

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“OPTIMIZACIÓN DE PERFORACIÓN Y VOLADURA  
MEDIANTE EL DISEÑO DE MALLA DEL BYPASS 8826 DE  
LA UNIDAD MINERA LINCUNA EN HUARAZ, 2023”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título  
profesional de:

Ingeniero de Minas

**Autor:**

Jean Marco Ballena Paredes

Asesor:

Mg. Wilson Carlos Gomez Hurtado  
<https://orcid.org/0000-0002-3434-3664>

Trujillo - Perú

2023

## INFORME DE SIMILITUD

# OPTIMIZACIÓN DE PERFORACIÓN Y VOLADURA MEDIANTE EL DISEÑO DE MALLA DEL BYPASS 8826 DE LA UNIDAD MINERA LINCUNA EN HUARAZ, 2023

### INFORME DE ORIGINALIDAD



### FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	8%
2	<a href="http://repositorio.unamba.edu.pe">repositorio.unamba.edu.pe</a> Fuente de Internet	4%
3	<a href="http://bibliotecas.unsa.edu.pe">bibliotecas.unsa.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
4	<a href="http://livrosdeamor.com.br">livrosdeamor.com.br</a> Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

## DEDICATORIA

A Dios y mi familia,  
gracias por el apoyo incondicional.

## AGRADECIMIENTO

A mi asesor el Ing. Gomez Wilson, por su  
orientación a lo largo de este informe de suficiencia profesional.

**Tabla de contenidos**

<b>INFORME DE SIMILITUD .....</b>	<b>2</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>3</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>8</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO.....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
1.1. Experiencia profesional.....	10
1.2. Reseña histórica de la empresa .....	11
1.3. Organigrama.....	13
1.4. Servicios que brinda la empresa.....	14
1.5. Políticas de seguridad y salud ocupacional.....	15
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
2.1. Perforación.....	17
2.2. voladura.....	22
2.3. Parámetros controlables de perforación y voladura .....	24
<b>CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA .....</b>	<b>30</b>
3.1. Generalidades .....	30
3.2. Herramientas o modelos empleadas en el desarrollo profesional .....	38
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS .....</b>	<b>58</b>
4.1. Datos de diseño antes y después .....	58
4.2. Datos de eficiencias de perforación y voladura .....	59
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>62</b>
5.1. Conclusiones .....	62
5.2. Recomendaciones.....	63
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>64</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>66</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Constantes para determinar el número de taladros.....	25
Tabla 2. Tiempo de autoaporte y clasificación geomecánica RMR/ GSI del macizo rocoso .....	41
Tabla 3. Tabla geomecánica de RMR, GSI y el estándar de sostenimiento según el tipo de labor.....	42
Tabla 4. Perforación – Voladura del diseño inicial del BYPASS 8826.....	46
Tabla 5. Diseño de sección del BYPAS 8826.....	46
Tabla 6. Perforación – Voladura del diseño final del BYPASS 8826 .....	48
Tabla 7. Espaciamiento de taladros según dureza de la roca .....	48
Tabla 8. Coeficiente o factor de roca.....	49
Tabla 9. Esquema de carguio para bypass 8826 .....	58
Tabla 10. Datos de diseño antes de optimizar .....	58
Tabla 11. Datos de diseño de taladros posteriores a la optimización.....	59
Tabla 12. Datos de eficiencias de perforación y voladura .....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama de la empresa URQU S.A.C.....	13
Figura 2 Acciones básicas en la perforación rotopercusión .....	21
Figura 3 Métodos de perforación.....	22
Figura 4 Diseño anterior a la optimización .....	45
Figura 5 Diseño de áreas y perímetro para el nuevo diseño .....	49
Figura 6 Nuevo diseño optimizado .....	52
Figura 7 Comparativo de antes y después de datos de perforación .....	59
Figura 8 Comparativo de eficiencias de perforación y voladura .....	61
Figura 9 Marcado de dirección y gradiente de la labor con cordel .....	66
Figura 10 Distribución de taladros en el frente BP 8826 .....	67
Figura 11 Inspección de barretillas con cinta del mes.....	68
Figura 12 Campaña de desate del BP 8826.....	69
Figura 13 Formato de verificación del cumplimiento de la malla implementa .....	70
Figura 14 Constancia de capacitación en manipulación de explosivos y materiales relacionados por Famesa .....	71

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Número de taladros .....	24
Ecuación 2. Perímetro de la sección del frente de trabajo .....	25
Ecuación 3. Longitud máxima del taladro.....	26
Ecuación 4. Longitud del taladro .....	26
Ecuación 5. Diámetro de taladro vacío.....	26
Ecuación 6. Presión de detonación .....	26
Ecuación 7. Factor de carguío.....	27
Ecuación 8. Acoplamiento del explosivo .....	27
Ecuación 9. Longitud de carga explosiva .....	28
Ecuación 10. Diámetro del área de influencia .....	29
Ecuación 11. Longitud de arco de labor .....	50
Ecuación 12. Perímetro de la labor .....	50
Ecuación 13. Área de la sección circular del frente de trabajo .....	50
Ecuación 14. Factor de carga lineal .....	53
Ecuación 15. Volumen volado .....	54
Ecuación 16. Tonelaje volado .....	54
Ecuación 17. Carga explosiva por taladro .....	54
Ecuación 18. Número de cartuchos por taladro .....	55
Ecuación 19. Número de cartuchos por frente de trabajo .....	55
Ecuación 20. Número de cajas de explosivo por disparo .....	56
Ecuación 21. Factor de carga.....	57



## RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de suficiencia profesional tiene como objetivo evaluar la eficiencia y la efectividad de la perforación y voladura en el bypass 8826 de la Unidad Minera Lincuna. Para ello, se compararon los parámetros de diseño iniciales con los parámetros posteriores a la optimización de la malla de perforación.

Los resultados fueron gratos al comprobarse que la optimización ha tenido un impacto positivo en la perforación, mejorando la precisión y la eficiencia de este proceso. Esto podría traducirse en un mejor control de la sobrerotura y, en general, en una operación minera más eficiente y segura en la Unidad Minera Lincuna.

Las principales conclusiones del trabajo son las siguientes: Conclusión 1: La optimización en la Unidad Minera Lincuna ha mejorado la eficiencia de perforación y voladura, lo que puede aumentar la producción en BYPAS 8826 en 2023, Conclusión 2: La optimización de la malla de perforación y voladura ha reducido la sobre rotura, Conclusión 3: El seguimiento continuo de datos es esencial para evaluar y mantener las mejoras implementadas en la eficiencia de perforación y voladura.

**Palabras clave:** Eficiencia, Optimización, Perforación, Voladura.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Experiencia profesional

Mi nombre es Marco Ballena Paredes y me complace presentar este informe profesional que destaca mi experiencia y contribuciones en el campo de la ingeniería de minas. Graduado de la Universidad Privada del Norte, con más de tres años de experiencia en operaciones mineras, actualmente desempeño el cargo de Ingeniero Junior en el área de Operaciones Mina, donde mi función principal es apoyar en la gestión de voladura, la rotura del mineral in-situ y la fragmentación del mineral, contribuyendo al cumplimiento de los estándares de calidad y seguridad establecidos.

#### 1.1.1. Experiencia

A lo largo de mi carrera, he tenido la oportunidad de liderar proyectos de Perforación y Voladura, adquiriendo valiosa experiencia en la planificación y ejecución de operaciones mineras. Mi enfoque en la eficiencia operativa y la seguridad ha sido esencial para el éxito de los proyectos bajo mi supervisión.

#### 1.1.2. Logros Destacados:

Durante mi trayectoria profesional, he logrado los siguientes hitos significativos:

- **Mejora de Procesos:** Implementé estrategias que optimizaron los procedimientos de perforación y voladura, reduciendo costos y aumentando la productividad.
- **Gestión de Riesgos:** Desarrollé protocolos de seguridad y capacité al personal en prácticas seguras de trabajo, lo que resultó en una disminución significativa de incidentes en el lugar de trabajo.

- Colaboración Efectiva: Fomenté la comunicación y la colaboración interdepartamental para garantizar la coordinación eficiente entre las áreas de operaciones mineras y otras unidades funcionales.
- Cumplimiento de Estándares: Siempre me he esforzado por mantener y superar los estándares de calidad y seguridad, contribuyendo a la reputación de la empresa como un referente en la industria.

### **1.1.3. Responsabilidades Actuales:**

En mi puesto actual como Ingeniero Junior en el área de Operaciones Mina, reporto directamente al jefe de Guardia y tengo la responsabilidad de:

- Coordinar y supervisar las actividades de voladura y fragmentación del mineral, garantizando que se cumplan los protocolos de seguridad y los plazos establecidos.
- Participar activamente en la planificación de las operaciones de perforación y voladura, contribuyendo con mi experiencia para lograr una ejecución eficiente.
- Monitorear y evaluar el desempeño de los equipos y el personal a mi cargo, implementando mejoras continuas en la operación.
- Colaborar estrechamente con otros departamentos, como geomecánica, geología, topografía y planificación minera, para garantizar la sincronización de las actividades y el logro de los objetivos globales de la empresa.

## **1.2. Reseña histórica de la empresa**

Urqu S.A.C. se estableció el primero de diciembre de 2018 y desde entonces ha desempeñado un papel fundamental en el sector de la ingeniería y la construcción en la Provincia de Aija, Áncash. Con una plantilla de 532 empleados altamente

capacitados y dedicados, la empresa ha demostrado un compromiso sólido con la excelencia en la ejecución de proyectos y la satisfacción del cliente.

### 1.2.1. Misión

proporcionar servicios de ingeniería y construcción de alta calidad para una variedad de industrias, con un enfoque particular en la explotación de minas. Esta especialización nos ha permitido establecer sólidas alianzas con empresas líderes en el sector minero, siendo uno de nuestros clientes destacados la prestigiosa compañía minera Lincuna.

### 1.2.2. Logros Destacados:

**Excelencia Operativa:** Desde nuestros inicios, hemos mantenido un compromiso constante con la excelencia operativa. Esto se refleja en la calidad de nuestros servicios y en la ejecución eficiente de los proyectos que llevamos a cabo.

**Innovación y Tecnología:** Urqu S.A.C. ha estado a la vanguardia de la innovación en ingeniería y construcción, implementando tecnologías de última generación para optimizar procesos y garantizar la seguridad en el lugar de trabajo.

**Compromiso con la Comunidad:** Estamos profundamente comprometidos con el desarrollo sostenible y el bienestar de la comunidad local en la que operamos. Hemos llevado a cabo iniciativas sociales y ambientales para contribuir positivamente a nuestro entorno.

**Colaboración Estratégica:** Nuestra sólida relación con la compañía minera Lincuna es un testimonio de nuestro compromiso con la colaboración estratégica. Trabajamos mano a mano con nuestros clientes para cumplir sus objetivos y requisitos específicos.

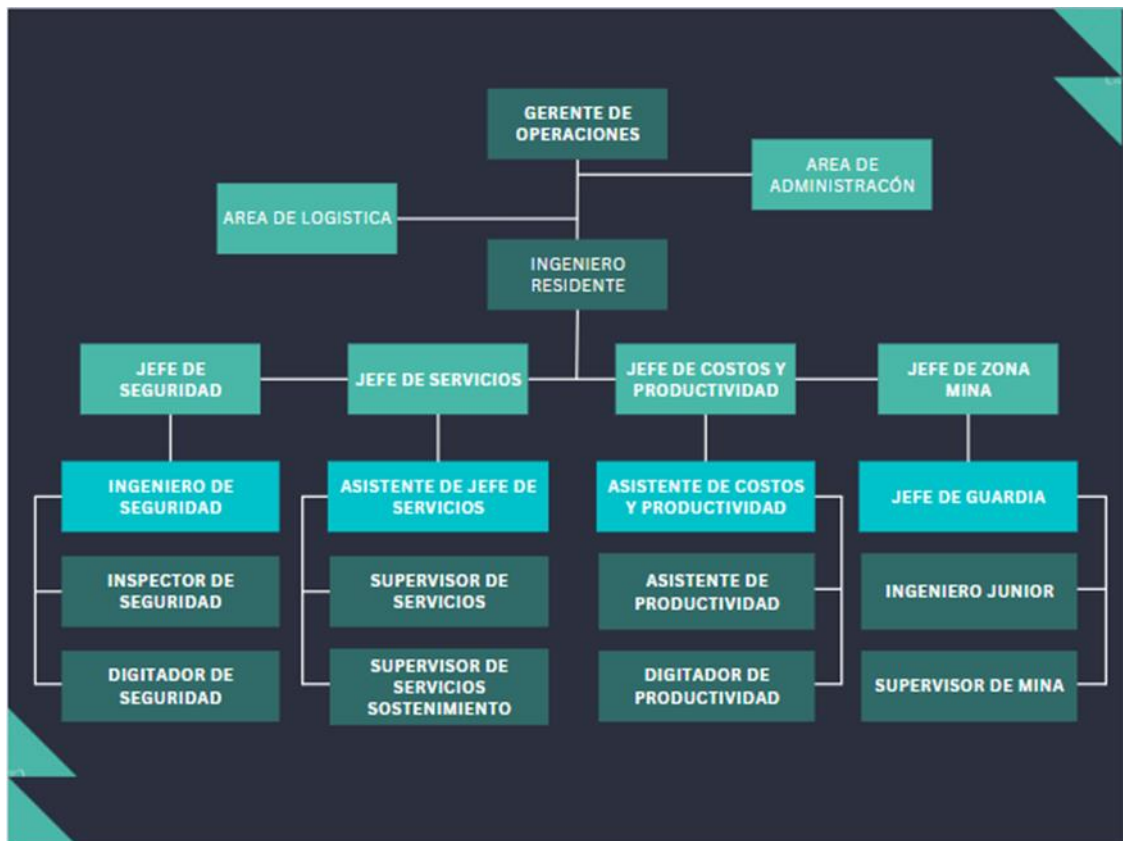
### 1.2.3. Visión y Futuro:

Mirando hacia el futuro, Urqu S.A.C. se esfuerza por seguir siendo líder en la industria de la ingeniería y la construcción. Planeamos expandir nuestras capacidades y diversificar nuestros servicios para atender las crecientes demandas del mercado. Nuestro compromiso con la seguridad, la calidad y la responsabilidad social seguirá siendo el pilar de nuestra operación.

