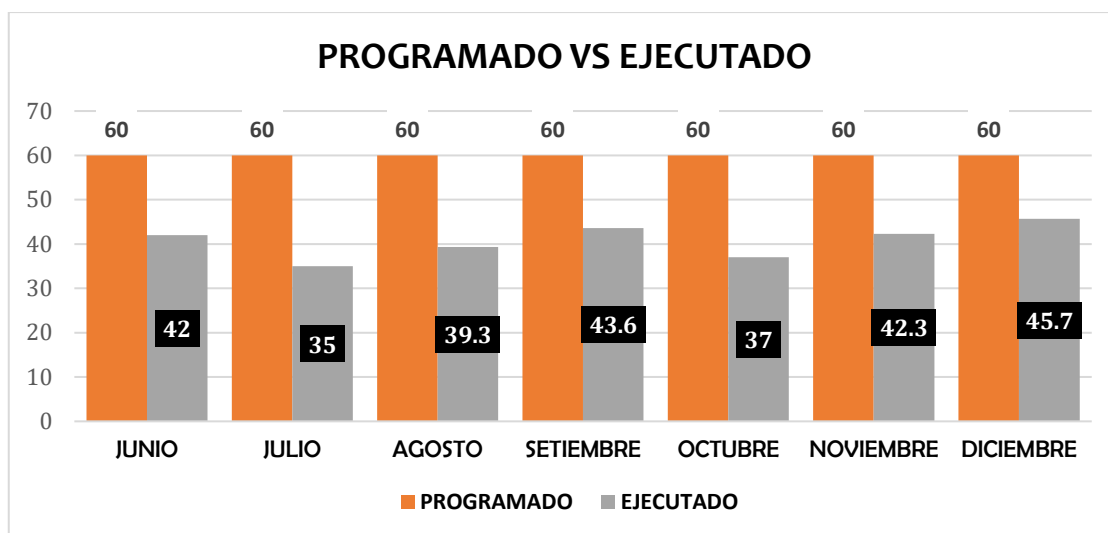
Avances programados vs ejecutado y su cumplimiento de la RP 159N, 2023

		PROGRAMADO	EJECUTADO	CUMPLIMIENTO
EMPRESA IESA S. A	JUNIO	60	42	70%
	JULIO	60	35.1	58%
	AGOSTO	60	39.3	66%
	SETIEMBRE	60	43.6	73%

OCTUBRE	60	37	62%
NOVIEMBRE	60	42.3	71%
DICIEMBRE	60	45.7	76%

Figura 24

Gráfico de avances programado vs ejecutado y su cumplimiento de la RP 159N.



4.4. PROBLEMAS DETECTADOS EN LA PERFORACIÓN Y VOLADURA

De acuerdo a la tabla 13 se muestra el porcentaje de cumplimiento de avances en la RP 159N que no llega al 85% en ningún período de junio a diciembre del 2023, por contrata se debe llegar mínimo al 85% de cumplimiento mensual según programa de avances por labor. Se muestran los problemas detectados que llevan la falta de cumplimiento del metraje mensual en la RP 159N.

- a) No se tiene el diseño de la malla de perforación estándar de acuerdo al tipo de roca en la RP 159N, teniendo una malla de perforación para tipo de roca III A.
- b) Uso excesivo de los explosivos, incumpliendo el factor de carga lineal que se tiene por contrato(47.22Kg/m), los cuales generan penalizaciones.

- c) Según la malla anterior se tiene un burden de arranque de 0.28 m con 52 taladros perforados al ser mayor el burden y el frente cargado de muchos taladros pegados hace que las voladuras no se ejecuten de manera adecuada y que los metros de avance resulten bajos.
- d) Deficiencias al realizar la perforación, observándose la falta de perforación completa de 13 pies e inadecuado paralelismo por falta de uso de guíadores.
- e) Falta de pintado de la malla de perforación y arranque de acuerdo al estándar.

Los resultados de los problemas mostrados generan que no se cumpla la eficacia de avance que es de 3.4 m/disparo, Eficiencia de voladura de 89% y factor de carga lineal de 47.22 Kg/m de acuerdo a los problemas detectados se implementa una nueva malla de perforación.

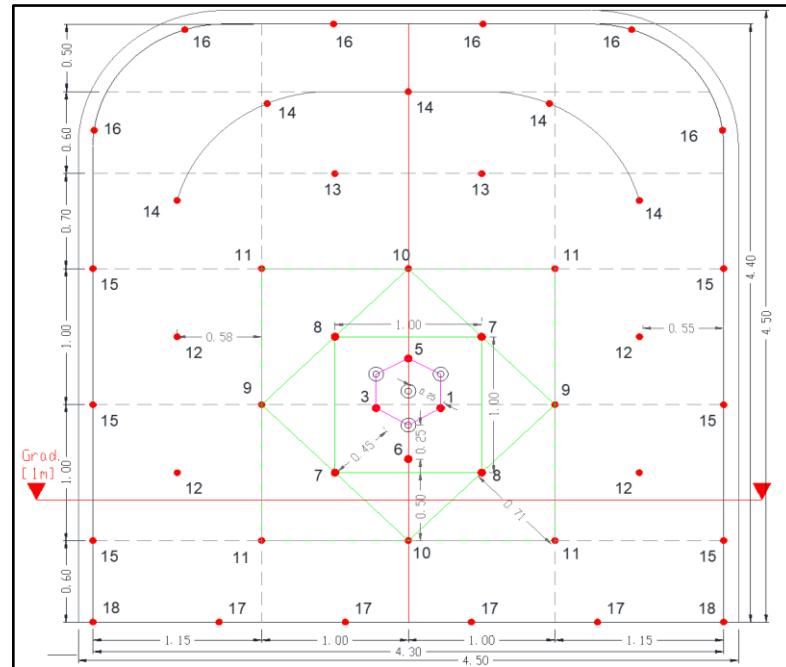
4.5. MALLA DE PERFORACIÓN ANTES DEL NUEVO DISEÑO

4.5.1. Malla de perforación inicial

Se muestra la malla de perforación para secciones de 4.5 x 4.5 con longitud de perforación de 13 pies que es la única malla para los distintos tipos de roca en las labores de desarrollo.

Figura 25

Diseño de malla de perforación anterior sección 4.5m x 4.5 - para Roca de tipo IIIA.



Fuente: Voladura IESA, 2023

4.5.2. Distribución de carga explosiva de la malla inicial con 13 pies

Se observa que se tiene 52 taladros totales, 48 taladros cargados de 45 mm y 4 taladros rimados de 102mm con longitud de perforación de 13 pies (3.96 m), se usó dos tipos de cartuchos Senatel Pulsar 1 1/4" X 12" y Senatel Magnafrac 1 1/4" X 12'.

Tabla 14

Distribución de carga explosiva y cartuchos de la malla anterior - para Roca de tipo IIIA

DESCRIPCIÓN	N° Tal	CARTUCHOS POR TALADRO						ACCESORIOS
		Senatel Pulsar 1.1/4" x 12"		Senatel Magnafrac 1.1/4" x 12"		ANFO		Retardo Exel®
		Cart/Tal	Total/Tal	Cart/Tal	Total/Tal	Kg/Tal	Total	
Alivio (Corona y Astiales)								
Alivio (Rimados)	4							
Arranque	5	1	5	0	0	4.8	24.2	LP 1, LP 3, LP 5
1era Ayuda	4	1	4	0	0	4.6	18.3	LP 6, LP 7
2da Ayuda	4	1	4	0	0	4.3	17.2	LP 8, LP 9
Cuadrador	4	1	4	0	0	3.7	14.9	LP 10
Ayuda de Astial	4	1	4	0	0	3.7	14.9	LP 11
Desbroce	4	1	4	0	0	3.7	14.9	LP 12
Ayuda de corona	4	1	4	0	0	3.7	14.9	LP 13
Astias I	4	1	4	7	28	0	0	LP 14
Astias II	3	1	3	0	0	3.7	11.2	LP 14
Corona	6	1	6	7	42	0	0	LP 15
Arrastre	6	13	78	0	0	0	0	LP 16, LP 17
TALADROS CARGADOS	52	Total cart:	120	Total cart:	70	Total cart:	130.6	
KILOGRAMOS DE EXPLOSIVO	182.57	33.33 Kg		18.62 Kg		130.62 Kg		

Fuente: Voladura IESA, 2023

4.5.3. Análisis y resultados de la malla de perforación anterior

Se realiza el seguimiento de la RP 159N con el diseño de malla anterior evidenciándose resultados desfavorables desde el mes de junio a diciembre del 2023, con disparos menores a 3.40 m, eficiencia de voladura menores de 89% que se incumple por falta de la perforación completa de 13 pies y factor de carga lineal mayores a 47.22 Kg/m.

Los resultados de los avances deficientes se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15

Análisis y resultados de la malla de perforación anterior con 13 pies en la RP 159N

AÑO	MES	FECHA	LABOR	AVANCE (metros)	ANCHO PROYECTO	ALTO PROYECTO	# DE TALADROS (45 mm)	LONGITUD DE PERFORACIÓN(ft)	NRO DE RIMADO	TOTAL EXPLOSIVO	FACTOR DE CARGA Kg/m	EFICIENCIA DE PERFORACION	EFICIENCIA DE VOLADURA
2023	JUNIO	1/06/2023	RP 159 N	3.30	4.50	4.50	48	13	4	162.1	49.12	93%	83%
2023	JUNIO	4/06/2023	RP 159 N	3.00	4.50	4.50	47	12	4	162.1	54.03	86%	82%
2023	JUNIO	5/06/2023	RP 159 N	3.30	4.50	4.50	45	13	4	162.1	49.12	93%	83%
2023	JUNIO	10/06/2023	RP 159 N	3.30	4.50	4.50	46	12	4	159.1	48.21	86%	90%
2023	JUNIO	12/06/2023	RP 159 N	3.20	4.50	4.50	47	13	4	164.06	51.27	93%	81%
2023	JUNIO	13/06/2023	RP 159 N	2.90	4.50	4.50	47	11	4	139.06	47.95	79%	86%
2023	JUNIO	26/06/2023	RP 159 N	3.00	4.50	4.50	46	12	4	162.8	54.27	86%	82%
2023	JUNIO	28/06/2023	RP 159 N	3.00	4.50	4.50	48	13	4	162.1	54.03	93%	76%
2023	JUNIO	30/06/2023	RP 159 N	3.30	4.50	4.50	48	13	4	162.1	49.12	93%	83%
2023	JULIO	3/07/2023	RP 159 N	3.30	4.50	4.50	48	13	4	162.1	49.12	93%	83%
2023	JULIO	5/07/2023	RP 159 N	2.60	4.50	4.50	48	13	4	162.1	62.35	93%	66%
2023	JULIO	10/07/2023	RP 159 N	3.30	4.50	4.50	48	12	4	165.8	50.24	86%	90%
2023	JULIO	13/07/2023	RP 159 N	3.20	4.50	4.50	48	13	4	162.1	50.66	93%	81%
2023	JULIO	18/07/2023	RP 159 N	2.80	4.50	4.50	48	12	4	137.1	48.96	86%	77%
2023	JULIO	22/07/2023	RP 159 N	3.00	4.50	4.50	48	12	4	162.1	54.03	86%	82%
2023	JULIO	25/07/2023	RP 159 N	3.20	4.50	4.50	46	13	4	162.1	50.66	93%	81%
2023	JULIO	28/07/2023	RP 159 N	3.20	4.50	4.50	46	13	4	163.4	51.06	93%	81%
2023	AGOSTO	2/08/2023	RP 159 N	3.30	4.50	4.50	48	13	4	164	49.70	93%	83%
2023	AGOSTO	4/08/2023	RP 159 N	3.00	4.50	4.50	48	12	4	142.3	47.43	86%	82%
2023	AGOSTO	7/08/2023	RP 159 N	2.80	4.50	4.50	48	12	4	156.2	55.79	86%	77%
2023	AGOSTO	15/08/2023	RP 159 N	3.10	4.50	4.50	48	12	4	176	56.77	86%	85%
2023	AGOSTO	23/08/2023	RP 159 N	3.00	4.50	4.50	48	12	4	172.4	57.47	86%	82%
2023	AGOSTO	25/08/2023	RP 159 N	3.20	4.50	4.50	47	13	4	162.1	50.66	93%	81%
2023	AGOSTO	28/08/2023	RP 159 N	3.30	4.50	4.50	48	13	4	162.1	49.12	93%	83%
2023	SEPTIEMBRE	22/09/2023	RP 159 N	3.30	4.50	4.50	48	13	4	162.8	49.33	93%	83%
2023	SEPTIEMBRE	22/09/2023	RP 159 N	3.30	4.50	4.50	47	13	4	162.8	49.33	93%	83%
2023	SEPTIEMBRE	27/09/2023	RP 159 N	3.00	4.50	4.50	47	12	4	162.8	54.27	86%	82%
2023	SEPTIEMBRE	29/09/2023	RP 159 N	3.20	4.50	4.50	48	12	4	162.5	50.78	86%	87%
2023	SEPTIEMBRE	30/09/2023	RP 159 N	3.00	4.50	4.50	48	13	4	162.84	54.28	93%	76%
2023	OCTUBRE	5/10/2023	RP 159 N	3.30	4.50	4.50	47	12	4	162.84	49.35	86%	90%
2023	OCTUBRE	10/10/2023	RP 159 N	3.30	4.50	4.50	48	12	4	162.8	49.33	86%	90%
2023	OCTUBRE	11/10/2023	RP 159 N	3.00	4.50	4.50	48	13	4	162.84	54.28	93%	76%
2023	OCTUBRE	13/10/2023	RP 159 N	3.30	4.50	4.50	48	12	4	162.84	49.35	86%	90%
2023	OCTUBRE	17/10/2023	RP 159 N	3.30	4.50	4.50	47	13	4	162.84	49.35	93%	83%
2023	NOVIEMBRE	4/11/2023	RP 159 N	2.90	4.50	4.50	48	13	4	172.84	59.60	93%	73%
2023	NOVIEMBRE	6/11/2023	RP 159 N	3.10	4.50	4.50	48	12	4	225	72.58	86%	85%
2023	NOVIEMBRE	10/11/2023	RP 159 N	3.30	4.50	4.50	48	13	4	162.84	49.35	93%	83%
2023	NOVIEMBRE	14/11/2023	RP 159 N	3.20	4.50	4.50	48	13	4	162.84	50.89	93%	81%
2023	NOVIEMBRE	21/11/2023	RP 159 N	3.00	4.50	4.50	48	13	4	162.84	54.28	93%	76%
2023	NOVIEMBRE	24/11/2023	RP 159 N	3.20	4.50	4.50	48	13	4	162.84	50.89	93%	81%
2023	NOVIEMBRE	29/11/2023	RP 159 N	2.70	4.50	4.50	49	12	4	162.88	60.33	86%	74%
2023	DICIEMBRE	10/12/2023	RP 159 N	3.30	4.50	4.50	48	13	4	162.84	49.35	93%	83%
2023	DICIEMBRE	12/12/2023	RP 159 N	2.90	4.50	4.50	48	13	4	162.88	56.17	93%	73%
2023	DICIEMBRE	16/12/2023	RP 159 N	3.30	4.50	4.50	48	13	4	162.8	49.33	93%	83%
2023	DICIEMBRE	17/12/2023	RP 159 N	2.60	4.50	4.50	48	11	4	141.74	54.52	79%	78%
2023	DICIEMBRE	18/12/2023	RP 159 N	3.30	4.50	4.50	47	12	4	162.8	49.33	86%	90%
2023	DICIEMBRE	19/12/2023	RP 159 N	3.20	4.50	4.50	48	13	4	162.8	50.88	93%	81%
2023	DICIEMBRE	20/12/2023	RP 159 N	3.00	4.50	4.50	48	12	4	162.8	54.27	86%	82%

4.6. DISEÑO DE LA NUEVA MALLA DE PERFORACIÓN APLICANDO EL MODELO MATEMÁTICO DE ROGER HOLMBERG.

Para diseñar la nueva malla de perforación presentamos un resumen de los parámetros de la roca, perforación y explosivos que se muestran en la tabla 16. Además, se muestra la sección donde se va a trabajar para calcular el perímetro y el área del frente (figura 23). En este caso se trabajó con una sección de 4.5 m x 4.5 m.