### 1.3. Organigrama

**Figura 1**

*Organigrama de la empresa URQU S.A.C.*



#### **1.4. Servicios que brinda la empresa.**

Urqu S.A.C. ha consolidado su presencia en el área de Operaciones Mina, ofreciendo una amplia gama de servicios especializados que son esenciales para el éxito y la eficiencia de las operaciones mineras. A continuación, se describen en detalle las actividades clave que nuestra empresa realiza en este ámbito:

##### **1.4.1. Perforación y Voladura:**

**Perforación de Rocas:** Nuestros equipos de perforación están equipados con tecnología avanzada para perforar y crear barrenos en la roca de manera precisa y eficiente.

**Carga de Explosivos:** Llevamos a cabo la colocación y carga de explosivos de manera segura, siguiendo rigurosos protocolos de seguridad y cumpliendo con las regulaciones pertinentes.

**Voladura Controlada:** Implementamos técnicas de voladura controlada para optimizar la fragmentación de la roca y minimizar el impacto ambiental.

##### **1.4.2. Extracción:**

**Extracción de Mineral:** Realizamos la extracción del mineral in-situ de manera cuidadosa y eficiente, asegurando que se cumplan las tasas de producción requeridas.

**Fragmentación del Mineral:** Aplicamos métodos especializados para fragmentar el mineral de manera que sea más fácil de manejar y procesar en etapas posteriores.

**Gestión de Residuos y Medio Ambiente:**

**Manejo de Residuos Mineros:** Implementamos prácticas seguras para el manejo y disposición adecuada de los residuos generados durante las operaciones mineras.

Monitoreo Ambiental: Realizamos monitoreos ambientales continuos para evaluar y mitigar cualquier impacto negativo en el entorno circundante.

#### **1.4.3. Seguridad y Capacitación:**

Seguridad en el Trabajo: Priorizamos la seguridad en el lugar de trabajo, proporcionando capacitación constante a nuestro personal y aplicando medidas de prevención de accidentes.

Auditorías y Cumplimiento Normativo: Realizamos auditorías internas y cumplimos con todas las regulaciones y estándares de seguridad aplicables.

#### **1.4.4. Coordinación Interdepartamental:**

Colaboración con Geología y Planificación: Trabajamos estrechamente con los departamentos de geología y planificación minera para asegurar una ejecución coherente con los objetivos estratégicos de la operación minera.

Planificación de Operaciones: Participamos en la planificación de las operaciones mineras, aportando información valiosa para la toma de decisiones.

### **1.5. Políticas de seguridad y salud ocupacional.**

URQU S.A.C como empresa que brinda servicios para la industria Minera, busca activamente asegurar el desarrollo humano y bienestar general en sus colaboradores y comunidades dentro de su alcance, a la vez que fomenta una cultura de trabajo seguro y de responsabilidad hacia el medio ambiente. Somos conscientes de las características desafiantes de nuestra actividad y de los riesgos en seguridad y salud ocupacional que esto conlleva. Por tanto, consideramos a la persona como elemento fundamental de nuestra organización.

La seguridad y la salud de nuestros empleados y visitantes van a tener prioridad sobre todo lo demás, por ello nuestros compromisos son:

- Priorizar siempre la seguridad y salud ocupacional en nuestras decisiones.
- Desarrollar comportamientos de liderazgo y de responsabilidad con la seguridad en todos nuestros colaboradores.
- Prevenir los incidentes de trabajo, las lesiones y enfermedades ocupacionales facilitando los recursos y capacitación necesaria, fomentando el cuidado integral de la persona.
- Busca la mejora continua de nuestro desempeño en seguridad y salud ocupacional.
- Establecer y revisar permanentemente los objetivos en seguridad y salud ocupacional de nuestra organización.
- Promover programas de salud y bienestar, y de opciones para un estilo de vida sana.
- Cumplir con el marco legal del país, en específico con el D.S 024-2016 EM y su modificatoria D.M 023-2017 EM.
- Implementar y mantener el sistema de gestión en seguridad y salud ocupacional compatible con los otros sistemas de gestión de la organización, a fin de gestionar los riesgos asociados a nuestras actividades



## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Perforación.

La fase inicial de la preparación de una explosión involucra la perforación, que tiene como objetivo crear cavidades cilíndricas en la roca, conocidas como taladros, destinadas a contener los explosivos y los elementos de iniciación. El proceso de perforación se basa en la combinación de fuerza de impacto y rotación, donde el impacto y la fricción generados provocan la fractura y pulverización de la roca. (ARCOS, 2007)

#### 2.1.1. Principio de perforación.

CHIPANA (2015) señala en su trabajo de tesis que se puede identificar esencialmente dos etapas en el proceso de romper la roca: la primera es la perforación, que implica crear orificios o cortes en la roca, generalmente mediante maquinaria mecánica, hidráulica o térmica. Esto se hace con el propósito de introducir explosivos o para lograr otros objetivos, como abrir túneles, galerías o pozos, extraer minerales de un tamaño y forma específicos, entre otros. La etapa que sigue busca realizar la fragmentación de grandes masas de roca, Antes de adentrarnos en la utilización de explosivos y el diseño de voladuras en actividades mineras, es crucial comprender los fundamentos de la perforación de rocas y los procesos involucrados en ella. Existen varios métodos para perforar rocas, que pueden ser categorizados de diversas maneras según ciertas características, como los parámetros de los equipos de perforación, el tamaño de los agujeros, el montaje de los equipos y la fuente de energía utilizada. En la minería subterránea de minerales metálicos, los sistemas de perforación más comunes se agrupan en la categoría de ataque mecánico. Este enfoque se basa en aplicar energía mecánica a la roca mediante

dos enfoques fundamentales: uno es la acción de percusión (golpes) y el otro es la acción rotativa (giros). Además, existen sistemas híbridos que combinan ambos métodos, como la roto-percusión. Estos métodos se describirán en detalle a continuación.

### **2.1.2. Tipos de trabajo de perforación.**

#### **a) Perforación por percusión.**

En un equipo de perforación, el pistón es fundamental, ya que transmite su energía cinética a través de un sistema de varillaje para generar una onda de choque que se utiliza en la perforación. Esta onda de choque se desplaza rápidamente y su forma depende del diseño del pistón. Al llegar a la broca, parte de la energía se convierte en trabajo para perforar el material, mientras que el resto se refleja, generando calor y desgaste en las conexiones roscadas. Evaluar la eficiencia de esta transmisión de energía es complicado y depende de varios factores. La potencia de impacto es un parámetro clave que afecta la velocidad de perforación. (CHIPANA, 2015)

#### **b) Perforación por rotación.**

La perforación rotativa implica dos acciones clave en la roca mediante la broca: una fuerza de empuje hacia abajo y un movimiento de giro. Esta energía se transmite a la broca a través de un tubo de perforación que gira y ejerce presión sobre las brocas contra la roca. Los elementos de corte de la broca aplican presión a la roca, lo que puede resultar en su fractura. El objetivo principal de este proceso es permitir que la broca actúe en varios puntos en el fondo del agujero. (CHIPANA, 2015)

#### **c) Perforación por rotopercusión.**

La operación fundamental de estos equipos de perforación se fundamenta en la acción de un pistón de acero que golpea una barra, transfiriendo así la energía al fondo del agujero a través de una broca. Los equipos rotopercutivos se dividen en dos categorías principales según la ubicación del martillo:

- Martillo en cabeza. En este tipo de perforadoras, dos de las operaciones fundamentales, rotación y golpeo, tienen lugar fuera del agujero de perforación, y se transmiten mediante una barra de unión y un conjunto de varillas hasta llegar a la broca de perforación. Estos martillos pueden ser impulsados por aire comprimido o sistemas hidráulicos.
- Martillo en fondo. La acción de golpeo se aplica directamente a la broca de perforación, mientras que la operación de rotación se lleva a cabo fuera del agujero de perforación.

El pistón se activa mediante un sistema de aire comprimido, teniendo en cuenta que la rotación puede ser accionada neumática o de forma hidráulica. La perforación rotopercutiva combina dos acciones principales: percusión y rotación. La percusión se basa en los golpes generados por el movimiento del pistón, que producen ondas de choque transmitidas a la broca a través del conjunto de varillas (en el martillo en la parte superior) o directamente en la broca (en el martillo en la parte inferior). Al mismo tiempo, la rotación implica hacer girar la broca para que los impactos ocurran en diferentes puntos de la roca. Las principales ventajas de la perforación rotopercutiva incluyen las siguientes:

- Se puede emplear en una amplia variedad de rocas, desde las menos resistentes hasta las más duras.
- Ofrece una amplia gama de opciones en cuanto a los tamaños de los agujeros que puede perforar.
- Estos equipos son versátiles y se adaptan eficazmente a diversas tareas y proyectos.
- Su funcionamiento y manejo requieren la intervención de un solo operador.
- El mantenimiento se lleva a cabo de manera rápida y sencilla.
- No conlleva un alto costo de adquisición. Debido a estas ventajas y características, estos equipos se encuentran en uso en una variedad de proyectos y obras, que incluyen:
- Proyectos de construcción subterránea en el ámbito público, como la creación de túneles, cavernas para centrales hidroeléctricas y depósitos de residuos, entre otros. También se utilizan en proyectos de superficie, como la construcción de carreteras, autopistas y excavaciones industriales.
- Operaciones mineras, tanto subterráneas como a cielo abierto, especialmente en explotaciones de tamaño mediano y pequeño.

Percusión: Los impactos generados por el pistón al golpear crean ondas de choque que se transfieren a la broca. Esto puede suceder a través del sistema de varillas (en el martillo ubicado en la parte superior) o directamente en la broca (en el martillo situado en la parte inferior).

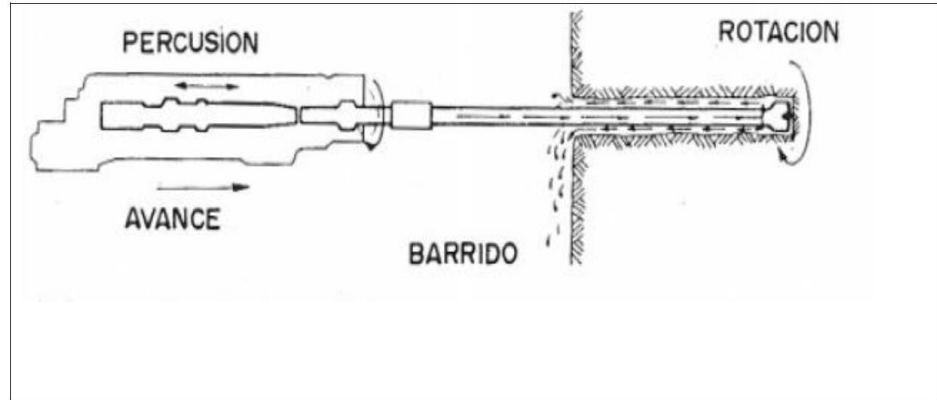
Rotación: Este giro se emplea para hacer que la broca gire, de manera que los impactos se generen en diferentes puntos de la roca.

Empuje: Para asegurar que el dispositivo de perforación se mantenga en contacto con la roca, se aplica una fuerza de empuje a través del conjunto de varillas.

Barrido: El fluido de barrido se utiliza para eliminar los desechos del fondo del agujero de perforación.

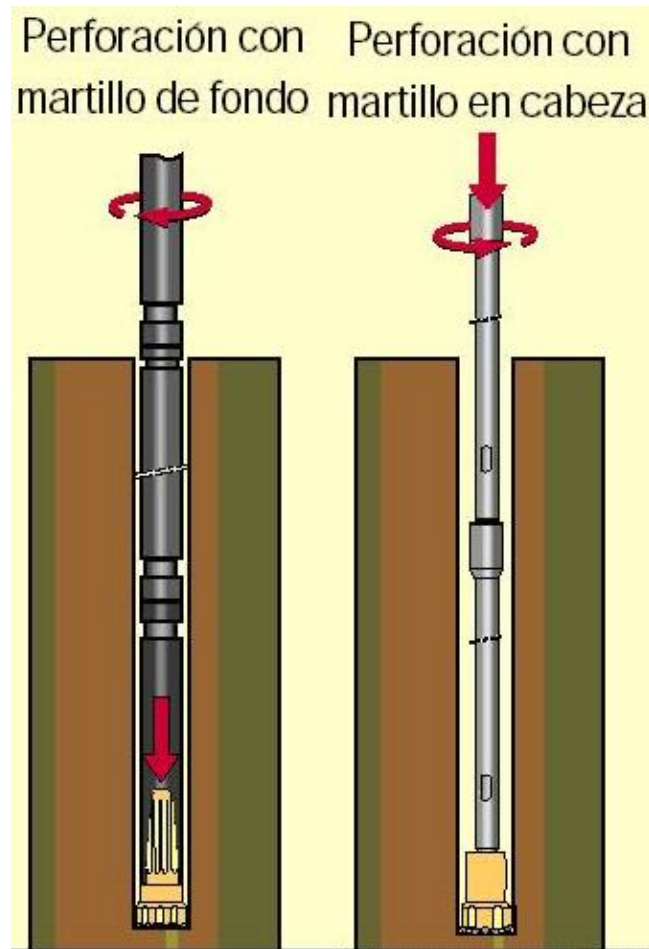
**Figura 2**

*Acciones básicas en la perforación rotopercusión*



*Nota.* Extraído de López Jimeno Carlos Ramón, 2005.

**Figura 3**  
*Métodos de perforación*



*Nota.* Extraído de (Yepes, 2023) en la publicación de Tipos de perforación rotopercutiva con martillos hidráulicos de la Universidad Politécnica De Valencia.

## 2.2. voladura

- a) **Sensibilidad a la Iniciación:** Se refieren a aquellos explosivos que son extremadamente sensibles a cualquier tipo de manipulación. Por lo general, estos explosivos son los fulminantes número 8, que se clasifican como altamente explosivos debido a su alta sensibilidad. (Mineria, 2018).