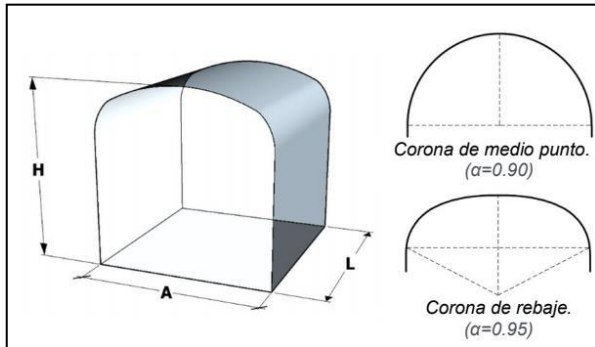
Tabla 16

Parámetros para el diseño de malla

LABOR	DESCRIPCIÓN GENERAL	
	Sección	4.5mx4.5m
	Tipo de roca	IIIB
	Ancho de labor (m)	4.5
	Alto de labor (m)	4.5
DATOS	PARÁMETROS DE LA ROCA	
	RMR	44-50
	GSI	MF/R (50)
	RQD	50-65%(58%)
	Resistencia a la compresión	50-100
	Densidad de la roca ton/m3	2.7
	PARÁMETROS DE LA PERFORACIÓN Y EXPLOSIVOS	
	Diámetro de la broca (mm)	45
	Diámetro de la rimadora (mm)	102
	Longitud del barreno (pies)	13ft=3.96m
	Eficiencia de la perforación (%)	88.0%
	Porcentaje de acoplamiento	74.7%
	Porcentaje de acoplamiento confinado	84.0%
	Angulo óptimo de los taladros de contorno (°)	1.0
	Desviación angular (mm/m)	0.01
	Prof. Taladros (L) (m)	3.76
	Error de emboquille (m)	0.02
	Potencia relativa en peso (RWS ANFO) (%)	104
	Senatel Pulsar 1 1/4"x 12"(Kg/cartucho)	0.278
	Senatel Magnafrac 1 1/4"x 12"(Kg/cartucho)	0.26
	Longitud de cartucho (m)	0.3048

Figura 26

Área del frente de voladura



$$S=A \cdot H \cdot f$$

Donde:

S: Área del frente de voladura (m²), A: Ancho de labor (m), H: Altura de Labor (m), f: factor de ajuste por curvatura

$$S= 4.5 \times 4.5 \times 0.95 = 19.24 \text{m}^2$$

Una vez definida el área de la labor, se tiene que analizar cuanto será el avance máximo por disparo.

Cálculo del diámetro equivalente

$$\varnothing_2 = \varnothing_1 * \sqrt{N}$$

Ø₂: Diámetro equivalente

Ø₁: Diámetro de taladros de alivio

N: Cantidad de taladros de alivio

$$\varnothing_2 = 0.102 * \sqrt{4} = 0.204 \text{m}$$

Cálculo de profundidad de taladros respecto al diámetro equivalente

Luego, para calcular el avance según Holmberg aplicaremos la Ecuación:

$$Le = 0.15 + 34.1\phi_2 - 39.4 \phi_2^2$$

Le: Profundidad del taladro

ϕ_2 = Diámetro equivalente (m)

$$Le = 0.15 + 34.1 \times 0.204 - 39.4 \times 0.204^2$$

$$Le = 5.46\text{m}$$

Por tanto, el avance por disparo es 5.450m

Cálculo de profundidad real alcanzado

Según el modelo matemático de Roger Holmberg la eficiencia de perforación será aceptable en un 95%.

$$L = 0.95 * H_{\text{long. efec. de barra}}$$

L: Avance real alcanzado

H: Longitud efectiva de taladro

$$H = 0.95 * (13 * 0.3048)$$

$$H = 3.76 \text{ m}$$

Cálculo del error de perforación

$$\Psi = (\alpha * L) + e$$

Ψ : Error de perforación

L: Profundidad del taladro

e: Error de emboquille

α : Desviación angular

$$\Psi = (0.01 \cdot 3.76) + 0.02$$

$$\Psi = 0.0576 \text{ m}$$

4.6.1. Cálculos para el diseño de arranque

Cálculo de burden equivalente

$$B_{e \max} = 1.5 \cdot \emptyset_2$$

Donde:

$\emptyset_2$ = Diámetro equivalente

$$B_{e \max} = 1.5 \cdot 0.204 = 0.306 \text{ m}$$

Cálculo del burden práctico

$$B_p = B_{e \max} - \Psi$$

$$B_p = 0.306 \text{ m} - 0.0576 \text{ m} = 0.23 \text{ m}$$

Ancho de abertura en el arranque

$$A_{h0} = \sqrt{2}(B_p)$$

$$A_{h0} = 0.32 \text{ m}$$

Cálculo del Consumo específico de explosivos

$$C.E = \frac{0.56 \cdot \rho_r \cdot \tan\left(\frac{GSI + 15}{2}\right)}{\sqrt[3]{\frac{115 - RQD}{3.3}}}$$

C.E: Consumo específico de explosivos

ρ_r : Densidad de roca (desmonte).

GSI: Según tabla de cartilla geomecánica

RQD: Según mapeo geomecánico RP 159N

$$C.E = \frac{0.56 \cdot 2.7 \cdot \tan\left(\frac{50 + 15}{2}\right)}{\sqrt[3]{\frac{115 - 58}{3.3}}} = 0.373 \text{ t/m}^3$$

Cálculo del constante de roca

$$C = 0.8784 \times CE + 0.052$$

C: Factor de roca sueco

$$C = 0.8784 \times 0.373 + 0.052 = 0.379$$

Calculo de la densidad de carga en el arranque

$$q_0 = 55 * \varnothing_1 \left(\frac{B_p}{\varnothing_2} \right)^{1.5} * \left(B_p - \left(\frac{\varnothing_2}{2} \right) \right) \times \left(\frac{C}{0.4} \right) \times \left(\frac{1}{RWS_{ANFO}} \right)$$

q_0 : Densidad de carga inicial(arranque)

$\varnothing_1$: Diametro del taladro de producción (m)

$\varnothing_2$: Diámetro equivalente (m)

B_p : Burden (m)

C: Factor de roca sueco

RWS ANFO: potencia relativa en peso del explosivo utilizado

$$q_0 = 55 \times 0.051 \left(\frac{0.24}{0.204} \right)^{1.5} \times \left(0.24 - \left(\frac{0.24}{2} \right) \right) \times \left(\frac{0.379}{0.4} \right) \times \left(\frac{1}{104\%} \right)$$

$$q_0 = 0.36 \text{ Kg/m}$$

Calculo de longitud de taco

$$L_{\text{taco}} = 10 * \varnothing_1$$

$$L_{\text{taco}} = 10 * 0.045 = 0.45\text{m}$$

Calculo de longitud de carga en el arranque

$$L_c = L_{\text{Tal.}} - L_{\text{taco}}$$

$$L_c = 3.8 - 0.45 = 3.31 \text{ m}$$

Calculo del numero de cartuchos - Senatel Pulsar 1.1/4" x 12"

$$N^{\circ} \text{ cart.} = \frac{q_0 * L_c}{\text{peso cartucho}}$$

q_0 : Densidad de carga

L_c = Longitud carga

Peso cartucho (Kg)

$$N^{\circ} \text{ cart.} = \frac{0.36 \times 3.31}{0.278}$$

$$N^{\circ} \text{ cart.} = 4.3 \approx 4 \text{ Cartuchos}$$

4.6.2. Cálculo para el primer cuadrante

Cálculo del burden máximo en el primer cuadrante

$$B_{\max 1} = 8.8 \times 10^{-2} \sqrt{\frac{A_{h0} \cdot q_0 \cdot RWS_{ANFO}}{\emptyset_1 \cdot C}}$$

$B_{\max 1}$: Burden máximo en el primer cuadrante

A_{h0} : Ancho de abertura en el arranque

$\emptyset_1$: Diámetro del taladro de producción

$$B_{\max 1} = 0.30 \text{ m}$$

Cálculo de Burden practico en el primer cuadrante

$$B_{p1} = (B_{\max 1} - \Psi)$$

$$B_{p1} = 0.25 \text{ m}$$

Cálculo del ancho de abertura

$$A_{h1} = \sqrt{2}(B_{p1} - \Psi)$$

$$A_{h1} = 0.62 \text{ m}$$

Espaciamiento en el segundo cuadrante

$$E_1 = \sqrt{2} \left(\frac{E_{\text{arran}}}{2} + B_{p1} \right)$$

$$E_1 = 0.58 \text{ m}$$

Cálculo del número de cartuchos del primer cuadrante

$$N^{\circ} = \frac{L - (0.5 \cdot B_{\max 1})}{L_{\text{cartucho}}}$$

$$N^{\circ} = 4.12 = 4 \text{ cartuchos}$$

4.6.3. Cálculo para el segundo cuadrante

$$B_{\max 2} = 8.8 \times 10^{-2} \sqrt{\frac{A_{h1} * q_0 * RWS_{ANFO}}{\emptyset_1 * C}}$$

$$B_{\max 2} = 0.58 \text{ m}$$

Cálculo de Burden practico en el segundo cuadrante

$$B_{p2} = (B_{\max 2} - \Psi)$$

$$B_{p2} = 0.47 \text{ m}$$

Cálculo del ancho de abertura

$$A_{h2} = \sqrt{2} \left(\frac{A_{h1}}{2} + B_{p2} - \Psi \right)$$

$$A_{h2} = 1.05 \text{ m}$$

Cálculo del espaciamiento

$$E_2 = \sqrt{2} \left(\frac{E_1}{2} + B_{p2} \right)$$

$$E_2 = 1.07 \text{ m}$$

Cálculo del número de cartuchos del segundo cuadrante

$$N^{\circ} = \frac{L - (0.5 * B_{\max 2})}{L_{\text{cartucho}}}$$

$$N^{\circ} = 3.86 = 4 \text{ cartuchos}$$

4.6.4. Cálculo para el tercer cuadrante

$$B_{\max 3} = 8.8 \times 10^{-2} \sqrt{\frac{A_{h2} * q_0 * RWS_{ANFO}}{\emptyset_1 * C}}$$

$$B_{\max 3} = 0.76 \text{ m}$$

Cálculo de Burden practico en el tercer cuadrante

$$B_{p3} = (B_{\max 3} - \Psi)$$

$$B_{p3} = 0.71 \text{ m}$$

Cálculo del ancho de abertura

$$A_{h2} = \sqrt{2} \left(\frac{A_{h2}}{2} + B_{p3} - \Psi \right)$$

$$A_{h2} = 1.32 \text{ m}$$

Cálculo del espaciamiento

$$E_3 = \sqrt{2} \left(\frac{E_2}{2} + B_{p3} \right)$$

$$E_3 = 1.76 \text{ m}$$

Cálculo del número de cartuchos del tercer cuadrante

$$N^\circ = \frac{L - (0.5 * B_{\max 3})}{L_{\text{cartucho}}}$$

$$N^\circ = 3.76 = 4 \text{ cartuchos}$$

4.6.5. Cálculo del arrastre

$$B_{\max.\text{arrastre}} = 0.90 * \sqrt{\frac{q_0 * RWS_{ANFO}}{C' * f * S/B}}$$

f: Factor de fijación, generalmente se toma 1.45

S/B: Relación entre el espaciamiento y burden, se suele tomar 1

C': Constante de roca corregida

Constante de roca corregida

$$C_{\text{corre}} = C + 0.05; B \geq 1.4\text{m}, C + \frac{0.07}{B}; B < 1.4\text{m}$$

$$B_{\max.\text{arrastre}} = 1.01 \text{ m}$$

Burden practico para los arrastres

$$B_{\text{prac.arrastre}} = B_{\max.\text{arrastre}} - L \sin Y - \Psi$$

Y: Ángulo de la desviación en el fondo del taladro (3°)

$$B_{\text{prac.arrastre}} = 0.70 \text{ m}$$

Numero de taladros en el arrastre

$$N^\circ \text{tal} = \left(\frac{W + 2L \sin Y}{B_{\text{prac.arrastre}}} \right) + 2$$

W: Ancho de la sección (4.5 m)

$$N^\circ = 6 \text{ taladros}$$

Espaciamiento para los arrastres

Espaciamiento en el medio

$$E_{medios} = \left(\frac{W + 2L \sin Y}{N^{\circ}tal - 1} \right) + 2$$

$$E_{medios} = 1.15 \text{ m}$$

Espaciamiento en las esquinas

$$E_{esquinas} = E_{medios} - L \sin(Y)$$

$$E_{esquinas} = 0.84$$

4.6.6. Cálculo de la corona

Cálculo del espaciamento en la corona

$$S_{corona} = K * \emptyset_p$$

K: Constante que toma valores entre 15 y 16.

$\emptyset_p$: Diametro del taladro de producción

$$S_{corona} = 0.68 \text{ m}$$

Cálculo del burden máximo en la corona

$$B_{max.corona} = \frac{S}{0.80}$$

$$B_{max.corona} = 0.85 \text{ m}$$

Cálculo del burden practico en la corona

$$B_{pract.corona} = B_{max.corona} - L * \sin Y - \Psi$$

$$B_{pract.corona} = 0.60 \text{ m}$$

Cálculo del número de taladros en la corona

$$N^{\circ} tal corona = \left(\frac{A_{tunnel}}{B_{max.corona} * \frac{S}{B}} \right) + 2$$

A_{tunnel} : Ancho del túnel

S/B: 1.25

$$N^{\circ}_{tal\ corona} = 6\ taladros$$

4.6.7. Cálculo de los hastiales

$$B_{max.hast} = 0.90 * \sqrt{\frac{q_0 * RWS_{ANFO}}{C' * f * S/B}}$$

$$B_{max.hast} = 0.85\ m$$

Cálculo del burden practico en los hastiales

$$B_{p\ hastial} = \frac{0.275 * A_{tunel}}{2}$$

$$B_{p\ hastial} = 0.6\ m$$

Cálculo de la altura disponible para los taladros de hastiales

$$H_{disp.hastial} = H_{tunel} - r$$

H_{tunel} : Altura de la rampa

r: Radio del baúl de la rampa

$$H_{disp.hastial} = 3.0\ m$$

Cálculo de espaciamento de los hastiales

$$S_{tal.hastial} = 0.3345 * H_{disp.hastial}$$

$$S_{tal.hastial} = 0.65\ m$$

Cálculo del número de taladros en los hastiales

$$N^{\circ}_{tal\ hastiales} = \left(\frac{A_{tunel}}{B_{max.hastial} * \frac{S}{B}} \right) + 2$$

$$N^{\circ}_{tal\ hastiales} = 6\ taladros$$

Del calculo realizado presentamos un resumen en la Tabla 17.