- b) Diámetro de taladro.** Es simplemente la dimensión del orificio que se utilizará para introducir la carga explosiva, y esta dimensión está determinada por un diámetro concreto. (De La Cruz, 2014)
- c) Geometría de la carga.** Se refiere a la extensión de la carga explosiva en relación con la longitud total del taladro, generalmente, la longitud de la carga representa alrededor de las dos terceras partes de la longitud del agujero. (Pacahuala, 2015)
- d) Grado de acoplamiento.** Es la conexión física que se establece entre la carga explosiva y la roca, lo que facilita la transmisión de la onda de choque de un medio al otro. (Enami, 2017)
- e) Grado de confinamiento.** Este factor está íntimamente ligado al grado de conexión entre la carga explosiva y la roca, así como a la forma en que se inserta la carga y al empleo de un taco inerte para sellarla, además de la disposición geométrica de la carga, que incluye el espaciamiento entre los agujeros y la distancia entre ellos. Si el confinamiento es insuficiente, se obtendrán resultados deficientes en la voladura. (Enami, 2017)
- f) Distribución de carga.** el explosivo cargado puede consistir en un único tipo de explosivo o puede ser una mezcla, en la cual se incluye una carga de fondo con mayor potencia explosiva, seguida por una carga de columna menos densa. (Zapata, 2002)
- g) Intervalos de iniciación de las cargas.** Es el orden en que los taladros son detonados, siguiendo la disposición planificada de la malla de perforación sin restricciones. (Garrido, 2007)
- h) Voladura de Precorte.** Se refiere a la práctica de crear una discontinuidad en la roca antes de llevar a cabo la voladura principal de producción. Esto se logra al perforar una fila de taladros en la roca. (EXSA, 2017)

- i) **Voladura de Recorte.** Se trata de efectuar una detonación en una fila de taladros cercanos utilizando cargas que no están acopladas. Esto se realiza después de llevar a cabo la voladura principal de producción. Esta técnica tiene como resultado el desprendimiento de roca hacia una zona libre. El espaciado entre los taladros suele ser mayor que en el pre-corte. (EXSA, 2017)
- j) **Voladura Amortiguada.** En resumen, se trata de una voladura convencional, pero con una alteración en el diseño de la última fila de taladros. Esta fila suele tener una geometría más compacta, y la voladura se ejecuta típicamente en una sola etapa. (EXSA, 2017)

### 2.3. Parámetros controlables de perforación y voladura

La recopilación de datos se enfoca en el empleo de cálculos y matemáticos para determinar cuántos agujeros de perforación se necesitan en la minería subterránea (Quispe et al., 2021). Esto desempeña un papel crucial en las operaciones de voladura de rocas. El objetivo principal de este enfoque es optimizar la eficiencia en la perforación, reducir los costos y utilizar de manera efectiva los recursos disponibles. Esto, en última instancia, contribuiría a aumentar las ganancias.

Es importante señalar que, en el contexto actual de nuestro país, hemos dependido en gran medida de fórmulas empíricas o métodos adoptados de otras naciones. Sin embargo, nuestras condiciones geológicas y clasificaciones son únicas, lo que requiere un enfoque adaptado y específico para abordar adecuadamente esta cuestión.

#### Ecuación 1. Número de taladros

$$N. T. = \left(\frac{P}{dt}\right) + (CxS)$$



Dónde:

**S:** dimensión de la sección del frente.

**P:** perímetro de la sección de frente de trabajo:

**Ecuación 2. Perímetro de la sección del frente de trabajo**

$$P. = 4 x \sqrt{A}$$

**C:** coeficiente del factor de roca.

**dt:** Espaciamiento de taladros.

**Tabla 1**

*Constantes C*

Tipo de roca	Distancia entre taladros “Dt”	Constante “C”
Roca dura, tenaz	0.50	2.00
Roca intermedia, semidura	0.60	1.50
Roca blanda, frágil	0.70	1.00

**a) Diámetro del Taladro “Ø”**

El diámetro del taladro se refiere al tamaño de la broca, que puede estar en un rango desde 1 pulgada hasta 18 pulgadas.

**b) Longitud de taladro**

La medida del taladro en la perforación subterránea se ve afectada por varios factores, como la longitud de la barra de perforación y su eficiencia. Sin embargo, además de estos parámetros, la determinación de la longitud máxima del taladro está estrechamente relacionada con las dimensiones específicas de los túneles, galerías, cruces, rampas o chimeneas en las que se está llevando a cabo la operación. Por lo tanto,

la extensión máxima del taladro se calcula teniendo en cuenta las características particulares del entorno subterráneo en el que se está trabajando.

### Ecuación 3. Longitud máxima del taladro

$$H_{max} \leq \sqrt{A_s}$$

**Dónde:**

$A_s$ : área de sección de frente ( $m^2$ )

- ✓ Holmberg propone un modelo matemático para estimar la longitud de los taladros.

### Ecuación 4. Longitud del taladro

$$H = 0,15 + 34,1 * (D) - 39,4 * (D)^2$$

Dónde:

H: longitud de taladro (m)

D: diámetro de taladro vacío (m)

- ✓ Cuando hay varios taladros vacíos se calculará un diámetro equivalente, el cual se puede expresar de la siguiente manera

### Ecuación 5. Diámetro de taladro vacío

$$D = d_0\sqrt{n}$$

Dónde:

$d_0$ : Diámetro de taladros sin carga del corte

n: número de taladros sin carga del corte

### c) Presión de detonación del explosivo

De acuerdo con Enaex y López Jimeno, la presión de detonación de un explosivo se describe mediante el siguiente modelo matemático:

### Ecuación 6. Presión de detonación

$$P_0 D = 0,25 * 10^{-5} * \sigma * (V_0 D)^2$$

$P_0 D$ : Presión de detonación (kBar)

$\alpha$ : densidad del explosivo ( $g/cm^3$ )

$V_0 D$  : Velocidad de detonación (m/s)

**d) factor de carguío “FC”**

El factor de carguío depende del volumen del taladro y del volumen del explosivo contenido en el taladro, y se expresa de la siguiente manera:

$$F_c \leq 1$$

**Ecuación 7. Factor de carguío**

$$F_c = \frac{V_e}{V_{tal}} = \frac{\pi * \phi_e^2 * L_e * N_{cartuchos}}{\pi * \phi_t^2 * L_{tal}} = \frac{\phi_e^2 * L_e * N_{cartuchos}}{\phi_t^2 * L_{tal}}$$

Dónde:

$V_e$ : Volumen del explosivo

$\phi_e$ : Diámetro de exposivo

$L_e$ : Longitud del explosivo

$N_{cartuchos}$ : Número de cartuchos

$\phi_{tal}$ : Diámetro de taladro

**e) Acoplamiento del explosivo “Ae”**

El acoplamiento se determina en función del diámetro del explosivo y del diámetro del taladro, y se expresa de la siguiente manera:

$$A_e \leq 1$$

**Ecuación 8. Acoplamiento del explosivo**

$$A_e = \frac{\phi_e}{\phi_{tal}}$$

**f) Longitud de carga explosiva “LC”**

La longitud de carga se calcula en función del diámetro del explosivo ( $\emptyset_e$ ) y la longitud del explosivo. “Le”, numero de cartuchos por taladro “N°cart/tal” y el acoplamiento “Ae”, donde  $L_c \leq \frac{3}{4} L_{tal}$

**Ecuación 9. Longitud de carga explosiva**

$$L_c = \left( \frac{\emptyset_e}{A_e * \emptyset_{tal}} \right)^2 * L_e * N^{\circ}_{car}/tal$$

**Dónde:**

$\emptyset_e$  : Diámetro del explosivo según características técnicas.

Le: Longitud del explosivo según características técnicas.

N°c/Tal: Numero de cartuchos empleados por taladro

$\emptyset_{tal}$  : Diámetro del taladro

Lc: Longitud de carga explosiva

#### **g) Burden**

Esta distancia, también conocida como "piedra", "bordo" o "línea de menor resistencia a la cara libre", se refiere a la medida desde el centro del taladro hasta la superficie libre más cercana en un ángulo perpendicular. También puede ser la distancia entre las filas de taladros en una operación de voladura.

#### **Nueva teoría para calcular el burden**

Esta teoría fue presentada durante el IV Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geociencias "IV CONEINGEMMET" en Huancayo en 2003. Esta teoría innovadora implica la creación de un modelo matemático para diseñar la disposición de perforación y voladura. En este modelo, se calcula el área de influencia que rodea a cada taladro, aunque es importante señalar que el

término "burden" utilizado por el autor es incorrecto en este contexto. El desarrollo de esta teoría se realizó de la siguiente manera:

**Ecuación 10. Diámetro del área de influencia**

$$A_n = \phi * \left[ \frac{P_0 D_{tal}}{F_s * \alpha_r * RQD} + 1 \right]$$

$A_n$ : diámetro del área de influencia nominal (m)

$\phi$ : diámetro de taladro (m)

$P_0 D_{tal}$ : presión de detonación en el taladro cargado (Kg/cm<sup>2</sup>)

RQD : Índice de calidad de roca según tablas

$\alpha_r$ : Resistencia a la compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)

$F_s$ : factor de seguridad.

## CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

### 3.1. Generalidades

"El trabajo de suficiencia profesional se centra en mejorar las operaciones de perforación y voladura en la unidad minera Lincuna, específicamente en la zona Tarugo, en la labor designada como BYPAS 8826. El estudio se enfoca en la implementación de un diseño de malla eficiente para optimizar estos procesos fundamentales en la minería, con el objetivo de mejorar la productividad y eficiencia en la extracción de minerales. El análisis y las estrategias propuestas se contextualizan en el año 2023, considerando las condiciones y tecnologías actuales relevantes para la industria minera."

#### 3.1.1. Datos laborales

##### Proceso de Ingreso y Desarrollo en la Empresa

##### a) 16 de octubre de 2021: Ingreso a la Empresa

- Comienzo en la empresa en el área de Costos y Productividad.

##### b) Primeros 6 meses (Abril de 2022): Digitador de Productividad

- Ocupación del cargo de Digitador de Productividad durante medio año.

##### c) Siguiendo Etapa (Julio de 2022): Área de Perforación y Voladura de

##### Avances

- Transición al área de Perforación y Voladura de Avances.
- Asunción del rol de Supervisor de Operaciones.

##### d) Tres Meses después (Octubre de 2022): Supervisor de Mina Operaciones

- Promoción al cargo de Supervisor de Mina en el departamento de Operaciones.

**e) Tres Meses después (Enero de 2023): Supervisor Mina Taladros Largos**

- Promoción al cargo de Supervisor de Mina en el departamento de Taladros Largos.

**f) Siguiendo 6 meses (Julio de 2023): Ingeniero Junior**

- Cambio de cargo a Ingeniero Junior.

**g) Hasta la Fecha Actual (Septiembre de 2023)**

- Actualmente, desempeño el papel de Jefe de Guardia junior en las áreas de Operaciones y Taladros Largos.

### **3.1.2. Equipo de trabajo**

#### **A. Gerencia Ejecutiva**

- Gerente General  
Rol y responsabilidades del Gerente General
- Gerente de Recursos Humanos  
Funciones clave del Gerente de Recursos Humanos

#### **B. Asesoría y Coordinación Estratégica**

- Asesoría Legal en Laboral y Judicial  
Soporte legal en cuestiones laborales y judiciales
- Coordinador SIG (Sistema de Información Gerencial)  
Implementación y gestión del SIG en la empresa

#### **C. Órganos Staff Personal Operativo**

- Gerente de Operaciones  
Estrategias y gestión de operaciones mineras
- Ingeniero Residente  
Coordinación y liderazgo en proyectos
- Jefe de Guardia

Rol en la gestión de turnos y seguridad

- Supervisor de Mina  
Funciones y responsabilidades del Supervisor de Mina
- Jefe de Seguridad e Ingeniero de Seguridad  
Mantenimiento de la seguridad en el sitio minero
- Jefe de Servicios Generales y de Sostenimiento  
Gestión de servicios y sostenimiento en la mina
- Jefe de Perforación y Voladura  
Supervisión de las actividades de perforación y voladura
- Asistente de Perforación y Voladura  
Apoyo en las operaciones de perforación y voladura
- Jefe de Servicios Mina y Supervisor de Ventilación  
Coordinación de servicios y supervisión de la ventilación
- Jefe de Costos y Productividad y Asistente de Productividad  
Gestión de costos y mejora de la productividad
- Digitador de Productividad  
Registro y análisis de datos de productividad

#### **D. Órganos Staff Personal Administrativo**

- Administrador  
Administración de recursos y servicios
- Asistente Administrativo  
Apoyo administrativo en la empresa
- Trabajadora Social  
Apoyo social y bienestar de los empleados
- Jefe de Almacén y Asistente de Almacén  
Gestión del almacén y apoyo logístico

#### **E. Personal Operativo**

El personal operativo cumple un papel esencial en la realización de las actividades diarias en la mina. Este grupo se compone de diversos roles especializados, cada uno



con funciones específicas que contribuyen al funcionamiento eficiente de las operaciones mineras. A continuación, se presenta una breve descripción de algunas de las funciones y los roles dentro del personal operativo:

- Operador de Jumbo: Encargado de operar equipos de perforación Jumbo para crear túneles y galerías en la mina.
- Operador de Scoop: Responsable de manejar cargadores subterráneos (Scoop) para cargar y transportar minerales y material excavado.
- Operador de Taladros Largos: Opera equipos de taladros largos para perforar agujeros profundos en la roca para la voladura.
- Operador de Jumbo Empernado: Se encarga de perforar y empernar techos y paredes para garantizar la seguridad en la mina.
- Operador de Raise Boring: Opera equipos para excavar pozos verticales o raises en la mina.
- Ayudante de Raise Boring: Apoya al operador de Raise Boring en sus tareas.
- Operador de Diamantina: Realiza perforaciones con equipos de diamantina para obtener muestras de núcleo de roca.
- Ayudante de Diamantina: Colabora con el operador de Diamantina en la obtención de muestras de núcleo de roca.
- Maestro Mina: Líder de un equipo de trabajo en la mina, supervisa y coordina las actividades en el frente de trabajo.
- Ayudante Mina: Apoya al Maestro Mina en diversas tareas en el frente de trabajo.
- Maestro Perforista: Responsable de las operaciones de perforación en la mina.
- Ayudante de Perforista: Asiste al Maestro Perforista en las tareas de perforación.
- Ayudante de Equipos: Apoya en el mantenimiento y reparación de equipos y maquinaria.
- Maestro Chimenero: Encargado de la ventilación en la mina, asegurando un ambiente seguro para los trabajadores.
- Ayudante Chimenero: Colabora en las tareas relacionadas con la ventilación en la mina.
- Maestro de Servicios: Supervisa y coordina la provisión de servicios esenciales en la mina.

- Operador de Equipo Shotcrete: Aplica el shotcrete para estabilizar las galerías subterráneas.
- Maestro Lanzador de Shotcrete: Supervisa y realiza la aplicación de shotcrete.
- Maestro Alivero: Lidera las operaciones de sostenimiento y fortificación en la mina.
- Operador de Scissor Lift: Maneja elevadores tijera para trabajos en altura.
- Operador de Scaler: Utiliza equipos scalers para la limpieza y desprendimiento de rocas.
- Operador de Minicat: Conduce vehículos de tamaño reducido en espacios subterráneos.
- Operador de Bomba: Manipula bombas de agua y lodo en la mina.
- Operador de Robolt: Opera equipos Robolt para el sostenimiento y fortificación de labores.
- Conductor de Camioneta/Camión: Conduce vehículos de transporte en la mina.
- Bodeguero: Gestiona el inventario y suministro de materiales y herramientas.
- Mecánico Jackleg: Realiza labores de mantenimiento y reparación en equipos mineros.
- Auxiliar de Limpieza: Encargado de la limpieza y orden en áreas subterráneas y superficiales.

### **3.1.3. Funciones del desarrollo profesional**

#### **3.1.3.1. Objetivos**

- a) Evaluar y mejorar la eficiencia general de los trabajos de perforación y voladura en el BYPAS 8826 de la Unidad Minera Lincuna en el año 2023.
- b) Diseño y aplicación de una malla de perforación y voladura optimizada para controlar la sobrerotura
- c) Recopilar datos y llevar a cabo un seguimiento de las mejoras implementadas para medir el rendimiento y realizar ajustes continuos.

### **3.1.3.2. Estrategias.**

Para alcanzar los objetivos mencionados en el trabajo de suficiencia profesional titulado "Optimización de Perforación y Voladura Mediante el Diseño de Malla del BYPAS 8826 de la Unidad Minera Lincuna en Huaraz, 2023", se consideran diversas estrategias. A continuación, algunas estrategias que son relevantes para el proyecto:

**a) Mejora del Diseño de Malla:**

Realizar un análisis detallado de la geología y las características de la roca en el BYPAS 8826 para diseñar una malla de perforación y voladura específica que optimice la fragmentación de la roca.

**b) Control de Sobrerotura:**

Implementar tecnologías de control de sobrerotura, como sistemas de monitoreo en tiempo real o instrumentación de perforación y voladura, para ajustar las cargas explosivas y minimizar la sobrerotura.

**c) Mejoras en la Planificación de Voladura:**

Desarrollar un proceso de planificación de voladura más eficiente que considere factores como la secuencia de voladura, el diseño de tronaduras y las condiciones geológicas.

**d) Gestión de Inventarios de Explosivos:**

Establecer un sistema de gestión de inventarios de explosivos para optimizar la utilización de los recursos y reducir los costos asociados con la compra y el almacenamiento de explosivos.

**e) Capacitación del Personal:**

Proporcionar capacitación y formación continua al personal operativo en las nuevas prácticas y técnicas de perforación y voladura para asegurar la correcta implementación de las mejoras.

**f) Mejora de la Seguridad:**

Implementar protocolos y procedimientos de seguridad robustos para garantizar la seguridad del personal y minimizar los riesgos asociados con las operaciones de perforación y voladura.

**g) Monitoreo y Seguimiento:**

Establecer un sistema de seguimiento y monitoreo continuo para evaluar el rendimiento de las mejoras implementadas y realizar ajustes según sea necesario.

**h) Colaboración Interdepartamental:**

Fomentar una estrecha colaboración entre los departamentos de operaciones, seguridad, ingeniería y recursos humanos para garantizar la implementación exitosa de las estrategias de optimización.

**i) Evaluación de Costos y Beneficios:**

Realizar análisis de costos y beneficios para determinar el retorno de inversión de las mejoras propuestas y justificar su implementación.

**3.1.3.3. Metodología.**

La elección de la metodología específica para el trabajo de suficiencia profesional dependerá de cómo se planea abordar la optimización de perforación y voladura en el BYPAS 8826 de la Unidad Minera Lincuna. A continuación, una descripción general de una metodología que se considera:

**a) Revisión de Literatura:**

Realiza una revisión exhaustiva de la literatura técnica y académica relacionada con las mejores prácticas en perforación y voladura en la industria minera. Esto te ayudará a comprender las técnicas y enfoques existentes.

**b) Análisis de Datos Históricos:**

Recopila y analiza datos históricos de las operaciones en el BYPAS 8826, incluyendo registros de perforación y voladura, registros de sobrerotura, datos de producción y costos asociados.

**c) Estudio de Geomecánica:**

Realiza un estudio detallado de la geomecánica y las condiciones específicas del sitio en el BYPAS 8826 para comprender mejor las características de la roca y las posibles variaciones geológicas que puedan afectar las operaciones.

**d) Diseño de Malla de Perforación y Voladura:**

Utiliza los datos geológicos y los resultados del análisis de datos históricos para diseñar una malla de perforación y voladura optimizada que se adapte a las condiciones del sitio y mejore la fragmentación de la roca.

**e) Implementación de Tecnologías de Control de Sobrerotura:**

Evalúa y selecciona tecnologías y herramientas adecuadas para controlar la sobrerotura durante las operaciones de voladura. Esto podría incluir sistemas de monitoreo en tiempo real o instrumentación de perforación y voladura.

**f) Planificación y Programación de Voladura:**

Desarrolla un proceso de planificación de voladura que tenga en cuenta la secuencia de voladura, el diseño de tronaduras y otros factores críticos para optimizar las operaciones.

**g) Implementación y Seguimiento:**

Implementa las mejoras en el sitio y realiza un seguimiento constante para evaluar su efectividad. Esto podría incluir pruebas piloto y ajustes en tiempo real.

**h) Evaluación de Costos y Beneficios:**

Lleva a cabo un análisis de costos y beneficios para determinar el impacto financiero de las mejoras implementadas y justificar su continuación.

**i) Documentación y Presentación:**

Documenta todo el proceso, incluyendo los resultados, hallazgos y lecciones aprendidas. Prepara una presentación detallada de los resultados para compartir con los interesados y las partes relevantes.

### **3.2. Herramientas o modelos empleadas en el desarrollo profesional**

En este encabezado del proyecto de suficiencia profesional, se llevará a cabo la planificación de la malla de perforación para el BYPAS 8826, tomando en cuenta las características geomecánicas de la formación rocosa.

#### **3.2.1. Mapeo geo-mecánico**

La zona donde se construirá el BYPAS 8826 está mayoritariamente conformada por andesita, lo que significa que el macizo rocoso posee una alta capacidad geotécnica y es estructuralmente intermedia.

### **3.2.1.1. Clasificación geomecánica G.S.I.**

El estudio describe las propiedades de la masa rocosa. La tabla 2 muestra los detalles del macizo. Se aprecia que la roca tiene una densidad de fracturas de 7 a 12 grietas por metro, con discontinuidades lisas, medianamente alteradas y levemente abiertas, las que se pueden fragmentar con uno o dos golpes de pico. En síntesis, el macizo rocoso analizado presenta fracturamiento moderado, con grietas suaves, modificadas en parte y separadas sutilmente, que se quiebran fácilmente al ser golpeadas con herramientas de perforación. De acuerdo con la clasificación, se califica como "Moderadamente Fracturado (F/R)" y se estima un valor equivalente de RMR' de 51.

Estos datos se presentan de la siguiente manera en la tabla:

- En la parte izquierda, se describe la estructura con la densidad de fracturas por metro.
- En la parte superior derecha, se detalla la condición superficial de resistencia, indicando que las fracturas pueden romperse con uno o dos golpes de picota.
- En la parte inferior derecha, se muestran los valores de la caracterización geotécnica del macizo rocoso, considerando el grado de fracturamiento y resistencia, teniendo en cuenta la condición de discontinuidades.

En la tabla número 3, se realiza una estimación del tipo de soporte, con base en la clasificación RMR y el tipo de laboreo, temporal.

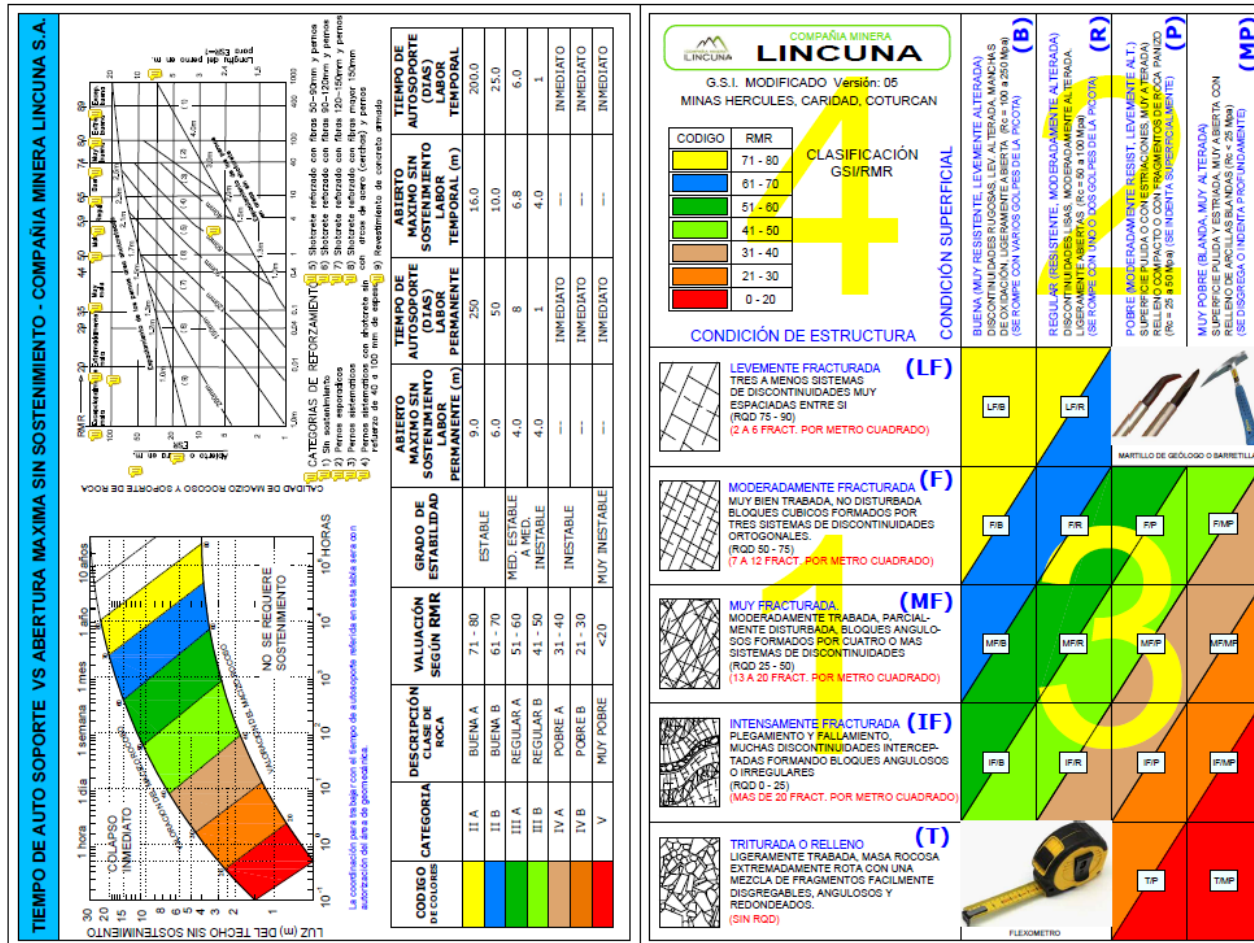
- Perno de fricción de 7 pies

- Instalación espaciada 1.5 metros por 1.5 metros en forma de rombo



Tabla 2

Tiempo de autoaporte y clasificación geomecánica RMR/ GSI del macizo rocoso



Nota. Esta tabla muestra el tiempo de auto soporte vs abertura máxima sin sostenimiento y la clasificación cuantitativa y cualitativa del del macizo rocoso, considerados por la unidad minera Lincuna.