Tabla 17*Resumen de los resultados por el método Roger Holmberg*

1. DISEÑO DE ARRANQUE:	
Profundidad de taladros	3.76 m
Profundidad de taladros con broca de 45 mm	3.62 m
Cantidad de taladros de alivio (rimado)	4 Tal
Cálculo de diámetro de alivio según Roger Holmberg	0.204 m
Profundidad de taladros con broca de 102 mm con 4 alivios	5.450 m
2. CALCULO DE BURDEN EN ARRANQUE	
Burden	0.32 m
Error de perforación	0.0058 m
Burden Practico	0.23 m
3. CONSUMO ESPECIFICO DE EXPLOSIVO "CE"	
Consumo específico de explosivo CE	0.37 kg/m ³
4. CALCULO DE LA CONSTANTE DE ROCA "C" Y OTROS FACTORES	
Constante de roca Corregida	0.379 kg/m ³
Factor de roca (A)	9.6 8 <A<12
5. FACTOR DE ENERGÍA	
FE	11.2 MJ/ton
6. CALCULO DE CONCENTRACIÓN DE CARGA LINEAL DE EXPLOSIVO (q_0)	
q_0	0.36 kg/m
7. LONGITUD DE CARGA (L_c)	
Longitud de carga (L_c)	3.31 m
Longitud de taco (L_t)	0.45 m
8. NUMERO DE CARTUCHOS	
	4
9. BURDEN	
B ₁ Primer cuadrante	0.25 m
B ₂ Segundo cuadrante	0.47 m
B ₃ Tercer cuadrante	0.71 m
Arrastre	0.7 m
Corona	0.6 m
Hastiales	0.6 m
Desbroce	0.89 m
10. ESPACIAMIENTO	
E ₁ Primer cuadrante	0.58 m
E ₂ Segundo cuadrante	1.07 m
E ₃ Tercer cuadrante	1.76 m
Arrastre	1.15 m
Corona	0.68 m
Hastiales	0.65 m
Desbroce	0.89 m

Tabla 18

Distribución de carga explosiva y cartuchos – para tipo de roca IIIB

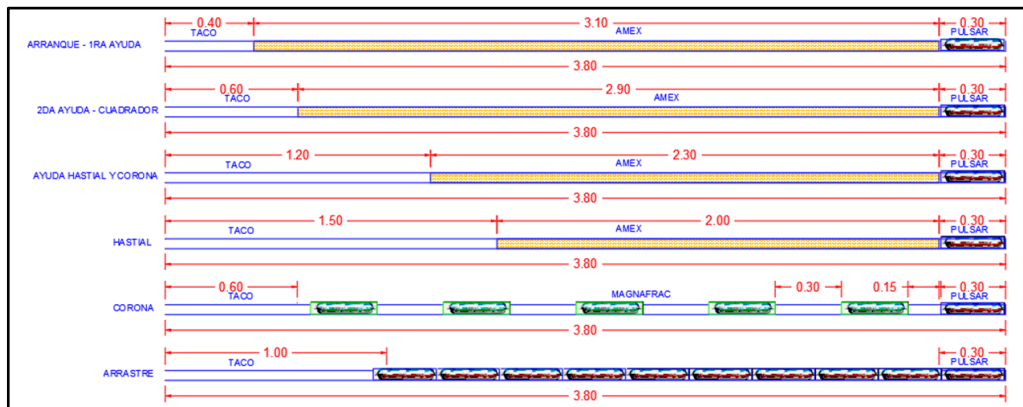
DESCRIPCIÓN	Nº Tal	CARTUCHOS POR TALADRO						ACCESORIOS
		Senatel Pulsar 1.1/4" x 12"		Senatel Magnafrac 1.1/4" x 12"		ANFO		Retardo Exel®
		Cart/Tal	Total/Tal	Cart/Tal	Total/Tal	Kg/Tal	Total	
Alivio (Corona y Hastiales)								
Alivio (Rimados)	4							
Arranque	4	1	4	0	0	4.3	17.0	MS1, MS5, MS8, MS10
1era Ayuda	4	1	4	0	0	4.3	17.0	LP 2, LP 3
2da Ayuda	4	1	4	0	0	4.1	16.5	LP 4, LP 5
Cuadrador	4	1	4	0	0	4.1	16.5	LP 6
Ayuda de Hastial	4	1	4	0	0	3.9	15.5	LP 7
Desbroce	4	1	4	0	0	3.8	15.0	LP 8
Ayuda de corona	3	1	3	0	0	3.6	10.9	LP 9
Hastial I	4	1	4	5	10	3.2	13.0	LP 10
Hastial II	2	1	2	0	0	3.2	6.5	LP 11
Corona	6	1	6	5	30	0	0	LP 11, LP 12
Arrastre	6	11	66	0	0	0	0	LP 13, LP 14
TALADROS PERFORADOS	49							
TALADROS CARGADOS	45	Total, cart:	105	Total, cart:	40	Total, cart:	128.1	
KILOGRAMOS DE EXPLOSIVO	164.58	29.17 Kg		10.42 Kg		125.00 Kg		

Fuente: Voladura IESA 2024

Con los resultados calculados se procedió a realizar la distribución de los taladros y cartuchos y el dibujo del diseño de malla de perforación para tipo de roca IIIB.

Figura 27

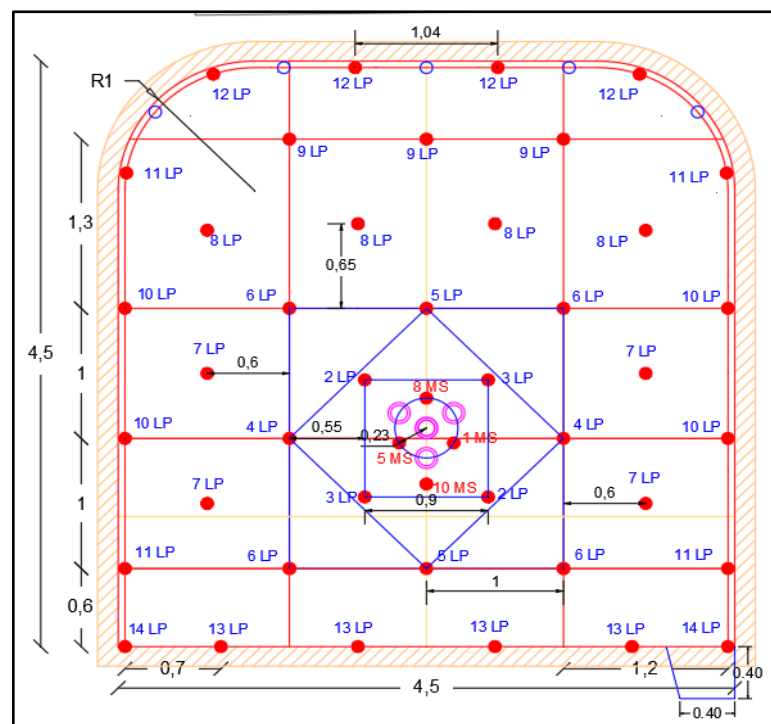
Distribución de explosivos Pulsar, Magnafrac y Amex en la malla implementada.



Fuente: Voladura IESA 2024

Figura 28

Diseño de malla de perforación actual sección 4.5mx4.5- tipo de roca IIIB.



Fuente: Voladura IESA 2024

4.6.8. Resultados del diseño de perforación de la malla actual

Según la nueva malla de perforación se tiene 49 taladros perforados, 45 taladros cargados de 45 mm y 4 taladros rimados de 102mm para longitud de perforación de 13 pies (3.96m), se llegó a una perforación efectiva del 90% (3.84 m), se utilizó explosivos Senatel pulsar y Magnafrac(cartuchos) y Anfo Amex, como accesorios se utilizó detonador no eléctrico (Exel MS y Exel LP), Mecha lenta y mecha rápida, detonador ensamblado (CARMEX), Cordón detonante, tacos de arcilla y tubos de PVC.

En los rendimientos para dicho diseño se tiene: Avance por disparo 3.4 m/disparo, total de explosivo usado 164.58 Kg que hace un el factor de carga lineal de 47.71 Kg/m.

Tabla 19

Rendimientos, Explosivos y accesorios del nuevo diseño de malla.

<u>RENDIMIENTOS</u>		
AVANCE POR DISPARO:	3.40	m
KILOGRAMOS DE EXPLOSIVOS USADO:	164.58	Kg
FACTOR DE CARGA (Kg/m):	47.71	Kg/m
FACTOR DE CARGA (Kg/m3):	2.4	Kg/m3
FACTOR DE POTENCIA (Kg/Ton):	0.71	Kg/Ton
FACTOR DE PERFORACIÓN (m Perf. /m Avance):	54.54	m Perf. / m Avance
PESO ESPECIFICO MINERAL (Ton/m3)	3.4	Ton/m3
PESO ESPECIFICO DESMONTE (Ton/m3)	2.8	Ton/m3
<u>EXPLOSIVOS</u>		
PULSAR 1 1/4" X 12"	0.28	Kg/Cart
MAGNAFRAC 1 1/4" X 12"	0.26	Kg/Cart
ANFO AMEX	25	Kg/Saco
<u>ACCESORIOS DE VOLADURA</u>		
EXEL:	45	Pza
CORDON DETONANTE:	65	m
MECHA LENTA:	7	Pies
MECHA RAPIDA:		
TACOS DE ARCILLA:	42	Und
TUBOS DE PVC (1 1/2 x 4.0m):	8	Und

Tabla 20

Resultados obtenidos de la voladura utilizando la nueva malla de perforación en la RP 159N, 2024.

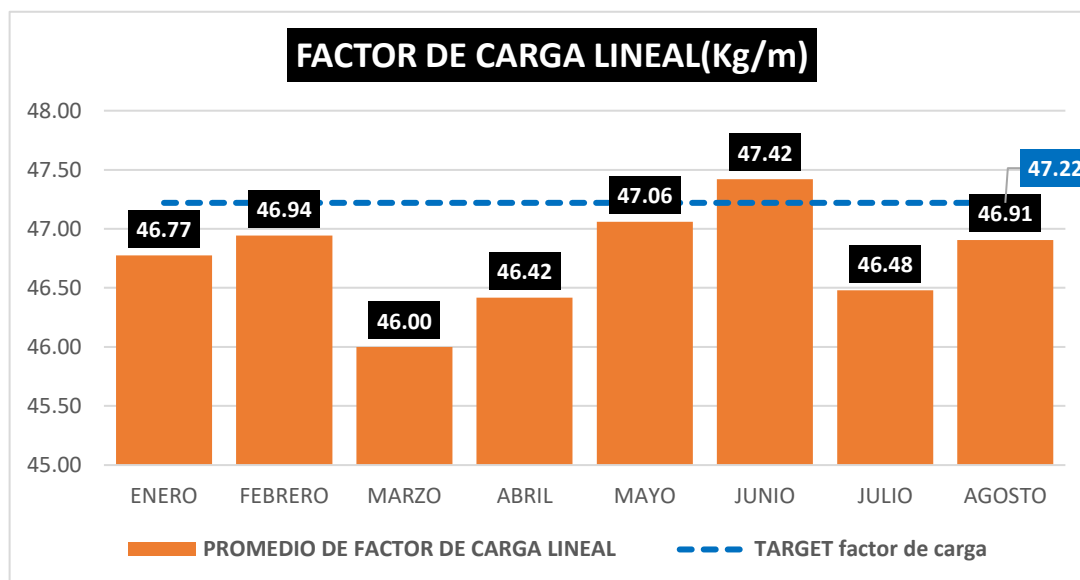
AÑO	MES	FECHA	LABOR	AVANCE (metros)	ANCHO PROYECTO	ALTO PROYECTO	# DE TALADROS (45 mm)	LONGITUD DE PERFORACIÓN(ft)	NRO DE RIMADO	TOTAL EXPLOSIVO	FACTOR DE CARGA Kg/m	EFICIENCIA DE PERFORACION	EFICIENCIA DE VOLADURA
2024	ENERO	2/01/2024	RP 159 N	3.70	4.50	4.50	46	13	4	162.84	44.01	93%	93%
2024	ENERO	6/01/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	46	13	4	162.84	47.89	93%	86%
2024	ENERO	8/01/2024	RP 159 N	3.60	4.50	4.50	45	13	4	162.84	45.23	93%	91%
2024	ENERO	17/01/2024	RP 159 N	3.60	4.50	4.50	45	13	4	162.84	45.23	93%	91%
2024	ENERO	20/01/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	46	13	4	162.84	47.89	93%	86%
2024	ENERO	23/01/2024	RP 159 N	3.70	4.50	4.50	46	13	4	162.84	44.01	93%	93%
2024	ENERO	25/01/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	45	13	4	162.84	47.89	93%	86%
2024	ENERO	27/01/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	45	13	4	162.84	47.89	93%	86%
2024	ENERO	28/01/2024	RP 159 N	3.50	4.50	4.50	45	13	4	162.84	46.53	93%	88%
2024	ENERO	30/01/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	45	13	4	162.84	47.89	93%	86%
2024	FEBRERO	6/02/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	45	13	4	162.84	47.89	93%	86%
2024	FEBRERO	7/02/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	45	13	4	162.84	47.89	93%	86%
2024	FEBRERO	10/02/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	45	13	4	162.84	47.89	93%	86%
2024	FEBRERO	12/02/2024	RP 159 N	3.50	4.50	4.50	45	13	4	162.84	46.53	93%	88%
2024	FEBRERO	14/02/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	45	12	4	162.84	47.89	86%	93%
2024	FEBRERO	17/02/2024	RP 159 N	3.50	4.50	4.50	46	13	4	162.84	46.53	93%	88%
2024	FEBRERO	19/02/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	45	13	4	162.84	47.89	93%	86%
2024	FEBRERO	22/02/2024	RP 159 N	3.50	4.50	4.50	45	13	4	162.84	46.53	93%	88%
2024	FEBRERO	25/02/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	45	12	4	162.84	47.89	86%	93%
2024	FEBRERO	26/02/2024	RP 159 N	3.50	4.50	4.50	45	13	4	162.84	46.53	93%	88%
2024	MARZO	4/03/2024	RP 159 N	3.60	4.50	4.50	45	13	4	162.84	45.23	93%	91%
2024	MARZO	9/03/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	45	12	4	162.84	47.89	86%	93%
2024	MARZO	11/03/2024	RP 159 N	3.50	4.50	4.50	45	13	4	162.84	46.53	93%	88%
2024	MARZO	22/03/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	46	13	4	152.82	44.95	93%	86%
2024	MARZO	27/03/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	45	13	4	152.82	44.95	93%	86%
2024	MARZO	29/03/2024	RP 159 N	3.50	4.50	4.50	45	13	4	152.82	43.66	93%	88%
2024	ABRIL	2/04/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	46	13	4	152.82	44.95	93%	86%
2024	ABRIL	5/04/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	46	12	4	162.84	47.89	86%	93%
2024	ABRIL	9/04/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	45	12	4	162.84	47.89	86%	93%
2024	ABRIL	10/04/2024	RP 159 N	3.80	4.50	4.50	45	13	4	162.84	42.85	93%	96%
2024	ABRIL	13/04/2024	RP 159 N	3.70	4.50	4.50	45	13	4	162.84	44.01	93%	93%
2024	ABRIL	15/04/2024	RP 159 N	3.50	4.50	4.50	45	13	4	162.84	46.53	93%	88%
2024	ABRIL	20/04/2024	RP 159 N	3.60	4.50	4.50	45	13	4	162.84	45.23	93%	91%
2024	ABRIL	25/04/2024	RP 159 N	3.50	4.50	4.50	45	13	4	162.84	46.53	93%	88%
2024	ABRIL	28/04/2024	RP 159 N	3.60	4.50	4.50	45	13	4	162.84	45.23	93%	91%
2024	ABRIL	29/04/2024	RP 159 N	3.80	4.50	4.50	46	13	4	185.24	48.75	93%	96%
2024	MAYO	2/05/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	46	13	4	162.84	47.89	93%	86%
2024	MAYO	3/05/2024	RP 159 N	3.60	4.50	4.50	45	13	4	162.84	45.23	93%	91%
2024	MAYO	7/05/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	45	12	4	162.84	47.89	86%	93%
2024	MAYO	9/05/2024	RP 159 N	3.50	4.50	4.50	46	13	4	162.84	46.53	93%	88%
2024	MAYO	12/05/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	46	14	4	162.84	47.89	100%	80%
2024	MAYO	13/05/2024	RP 159 N	3.50	4.50	4.50	46	13	4	162.84	46.53	93%	88%
2024	MAYO	17/05/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	45	13	4	162.84	47.89	93%	86%
2024	MAYO	21/05/2024	RP 159 N	3.60	4.50	4.50	45	13	4	162.84	45.23	93%	91%
2024	MAYO	22/05/2024	RP 159 N	3.50	4.50	4.50	45	13	4	162.84	46.53	93%	88%
2024	MAYO	24/05/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	45	13	4	162.84	47.89	93%	86%
2024	MAYO	29/05/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	45	13	4	162.84	47.89	93%	86%
2024	JUNIO	2/06/2024	RP 159 N	3.70	4.50	4.50	45	13	4	162.84	44.01	93%	93%
2024	JUNIO	5/06/2024	RP 159 N	3.60	4.50	4.50	46	13	4	162.84	45.23	93%	91%
2024	JUNIO	7/06/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	45	13	4	162.84	47.89	93%	86%
2024	JUNIO	9/06/2024	RP 159 N	3.70	4.50	4.50	45	13	4	162.84	44.01	93%	93%
2024	JUNIO	10/06/2024	RP 159 N	3.60	4.50	4.50	45	13	4	162.84	45.23	93%	91%
2024	JUNIO	14/06/2024	RP 159 N	3.50	4.50	4.50	46	12	4	162.84	46.53	86%	96%
2024	JUNIO	15/06/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	45	12	4	162.84	47.89	86%	93%
2024	JUNIO	19/06/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	45	13	4	162.84	47.89	93%	86%
2024	JUNIO	21/06/2024	RP 159 N	3.50	4.50	4.50	46	13	4	162.84	46.53	93%	88%
2024	JUNIO	24/06/2024	RP 159 N	3.40	4.50	4.50	45	13	4	162.84	47.89	93%	86%
2024	JUNIO	26/06/2024	RP 159 N	3.50	4.50	4.50	45	13	4	162.84	46.53	93%	88%
2024	JUNIO	28/06/2024	RP 159 N	3.60	4.50	4.50	45	13	4	162.84	45.23	93%	91%

En la tabla 20 se evidencia los resultados después de la implementación de la nueva malla de perforación para tipo de roca IIIB, resultados tomados de enero a agosto del 2024, se obtiene voladuras con buena eficacia de avance mayores o iguales a 3.40 m/disparo, disminución significativa del factor de carga lineal menores a 48 Kg/m y una eficiencia de voladura optimo al establecido.

4.6.8.1. Resultados obtenidos de factor de carga lineal de enero a agosto del 2024

Figura 29

Factor de carga lineal promedio mensual

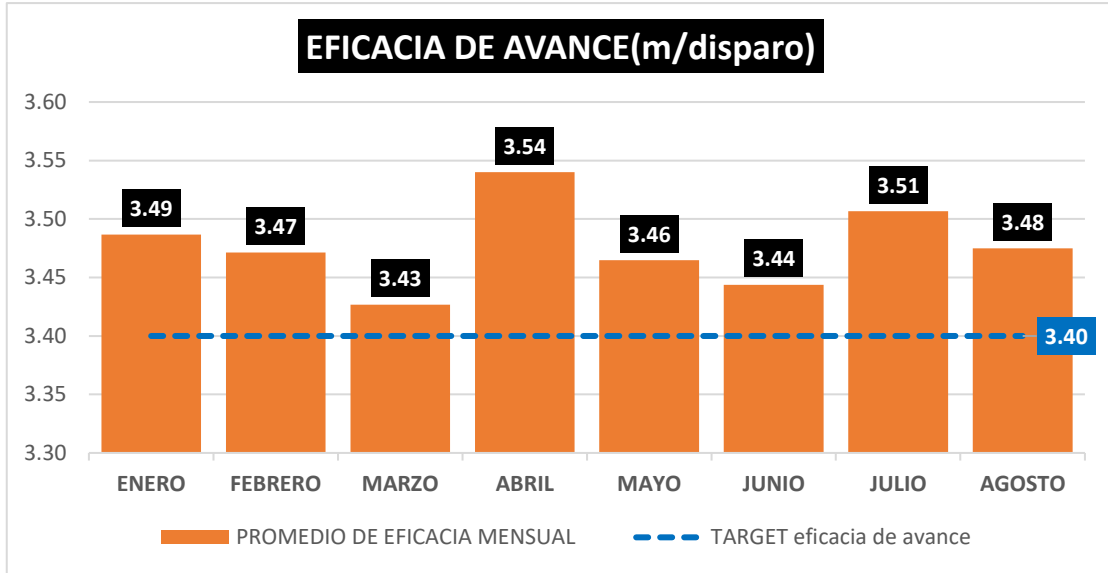


En la figura se evidencia el factor de carga lineal después de la implementación de la malla de perforación, se obtiene un promedio de 46.75 Kg/m durante el periodo de enero a agosto del 2024, con los cuales se evita las penalizaciones y se optimiza el indicador.

4.6.8.2. Resultados obtenidos de la eficacia de avance enero a agosto del 2024

Figura 30

Eficacia de avance promedio mensual

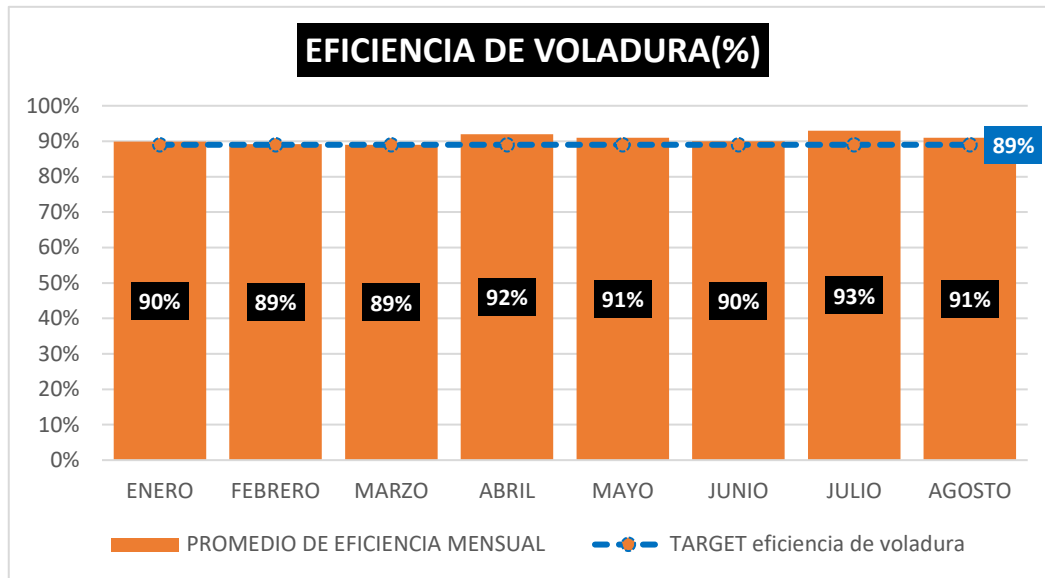


En la figura se evidencia la eficacia de avance promedio después de la implementación de la malla de perforación, se obtiene un promedio mensual de 3.48 m/disparo durante el periodo de enero a agosto del 2024, tales resultados va influir en el cumplimiento del avance mensual de la RP 159N que a su vez será beneficioso para la contrata IESA S.A en sus valorizaciones mensuales.

4.6.8.3. Resultados obtenidos de eficiencia de voladura enero a agosto del 2024

Figura 31

Eficiencia de voladura promedio mensual

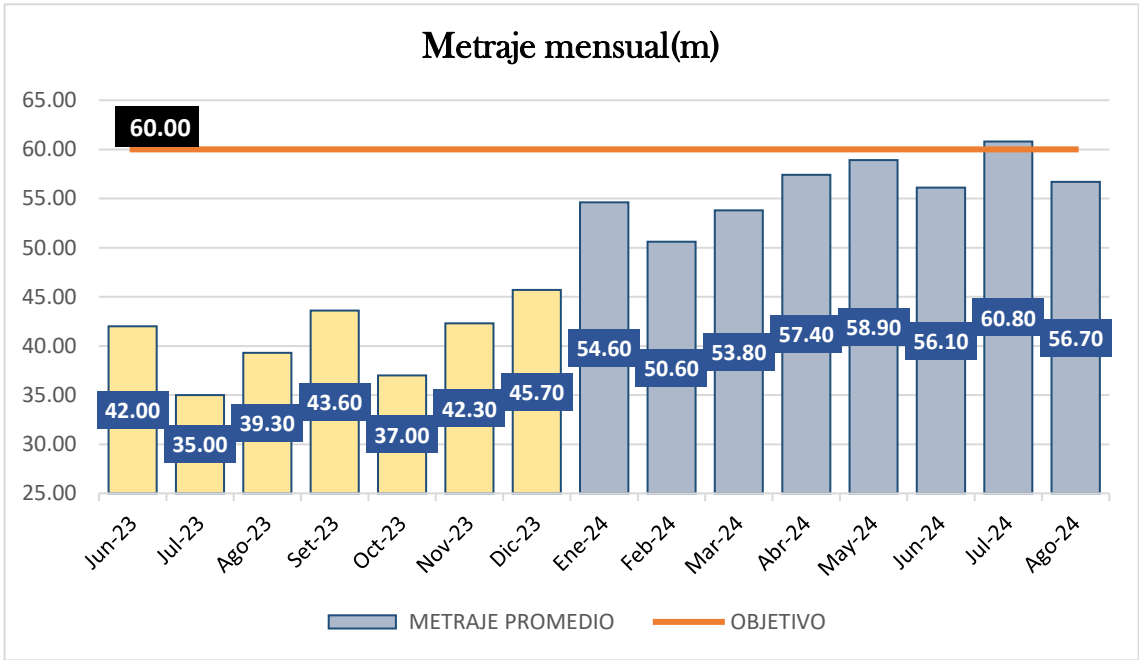


En la figura se evidencia la eficiencia de voladura promedio después de la implementación de la malla de perforación, se obtiene la eficiencia promedio mensual de 91% durante el periodo de enero a agosto del 2024, con tales resultados se garantiza la perforación con longitud de 13 pies para obtener avances mayores a 3.4 m/disparo.

4.7. RESULTADOS COMPARATIVOS DE LOS INDICADORES CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LA NUEVA MALLA DE PERFORACIÓN.

Figura 32

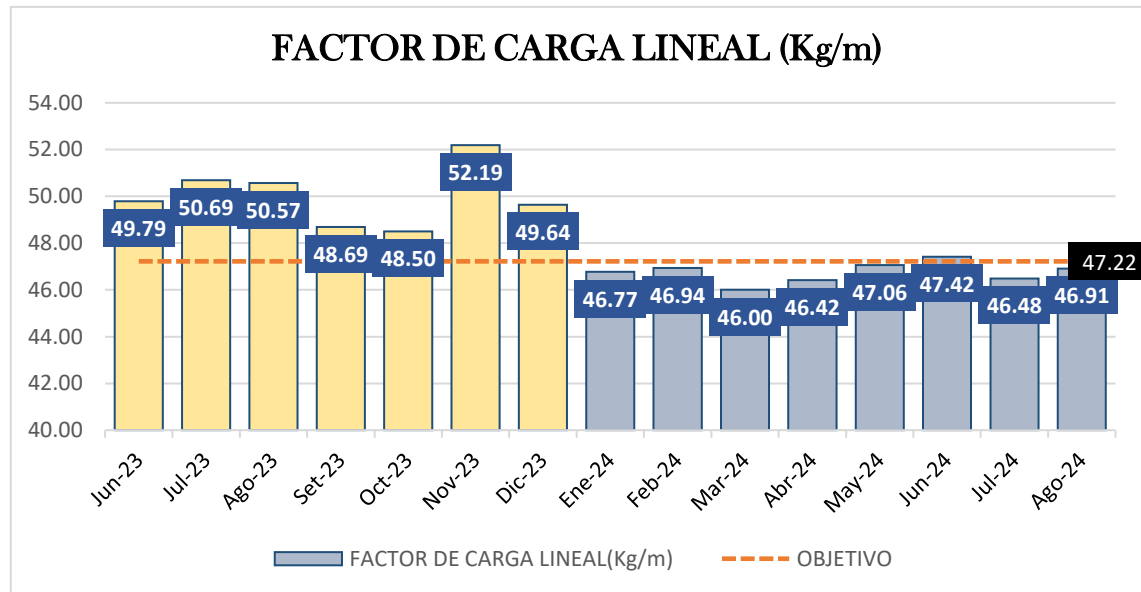
Comparativo del metraje mensual del año 2023 y 2024



En la figura se evidencia que el metraje durante el periodo de junio a diciembre del 2023 fue menor del objetivo con un promedio de cumplimiento de 68%, mientras que de enero a agosto del 2024 con la implementación de la nueva malla de perforación se obtiene resultados cercanos al objetivo con un promedio de cumplimiento de 94% como se evidencia el aumento es considerable para cumplir el avance mensual programado por la compañía.

Figura 33

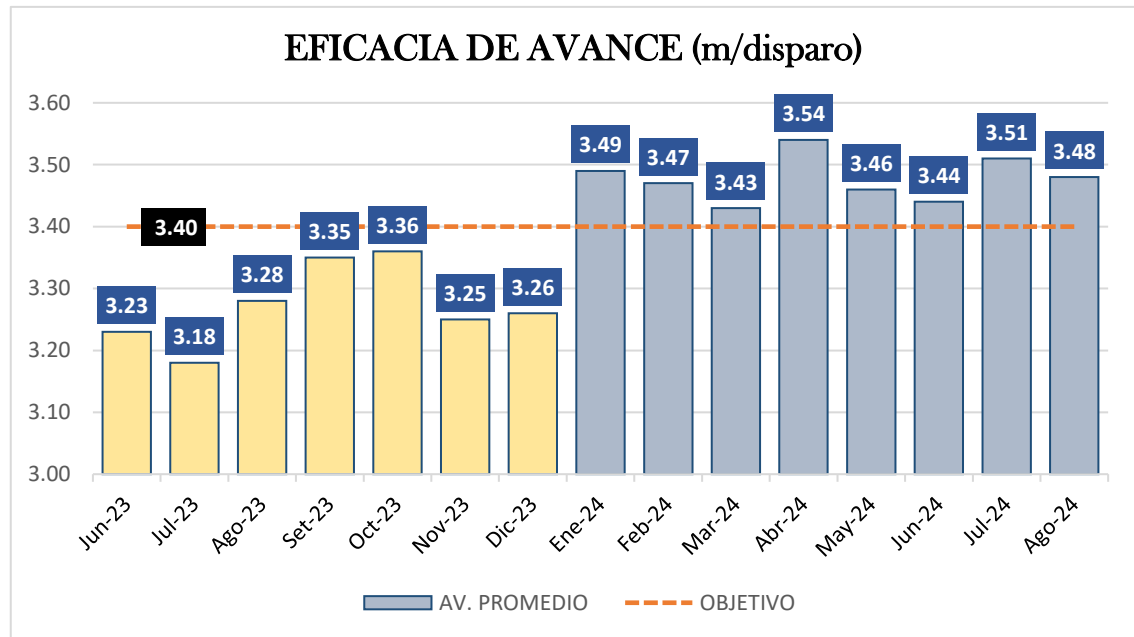
Comparativo de factor de carga lineal promedio del año 2023 y 2024



En la figura se evidencia que el factor de carga lineal durante el periodo de junio a diciembre del 2023 fue mayor a 47.22 Kg/m, mientras que de enero a agosto del 2024 con la implementación de la nueva malla de perforación se obtuvo resultados menores al objetivo como se evidencia el cambio fue significativo, con el cual se optimiza la cantidad de explosivos utilizados por frente de disparo, al final con los resultados positivos evitaremos la penalización para la empresa contratista IESA. S.A.