**Tabla 3**

*Tabla geomecánica de RMR, GSI y el estándar de sostenimiento según el tipo de labor*

TABLA GEOMECANICA RMR						TIPO DE SOSTENIMIENTO			
RIESGO DE ESTABILIDAD	CODIGO DE COLORES	CATEGORIA	DESCRIPCIÓN CLASE DE ROCA	VALUACIÓN SEGUN RMR	GSI	GRADO DE ESTABILIDAD	AVANCES (PREPARACIONES Y EXPLORACION Y DESARROLLO)		INTERSECCION SECCION MAX. 12x6.5m.
							TEMPORALES <= 1 año	PERMANENTES >1 año	
RIESGO BAJO	II	II A	BUENA A	71 - 80	LF/R, F/B	ESTABLE	Perno Split Set ocasional o puntual	Perno Helicoidal ocasional o puntual	Perno Split Set o Helicoidal ocasional o puntual.
		II B	BUENA B	61 - 70	F/R		Perno Split Set espaciados a 1.75mx1.75m en forma de rombo	Perno Helicoidal espaciados a 1.75mx1.75m en forma de rombo	Perno Split Set o Helicoidal espaciados a 1.50mx1.50m en forma de rombo
RIESGO MEDIO	III	III A	REGULAR A	51 - 60	F/P, MF/R	MED. ESTABLE A MED. INESTABLE	Perno Split Set espaciados a 1.50mx1.50m en forma de rombo	Perno Helicoidal espaciados a 1.50mx1.50m en forma de rombo	Perno Split Set o Helicoidal espaciados a 1.50mx1.50m en forma de rombo
		III B	REGULAR B	41 - 50	MF/P, IF/R		Perno Split Set espaciados a 1.50mx1.50m en forma de rombo mas malla electrosoldada	Perno Helicoidal espaciados a 1.50mx1.50m en forma de rombo mas malla electrosoldada	Perno Split Set o Helicoidal espaciados a 1.50mx1.50m en forma de rombo mas malla electrosoldada
RIESGO ALTO	IV	IV A	POBRE A	36 - 40	MF/P, IF/R	INESTABLE	Shotcrete de 2" con fibra mas perno Split Set espaciados a 1.50mx1.50m en forma de rombo	Shotcrete de 2" con fibra mas perno Helicoidal espaciados a 1.50mx1.50m en forma de rombo	Shotcrete de 2" con fibra mas perno Split Set o Helicoidal espaciados a 1.50mx1.50m en forma de rombo
				31 - 35	MF/MP, IF/P		Shotcrete de 2" con fibra mas perno expansivo espaciados a 1.20mx1.20m en forma de rombo	Shotcrete de 2" con fibra mas perno expansivo espaciados a 1.20mx1.20m en forma de rombo	Shotcrete de 3" con fibra mas perno expansivo espaciados a 1.20mx1.20m en forma de rombo
		IV B	POBRE B	21 - 30	IF/MP		Shotcrete de 3" con fibra más perno expansivo espaciados a 1.20m x 1.20m en forma de rombo	Shotcrete 2" con fibra + Malla Electrosoldada + perno expansivo a 1.20mx1.20m en forma de rombo + Shotcrete 2" sobre malla.	Shotcrete 2" con fibra + Malla Electrosoldada + perno expansivo a 1.20mx1.20m en forma de rombo + Shotcrete 2" sobre malla.
	V	MUY POBRE	< 20	T/MP	MUY INESTABLE	Shotcrete de 4" con fibra mas perno expansivo espaciados a 1.0mx1.0m en forma de rombo y/o cimbras de perfil H tipo 6W20	Shotcrete 3" con fibra + Malla Elect. + perno expansivo a 1.0mx1.0m + Shotcrete 2" sobre malla o cimbras de perfil H tipo 6W20	Shotcrete 3" con fibra + Malla Elect. + perno expansivo a 1.0mx1.0m + Shotcrete 2" sobre malla o cimbras de perfil H tipo 6W20	

**NOTA:** Los supervisores de primera línea podrán emitir una recomendación de sostenimiento haciendo uso de la presente Cartilla Geomecánica sólo si el sostenimiento recomendado considera mayor reforzamiento con respecto a la última recomendación dada por el área de geomecánica.

---

METODOLOGIA DE APLICACIÓN - TABLA GSI		TIPO DE SOSTENIMIENTO	
<p><b>APLICACIÓN SIN CONSIDERAR FACTORES INFLUYENTES</b></p> <p>Para aplicar la Tabla se deben lavar los hastiales, el techo y el frente de la labor y determinar los 2 parámetros del INDICE GSI:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Condición de Estructura, se determina contando el número de fracturas por metro lineal.</li> <li>Condición Superficial, se determina mediante golpes de picota o barretilla.</li> </ol> <p><b>CORRECCIÓN CONSIDERANDO FACTORES INFLUYENTES</b></p> <p>Los factores influyentes condicionan un mayor reforzamiento del área evaluada, por lo tanto deberá "castigarse" con un menor INDICE GSI e instalarse el siguiente tipo de sostenimiento, considerando una sola corrección para OCURRENCIA de:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Esfuerzos In Situ, por profundizaciones mayores a 500 m.</li> <li>Esfuerzos Inducidos, por labores cercanas entre sí.</li> <li>Esfuerzos Inducidos, por Labor Antigua, Pilares-Puentes.</li> <li>Presencia de agua de filtración como goteras ó flujos.</li> <li>Presencia de Falla, zonas de corte ó áreas perturbadas.</li> <li>Falta de sostenimiento ó sostenimiento no oportuno.</li> <li>Orientación de las fracturas.</li> </ol>		<p><b>SOSTENIMIENTO ACTIVO</b> (Trabajan inmediatamente después de instalarlos en la roca)</p> <p><b>PERNO HELICOIDAL</b> Capacidad de Carga 2.0 a 2.5 Ton/m<sup>2</sup> Ø perforación: 38mm</p> <p><b>PERNO DE FRICIÓN</b> Capacidad de Carga 1.00-1.20 Ton/m<sup>2</sup> Ø perforación: 38 mm</p> <p><b>PERNO EXPANSIVO</b> Capacidad de Carga 10.0 - 14.0 Ton Ø perforación: 38 mm</p> <p><b>CONSIDERACIONES PARA EL SOSTENIMIENTO</b> (Longitud del perno a usar):</p> <p><b>SOSTENIMIENTO PASIVO</b> (Trabajan después de que la roca se acomoda al sostenimiento)</p> <p><b>CIMBRA METALICA H6</b> Capacidad de carga 35 Ton/m<sup>2</sup></p> <p><b>SHOTCRETE</b> Capacidad de Carga ≈ 280 kg/cm<sup>2</sup></p> <p><b>MALLA ELECTROSOLDADA</b> Capacidad de Carga 8.8-13 Ton/m<sup>2</sup></p>	
<p><b>METODOLOGIA DE APLICACIÓN - TABLA GSI</b></p> <p><b>APLICACIÓN SIN CONSIDERAR FACTORES INFLUYENTES</b></p> <p>Para aplicar la Tabla se deben lavar los hastiales, el techo y el frente de la labor y determinar los 2 parámetros del INDICE GSI:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Condición de Estructura, se determina contando el número de fracturas por metro lineal.</li> <li>Condición Superficial, se determina mediante golpes de picota o barretilla.</li> </ol> <p><b>CORRECCIÓN CONSIDERANDO FACTORES INFLUYENTES</b></p> <p>Los factores influyentes condicionan un mayor reforzamiento del área evaluada, por lo tanto deberá "castigarse" con un menor INDICE GSI e instalarse el siguiente tipo de sostenimiento, considerando una sola corrección para OCURRENCIA de:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Esfuerzos In Situ, por profundizaciones mayores a 500 m.</li> <li>Esfuerzos Inducidos, por labores cercanas entre sí.</li> <li>Esfuerzos Inducidos, por Labor Antigua, Pilares-Puentes.</li> <li>Presencia de agua de filtración como goteras ó flujos.</li> <li>Presencia de Falla, zonas de corte ó áreas perturbadas.</li> <li>Falta de sostenimiento ó sostenimiento no oportuno.</li> <li>Orientación de las fracturas.</li> </ol> <p><b>FACTORES INFLUYENTES</b></p>		<p><b>ORIENTACIÓN DE LOS PERNOS</b> (Formas correctas e incorrectas de instalar un perno)</p> <p>Sección de excavación &gt; 3m, usar 7pies Sección de excavación ≤ 3m, usar 5pies</p> <p><b>Nota:</b> Tabla Geomecánica elaborado por el Área de Geomecánica</p>	

*Nota.* El BYPASS 8826 es una labor con un fin temporal, menor a un año.

### **3.2.1.2. Tiempos de autosoporte**

Hay diversos elementos que afectan el desempeño de la masa rocosa extraída, entre ellos la existencia de agua, las fuerzas ejercidas, la orientación de las discontinuidades y los procedimientos de extracción, como aperturas y detonaciones, además del relajamiento paulatino, la cercanía de otras labores, la instalación de soportes inadecuados y el método de explotación minera. En síntesis, el comportamiento del macizo rocoso excavado se ve influenciado por la presencia de fluidos, los esfuerzos aplicados, la dirección de las fracturas, las técnicas de remoción como perforaciones y voladuras, el debilitamiento progresivo, la proximidad de otras áreas de trabajo, la colocación de refuerzos inapropiados y el sistema de minería utilizado.

Para adaptar el sistema de soporte según la clasificación del macizo rocoso (G.S.I.) y las dimensiones equivalentes, se consideran los factores influyentes. Si estos factores están presentes, se elige el sostenimiento recomendado para una condición inmediatamente inferior (de menor calidad G.S.I.), y se realiza la corrección en función del tiempo de auto soporte.

En el caso de la zona donde se construirá el BYPAS 8826, se ha clasificado como roca intermedia, moderadamente fracturada y capaz de funcionar con autosoporte de 6 días según evaluación geomecánica, dado que se trata de una labor de servicio donde habrá tránsito de personal y transporte de mineral que funcionará de forma temporal, se implementará un sistema de sostenimiento pernos split set para garantizar la seguridad

total de los colaboradores que trabajen en el área. Este enfoque asegurará un entorno de trabajo seguro y confiable en la zona.

### **3.2.1.3. Diseño anterior de malla de perforación del BYPAS 8826.**

El diseño de una malla de perforación en la industria minera es un proceso esencial que requiere una planificación meticulosa y cuidadosa consideración de numerosos factores. En este contexto, los parámetros clave que se deben considerar antes de cualquier optimización, con el objetivo de controlar la sobrerotura durante las operaciones de perforación y voladura en una mina. Estos datos son esenciales para garantizar la seguridad de la operación, maximizar la eficiencia y minimizar los costos.

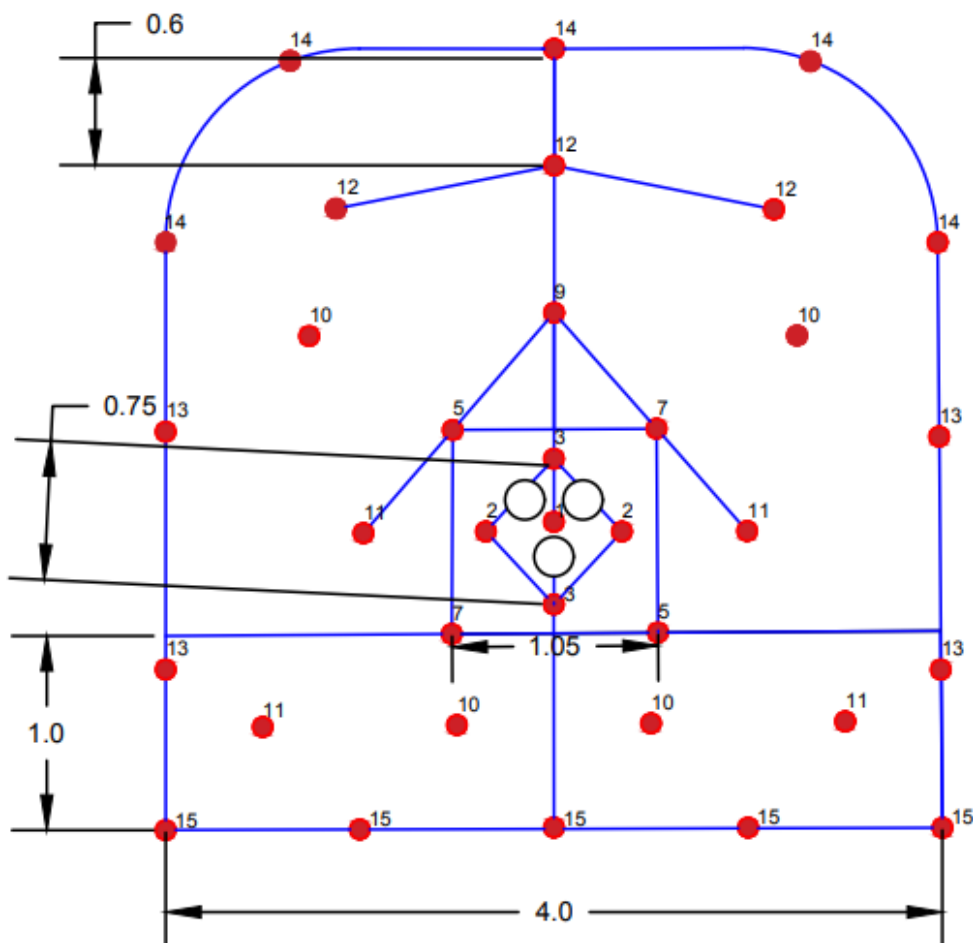
Con un ancho y una altura de labor de 4 metros, estamos hablando de un entorno de trabajo de dimensiones considerables, lo que implica la necesidad de una planificación precisa para distribuir de manera efectiva los taladros de perforación y las cargas explosivas. Además, el tipo de roca, clasificada como "intermedia", desempeñará un papel crucial en la determinación de la estrategia de perforación y voladura.

La longitud de la barra de perforación, que es de 3.66 metros, junto con la eficiencia de perforación del 85%, son factores que influyen en la profundidad alcanzada por cada taladro y, por lo tanto, en la efectividad de la voladura. La elección de la emulsión 3000 como explosivo y el peso específico del desmonte de 2.8 toneladas por metro cúbico son datos críticos para calcular las cargas explosivas adecuadas y prever la fragmentación de la roca.

Además, los números de taladros cargados (35 unidades) y taladros de alivio (3 unidades) indican la cantidad de perforaciones que se llevarán a cabo en la malla de perforación, lo que afecta directamente la distribución de la energía de la voladura y, en última instancia, la sobrerotura.

En resumen, el diseño de una malla de perforación en estas condiciones iniciales es un proceso complejo que requiere un análisis detenido de estos datos y la aplicación de técnicas y estrategias específicas para controlar la sobrerotura, maximizar la eficiencia de la voladura y garantizar una operación minera segura y rentable.

**Figura 4**  
*Diseño anterior a la optimización*



**Tabla 4**

*Perforación – Voladura del diseño inicial del BYPASS 8826*

Datos	
Ancho de labor	4 m
Altura de labor	4 m
Tipo de roca	intermedia
Longitud de perforación	12 pies
Diámetro del taladro de alivio	102 mm
Diámetro del taladro cargado	48 mm
Eficiencia de perforación	85%
Eficiencia de voladura	95%
Explosivo	Emulsión 3000
Peso específico del desmonte	2.8 Tn/m <sup>3</sup>
Taladros cargados	35 und
Taladros de alivio	3 und

*Nota.* Esta tabla muestra las características de diseño iniciales de la malla de perforación del BYPASS 8826.