Figura 34

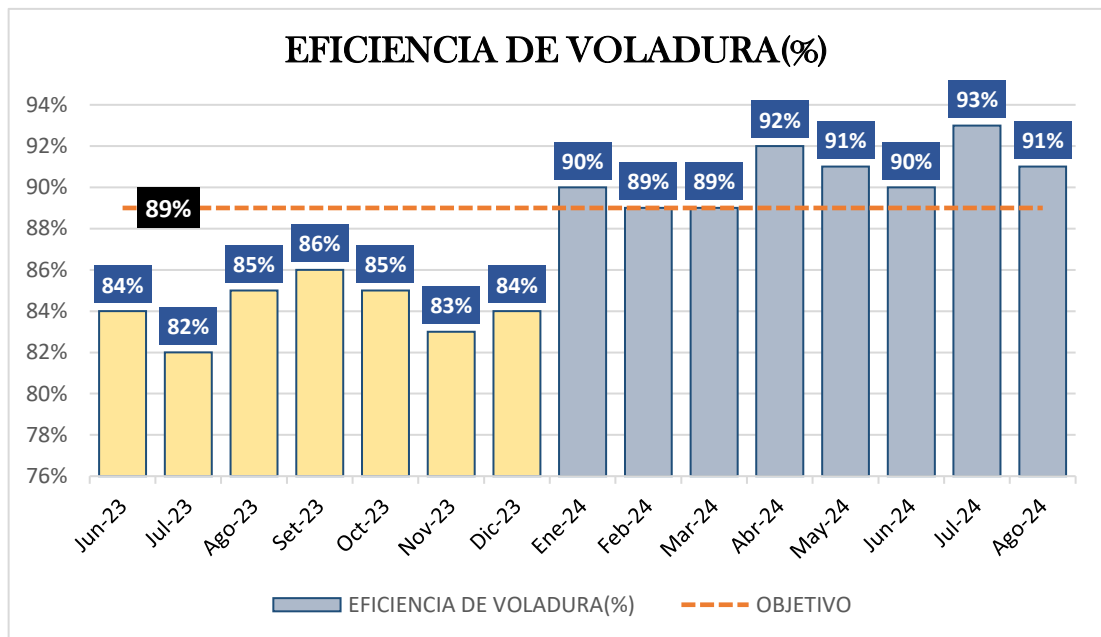
Comparativo de la eficacia de avance promedio del año 2023 y 2024



En la figura se evidencia que la eficacia del avance durante el periodo de junio a diciembre del 2023 no llega al objetivo en los meses analizados, mientras que durante el periodo de enero a agosto del 2024 con la implementación de la nueva malla se obtuvo resultados mayores o iguales a 3.4 m/disparo, como se observa la mejora fue resaltante, con el cual se optimiza los avances por disparo que va llevar el cumplimiento del metraje programado mensual de la RP 159N además será de beneficio para la empresa contratista para valorizar mayor metraje y será alentador para la compañía para continuar la explotación de sus reservas en el cuerpo mineralizado CN3.

Figura 35

Comparativo de eficiencia promedio del año 2023 y 2024

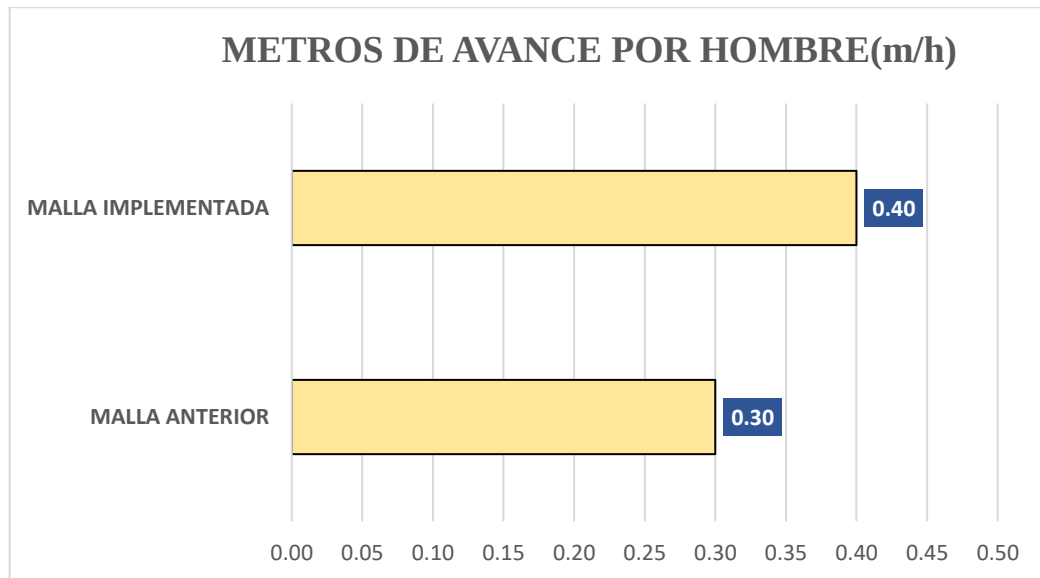


En la figura se evidencia que la eficiencia de voladura durante el periodo de junio a diciembre del 2023 no llega al objetivo en los meses analizados, mientras que durante el periodo de enero a agosto del 2024 con la implementación de la nueva malla de perforación se obtienen eficiencias mayores o iguales a 89%, como se observa la mejora fue significativa, con el cual se optimiza la eficiencia de voladura, haciendo que se evite la perforación menor de 13 pies que genera pérdidas de los recursos al resultar un avance corto, habiendo realizado la perforación con 13 pies con los mismos recursos y obtener buen avance.

4.8. RESULTADOS DE PRODUCTIVIDAD

Figura 36

Metros de avance por hombre entre la malla anterior y malla implementada



La Figura 35 ilustra el avance por hombre, destacando que, con el mismo número de trabajadores (9) en un frente, es posible lograr un mayor avance. Con la malla implementada, se alcanza un rendimiento de 0.4 m/hombre, superando el de la malla anterior, que solo permitía un avance de 0.30 m/hombre.

4.9. RESULTADOS COMPARATIVOS DE LA MEJORA CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LA NUEVA MALLA DE PERFORACIÓN.

Como se observa en la tabla 21, la malla actual está diseñado para tipo de roca IIIB, con una sección de perforación de 4.5m x 4.5m. La eficiencia de voladura es de 89%, lo cual es superior al 85% de la malla anterior, en la malla actual se perfora 49 taladros, comparado con los 52 de la malla anterior resultando una diferencia de 3 taladros. Esto indica una optimización en la disminución del número de taladros por ende menor consumo de explosivos, logrando el mismo objetivo con menos perforaciones.

El avance por disparo promedio en la malla actual es de (3.40 m) en comparación con la malla anterior que era de 3.20 m, lo que indica una mejora en la efectividad del disparo. Así mismo, el factor de carga es menor en la malla actual 47.71 Kg/m en comparación con 52.92 Kg/m de la anterior, con ello se optimiza el consumo de explosivos (5.21 Kg).

Tabla 21

Cuadro comparativo de resultados malla anterior y malla actual

Descripción	Malla actual	Malla anterior
	Tipo de roca IIIB	Tipo de roca IIIA
Sección	4.5m x 4.5m	4.5m x 4.5m
Longitud de barra de perforación (pies)	13	13
Numero de taladros de producción(45mm)	45	48
Numero de taladros rimados de 102 mm	4	4
Eficiencia de Voladura (%)	89%	85%
Tipos de cartuchos	Senatel Pulsar y Senatel Magnafrac	Senatel Pulsar y Senatel Magnafrac
Avance por disparo (m)	3.40	3.20
Kilos de explosivo (Kg)	164.58	182.57
Factor de carga (Kg/m)	47.71	52.92

4.10. EVALUACIÓN ECONÓMICA DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MALLA DE PERFORACIÓN

Se ha realizado una evaluación técnica-económica del proyecto de mejora con un comparativo de la valorización mensual en la RP 159N antes y después de la implementación de la malla de perforación.

Tabla 22

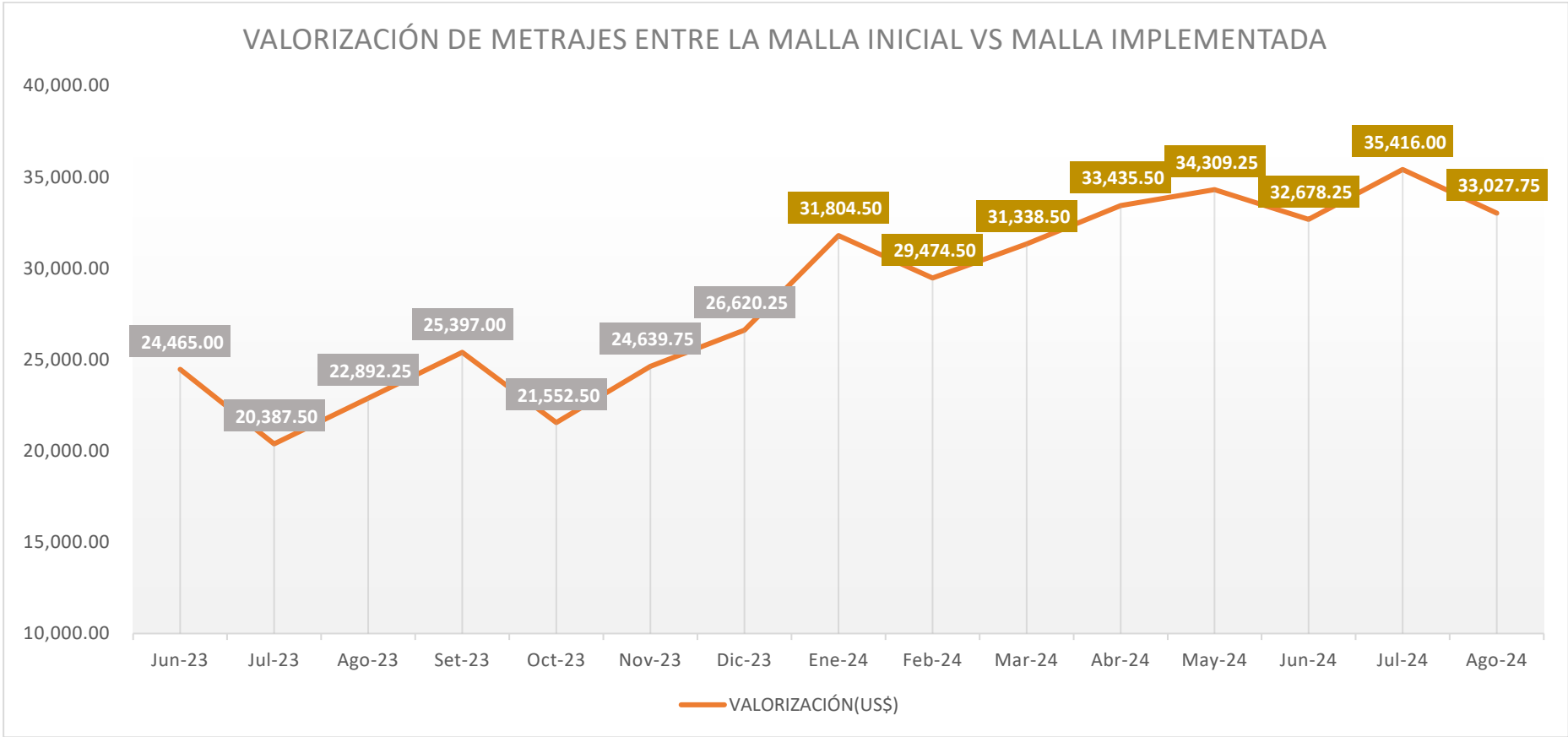
Cuadro comparativo de valorización del año 2023 y 2024

MES	AVANCE MENSUAL(m)	P.U(US\$/m)	VALORIZACIÓN(US\$)
Jun-23	42.00	582.50	24,465.00
Jul-23	35.00	582.50	20,387.50
Ago-23	39.30	582.50	22,892.25
Set-23	43.60	582.50	25,397.00
Oct-23	37.00	582.50	21,552.50
Nov-23	42.30	582.50	24,639.75
Dic-23	45.70	582.50	26,620.25
Ene-24	54.60	582.50	31,804.50
Feb-24	50.60	582.50	29,474.50
Mar-24	53.80	582.50	31,338.50
Abr-24	57.40	582.50	33,435.50
May-24	58.90	582.50	34,309.25
Jun-24	56.10	582.50	32,678.25
Jul-24	60.80	582.50	35,416.00
Ago-24	56.70	582.50	33,027.75

En la tabla se evidencia la valorización mensual de la RP 159N, resultando un promedio mensual de \$ 23,707.75 en el año 2023 y un promedio mensual de \$32,685.53 en el año 2024 con una diferencia de \$8977.78 /mes, resultando una mejora económica en las valorizaciones mensuales de enero a agosto del 2024.

Figura 37

Valorización de metrajes entre la malla Inicial VS Malla Implementada



4.11. PRUEBA DE HIPÓTESIS

Habiendo realizado la prueba de normalidad teniendo como dato la tabla 22, se opta por la prueba normalidad de Shapiro Wilk y se obtiene lo siguiente.

Hipótesis General

Tabla 23

Prueba de Normalidad

Shapiro-Wilk		
Estadístico	gl	Sig.
0,921	15	0,203

1) **Decisión:** se acepta la hipótesis nula, ya que el nivel de significancia asintótica bilateral obtenido es 0.203, superior al nivel de significancia establecido ($\alpha=0.05$).

Para la presente investigación se toma 14 registros promedio del pre test y pos test del avance mensual ejecutado en la RP 159N - Unidad Minera El Porvenir, se muestra la prueba de normalidad en base a Shapiro-Wilk, que se calcula con el SPSS Statistics 25.

a) Estableciendo las hipótesis estadísticas

- H_0 : El diseño de malla de perforación de la RP 159N no influye en la optimización de indicadores de voladura en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024.
- H_1 : El diseño de malla de perforación de la RP 159N influye en la optimización de indicadores de voladura en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024.

Tabla 24

Prueba t para comparar una muestra a un valor

	t	gl	Sig. (bilateral)
Pre test -	13.261	6	0.001
Pos test			

Si $p > 0.05$ se acepta H_0 , y se rechaza H_1

Si $p \leq 0.05$ se rechaza H_0 , y se acepta H_1

Para un 95% de nivel de confianza se rechaza el H_0 siendo el $p(\text{sig.}): 0.001 \leq 0.05$, es decir se confirma que: El diseño de malla de perforación de la RP 159N influye en la optimización de indicadores de voladura en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024.

4.12. Discusión de resultados

- La presente investigación cumple con el propósito de demostrar que el diseño de malla de perforación de la RP 159N influye significativamente en la optimización de los indicadores de voladura en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024, de acuerdo a los cálculos realizados se optimiza los indicadores de perforación y voladura utilizando el modelo matemático de Roger Holmberg, donde se redujo el promedio de factor de carga lineal de 50 Kg/m de junio a diciembre del 2023 a 46.75 kg/m de enero a agosto del 2024, aumenta la eficacia de avance de 3.27 m a 3.48 m y aumenta la eficiencia de voladura de 84% a 91%, por lo que es posible optimizar avances y carga explosiva en la cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir.

- Con el primer objetivo específico se ha determinado lo siguiente: la clasificación del macizo rocoso repercute en el control de factor de carga lineal, reduciendo el consumo de explosivos de 50 Kg/m de junio a diciembre del 2023 a 46.75 Kg/m de enero a agosto del 2024. Similar resultado llega Alvarez (2022), En las rampas el factor de carga lineal se redujo de 27.94 Kg/ a 26.51 Kg/m, por otra parte Unocc (2021), muestra que se reduce el factor de carga con el nuevo diseño de malla de perforación para roca de tipo IIIA, IIIB y IVA disminuyendo en 36% el consumo de explosivos, también Cáceres (2020), precisa que la malla anterior era de 39 taladros y en la nueva malla requiere de 34 taladros con el cual se obtiene una disminución en el consumo de explosivos de 21.1 Kg/disparo a 16.24 Kg/disparo.
- En el segundo objetivo específico se determina que el burden y espaciamiento influye significativamente en la eficacia del avance aumentando el avance promedio de 3.27 m/disparo de junio a diciembre del 2023 a 3.48 m/disparo de enero a agosto del 2024. Similar resultado llega Espinoza (2022), La implementación del nuevo diseño de malla de perforación permitió aumentar la eficiencia del proceso, logrando un incremento en la media de avance de 3.12 m/disparo a 3.44 m/disparo, lo que representa una mejora del 10.25%. De manera similar, el estudio de Choque (2019) reportó que con el diseño optimizado de malla de perforación y voladura en la rampa, se alcanzó una mejora en la eficacia de avance de 2.55 m/disparo a 3.0 m/disparo.
- Con el tercer objetivo específico se ha determinado que la longitud de perforación incide significativamente en la eficiencia de voladura aumentando la eficiencia promedio de 84% de junio a diciembre del 2023 a 91% de enero a agosto del 2024, Similar resultado llega Unocc (2021), quien menciona que la eficiencia del disparo

era de 86% de 3.2 m antes de la aplicación del diseño de la malla de perforación y luego de la aplicación de la misma se alcanzó de 91% a 93% de 3.3 m de longitud de taladro, así mismo Rojas (2023), precisa que con la malla anterior se obtenía 1.4 m con 6 pies de perforación y con el nuevo diseño se obtiene 2.1 m con 8 pies de perforación por lo tanto se obtiene una eficiencia de voladura mayor.

Tabla 25

Cuadro comparativo de la malla anterior y malla implementada

	MES	FACTOR DE CARGA LINEAL(Kg/m)	EFICACIA DE AVANCE(m)	EFICIENCIA DE VOLADURA (%)
MALLA ANTERIOR	Jun-23	49.79	3.23	84%
	Jul-23	50.69	3.18	82%
	Ago-23	50.57	3.28	85%
	Set-23	48.69	3.35	86%
	Oct-23	48.50	3.36	85%
	Nov-23	52.19	3.25	83%
	Dic-23	49.64	3.26	84%
MALLA IMPLEMENTADA	Ene-24	46.77	3.49	90%
	Feb-24	46.94	3.47	89%
	Mar-24	46.00	3.43	89%
	Abr-24	46.42	3.54	92%
	May-24	47.06	3.46	91%
	Jun-24	47.42	3.44	90%
	Jul-24	46.48	3.51	93%
	Ago-24	46.91	3.48	91%

CONCLUSIONES

- Como resultado de la presente investigación podemos concluir que con la implementación del nuevo diseño de malla de perforación y voladura se logró optimizar los indicadores de voladura en la RP 159N y por ende se cumple el metraje programado del mes para poder dar continuidad a la explotación del cuerpo mineralizado CN3 por parte de la compañía.
- Para el nuevo diseño de malla de perforación y voladura se mejoró el factor de carga lineal de 52.92 Kg/m a 47.71 Kg/m reduciendo 5.21 Kg/m de explosivo, generando así un menor consumo de explosivos.
- El burden y el espaciamiento influye significativamente en el nuevo diseño de malla de perforación ya que se mejoró la eficacia del avance con un burden de 0.24 m y 49 taladros perforados, logrando avances mayores a 3.40 m/disparo.
- La longitud de perforación incide significativamente en la Eficiencia de voladura, obteniendo eficiencias mayores a 89% que se cumple con la perforación completa de 13 pies.
- Con el nuevo diseño de malla de perforación se redujo el número de taladros perforados de 52 a 49 taladros con una diferencia de 3 taladros con ello menor consumo de explosivos.
- Con el nuevo diseño de malla de perforación la valorización promedio aumentó de \$ 23,707.75 a \$ 32,685.53 con una diferencia de \$8977.78 / mes lo cual será de beneficio económico para la empresa contratista IESA S.A.

RECOMENDACIONES

- Se debe continuar con el procedimiento de control, seguimiento y capacitación por parte de la supervisión de perforación y voladura, para que esta mejora sea sostenible en el tiempo.
- Se sugiere realizar el mapeo geomecánico en los avances ejecutados, para luego realizar la clasificación del macizo rocoso y de acuerdo a ello realizar el diseño de malla para cada tipo de roca, optimizando la cantidad de explosivo utilizado.
- Se recomienda calcular un burden adecuado, esto asegurará que la energía de la explosión se transfiera de manera eficiente a la roca, facilitando su fragmentación. Si el burden es demasiado grande, puede resultar en una fragmentación ineficiente, lo que a su vez puede llevar a un avance deficiente por otro lado, si el burden es menor permite una mejor distribución de la energía explosiva, lo que contribuye a una fragmentación más uniforme y controlada, mejorando así el avance por disparo.
- Verificar y garantizar la longitud de perforación de 13 pies para optimizar el avance por disparo.
- Monitorear y ajustar la longitud de perforación en función de las características del macizo rocoso para maximizar la eficiencia de las voladuras.
- Realizar un seguimiento continuo de los indicadores de voladura para identificar oportunidades de mejora y ajustar las prácticas operativas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anglo peruana Terra. (2016). Informe final de Exploraciones geológicas UM Pasco (Atacocha-El Porvenir).
- ARAYA. (2018). *Evaluación del Método de Holmberg para diseñar túneles mineros*.
- ARIAS, F. (2016). *El proyecto de Investigación* .
- Bastidas , I. (2020). *Mejoramiento del ciclo de minado para incrementar productividad en la Unidad Operativa Untuca - Empresa Cori Puno S.A.C. - 2020*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.
Obtenido de <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6400>
- Beltran, S. (2022). *Diseño de malla de perforación y voladura para optimizar la productividad en una mina subterránea en Pataz la Libertad 2020*. Tesis para optar al título profesional de Ingeniero de minas, Universidad Privada del Norte, Trujillo.
- Bieniawski, Z. (1989). *Engineering Rock Mass Clasification*. Wiley. Interscience Publication.
- CARRASCO, S. (2006). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA*.
- Chinchay, J. (2018). *Diseño de malla de perforación basado en los modelos geomecánicos para optimizar la voladura en minería subterránea*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de minas, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
doi:<http://www.repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4073>
- Choque Velarde, E. (2017). *Diseño de perforación y voladura por el método roger holmberg para reducir las incidencias de voladuras deficientes en Cía Minera Ares S.A.C. – U.O. Arcata*.
- EXSA. (2019). *Manual parctico de perforación y voladura*.

- Hoek , E., Kaiser , P., & Bawden , W. (1995). *Support of Underground Excavations in Hard Rock*. A.A. Balkema.
- LLACTAHUAMAN, L. (2022). *Diseño de la malla de perforación y voladura y su influencia en la reducción de costos en nivel 1250 UM Andaychagua - contrata minera IESA S.A.*
- Lopez, J. (2005). *Manual de P & V*.
- MEDINA LOPEZ, K. (2023). *Diseño de malla de perforación para mejorar el avance en la Rampa Brenda, en la unidad minera Santa Bárbara.*
- Morales , S., & Anyel , A. (2023). *Diseño de malla de perforación para mejorar la fragmentación de la roca del nivel 2995 – galería NE01- Unidad de producción Santa María*. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniería de Minas, Universidad César Vallejo, Chiclayo, Perú. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/122971/Morales_SAA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ORICA. (2024). https://www.oricaminingservices.com/es/es/product/products_and_services/packaged_explosives/page_packaged_explosives/senatel_pulsar/221.
- Osorio Yupanqui, M. (2021). *Diseño de malla de perforación y voladura en la construcción del Bypass 4250 de la Empresa Administradora Chungar S.A.C.*
- QUISPE, J. (2018). *Evaluación de riesgos disergonómicos durante trabajos de perforación en Minería Subterránea*. Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/4592/1/T026_72179938_T.pdf

Rojas, E. (2023). *Evaluación del diagrama de perforación con JK Simblast para mejorar el metraje de avance programado en la Empresa VRD Minería y Construcción S.A.C* 2023. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero, Universidad Nacional de san Cristóbal de Huamanga, Ayacucho. Obtenido de <https://www.google.com/search?q=%E2%80%9CEvaluaci%C3%B3n+del+diagrama+de+perforaci%C3%B3n+con+JK+Simblast+para+mejorar+el+metraje+de+avance+programado+en+la+Empresa+VRD+Miner%C3%ADa+y+Construcci%C3%B3n+S.A.C+2023%E2%80%9D&oq=%E2%80%9CEvaluaci%C3%B3n+del+d>

Sampieri Hernandez, & Mendoza, R. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (Vol. 6ta Ed.). Mexico: Mc Graw Hill Education. Obtenido de https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/wp-content/uploads/2019/02/RUDICSv9n18p92_95.pdf

SANCHEZ VILLAREAL, Y. (2019). *OPTIMIZACIÓN EN LOS PROCESOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN EL AVANCE DE LA RAMPA EN LA MINA BETHZABETH.*

Unocc, A. (2021). *Diseño de malla de perforación para mejoramiento de indicadores de voladura en zona III – Mina Yauricocha – Sociedad Minera Corona S.A.* Tesis para optar el título profesional de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Centro, Huancayo.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Anfo:** Es una mezcla explosiva, adecuadamente balanceada en oxígeno. Está compuesta con 94.5% de nitrato de amonio y 5.5% de combustible líquido (petróleo residual).
- **Capacitación:** Actividad que consiste en transmitir conocimientos teóricos y prácticos para el desarrollo de aptitudes, conocimientos, habilidades y destrezas acerca del proceso de trabajo, la prevención de los riesgos y la seguridad y salud ocupacional de los trabajadores.
- **Cebo:** Es un tipo de iniciador, compuesto por un explosivo con un fulminante conectado a un tipo de mecha.
- **Cordón detonante:** Es un Cordón flexible que contiene un alma solida de alto poder explosivo y resistencia a la tensión
- **Empresa contratista:** Organización especializada que presta sus servicios al titular minero para cuyos fines fue contratado.
- **Explosivos:** Son compuestos químicos susceptibles de descomposición muy rápida que generan instantáneamente gran volumen de gases a altas temperaturas y presión ocasionando efectos destructivos.
- **Frente:** Es la pared normal a las cajas, piso y techo de cualquier labor donde se realizan las actividades de perforación y voladura para continuar su desarrollo y avance.

- **Fulminante común:** Es una capsula cilíndrica de aluminio cerrada en un extremo, en cuyo interior lleva una determinada cantidad de explosivo primario muy sensible a la mecha de seguridad y es de alto poder explosivo.
- **KPI:** Son los indicadores clave de desempeño y una excelente manera de medir el rendimiento a lo largo de un periodo de tiempo, un buen KPI debe dar seguimiento a un valor medible. El propósito de los KPI es brindar una imagen clara de lo que los equipos de trabajo quieren lograr, para cuándo y cómo medirá ese logro.
- **Proceso de voladura:** Es un conjunto de tareas que comprende: el traslado de explosivo y accesorios de los polvorines al lugar del disparo, las disposiciones preventivas antes del carguío, el carguío de explosivos, la conexión de los taladros cargados, la autorización y el encendido del disparo.
- **Roger Holmberg:** Es un modelo matemático para el diseño de malla de perforación, divide la sección de un frente en 5 secciones y proporciona formulas y algoritmos para calcular la carga, el espaciamiento y otros parámetros clave en cada sección incluidos los cálculos para el corte inicial.
- **Rampa Espiral:** Labor que se ejecuta con pendiente de +12% hasta -12% cuyo fin es de acceso a las zonas de mineralización y dar continuidad al desarrollo de la mina.
- **Supervisor:** Es el ingeniero o técnico que tiene a su cargo un lugar de trabajo o autoridad sobre uno o más trabajadores en la unidad minera.

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable	Indicadores	Metodología
¿Cómo influye el diseño de malla de perforación en la RP 159N para optimizar indicadores de voladura en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024?	Evaluar el diseño de malla de perforación de la RP 159N para optimizar indicadores de voladura en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024	El diseño de malla de perforación de la RP 159N influye significativamente para optimizar indicadores de voladura en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024.	Variable Independiente El diseño de malla de perforación de la RP 159N	- Burden y espaciamiento - Clasificación del del macizo rocoso - Longitud de perforación	Enfoque de investigación: Cuantitativo Nivel de investigación: Descriptivo Tipo de Investigación: Aplicativa Diseño de investigación: Cuasi Experimental Método de investigación: Método científico Área de estudio: U.M el Porvenir, empresa minera Nexa Resources, en el departamento de Pasco. Población: Labores de desarrollo del cuerpo mineralizado CN3 de la Unidad minera el Porvenir. Muestra: Esta conformada por la RP 159N Técnica: datos de campo, observaciones y mediciones, revisiones bibliográficas. Instrumento: Ficha de mapeo geomecanico, formato de avance por guardia, planos topográficos, base de datos del área de Voladura, reporte diario de avances por guardia, reportes semanal y mensual de operación, libreta de campo.
Específicos	Específicos	Específicos			
¿Cómo la clasificación del macizo rocoso repercute en el control del factor de carga lineal de la RP 159N en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024?	Analizar cómo la Clasificación del macizo rocoso repercute en el control de factor de carga lineal de la RP 159N en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024	La Clasificación del macizo rocoso repercute en el control de factor de carga lineal de la RP 159N en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024.			
¿En qué medida el Burden y espaciamiento influye en la eficacia del avance de la RP 159N en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024?	Valorar en qué medida el Burden y Espaciamiento influye en la eficacia del avance de la RP 159N en el cuerpo mineralizado CN3–Unidad Minera El Porvenir, 2024	El Burden y Espaciamiento influye Significativamente en la eficacia del avance de la RP 159N en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024.	Variable Dependiente optimizar indicadores de voladura	- Eficacia del avance - Factor de carga lineal - Eficiencia de voladura	
¿De qué manera la longitud de perforación incide en la eficiencia de voladura de la RP 159N en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024?	Conocer de qué manera la longitud de perforación incide en la Eficiencia de voladura de la RP 159N en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024	La longitud de perforación incide significativamente en la Eficiencia de voladura de la RP 159N en el cuerpo mineralizado CN3–Unidad Minera El Porvenir, 2024.			