#### 3.2.1.4. Características del nuevo diseño BYPAS 8826

##### a) Naturaleza del terreno en el área del BYPAS 8826

Tras un análisis geotécnico, la evaluación geotécnica del sector destinado para el Desvío 8826 indicó que es una zona de roca de resistencia intermedia, sólida, con fracturamiento moderado, que puede reforzarse con anclajes por fricción y pernos partidos tipo split set.

##### b) Diseño de sección

**Tabla 5**

*Diseño de sección del BYPASS 8826*

características de la sección	
Ancho (m)	Alto (m)
4	4

*Nota.* En la tabla se muestra la sección programada del bypass 8826.

Para la construcción del BYPASS 8826. El ciclo de construcción comprenderá las siguientes etapas:

**A. Perforación – voladura:**

La perforación se llevará a cabo como si fuera un frente continuo, empleando una perforadora jumbo para crear taladros de 11 pies de longitud y 48 milímetros de diámetro, los taladros de alivio se realizarán de un diámetro de 102 mm, siguiendo la disposición de la malla de perforación que se ilustra en la figura número 6. En la parte superior, se perforarán 4 taladros en forma de precorte, espaciados a intervalos de 0,50 metros con el propósito de controlar la estabilidad del techo, prevenir la sobrerotura y mantener una sección uniforme en la excavación.

Para cargar los taladros, se utilizará Emulnor suministrado por Famesa, la cual se presenta en dimensiones de 1 1/4” x 8”. El sistema de iniciación convencional que se empleará será el fulminante número 8.

El proceso de conexión y encendido de los explosivos seguirá un orden específico que garantice la formación adecuada de caras libres durante la voladura planificada. La cantidad de taladros y cargas explosivas se determinó mediante el siguiente cálculo.

**Perforación – Voladura:**

**Tabla 6**

*Perforación – Voladura del diseño final del BYPASS 8826*

Datos	
Ancho de labor	4 m
Altura de labor	4 m
Tipo de roca	intermedia
Longitud de perforación	11 pies
Diámetro del taladro de alivio	102 mm
Diámetro de perforación	48 mm
Eficiencia de perforación	90%
Eficiencia de voladura	90%
Explosivo	Emulsión 3000
Explosivo en corona y hastiales	Emulsión 1000
Peso específico del desmonte	2.8 Tn/m <sup>3</sup>

*Nota.* Esta tabla muestra las características de diseño final de la malla de perforación del BYPASS 8826.

Número de taladros:

$$N.T. = (P/dt) + (C \times S)$$

**Tabla 7**

*Espaciamiento de taladros según dureza de la roca*

Dureza de la roca	dt
tenaz	0.5 - 0.55
intermedia	0.6 - 0.65
friable	0.7 - 0.75

*Nota.* Se consideró el espaciado entre taladros de acuerdo a la dureza de la roca, estableciendo una "dt" igual a 0,64 específicamente para la labor en el desvío 8826. Es decir, se tomó en cuenta la separación entre perforaciones en función de la solidez de la roca, fijando un valor de "dt" de 0.64 para el trabajo particular en el bypass 8826.



**Tabla 8**

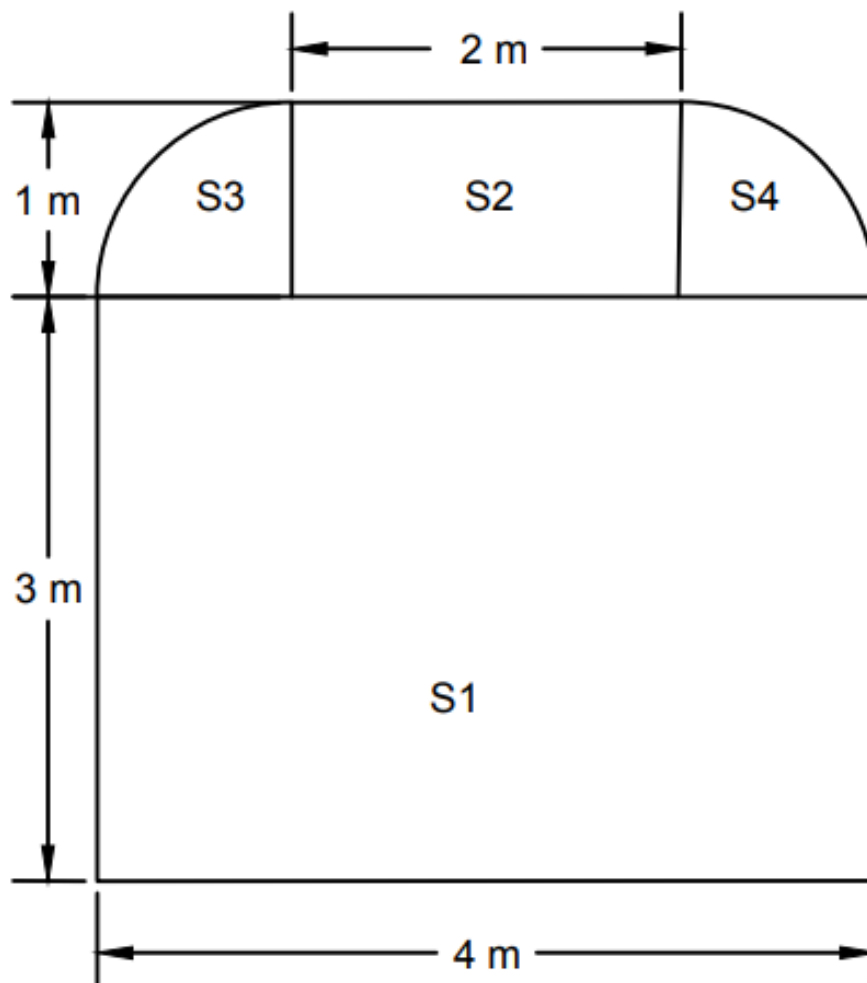
*Coefficiente o factor de roca*

Dureza de la roca	c
tenaz	2
intermedia	1.5
friable	1

*Nota.* El coeficiente o factor de la roca fue considerado, “C” igual a 1.25 para la labor en bypass 8826 en específico.

**Figura 5**

*Diseño de áreas y perímetro para el nuevo diseño*



**Longitud de arco:**

**Ecuación 11. Longitud de arco de labor**

$$L = (2 \cdot \pi \cdot r \cdot \theta) / (360^\circ)$$

$$L = (2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 90) / (360^\circ)$$

$$L = 1.57 \text{ m}$$

**Cálculo del perímetro:**

**Ecuación 12. Perímetro de la labor**

$$P = 3 + 4 + 3 + 1.57 + 2 + 1.57$$

$$P = 15.14 \text{ m}$$

**Cálculo de área.**

Cálculo del área de la sección circular

**Ecuación 13. Área de la sección circular del frente de trabajo**

$$S = (\pi \cdot r^2 \cdot \theta) / (360^\circ)$$

$$S = (\pi \cdot 1^2 \cdot 90) / (360^\circ)$$

$$S = 0.7854 \text{ m}^2$$

Area total S

$$S = 3 \times 4 + 2 \times 1 + 0.7854 \times 2$$

$$S = 12 + 2 + 1.57$$

$$S = 15.57 \text{ m}^2$$

**Cálculo de número de taladros:**

$$N^{\circ} \text{ taladros} = \frac{P}{dt} + c * S$$

Como se mencionó previamente, estamos considerando un tipo de roca de dureza intermedia, con un RMR de 51. Por lo tanto, tomaremos los valores para las constantes de:

$$Dt = 0.64$$

$$C = 1.25$$

Entonces:

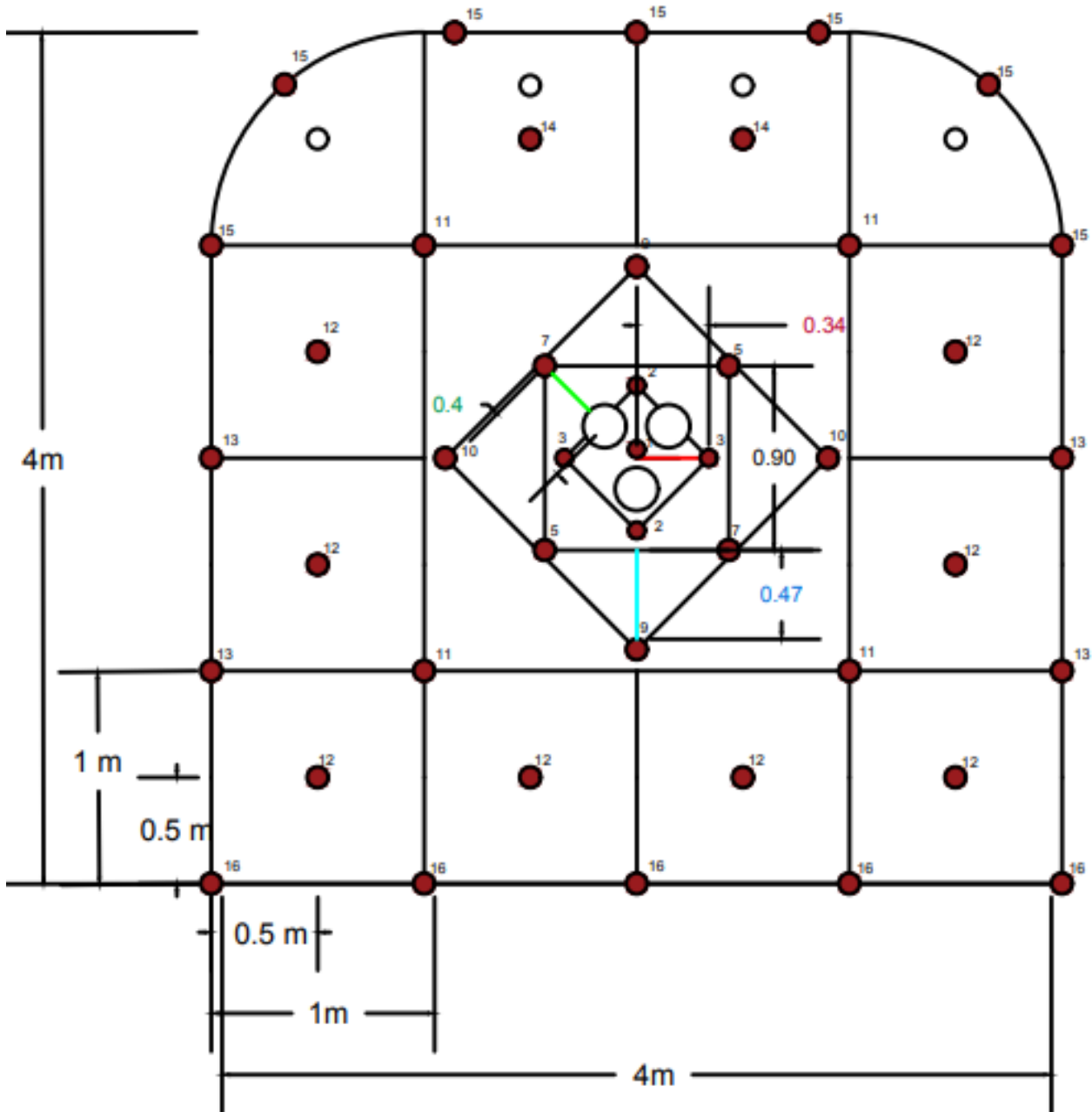
$$N^{\circ} \text{ taladros} = \frac{15.14}{0.64} + 1.25 * 15.57 = 43.11$$

$$N^{\circ} \text{ taladros} = 43 \text{ taladros cargados}$$

No incluyendo los taladros de alivio:

$$\text{Nro. Total de taladros} = 43 + 7 = 50 \text{ taladros}$$

**Figura 6**  
Nuevo diseño optimizado



**Características del explosivo Emulnor 1000:**

Longitud : 8" = 203.2 mm

Diámetro: : 1 1/4" = 31.75 mm

Densidad : 1.13 g/cm<sup>3</sup>

Peso/cartucho : 173.61 gr

Este explosivo se usará en la corona y hastiales, en total 11 taladros

**Características del explosivo Emulnor 3000:**

Longitud : 8” = 304.8 mm

Diámetro: : 1 1/4” = 31.75 mm

Densidad : 1.14 g/cm<sup>3</sup>

Peso/cartucho : 178.57 gr

Este explosivo se usará en el arranque, primera y segunda ayuda, cuadradores, ayuda de corona y arrastre, en total 32 taladros

**Cálculo de cantidad de explosivo por disparo:**

**Ecuación 14. Factor de carga lineal**

$$dc = \frac{(SG \text{ explosivo})(D \text{ taladro})^2(\pi)}{4000}$$

Donde:

DC : Factor de carga lineal (Kg/m)

SGexplosivo : Densidad del explosivo (g/cm<sup>3</sup>)

Dtaladro : Diámetro del taladro (mm)

$$dc = \frac{(\text{densidad del explosivo})(\text{diámetro del explosivo})^2(\pi)}{4000}$$

$$dc = \frac{(\text{densidad del explosivo})(\text{diámetro del explosivo})^2(\pi)}{4000}$$