Anexo 2

Valoración y clasificación geomecánica de RMR 89 de Bieniawski

PARAMETRO			ESTIMACION Y ESCALA DE VALORES						
1	Resistencia de la roca sana	Carga puntual MPa⇔	> 10	4 – 10	2 – 4	1 – 2	Únicamente Compresión Simple		
		Kg/cm² (aprox)⇔	100	40 - 100	20 - 40	10 - 20			
		Compr. Simple MPa⇔	> 250	100 – 250	50 – 100	25 –50	5-25	1-5	< 1
		Kg/cm² (aprox)⇔	>2 500	1 000-2 500	500 – 1 000	250 - 500	50-250	10-50	<10
Valoración			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD %		90 – 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Separación de discontinuidades		> 2 m	0,6 – 2 m	0,2 – 0,6 m	0,06 – 0,2 m	< 0,06 m		
	Valoración		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades (ver guía especial)		Muy rugosas. Discontinuas. Sin separaciones. Borde sano y duro.	Ligeramente rugosas. Abertura <1 mm. Bordes duros.	Ligeramente rugosas Abertura<1 mm Bordes blandos	Espejo de falla o con relleno < 5 mm o abiertas 1 – 5 mm. Diaclasas continuas	Relleno blando > 5 mm o abertura > 5 mm Diaclasa Continua		
	Valoración		30	25	20	10	0		
5	Presencia de agua	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 L/min	10 – 25 L/min	25 – 125 L/min	>125 L/min		
		Relación entre la presión de agua y la mayor del terreno σ_w / σ_1	0	0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
		Valoración		15	10	7	4	0	
Corrección por orientación de las discontinuidades (ver guía especial)									
6	Dirección y Buzamiento		Muy favorable	Favorable	Medio o regular	Desfavorable	Muy desfavorable		
	Valoración para	Túneles	0	- 2	- 5	- 10	- 12		
		Cimentación	0	- 2	- 7	- 15	- 25		
		Taludes	0	- 5	- 25	- 50	- 60		