- **Para la emulsión 1000**

$$dc = \frac{(1.13 \text{ g/cm}^3)(31.75\text{mm})^2(3.1416)}{4000}$$

$$dc = 0.895 \text{ Kg/m}$$

- **Para la emulsión 3000**

$$dc = \frac{(1.14 \text{ g/cm}^3)(31.75\text{mm})^2(3.1416)}{4000}$$

$$dc = 0.90 \text{ Kg/m}$$

**Volumen total volado:**

**Ecuación 15. Volumen volado**

$$\text{Vol. volado} = \text{Sección labor} * \text{Avance} * \text{Eficiencia de perforación}$$

$$\text{Vol. volado} = 15.57 * 3.353 * 90\% * 90\%$$

$$\text{Vol. volado} = 42.29 \text{ m}^3/\text{disparo}$$

**Toneladas voladas por disparo:**

**Ecuación 16. Tonelaje volado**

$$\text{Ton. voladas} = \text{Vol. volado} * \text{Peso específico del mineral}$$

$$\text{Ton. voladas} = 42.29 \text{ m}^3/\text{disparo} * 2.8 \text{ Tn/m}^3$$

$$\text{Ton. voladas} = 118.41 \text{ Tn}/\text{disparo}$$

**Distribución de explosivos por taladro:**

Cálculo de carga de explosivo por cada taladro para Emulsión

**Ecuación 17. Carga explosiva por taladro**

$$q. \text{ prom. Emulsión} = dc * \text{Longitud De Taladro Neto}$$

- **Para la emulsión 1000**

$$q. \text{ prom. Emulsión 1000} = 0.895 \text{ Kg/m} * 3.353 \text{ m} * 90\%$$

$$q. \text{ prom. Emulsión 1000} = 2.70 \text{ Kg}/\text{taladro}$$

- **Para la emulsión 3000**

$$q. \text{ prom. Emulsión 3000} = 0.90 \text{ Kg/m} * 3.353 \text{ m} * 90\%$$

$$q. \text{ prom. Emulsión } 3000 = 2.72 \text{ Kg/taladro}$$

**Número de cartuchos por taladro:**

**Ecuación 18. Número de cartuchos por taladro**

$$N^{\circ} \text{ cartuchos/taladro} = \frac{q.\text{prom.emulsion}}{\text{peso del cartucho}} * 1000(\text{cartuchos/taladro})$$

- **Para la emulsión 1000**

$$N^{\circ} \text{ cartuchos/taladro} = \frac{2.7 \text{ Kg/taladro}}{173.61 \text{ gr}} * 1000(\text{cartuchos/taladro})$$

$$N^{\circ} \text{ cartuchos/taladro} = 15.5 \sim \mathbf{15} \text{ Cartuchos/taladro}$$

Consideramos el valor entero 15 para no aumentar carga en los hastiales ni corona y tener así un mejor control de sobre rotura

- **Para la emulsión 3000**

$$N^{\circ} \text{ cartuchos/taladro} = \frac{2.72 \text{ Kg/taladro}}{178.57 \text{ gr}} * 1000(\text{cartuchos/taladro})$$

$$N^{\circ} \text{ cartuchos/taladro} = 15.23 \sim \mathbf{15} \text{ Cartuchos/taladro}$$

**Número de cartuchos por frente:**

**Ecuación 19. Número de cartuchos por frente de trabajo**

$$N^{\circ} \text{ cartuchos/frente} = N^{\circ} \text{ cartuchos/taladro} * N^{\circ} \text{ taladros}$$

- **Para emulsión 1000**

$$N^{\circ} \text{ cartuchos/frente} = 15 \text{ cartuchos/taladro} * 11 \text{ taladros}$$

$$N^{\circ} \text{ cartuchos/frente} = 165 \text{ cartuchos/frente}$$

- **Para emulsión 3000**

$$N^{\circ} \text{ cartuchos/frente} = 15 \text{ cartuchos/taladro} * 32 \text{ taladros}$$

$$N^{\circ} \text{ cartuchos/frente} = 480 \text{ cartuchos/frente}$$

### Consumo de explosivos:

- **Emulsión 1000**

Caja Emulsión 1000	= 144 cartuchos/caja
Peso Neto	= 25 Kg
Peso Bruto	= 26.9 Kg
Material	= Caja de cartón

- **Emulsión 3000**

Caja Emulsión 3000	= 140 cartuchos/caja
Peso Neto	= 25 Kg
Peso Bruto	= 26.9 Kg
Material	= Caja de cartón

### Número de cajas por disparo

#### Ecuación 20. Número de cajas de explosivo por disparo

$$N^{\circ} \text{ cajas/disparo} = \frac{N^{\circ} \text{ cartuchos/Disparo}}{N^{\circ} \text{ cartuchos/caja}}$$

- **Emulsión 1000**

$$N^{\circ} \text{ cajas/disparo} = \frac{165 \text{ cartuchos/Disparo}}{144 \text{ cartuchos/caja}}$$

$$N^{\circ} \text{ cajas/disparo} = 1.15 \text{ cajas/disparo}$$

- **Emulsión 3000**

$$N^{\circ} \text{ cajas/disparo} = \frac{480 \text{ cartuchos/Disparo}}{140 \text{ cartuchos/caja}}$$

$$N^{\circ} \text{ cajas/disparo} = 3.42 \text{ cajas/disparo}$$



**Resultado del esquema carguío y factor de carga:**

**Tabla 9**

*Esquema de carguío para baypass 8826*

Esquema de carguio del baypass 8826							
Tipo	N° fanel	N° Taladros	Emulnor 3000 (und.)	Emulnor 1000 (und.)	Peso de emulnor 3000 (kg)	Peso de emulnor 1000 (kg)	Explosivo total (kg)
Arranque	1,2,3	5	75		13.39	0	13.39
1ra ayuda y 2da ayuda	5,7,9,10	8	120		21.43	0	21.43
cuadradores	11 y12	8	120		21.43	0	21.43
Hastiales	13	4		60	0.00	10.42	10.42
Ayuda corona	14	2	30		5.36	0.00	5.36
Corona	15	7		105	0.00	18.23	18.23
Ayuda arrastre	12	4	60		10.71	0	10.71
Arrastre	16	5	75		13.39	0	13.39
<b>Total:</b>		43	480	165	85.71	28.65	114.36

**Ecuación 21 . Factor de carga**

$$F_C = \frac{P_{ex}}{V_{vol}}$$

Donde:

$P_{ex}$  : peso del explosivo total (Kg)

$V_{roto}$  : Volumen volado (m3)

$$F_C = \frac{114.36}{42.29} = 2.70 \frac{kg}{m^3}$$

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

### 4.1. Datos de diseño antes y después

Estos son los parámetros de diseño iniciales antes de la optimización de la malla de perforación. La mina tiene un ancho y una altura de labor de 4 metros cada uno. La longitud de la barra de perforación es de 3.66 metros. Se han cargado 35 taladros de perforación y se han utilizado 3 taladros de alivio. Estos datos iniciales servirán como punto de partida para evaluar la eficiencia y la efectividad de la perforación y voladura en términos de control de sobrerotura.

Datos de diseño de taladros anteriores a la optimización

**Tabla 10**

*Datos de diseño antes de optimizar*

Datos	
Ancho de labor (m)	4
Altura de labor (m)	4
Barra de perforación (m)	3.66
Taladros cargados (und)	35
Taladros de alivio (und)	3

Estos datos representan los parámetros de diseño después de la optimización de la malla de perforación. Algunos cambios clave incluyen una disminución en la longitud de la barra de perforación a 3.35 metros, un aumento en el número de taladros cargados a 43 y un aumento significativo en el número de taladros de alivio a 7. Estos cambios sugieren que se han realizado ajustes en la distribución de los taladros y la estrategia de perforación para mejorar el control de la sobrerotura y optimizar la eficiencia de la voladura.

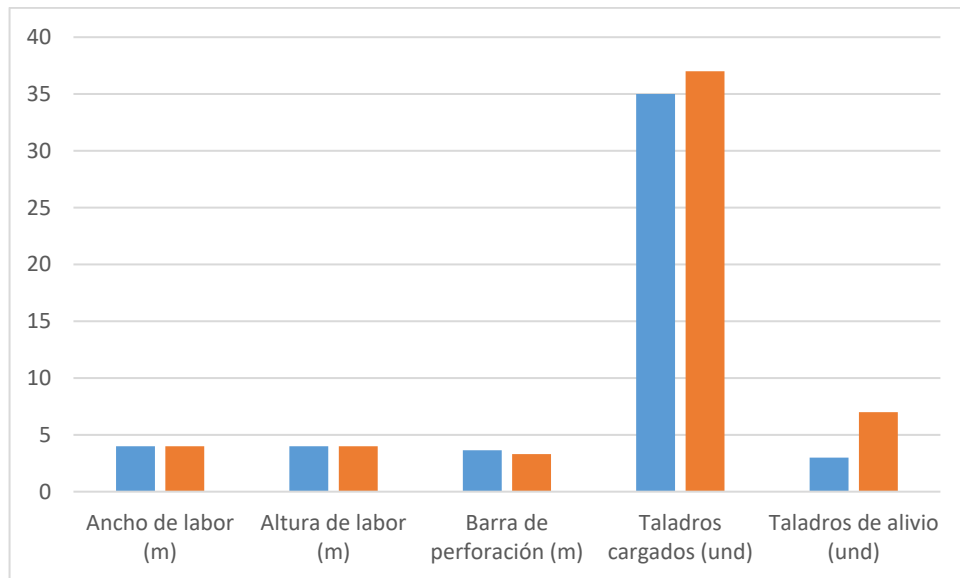
**Tabla 11**

*Datos de diseño de taladros posteriores a la optimización*

Datos	
Ancho de labor (m)	4
Altura de labor (m)	4
Barra de perforación (m)	3.35
Taladros cargados (und)	43
Taladros de alivio (und)	7

**Figura 7**

*Comparativo de antes y después de datos de perforación*



En resumen, los datos posteriores a la optimización muestran que se han tomado medidas para ajustar la malla de perforación con el objetivo de abordar de manera más efectiva el control de la sobrerotura, lo que podría conducir a una operación minera más segura y eficiente en la Unidad Minera Lincuna.

#### 4.2. Datos de eficiencias de perforación y voladura

Antes de la optimización, la eficiencia de perforación se encuentra en un nivel del 85%, lo que significa que, de manera general, el 85% de los taladros de perforación

alcanzan la profundidad prevista o el objetivo deseado. Por otro lado, la eficiencia de voladura es bastante alta, con un 95%, lo que sugiere que la explosión de los taladros perforados produce una fragmentación efectiva de la roca.

Después de la optimización, se ha observado una mejora en ambas eficiencias. La eficiencia de perforación ha aumentado al 90%, lo que indica que se ha logrado una perforación más precisa y eficiente en comparación con el estado anterior. Esto puede significar que una mayor proporción de taladros alcanza su profundidad objetivo.

Simultáneamente, la eficiencia de voladura se ha mantenido alta con un 90%, lo que sugiere que, aunque se realizaron ajustes en la perforación, la capacidad para fragmentar la roca sigue siendo alta y constante.

### **Tabla 12**

#### *Datos de eficiencias de perforación y voladura*

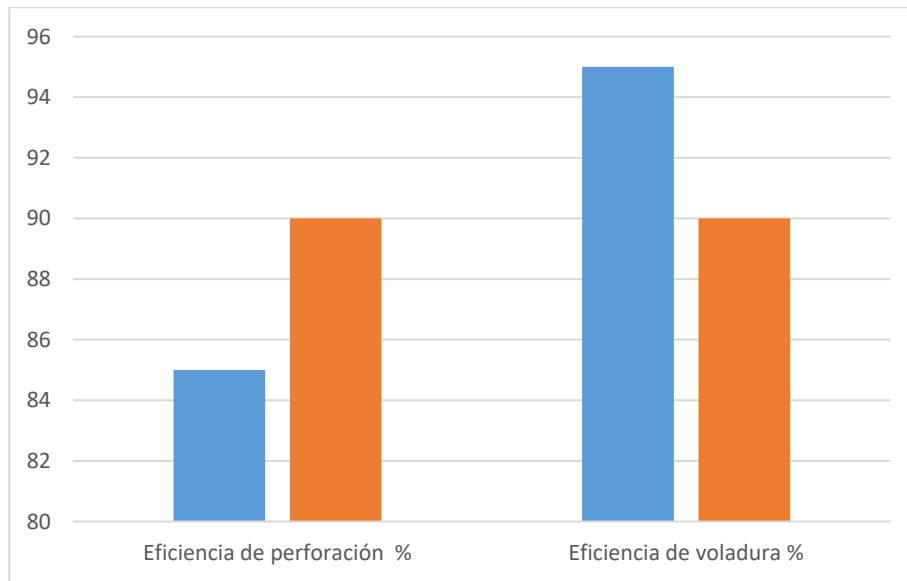
---

Eficiencias de perforación y voladura antes de la optimización	
Eficiencia de perforación %	85
Eficiencia de voladura %	95
Eficiencias de perforación y voladura después de la optimización	
Eficiencia de perforación %	90
Eficiencia de voladura %	90

---

**Figura 8**

*Comparativo de eficiencias de perforación y voladura*



En conjunto, estos datos indican que la optimización ha tenido un impacto positivo en la perforación, mejorando la precisión y la eficiencia de este proceso. Esto podría traducirse en un mejor control de la sobrerotura y, en general, en una operación minera más eficiente y segura en la Unidad Minera Lincuna.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

Conclusión 1. La mejora de la eficiencia de perforación y voladura, con un aumento de la eficiencia de perforación del 85% al 90%, y el mantenimiento de una alta eficiencia de voladura del 90%, indica una optimización exitosa en la Unidad Minera Lincuna. Esto se traducirá en operaciones más eficientes y, potencialmente, en una mayor producción en el BYPAS 8826 en 2023.

Conclusión 2. La optimización de la malla de perforación y voladura está dirigida a controlar la sobrerotura. Esto se ha logrado mediante ajustes que incluyen un aumento en el número de taladros cargados y de alivio, así como una reducción en la longitud de la barra de perforación de 12 pies a 11 pies. Estos cambios indican un diseño más eficiente que puede resultar en una mejor manipulación de la roca excavada.

Conclusión 3. La recopilación de datos y el seguimiento del rendimiento son prácticas esenciales para garantizar que las mejoras implementadas sean efectivas y sostenibles. Mantener un registro continuo de los datos de eficiencia de perforación y voladura permitirá una evaluación constante del desempeño y facilitará ajustes adicionales si es necesario para mantener y mejorar los beneficios alcanzados con la optimización.

## 5.2. Recomendaciones

Recomendación 1. Implementar un programa de formación continua para el personal de perforación y voladura, asegurando que estén al tanto de las últimas técnicas y tecnologías en el campo, lo que contribuirá a mantener y mejorar la eficiencia operativa.

Recomendación 2. Considerar la posibilidad de realizar análisis de elementos finitos o modelado geotécnico avanzado para simular el comportamiento de la roca durante la voladura, lo que ayudará a perfeccionar aún más el diseño de la malla y a tener una tendencia en la mejora a la sobrerotura.

Recomendación 3. Implementar un sistema de gestión de datos en la nube que permita el acceso y la colaboración en tiempo real para todos los equipos y departamentos relevantes, facilitando la toma de decisiones basada en datos y la rápida implementación de mejoras.

## REFERENCIAS

- ARCOS, V. D. (Junio de 2007). Perforación En Minería Subterránea, 2007. Obtenido de [http://geco.mineroartesanal.com/tiki-download\\_wiki\\_attachment.php?attId=1198](http://geco.mineroartesanal.com/tiki-download_wiki_attachment.php?attId=1198)
- CHIPANA, T. R. (2015). *Diseño de Perforación y Voladura para Reducción de Costos en el Frente de la Galería Progreso de la Contrata Minera Cavilquis-Corporación Minera Ananea S.A* 2015. Obtenido de [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1937/Chipana\\_Tito\\_Rudy\\_Milton.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1937/Chipana_Tito_Rudy_Milton.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- De La Cruz, A. E. (2014). “*Optimización Económica Aplicando El Método De Explotación Long Wall Mining Frente Al Método Corte Y Relleno Ascendente En Cia. Minera Poderosa S.A., Unidad Santa María*”. Obtenido de <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3178#:~:text=Minera%20Poderosa%20S.A.%2C%20unidad%20Santa%20Mar%C3%ADa%20Otuvo%20como,San%20Vicente%2C%20Mina%20Santa%20Mar%C3%ADa%20de%20la%20C%3%ADa>.
- Enami. (2017). *Perforación y Tronadura*. Santiago de Chile: Enami.
- EXSA. (2017). *Manual Práctico De Voladura*. Lima: Ed.Especial.
- Garrido, A. A. (2007). *Diagnóstico y Optimización de Disparos en Desarrollo horizontal Mina el Teniente*. Santiago de Chile: UC.
- Minería, S. Y. (22 de Noviembre de 2018). *revistaseguridadminera*. Obtenido de <http://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/puntos-incluir-plan-minado/>
- Pacahuala, A. M. (2015). *Reducción de costos operativos en desarrollos mediante actualización de estándares en perforación y voladura, caso de la empresa especializada mincotrall s.r.l*. Huancayo: UNCP.



- Quispe, L. B., & Chauca, P. R. (2021). *“Estandarización De La Malla De Perforación Y Voladura, Y Analisis Económico En El Avance De La Galeria De La Veta Guadalupe - U.P. Santa Maria - Compañía Minera Poderosa - Pataz - 2016”*. Obtenido de [https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/1003/T\\_0640.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/1003/T_0640.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Yepes, P. V. (16 de Febrero de 2023). Tipos de perforación rotopercutiva con martillos hidráulicos. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2023/02/16/tipos-de-perforacion-rotopercutiva-con-martillos-hidraulicos/>
- Zapata, D. M. (2002). *Control de Costos de una Operación Minera mediante el Método del Resultado Operativo*. Lima: UNMSM.

## ANEXOS

**Figura 9**

*Marcado de dirección y gradiente de la labor con cordel*



**Figura 10**

*Distribución de taladros en el frente BP 8826*



**Figura 11**

*Inspección de barretillas con cinta del mes*


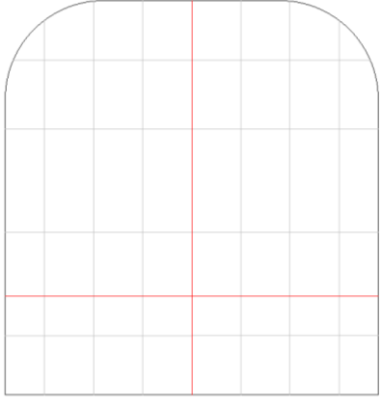


**Figura 12**

*Campaña de desate del BP 8826*



**Figura 13**  
*Formato de verificación del cumplimiento de la malla implementa*

		<b>FORMATO DE VERIFICACIÓN EN LABORES DE AVANCE</b>																																																																																																																																	
CUMPLIMIENTO DE CONTROLES EN PERFORACIÓN																																																																																																																																			
<b>Unidad:</b>	<b>Área:</b>	<b>Nivel:</b>	<b>Fecha:</b>	<b>H. Inicio:</b>																																																																																																																															
<b>Labor:</b>	<b>Empresa:</b>	<b>Turno:</b>	<b>H. Final:</b>	<b>Zona:</b>																																																																																																																															
<b>Operador:</b>	<b>Jefe de guardia:</b>																																																																																																																																		
<b>Guardia:</b>																																																																																																																																			
FACTORES DIRECTOS	ÍTEMS A EVALUAR					SI	NO	OBSERVACIÓN																																																																																																																											
Tipo de roca	¿Terreno presenta fallas y geodas?																																																																																																																																		
	¿Presencia de agua dinámica?																																																																																																																																		
	¿Cambio de litología durante la perforación?																																																																																																																																		
Diseño de malla	¿Cuenta con cartillas de P&V?																																																																																																																																		
	¿Consulta e interpreta las cartillas de P&V?																																																																																																																																		
	¿El diseño contempla el tipo de roca?																																																																																																																																		
Calidad de Perforación	¿Tiene los materiales adecuados para realizar el trabajo?																																																																																																																																		
	¿Labor cuenta con puntos de dirección y gradiente?																																																																																																																																		
	¿Realiza el correcto pintado y cuadrículado?																																																																																																																																		
	¿Realiza el marcado del arranque con la plantilla de acuerdo al estándar?																																																																																																																																		
	¿Controla la simetría en la perforación?																																																																																																																																		
	¿Controla el paralelismo entre taladros? (Uso de guíadores)																																																																																																																																		
	¿Entuba los taladros perforados?																																																																																																																																		
	¿Cumple con el número de taladros según diseño de malla?																																																																																																																																		
	¿Numero de taladros ejecutados en campo?																																																																																																																																		
	¿Cumple con la longitud de perforación?																																																																																																																																		
	¿Comunicación en taladros del arranque?																																																																																																																																		
	¿Se realizan taladros de alivio en contorno?																																																																																																																																		
	¿Se cumple con número de taladros rimados en el arranque?																																																																																																																																		
¿Los pines y bocinas se encuentran en buen estado?																																																																																																																																			
¿Los aceros de perforación se encuentran en buen estado?																																																																																																																																			
¿El sistema de paralelismo automático funciona adecuadamente?																																																																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">TIPO DE LABOR</th> <th colspan="3">INDICADORES PROACTIVOS</th> <th colspan="3">RESULTADOS</th> <th colspan="3">TIPO DE ROCA</th> </tr> <tr> <th colspan="3">SECCIÓN</th> <th colspan="3"></th> <th colspan="3"></th> <th colspan="3">RMR</th> </tr> <tr> <th colspan="3">RMR</th> <th colspan="3"></th> <th colspan="3"></th> <th colspan="3"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Long. De Perf. Prog.</td> <td>Long. De Perf. Real</td> <td>% CUMPLIMIENTO</td> <td># Taladros Diseño</td> <td># Taladros Real</td> <td>% CUMPLIMIENTO</td> <td>Ancho Prog.</td> <td>Ancho Real</td> <td>% SOBRE DIMENSIÓN</td> <td>I</td> <td>MUY BUENA</td> <td>81 - 100</td> </tr> <tr> <td># Taladros Alivio Diseño</td> <td># Taladros Alivio Real</td> <td>% CUMPLIMIENTO</td> <td>Burden Diseño</td> <td>Burden Real</td> <td>% CUMPLIMIENTO</td> <td>Altura Prog.</td> <td>Altura Real</td> <td>% SOBRE DIMENSIÓN</td> <td>II</td> <td>BUENA</td> <td>61 - 80</td> </tr> <tr> <td>Espaciam. Arranque Diseño</td> <td>Espaciam. Arranque Real</td> <td>% CUMPLIMIENTO</td> <td># Taladros Rimados Diseño</td> <td># Taladros Rimados Real</td> <td>% CUMPLIMIENTO</td> <td>Avance Prog.</td> <td>Avance Real</td> <td>% CUMPLIMIENTO</td> <td>III - A</td> <td>REGULAR A</td> <td>51 - 60</td> </tr> <tr> <td>Ancho a marcar Diseño</td> <td>Ancho Marcado Real</td> <td>% CUMPLIMIENTO</td> <td>Altura a marcar Diseño</td> <td>Altura Marcada Real</td> <td>% CUMPLIMIENTO</td> <td>Long. De Perf. Real</td> <td>Avance Real</td> <td>LONGITUD DE TACOS</td> <td>III - B</td> <td>REGULAR B</td> <td>41 - 50</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>IV - A</td> <td>MALA A</td> <td>31 - 40</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>IV - B</td> <td>MALA B</td> <td>21 - 30</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>V</td> <td>MUY MALA</td> <td>0 - 20</td> </tr> </tbody> </table>												TIPO DE LABOR			INDICADORES PROACTIVOS			RESULTADOS			TIPO DE ROCA			SECCIÓN									RMR			RMR												Long. De Perf. Prog.	Long. De Perf. Real	% CUMPLIMIENTO	# Taladros Diseño	# Taladros Real	% CUMPLIMIENTO	Ancho Prog.	Ancho Real	% SOBRE DIMENSIÓN	I	MUY BUENA	81 - 100	# Taladros Alivio Diseño	# Taladros Alivio Real	% CUMPLIMIENTO	Burden Diseño	Burden Real	% CUMPLIMIENTO	Altura Prog.	Altura Real	% SOBRE DIMENSIÓN	II	BUENA	61 - 80	Espaciam. Arranque Diseño	Espaciam. Arranque Real	% CUMPLIMIENTO	# Taladros Rimados Diseño	# Taladros Rimados Real	% CUMPLIMIENTO	Avance Prog.	Avance Real	% CUMPLIMIENTO	III - A	REGULAR A	51 - 60	Ancho a marcar Diseño	Ancho Marcado Real	% CUMPLIMIENTO	Altura a marcar Diseño	Altura Marcada Real	% CUMPLIMIENTO	Long. De Perf. Real	Avance Real	LONGITUD DE TACOS	III - B	REGULAR B	41 - 50										IV - A	MALA A	31 - 40										IV - B	MALA B	21 - 30										V	MUY MALA	0 - 20
TIPO DE LABOR			INDICADORES PROACTIVOS			RESULTADOS			TIPO DE ROCA																																																																																																																										
SECCIÓN									RMR																																																																																																																										
RMR																																																																																																																																			
Long. De Perf. Prog.	Long. De Perf. Real	% CUMPLIMIENTO	# Taladros Diseño	# Taladros Real	% CUMPLIMIENTO	Ancho Prog.	Ancho Real	% SOBRE DIMENSIÓN	I	MUY BUENA	81 - 100																																																																																																																								
# Taladros Alivio Diseño	# Taladros Alivio Real	% CUMPLIMIENTO	Burden Diseño	Burden Real	% CUMPLIMIENTO	Altura Prog.	Altura Real	% SOBRE DIMENSIÓN	II	BUENA	61 - 80																																																																																																																								
Espaciam. Arranque Diseño	Espaciam. Arranque Real	% CUMPLIMIENTO	# Taladros Rimados Diseño	# Taladros Rimados Real	% CUMPLIMIENTO	Avance Prog.	Avance Real	% CUMPLIMIENTO	III - A	REGULAR A	51 - 60																																																																																																																								
Ancho a marcar Diseño	Ancho Marcado Real	% CUMPLIMIENTO	Altura a marcar Diseño	Altura Marcada Real	% CUMPLIMIENTO	Long. De Perf. Real	Avance Real	LONGITUD DE TACOS	III - B	REGULAR B	41 - 50																																																																																																																								
									IV - A	MALA A	31 - 40																																																																																																																								
									IV - B	MALA B	21 - 30																																																																																																																								
									V	MUY MALA	0 - 20																																																																																																																								
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																																																																																																			
Supervisor P&V																																																																																																																																			

**Figura 14**

*Constancia de capacitación en manipulación de explosivos y materiales relacionados por Famesa*

**FAMESA**

Abrimos paso al progreso


**CONSTANCIA DE CAPACITACIÓN EN MANIPULACIÓN DE EXPLOSIVOS**

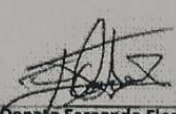
N° REGISTRO: 0002545

Por la presente constancia se acredita que, **BALLENA PAREDES JEAN MARCO** identificado(a) con D.N.I. 75375137, ha participado satisfactoriamente en el curso de capacitación "**Manipulación de Explosivos y Materiales Relacionados**", realizado el día 2 de Marzo del 2023.

Se expide el presente documento a solicitud del interesado y para los fines que le sean convenientes.

Puente Piedra, 2 de Marzo del 2023

  
**Benjamín Huamán U.**  
Gerente Técnico

  
**Donato Fernando Flores Rojas**  
Jefe de Asistencia Técnica  
Famesa Explosivos S.A.C.

[www.famesaexplosivos.com](http://www.famesaexplosivos.com)      [famventas@famesa.com.pe](mailto:famventas@famesa.com.pe)      [export@famesa.com.pe](mailto:export@famesa.com.pe)

Oficina Famesa	Planta Puente Piedra	Planta Chancay	Planta La Joya
Tel: +51 (01) 613 - 9800 Av. Circunvalación del Club Golf Los Incas No. 206-208, Torre III, 4to piso Santiago de Surco Lima - Perú	Tel: +51 (01) 613 - 9800 Carretera Autopista Ancón Km 28, Distrito de Puente Piedra Lima - Perú	Tel: +51 (01) 613 - 9800 Km 57 Panamericana Norte, Distrito de Charicay, Lima - Perú.	Tel: +51 (01) 613 - 9800 Panamericana Sur KM. 981 Z.I. Sector La Cano San José, Cerro Calzón Colorado, La Joya - Arequipa