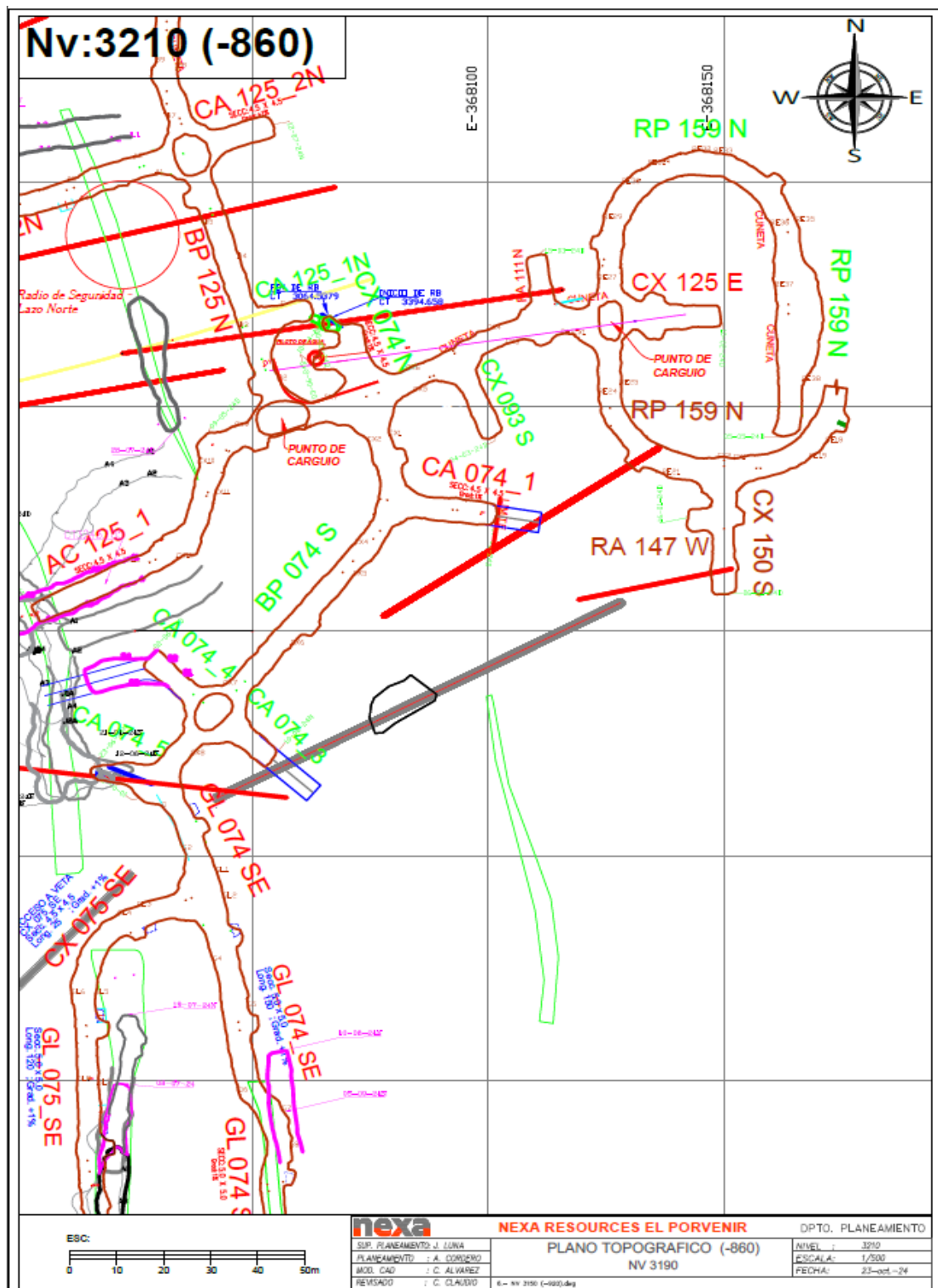
Anexo 3

Cartilla Geomecánica según la clasificación GSI

--	--

Anexo 4

Plano topográfico de la RP 159N

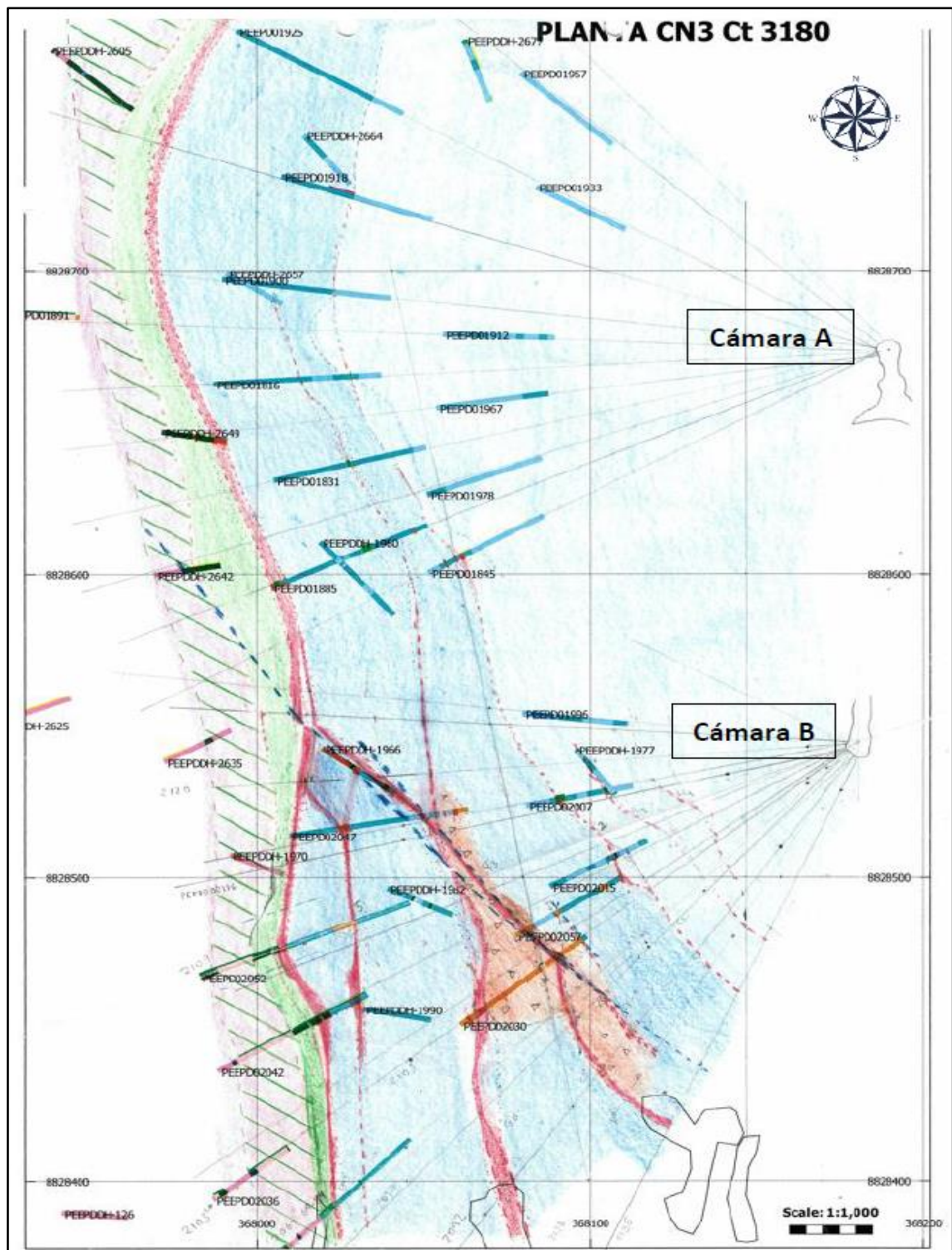


Plano Geomecánico de la RP 159N



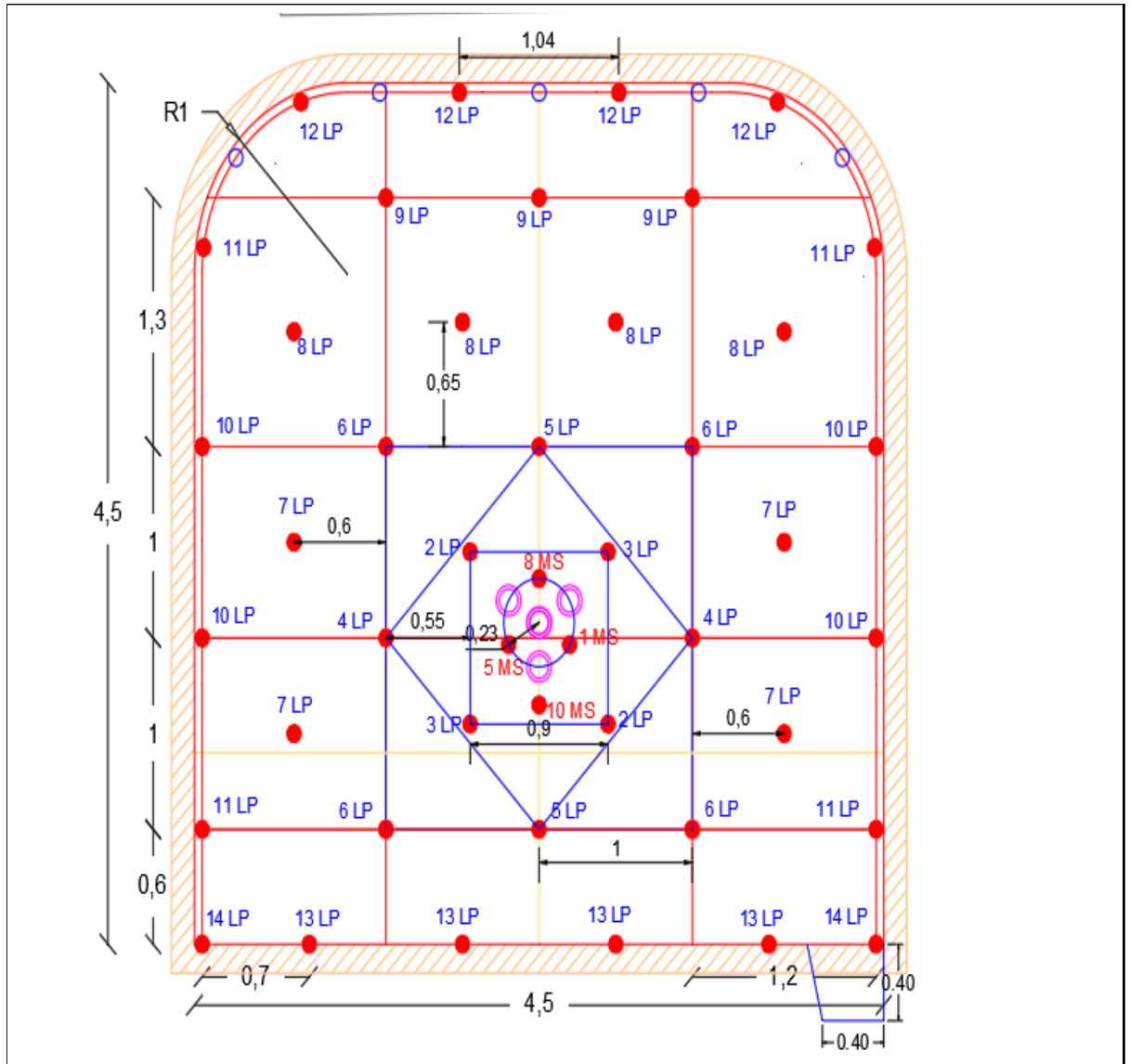
Anexo 6

Plano Geológico del cuerpo CN3



Anexo 7

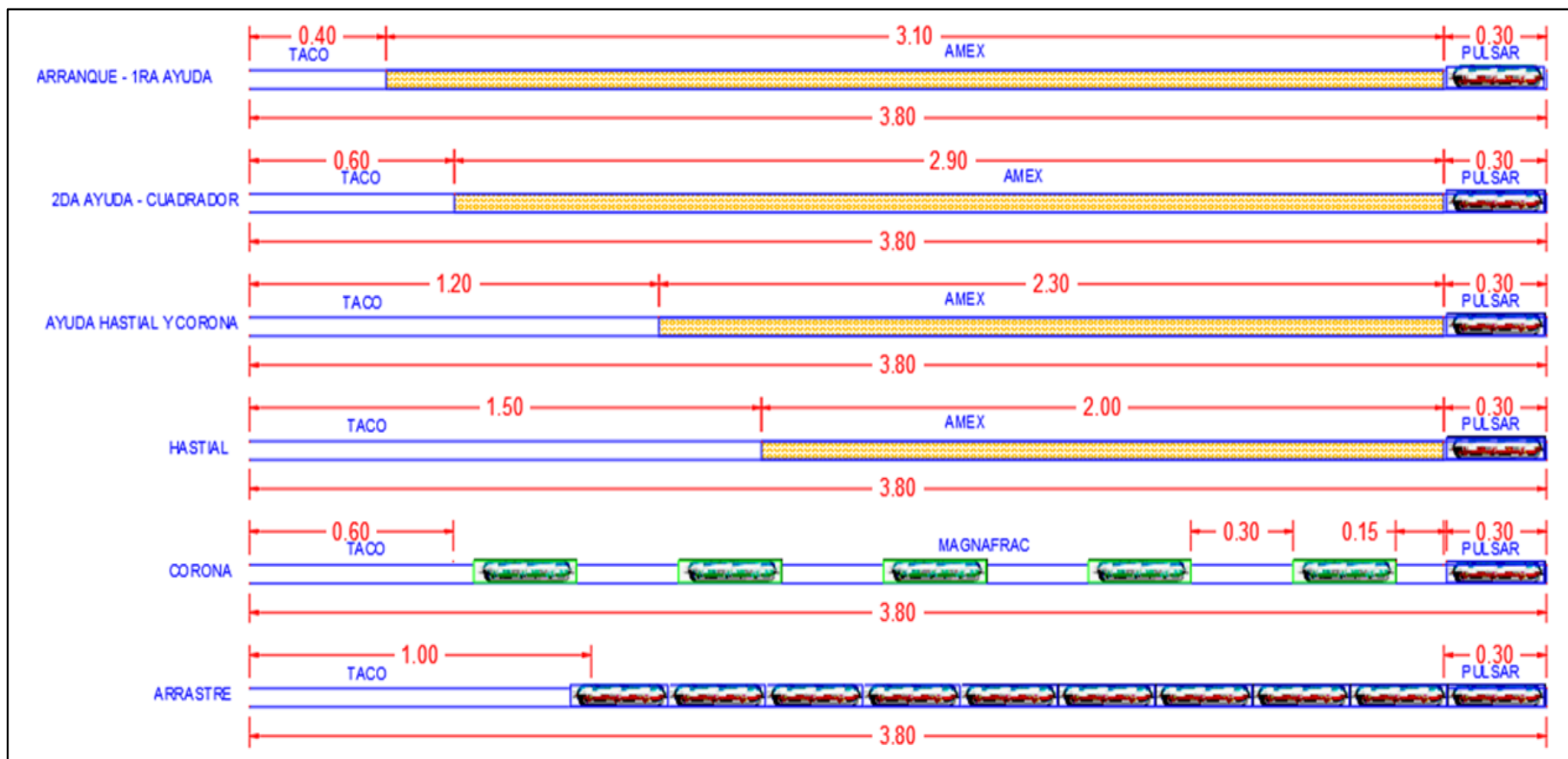
Diseño de malla de perforación



Distribución del número de taladros, cartuchos y ANFO

DESCRIPCION	N° Tal	CARTUCHOS POR TALADRO								ACCESORIOS
		Senatel Pulsar 1.1/4" x 12"		E 80 1.1/4"x 12"		Senatel Magnafrac 1.1/4" x 12"		ANFO		Retardo Exel®
		Cart/Tal	Total/Tal	Cart/Tal	Total/Tal	Cart/Tal	Total/Tal	Kg/Tal	Total	
Alivio (Corona y Astiales)										
Alivio (Rimados)	4									
Arranque	4	1	4		0		0	4.3	17.0	MS1, MS5, MS8, MS10
1era Ayuda	4	1	4		0		0	4.3	17.0	LP 2, LP 3
2da Ayuda	4	1	4		0		0	4.1	16.5	LP 4, LP 5
Cuadrador	4	1	4		0		0	4.1	16.5	LP 6
Ayuda de Astial	4	1	4		0		0	3.9	15.5	LP 7
Desbroce	4	1	4		0		0	3.8	15.0	LP 8
Ayuda de corona	3	1	3		0		0	3.6	10.9	LP 9
Astial I	4	1	4		0	5	10	3.2	13.0	LP 10
Astial II	2	1	2		0		0	3.2	6.5	LP 11
Corona	6	1	6		0	5	30	0	0	LP 11, LP 12
Arrastre	6	11	66		0		0	0	0	LP 13, LP 14
TALADROS PERFORADOS	49									
TALADROS CARGADOS	45	Total cart:	105	Total cart:	0	Total cart:	40	Total cart:	128.1	
KILOGRAMOS DE EXPLOSIVO	164.58	29.17		0.00	KG	10.42	KG	125.00	KG	

Diagrama de distribución de carga explosiva



Anexo 8

Perforación, Explosivos, Accesorios de voladura y Rendimientos

<u>PERFORACIÓN</u>		
EQUIPO:	JUMBO	
SECCIÓN:	4.5 x 4.5	
RADIO DE BISEL:	1	m
NRO DE TAL. PERF. 45mm:	45	
NRO DE TAL. RIMADO 4'':	4	
NRO DE TAL. CARGADOS:	41	
NRO DE TAL DE ALIVIO:	4	
LONGITUD DE BARRA DE PERFORACIÓN (14 Pies):	4.27	m
PERF. EFECTIVA TAL 45mm (90%):	3.84	m
EFICACIA DE VOLADURA:	3.40	
METROS PERF. TAL. 45mm:	188.16	
<u>EXPLOSIVOS</u>		
PULSAR 1 1/4'' X 12''	0.278	Kg/Cart
MAGNAFRAC 1 1/4'' X 12''	0.26	Kg/Cart
ANFO AMEX	25	Kg/Saco
<u>ACCESORIOS DE VOLADURA</u>		
EXEL:	45	Pza
CORDON DETONANTE:	65	m
MECHA LENTA:	7	Pies
MECHA RAPIDA:		
TACOS DE ARCILLA:	42	Und
TUBOS DE PVC (1 1/2 x 4.0m):	8	Und
<u>RENDIMIENTOS</u>		
AVANCE POR DISPARO:	3.40	m
KILOGRAMOS DE EXPLOSIVOS USADO:	164.58	Kg
FACTOR DE CARGA (Kg/m):	47.71	Kg/m
FACTOR DE CARGA (Kg/m3):	2.4	Kg/m3
FACTOR DE PORTENCIA (Kg/Ton):	0.72	Kg/Ton
FACTOR DE PERFORACIÓN (m Perf./m Avance) :	55.34	m Perf./ m Avance
PESO ESPECIFICO MINERAL (Ton/m3)	3.4	Ton/m3
PESO ESPECIFICO DESMONTE (Ton/m3)	2.8	Ton/m3

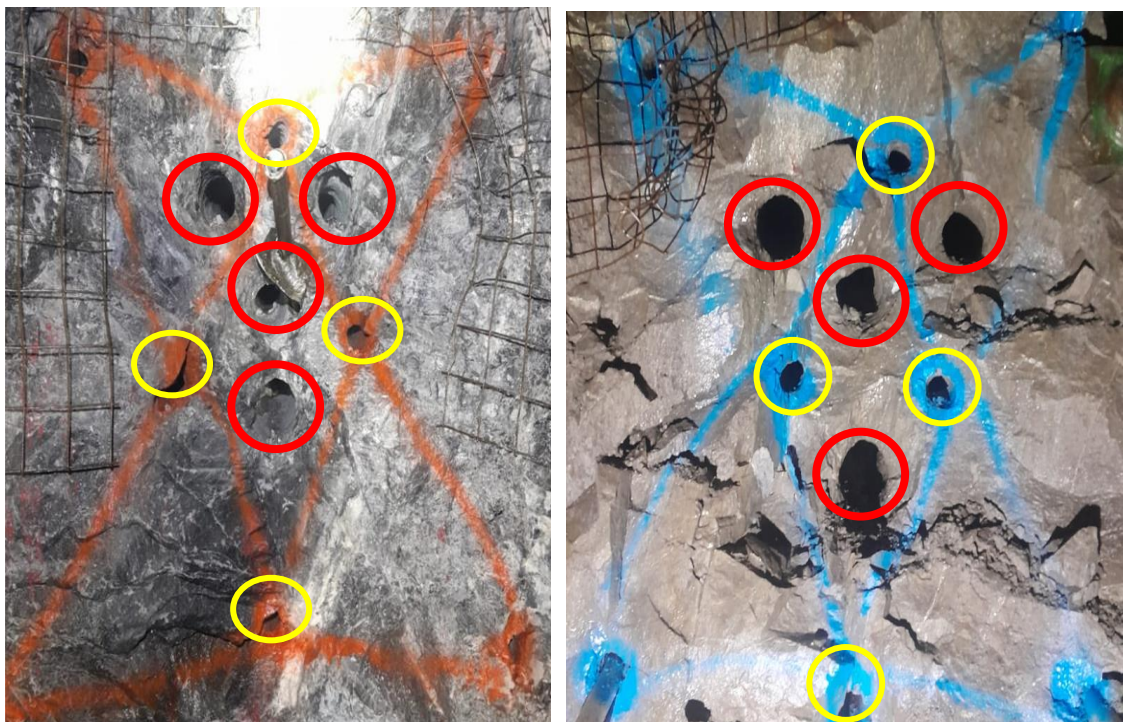
Anexo 9

Fotografías

Mejora en el pintado de malla de perforación



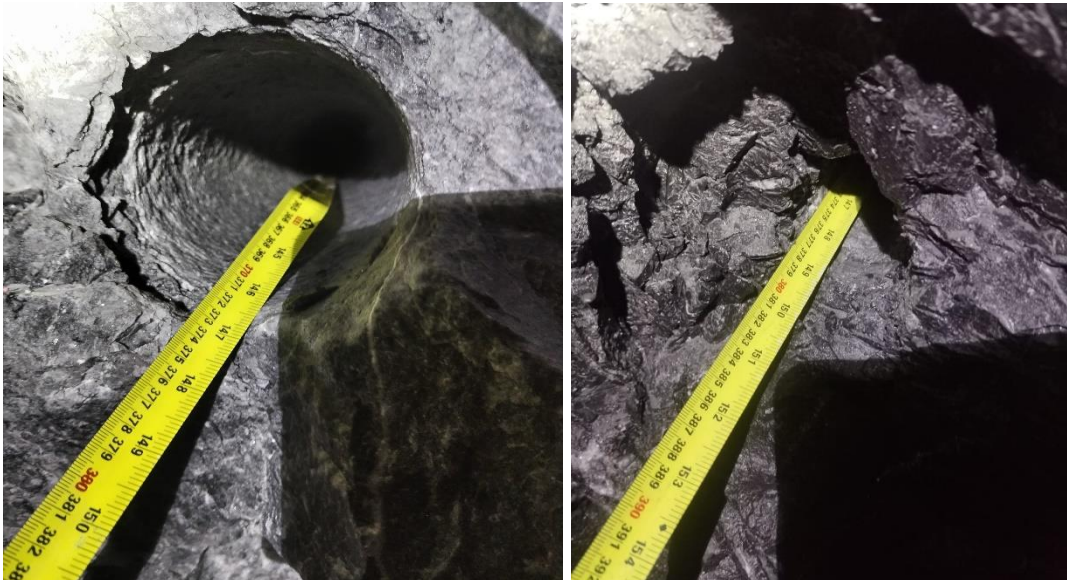
Mejora en el pintado de malla - arranque según tipo de roca



Mejora en el paralelismo de taladros con el uso de guidores



Cumplimiento de la perforación con 13 pies



Correcto encebado de cartuchos



Capacitación al personal en el nuevo diseño de malla de perforación según tipo de roca, diseño de arranque y criterios en el control del paralelismo.



Resultados después de la voladura



**UNSCH**FACULTAD DE
INGENIERÍA
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 094-2024-FIMGC****PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS**

En la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga de la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **RESOLUCIÓN DECANAL No 756-2024-FIMGC-D**, a los seis días del mes de diciembre de 2024, siendo las 10:00 a.m. reunidos en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, bajo la presidencia del MSc. Ing. José Ernesto ESTRADA CARDENAS y los miembros; MSc. Ing. Edmundo CAMPOS ARZAPALO, MSc. Ing. Miguel PRADO ARONES y MSc. Ing. Efraín César ALARCON MEDINA actuando como secretario docente el MSc. Ing. Kelvis BERROCAL ARGUMEDO, para proceder a la sustentación de tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, del bachiller en Ciencias de la Ingeniería de Minas:

Eliceo AYALA VASQUEZ

Quien presentó la tesis denominada:

Diseño de malla de perforación de la RP 159N para optimizar indicadores de voladura en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024

Los señores miembros del jurado luego de expuesto la tesis y absueltas las preguntas, delibera y lo declaran:

APROBADO NOTA DIECISEIS (16)

Siendo las 11:40 a.m. del día 06 de diciembre de 2024, culmina el acto de sustentación de tesis, y en conformidad a lo actuado los miembros del jurado firmamos al pie del presente.

MSc. Ing. José Ernesto ESTRADA CARDENAS
Presidente

MSc. Ing. Edmundo CAMPOS ARZAPALO
Miembro

MSc. Ing. Miguel PRADO ARONES
Miembro

MSc. Ing. Efraín César ALARCON MEDINA
Miembro-Asesor

MSc. Ing. Kelvis BERROCAL ARGUMEDO
Secretario docente

cc:
Archivo



UNSCH

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El que suscribe; en mi calidad de Instructor de Originalidad de Trabajos de Investigación y encargado de certificar la originalidad de la tesis abajo indicado y por lo tanto responsable verificador de originalidad de trabajo de tesis de pregrado en primera instancia, en cumplimiento a la Resolución de Consejo Universitario N°039-2021-UNSCH-CU, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación UNSCH, deja constancia que:

- Apellidos y Nombres del Bach. : AYALA VASQUEZ, Eliceo
- Escuela Profesional : Ingeniería de Minas
- Título de la Tesis : Diseño de malla de perforación de la RP 159N para optimizar indicadores de voladura en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024
- Evaluación de la originalidad : 21% de similitud

Por tanto, según los artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, **es procedente la constancia de originalidad** para los fines que crea conveniente.

Ayacucho, 23 de diciembre de 2024

MBA Ing° Leonil Fernando Quispe Aronés
Instructor de Originalidad de Trabajos de Investigación

Diseño de malla de perforación de la RP 159N para optimizar indicadores de voladura en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024

por Eliceo AYALA VASQUEZ

Fecha de entrega: 23-dic-2024 09:35a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2557739808

Nombre del archivo: TESIS_ELICEO_AYALA_VASQUEZ.pdf (4.82M)

Total de palabras: 25844

Total de caracteres: 133723

Diseño de malla de perforación de la RP 159N para optimizar indicadores de voladura en el cuerpo mineralizado CN3 - Unidad Minera El Porvenir, 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

21%	22%	3%	13%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	5%
	Trabajo del estudiante	
2	hdl.handle.net	3%
	Fuente de Internet	
3	repositorio.unsch.edu.pe	2%
	Fuente de Internet	
4	repositorio.unap.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	repositorio.undac.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
6	vsip.info	1%
	Fuente de Internet	
7	repositorio.unasam.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
8	repositorio.uncp.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	

9	cybertesis.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	1 %
10	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	api.mziq.com Fuente de Internet	<1 %
12	kupdf.net Fuente de Internet	<1 %
13	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
14	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
17	pdfcookie.com Fuente de Internet	<1 %
18	orica-tmp.s3.amazonaws.com Fuente de Internet	<1 %
19	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	edoc.pub Fuente de Internet	

<1 %

21

Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru

Trabajo del estudiante

<1 %

22

Submitted to uni

Trabajo del estudiante

<1 %

23

Martín Sánchez Forero, Sofía Santos Simancas, María Camila Rodríguez, Francisco Palencia-Sánchez. "Cost analysis associated with biological risk type occupational accidents reported in a High-Complexity Hospital during the period from January to August 2024", SocArXiv, 2024

Publicación

<1 %

24

Submitted to Consorcio CIXUG

Trabajo del estudiante

<1 %

25

repositorio.unsa.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

26

pdfcoffee.com

Fuente de Internet

<1 %

27

www.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

28

www.dspace.uce.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

29	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1 %
30	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
31	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
32	CONSULTORES TECNICOS INGENIEROS SRL.. "EIA de Estación de Servicio de la Empresa Petro San Juan Representantes y Ventas, Distrito Ate - Lima-IGA0004306", R.D. N° 093- 2005-MEM/AAE, 2021 Publicación	<1 %
33	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
34	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
35	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
36	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo