

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Aplicación de tubería hermética con anfo en taladros  
de arrastre para reducción de costos en voladura y  
optimización de tiempos de carguío en minería  
subterránea**

Jorch Anthony Castro Flores

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **ASESOR**

Ing. Benjamín Ramos Aranda

## **AGRADECIMIENTO**

De mi especial consideración a mi madre Nancy Flores por apoyarme desde que empecé a estudiar esta hermosa carrera de Ingeniería de Minas.

También agradecer a todos los docentes que en cada clase universitaria dejaron en mí grandes lecciones, así como de especial consideración a mi asesor Ing. Benjamín Ramos Aranda por ser el guía para que esta presente tesis sea concluida con satisfacción.

El autor

## **DEDICATORIA**

La presente tesis está dedicado a mis padres Nancy Flores, Fidel Castro y a mi hermana Sthefany que en cada palabra de aliento y motivación me ayudaron a seguir adelante pese a muchas circunstancias que me tocó vivir laboralmente.

Asimismo, a todos los ingenieros de distintas unidades mineras donde labore, pues fueron inspiración para crecer profesionalmente.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ASESOR .....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE TABLAS .....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
RESUMEN .....	XI
ABSTRACT .....	XII
INTRODUCCIÓN .....	XIII
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	14
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	14
1.1.1. Planteamiento del problema .....	14
1.1.2. Formulación del problema .....	15
Problema general .....	15
Problemas específicos .....	15
1.2. Objetivos.....	15
1.2.1. Objetivos generales .....	15
1.2.2. Objetivos específicos.....	16
1.3. Justificación e importancia .....	16
1.3.1. Justificación social .....	17
1.3.2. Justificación académica .....	17
1.3.3. Justificación económica .....	17
1.4. Hipótesis de la investigación.....	18
1.4.1. Hipótesis General. ....	18
1.4.2. Hipótesis específicas .....	18
1.5. Identificación de variables .....	18
1.5.1. Variables independientes .....	18
1.5.2. Variables dependientes .....	18
1.5.3. Operacionalización de variables.....	18
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	20

2.1. Antecedentes del problema.....	20
2.2. Generalidades de la unidad minera.....	21
2.2.1. Ubicación.....	21
2.2.2. Accesibilidad .....	21
2.2.3. Geología.....	22
2.2.4. Método de explotación .....	25
2.3. Bases teóricas.....	28
2.3.1. Parámetros del explosivo .....	28
2.3.2. Condiciones de la carga .....	30
2.3.3. Tipo de explosivo .....	30
2.3.5. Factor de carga .....	31
2.3.6. Eficiencia de avance.....	32
2.3.8. Tipo de roca .....	32
2.3.9. Evaluación de la voladura: .....	33
2.3.10. Distribución y denominación de taladros en voladuras subterráneas.....	33
2.4. Definición de términos básicos.....	34
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	36
3.1. Métodos y alcance de la investigación .....	36
3.2. Diseño de la investigación.....	36
3.3. Población y muestra .....	36
3.4. Técnicas e instrumentación de recolección de datos .....	37
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1. Resultados de la aplicación de tubería hermética con Anfo en taladros de arrastre y análisis de la información.....	38
4.1.1. Hallazgos preliminares .....	38
4.1.2. Presentación de resultados .....	40
4.1.2.1. Rampa negativa 446 NV 3450 .....	40
4.1.2.2. Crucero 406 NV 3550.....	46
4.2. Análisis comparativos de costos aplicando la tubería hermética.....	52
4.3. Presentación de cuadros comparativos.....	53
4.3.1. Cuadro de costos de Insumos .....	53
4.3.2. Cuadro comparativo de costos por demostraciones realizadas .....	54

4.3.4. Cuadro comparativo de carguío de explosivos en taladros de arrastre.....	57
4.4. Discusión de resultados .....	58
CONCLUSIONES.....	60
RECOMENDACIONES .....	62
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	63
ANEXOS .....	64



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UTM de la unidad minera El Porvenir .....	21
Tabla 2. Cuadro comparativo sobre especificaciones técnicas de explosivos .....	31
Tabla 3. Datos antes de 1era. voladura – Rp 446 Nv 3450.....	40
Tabla 4. Resultados de 1era. voladura – Rp 446 Nv 3450.....	41
Tabla 5. Datos antes de 2da. voladura – Rp 446 Nv 3450.....	42
Tabla 6. Resultados de 2da. voladura – Rp 446 Nv 3450 .....	43
Tabla 7. Datos antes de 3ra. voladura – Rp 446 Nv 3450.....	44
Tabla 8. Resultados de 3ra. voladura – Rp 446 Nv 3450.....	45
Tabla 9. Datos antes de 1ra. voladura – CX 406 Nv 3550 .....	46
Tabla 10. Resultados de 1ra. voladura – Cx 406 Nv 3550 .....	47
Tabla 11. Datos antes de 2da. voladura – CX 406 Nv 3550 .....	48
Tabla 12. Resultados de 2da. voladura – Cx 406 Nv 3550 .....	49
Tabla 13. Datos antes de 3era. voladura – CX 406 Nv 3550 .....	50
Tabla 14. Resultados de 3ra. voladura – Cx 406 Nv 3550 .....	51
Tabla 15. Cuadro de costos de explosivos y accesorios.....	53
Tabla 16. Cuadro comparativo emulsión + PVC vs Anfo + tubería hermética.....	54
Tabla 17. Escenarios de ahorros por día, semana, mes y año .....	55
Tabla 18. Cuadro comparativo de tiempos de carguío de explosivos en taladros de arrastre .....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación y accesibilidad .....	22
Figura 2. Sección transversal EO.....	23
Figura 3. Cuerpos tabulares verticales con partes explotadas y reservas de mineral.....	25
Figura 4. Vista longitudinal del método sublevel stoping Milpo El Porvenir .....	27
Figura 5. Vista de las tuberías PVC que se usan en los frentes.....	39
Figura 6. Vista de un extremo de la tubería hermética.....	40
Figura 7. Vista de la rampa 446, con las tuberías instaladas en los arrastres y el hastial derecho .....	41
Figura 8. Vista de la rampa 446 después de la voladura .....	42
Figura 9. Vista de la rampa 446, instalación de 4 tuberías en los taladros de arrastre .....	42
Figura 10. Vista de la rampa 446, después de la voladura. ....	44
Figura 11. Vista de la rampa 446, instalación de 5 tuberías en los taladros de arrastre y 2 en las ayudas de los arrastres.....	46
Figura 12. Vista de la rampa 446, después de la voladura .....	46
Figura 13. Vista del crucero 406, instalación de 5 tuberías en los taladros de arrastre .....	46
Figura 14. Vista del crucero 406, después de la voladura.....	46
Figura 15. Vista del crucero 406, instalación de 5 tuberías en los taladros de arrastre .....	46
Figura 16. Vista del crucero 406, después de la voladura .....	50
Figura 17. Vista del crucero 406, instalación de 5 tuberías en los taladros de arrastre .....	56
Figura 18. Vista del crucero 406, después de la voladura.....	56
Figura 19. Ahorros proyectados mensual y anual .....	56
Figura 20. Cavidad dejada por el método de taladros largos .....	65
Figura 21. Malla de perforación y voladura 4m x 4m.....	66
Figura 22. Explosivos usados – emulsión y ANFO.....	67
Figura 23. Carguío de tuberías herméticas .....	68



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad dar a conocer la importancia de la mejora continua en la actividad de perforación y voladura y así conseguir mejores prácticas de operaciones subterráneas en el ámbito minero.

En esta tesis se tiene el propósito de demostrar que la tubería hermética permite usar Anfo en lugar de emulsiones en los taladros de arrastre confinándolos hasta el fondo del taladro. Este método puede ser usado en cualquier tipo de terreno aun con presencia de agua; asimismo demostrar que la tubería puede introducirse hasta el fondo del taladro aun trabajando con brocas afiladas, garantizando que puede aprovecharse el total del taladro perforado. Para evidenciar lo expuesto anteriormente se realizó demostraciones en 4 minas distintas, para el fin de esta tesis se tomó 1 mina en la cual se realizaron 20 demostraciones tanto en labores horizontales como en rampas tanto negativo como positivo.

Los resultados finales evidencian que es posible una reducción de costos en voladura por el cambio de explosivos en los taladros de arrastre, es decir, la diferencia entre el uso de emulsión vs Anfo son moderados, pues se obtendrían ahorros aproximados de \$5,305.88 mensuales y de \$63,666.00 anuales, en el cual ya está considerado el P.U. de la tubería hermética; y esto a su vez representa un 21.5 % de ahorro de costos en promedio de los insumos, así como la optimización de tiempos de carguío de explosivos en un 30 % menos del tiempo habitual de carguío. Entre otras mejoras se pudo evidenciar también la mejora en los avances de los frentes, pisos parejos sin necesidad de retrabajos y evitando retraso en producción.

## **ABSTRACT**

The present research work aims to raise awareness of the importance of continuous improvement in drilling and blasting activity and thus achieve better practices of underground operations in the mining field.

The purpose of this thesis is to demonstrate that the hermetic pipe allows the use of Anfo instead of emulsions in the bottom holes confining them to the bottom of the hole. This method can be used in any type of terrain even in the presence of water; also to demonstrate that the pipe can be introduced to the bottom of the hole even when working with sharp bits, guaranteeing that the whole of the drilled hole can be used. In order to prove the above, demonstrations were carried out in 4 different mines. For the purpose of this thesis, 1 mine was taken in which 20 demonstrations were carried out both in horizontal works and in negative and positive ramps.

The final results show that it is possible to reduce blasting costs by changing the explosives in the drills, that is, the difference between the use of Emulsion vs ANFO is moderate, because it would obtain approximate savings of \$5,305.88 USD per month and \$63,666.00 USD per year, in which the P.U. is already considered of the hermetic pipe; and this in turn represents a 21.5% cost saving in average of the inputs, as well as the optimization of loading times of explosives in 30% less than the usual time of loading, among other improvements it was also possible to see the improvement in the progress of the fronts, even floors without the need for rework and avoiding delays in production.

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis cuyo título es “Aplicación de tubería hermética con Anfo en taladros de arrastre para reducción de costos en voladura y optimización de tiempo de carguío en minería subterránea” surge ante la necesidad de la mejora continua en las operaciones mineras, pues es indudable que la minería entra en crisis o bonanza por dos grandes factores; en primer lugar, cuando baja o sube los precios de los metales, pues no se tiene un control sobre ellos ya que está regido por la oferta y la demanda y en segundo lugar, cuando se incrementa o se reduce en *opex* y *capex*.

Teniendo en cuenta el segundo punto es que surge innovaciones para mejorar las operaciones en la actividad minera y esta tesis es reflejo de una de tantas innovaciones en la operación perforación y voladura.

Este presente trabajo se desarrolla en cuatro capítulos: el capítulo I, presenta el problema, los objetivos, justificación del trabajo, así como su importancia y por último la hipótesis.

En el capítulo II, denominado marco teórico, se expone los antecedentes del trabajo, bases teóricas de la investigación y la operacionalización de las variables.

En el capítulo III se explica la metodología usada, así como las labores ideales de trabajo en interior mina.

El capítulo IV, muestra los resultados de las demostraciones realizadas. Finalmente, se evidencia las conclusiones y recomendaciones para las aplicaciones correctas.

# **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

## **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

### **1.1.1. Planteamiento del problema**

Las empresas mineras no tienen un control sobre los precios de los metales pues estos dependen de la oferta y demanda a nivel mundial, pero sí pueden controlar los costos en sus operaciones unitarias para tener mejores rentabilidades, por ello optimizar cada operación representa ganancias mayores de lo previsto.

Una de estas operaciones críticas en minería es la voladura de rocas cuya actividad prosigue a la perforación. Durante los últimos años se ha planteado muchas oportunidades de mejora para aumentar la eficiencia de voladura, como implementaciones de estándares para perforación y voladura, estandarización y optimización de mallas de perforación, diseños de mallas para los diferentes tipos de rocas, entre otros. Sin embargo, poca es la literatura actual en mejoras de accesorios de voladura como ya las muy conocidas tuberías de PVC, que en los taladros de arranque solo cumplen la función de guías para mantener el paralelismo y mantener el taladro abierto hasta su carguío y en taladros de arrastre cumplen la función de localizar los taladros para después descubrirlos o limpiar todo el detritus caído sobre ellos, así poder cargar los taladros con emulsiones.

Otro problema a considerar es el poco avance en terrenos fracturados, pues en estos espacios ocurre que después de la perforación los taladros tienden a taparse, ya que las paredes del taladro se desmoronan y perjudican al carguío por lo tanto si el taladro no es cargado hasta el fondo se tiene disparos con poco avance, tiros cortados o hasta a en ocasiones tiros sopladados a causa que las tuberías de PVC que usan para su revestimiento de estos taladros no ejercen un buen acoplamiento con las paredes del taladro.

Estos aspectos generan costos extras y tiempos adicionales en la operación de voladura y carguío respectivamente.

### **1.1.2. Formulación del problema**

#### **Problema general**

- ✓ ¿Cómo influye la aplicación de tubería hermética con Anfo en taladros de arrastre sobre la reducción de costos de voladura y optimización de tiempos de carguío en minería subterránea?

#### **Problemas específicos**

- ✓ ¿De qué manera influye la aplicación de tubería hermética con Anfo en los costos de voladura?
- ✓ ¿De qué manera influye la aplicación de tubería hermética con Anfo en los tiempos de carguío?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivos generales**

- ✓ Determinar si la aplicación de tubería hermética con Anfo en taladros de arrastre influye en la reducción de costos de voladura y optimización de tiempos de carguío en minería subterránea.



### **1.2.2. Objetivos específicos**

- ✓ Determinar la influencia de la aplicación de tubería hermética con Anfo sobre los costos de voladura.
- ✓ Determinar la influencia de la aplicación de tubería hermética con Anfo sobre los tiempos de carguío.

### **1.3. Justificación e importancia**

Actualmente se tiende a optimizar los costos en operaciones unitarias, pues en minería no existe la diferenciación en productos finales, ya que los precios de venta se rigen a nivel mundial por las bolsas de valores, en ese sentido la empresa minera que presenta menores costos de producción de metales es aquella que lidera el mercado.

Por lo mencionado anteriormente, un cambio de explosivos en los taladros de arrastre generará múltiples beneficios, resaltando el ahorro de costos en la voladura general, pues implementando tubería hermética ya no se requiere de emulsiones en los taladros de arrastre sino se requiere de Anfo; el cual tiene un precio menor al de las emulsiones; por otro lado, se mejora las eficiencias de avance por cada voladura pues se aprovechará al máximo toda la carga de Anfo confinada.

Además, mejora la eficiencia del equipo de carguío pues se mejora el desplazamiento y acumulación del material volado esto debido a que el Anfo remueve o empuja la roca en mayor proporción por los gases que genera respecto a la emulsión, por otra parte al tener un piso parejo la cuchara del *scooptram* sufre menos daño, pues no impacta fuertemente con roca intacta, facilita el tendido de rieles si se usa locomotoras; asimismo, facilita el drenaje de agua y finalmente, el uso de tubería hermética agiliza el carguío en los arrastres pues esta permanece intacta y lista para ser cargado sin necesidad de limpiar los detritus alrededor de ella o descubrirlas para cargar, cabe resaltar que la manguera o tubo de carga del *Anfo loader* entra sin problemas en la tubería hermética y el Anfo tiene un perfecto

confinamiento, esta maniobra es más rápida que introducir una por una las emulsiones.

### **1.3.1. Justificación social**

Contribuye una nueva forma de realizar voladuras subterráneas al sector minero, contribuyendo al ahorro de costos en operaciones y la mejora en productividad permitiendo el logro de objetivos corporativos.

### **1.3.2. Justificación académica**

Este trabajo aporta una solución práctica y abre una nueva manera de realizar voladuras justificado en una baja de costos, asimismo aporta nuevos conocimientos en lo académico para toda persona que pretenda realizar o realice su vida laboral en ámbito minero, logrando así una mejora continua en las operaciones mineras.

### **1.3.3. Justificación económica**

Actualmente se tiende a optimizar los costos en operaciones unitarias, pues en minería no existe la diferenciación en productos finales, ya que los precios de venta se rigen a nivel mundial por las bolsas de valores, en ese sentido la empresa minera que presenta menores costos de producción de metales es aquella que lidera el mercado.

Para lograr lo expuesto anteriormente se recurre a estrategias corporativas, esta investigación presenta dos estrategias importantes como son; estrategias de liderazgo en costos pues se pretende lograr máxima productividad y la estrategia en innovación, pues en la presente tesis se presenta una innovación tecnológica el cual aporta al sector minero. Ambas estrategias repercuten positivamente en lo económico para las empresas pues se evidencia reducción de costos.

## **1.4. Hipótesis de la investigación**

### **1.4.1. Hipótesis General.**

- ✓ La aplicación de tubería hermética con Anfo en taladros de arrastre influye positivamente sobre la reducción de costos de voladura y optimización de tiempos de carguío en minería subterránea.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- ✓ La aplicación de tubería hermética con Anfo permite una reducción en los costos de voladura.
  
- ✓ La aplicación de tubería hermética con Anfo influye positivamente sobre los tiempos de carguío.

## **1.5. Identificación de variables**

### **1.5.1. Variables independientes**

- ✓ Tubería hermética con Anfo

### **1.5.2. Variables dependientes**

- ✓ Costos de voladura (\$/kilo de explosivo)
- ✓ Tiempo de carguío (minutos)

### **1.5.3. Operacionalización de variables**

Matriz de consistencia			
Problema de investigación	Objetivo	Hipótesis general	Variables
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ¿Cómo influye la aplicación de tubería hermética con Anfo en taladros de arrastre sobre la reducción de costos de voladura y optimización de tiempos de carguío en minería subterránea?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Determinar si la aplicación de tubería hermética con Anfo en taladros de arrastre influye en la reducción de costos de voladura y optimización de tiempos de carguío en minería subterránea.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La aplicación de tubería hermética con Anfo en taladros de arrastre influye positivamente sobre la reducción de costos de voladura y optimización de tiempos de carguío en minería subterránea.</li> </ul>	<p>Variable independiente</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tubería hermética con Anfo</li> </ul>
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ¿De qué manera influye la aplicación de tubería hermética con Anfo en los costos de voladura?</li> <li>✓ ¿De qué manera influye la aplicación de tubería hermética con Anfo en los tiempos de carguío?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Determinar la influencia de la aplicación de tubería hermética con Anfo sobre los costos de voladura.</li> <li>✓ Determinar la influencia de la aplicación de tubería hermética con Anfo sobre los tiempos de carguío.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La aplicación de tubería hermética con Anfo permite una reducción en los costos de voladura.</li> <li>✓ La aplicación de tubería hermética con Anfo influye positivamente sobre los tiempos de carguío.</li> </ul>	<p>Variable dependiente</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Costos de voladura (\$/kilo de explosivo)</li> <li>✓ Tiempo de carguío (minutos)</li> </ul>

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes del problema**

- a) Exsa en el capítulo 6 de el “*Manual práctico de voladura*” - versión 4, que trata sobre perforación mencionan cuatro condiciones de perforación que se debe tomar en cuenta y una de ellas es la estabilidad en cual indica que lo taladros deben mantenerse limpios y abiertos hasta su uso; sin embargo, en terrenos fracturados o de roca mala, las paredes del taladro tienden a desmoronarse por los que es necesario protegerlos con tubos especiales para poder cargar y tener un máximo avance. (1)
- b) En el D.S. 024-2016-EM “*Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería*”, se menciona en el título cuarto “*Gestión de las operaciones mineras*”, capítulo VI de explosivos, subcapítulo V “*Agentes de voladura*”, artículo 291, parte 3 sobre el uso del Anfo menciona: “este agente de voladura puede ser usado si se encuentra envasado en cartuchos herméticos y estos deben ser de plásticos antiestáticos”. (2)
- c) Tesis de pregrado titulada “*Voladura de rocas con Anfo para optimizar avances en labores subterráneas de compañía minera Casapalca S. A.*”. El investigador llegó a las siguientes conclusiones:
- ✓ El Anfo presenta adecuada presión de detonación y presión de explosión, esas características hacen posible el uso del agente de voladura en todo tipo de terrenos.

- ✓ Con el uso de Anfo se optimizó los avances en la compañía minera Casapalca S. A. pues los resultados llegaron a una eficiencia de avance del 95 %.
  - ✓ El uso de Anfo presenta reducción en el costo global de voladura, esto influenciado por el correcto diseño de mallas y distribución del Anfo al momento del carguío. (3)
- d) Bernaola J., Castilla J. y Herrera H. en el libro titulado “*Perforación y voladura de rocas en minería*” mencionan las ventajas de la carga del explosivo a granel como es el Anfo en relación al uso de cartuchos, con la carga a granel se aprovecha más la energía del explosivo pues este tiene un acoplamiento del 100% en el barreno. (4)

## 2.2. Generalidades de la unidad minera

### 2.2.1. Ubicación

La mina El Porvenir, está ubicada geográficamente:

- ✓ Departamento: Cerro de Pasco,
- ✓ Provincia: Cerro de Pasco,
- ✓ Distrito: Yanacancha
- ✓ Altitud: 3900 a 4100 m s. n. m

A 16 km al NE de la ciudad de Cerro de Paco, sus coordenadas de ubicación en UTM PSAD 56:

**Tabla 1. Coordenadas UTM de la unidad minera El Porvenir**

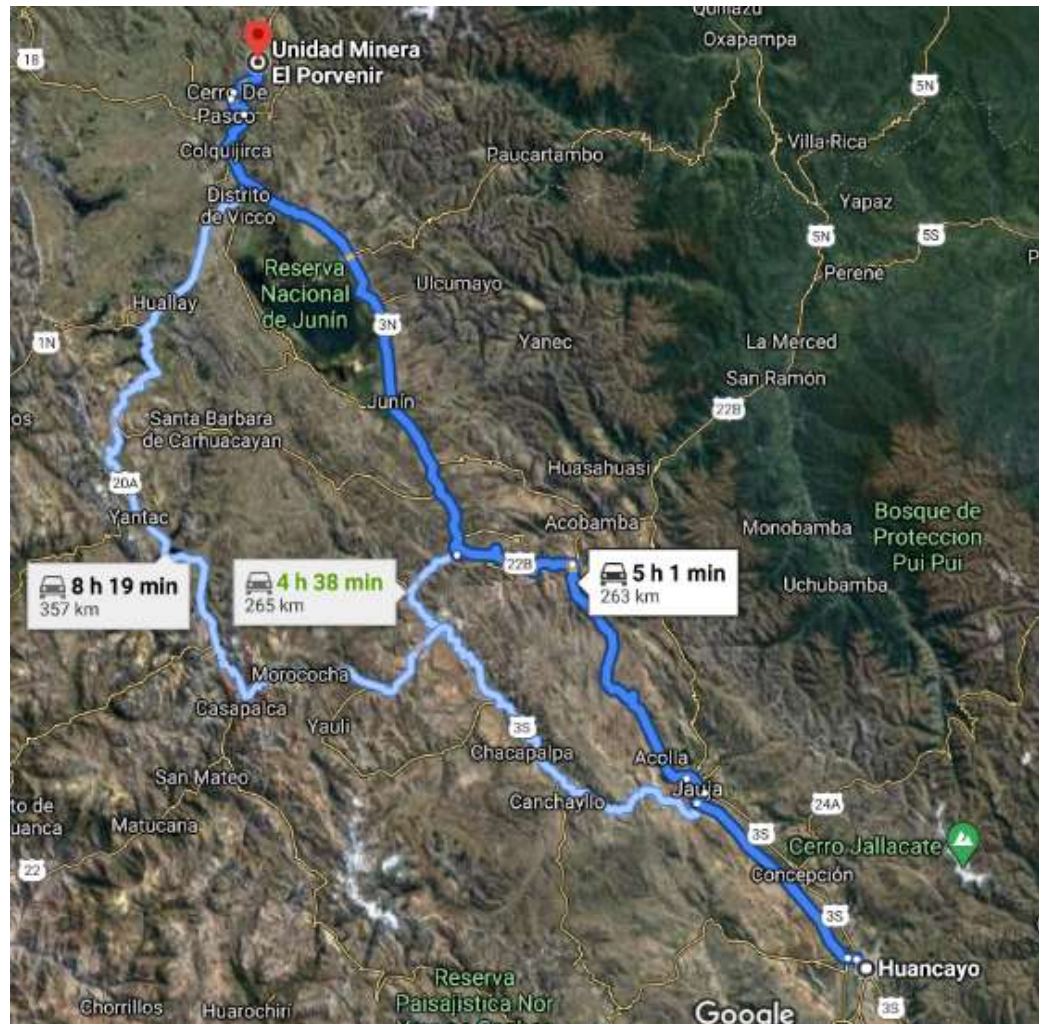
Norte	Este
8 827 870.0	368 315.0

### 2.2.2. Accesibilidad

Carretera asfaltada desde la ciudad de Huancayo hasta la ciudad de Cerro de Pasco, luego carretera afirmada hasta la unidad minera El Porvenir.

Distancias:

- ✓ Huancayo – Cerro de Pasco: 256 km
- ✓ Cerro de Pasco – unidad minera El porvenir: 16 km al NE de la ciudad de Cerro de Pasco



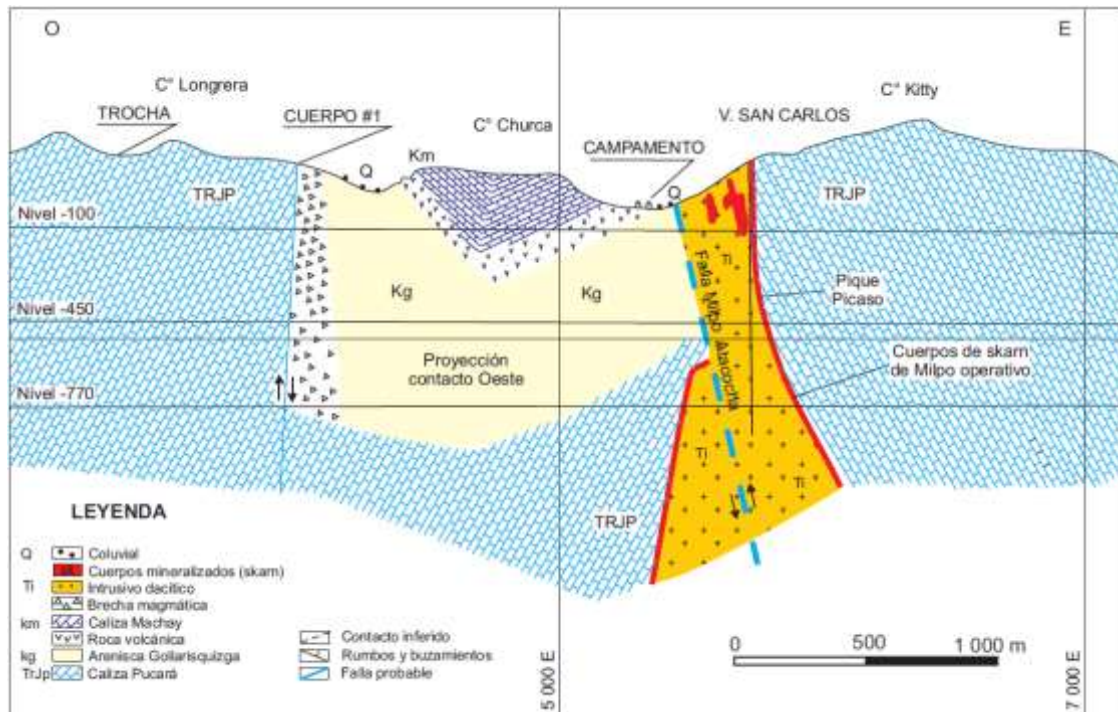
**Figura 1. Ubicación y accesibilidad  
Toamdo de Google Maps**

### 2.2.3. Geología

Se presenta calizas del grupo Pucara del Triásico Superior – Jurásico Inferior, de rumbo N20°O, buzamiento 85° NE, presenta los pisos, Chambara, Aramachay y Condorsinga. En discordancia sobre el Pucara yace la arenisca del grupo Goyllarizquisga, del Cretáceo Inferior, de rumbo NS, buzamiento 55°E, sobre este último grupo yacen de forma discordante la formación Machay de rumbo NS



buzando 55°E, también se encuentra el emplazamiento de un stock de dacita y andesita porfírica.



**Figura 2. Sección transversal EO**  
 Tomado de Boletín N°10 – Compendio de yacimientos minerales del Perú INGEMMET

• **Geología regional**

La estructura principal es un sinclinal asimétrico con plano axial de rumbo N-S paralelo al plegamiento regional que es desplazado por la falla inversa denominado Milpo – Atacocha

Esta geología es debido a procesos orogénicos y magmáticos ocurridos entre el Mioceno y Pleistoceno que ocasionaron en los sedimentos esfuerzos compresionales de dirección E-W; originaron paralelamente al plegamiento andino, el sinclinal de Milpo, varios períodos de fallamientos y fracturamientos e intrusiones hipoabisales: *stocks*, diques y *sills*. Todos estos procesos orogénicos y magmáticos han dado origen a diferentes tipos de depósitos de reemplazamiento metasomático a través de estructuras preexistentes.



- **Geología local**

En la zona floran las formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga del grupo Pucará. Se trata de calizas gris oscuras a negro parduzco, con intercalación de lutitas calcáreas de rumbo N20O, buzamiento 85NE. En discordancia suprayacen las areniscas del grupo Goyllarisquizga del Cretáceo Inferior, de rumbo NS, buzamiento 55E y sobre ellas sobreyacen concordantemente las calizas de la formación Machay de edad Cretáceo Superior, compuestas por calizas arenosas gris y pardo claro a amarillentas.

- **Geología estructural**

Las estructuras predominantes son: sinclinal Milpo Atacocha, falla regional Milpo Atacocha y fracturamientos.

a) Sinclinal Milpo – Atacocha

Pliegue cóncavo asimétrico cuyo eje se dirige al NW. Los sedimentos del depósito fueron comprimidos a EW, por lo que las calizas Pucará se encuentran a lo largo del eje y buzando gradualmente en la formación Goyllarisquizga menos hacia los flancos.

b) Falla Regional Milpo – Atacocha

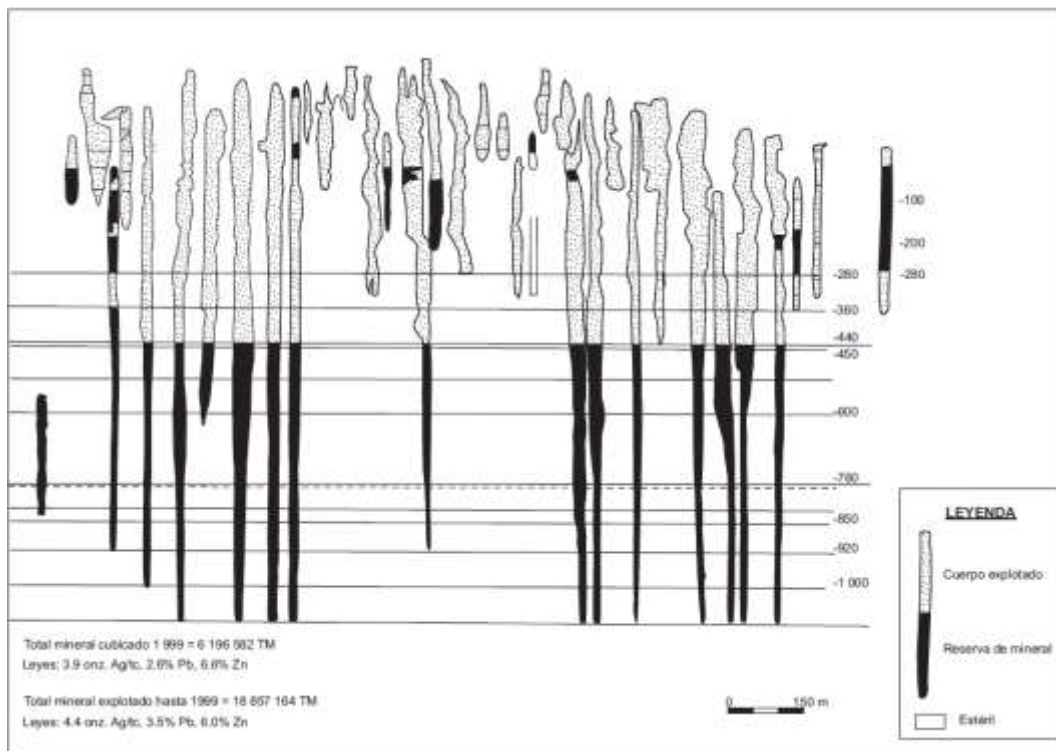
Estructura de mayor importancia con rumbo NS cuyo buzamiento promedio es 82° E, se extiende desde las zonas de Yarusyacán en el norte hasta Carmen Chico en el sur.

c) Fracturamiento

Junto con la falla Milpo – Atacocha se presentan varios sistemas de fracturas, guiados por las fuerzas compresionales EW. Se presentan con el plegamiento regional NS y con la falla Milpo-Atacocha, otras fracturas van de rumbo NE relacionados con la etapa de emplazamiento de los stocks y finalmente se presenta fracturas de rumbo NW de pequeñas longitudes relacionados con los cuerpos mineralizados.

- **Geología económica**

En el contacto entre el stock de pórfido andesítico y pórfido dacítico con las calizas del grupo Pucara, se formó la mineralización tipo *skarn* con granates andradíticos, diópsido, wollastonita y vesubiana. Posteriormente a este evento se presentó fallamiento en el skarn produciendo mineralización de esfalerita, calcopirita, galena, pirita y sulfosales dando lugar a cuerpos tabulares verticales.



**Figura 3. Cuerpos tabulares verticales con partes explotadas y reservas de mineral Tomado de Boletín N°10 – Compendio de yacimientos minerales del Perú INGEMMET**

#### 2.2.4. Método de explotación

El método de explotación usado en la unidad minera es de corte y relleno ascendente mecanizado con perforación en *breasting* y *sublevel stoping*. Para la aplicación de la presente tesis se realizaron las demostraciones en el tajo Éxito, zona intermedia el cual presenta el método *sublevel stoping* mediante explotación de taladros largos.

✓ **Sublevel stoping**

Este método se caracteriza por su gran productividad, se ejecuta desde los niveles, los subniveles son desarrollados entre los niveles principales; el mineral explotado por taladros largos cae hacia la zona vacía y es recuperado mediante cargadores para luego ser transportado por volquetes o en su defecto es recuperado desde los “*draw-point*” para luego ser transportado hacia la superficie.  
(1)

✓ **Generalidades del método:**

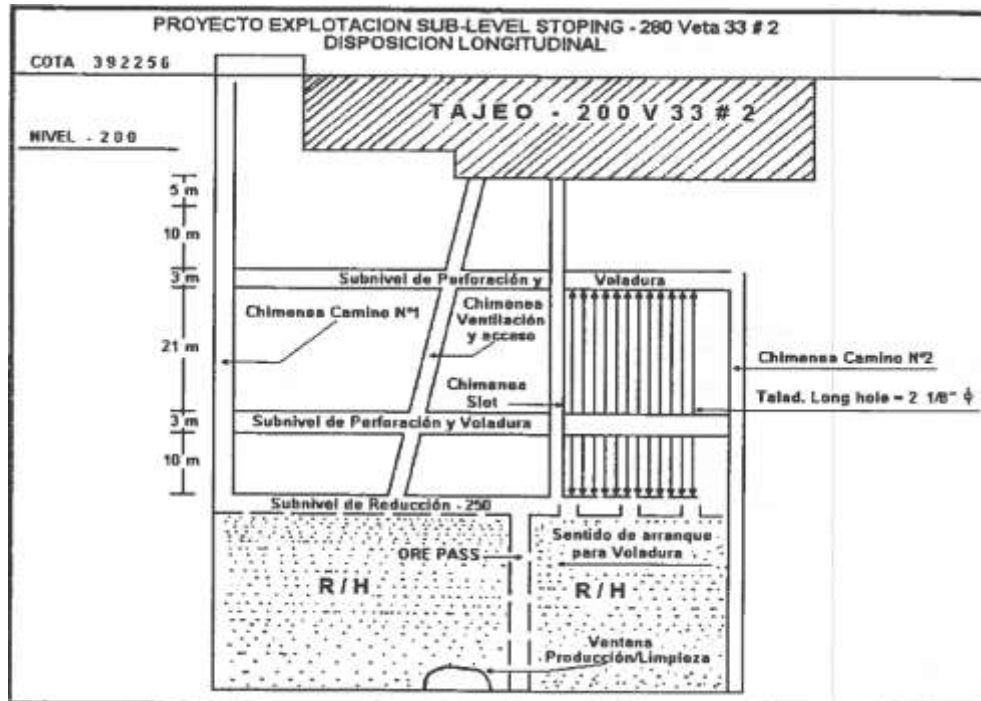
La aplicación de este método está condicionada a que el cuerpo mineralizado debe exceder el ángulo de reposo del mineral disparado, la roca circundante o rocas encajonantes debe ser competente, el mineral debe ser competente y por último los límites de la mineralización deben ser regulares y amplios

✓ **Desarrollo y preparación:**

Se inicia generalmente con la construcción de un pique o rampa los cuales darán acceso al mineral, luego se desarrolla la galería de transporte y la construcción de chimeneas pues estos sirven como accesos a los subniveles posteriores los cuales son llevadas dentro del mineral, para la recuperación del mineral se desarrollan los “*draw points*”

- Galería principal de transporte: esta labor va en la caja piso de la estructura, se desarrolla en la base del yacimiento y es paralelo al yacimiento.
- Draw point o cruceros: estas labores son comunicaciones de la galería principal a la veta.
- Chimeneas: preparados para acceso a la zona mineralizada, ventilación o como servicios
- Rampas: son labores principales de acceso al yacimiento, mediante estas labores acceden los equipos de perforación, así como el personal en cada nivel de perforación.

- Galerías o subniveles: estas labores se desarrollan dentro del yacimiento y van de acuerdo al número de niveles diseñados.



**Figura 4. Vista longitudinal del método sublevel stoping Milpo El Porvenir Tomado del libro "Explotación subterránea – métodos y casos prácticos"**

✓ **Operación de perforación y voladura en labores de desarrollo y preparación de mina**

En El porvenir se realiza la perforación en labores de preparación y desarrollo con Jumbos de un brazo que presentan barrenos de 14 pies, brocas de 48 mm de diámetro para los taladros y 100 mm de diámetro para rimadoras las cuales se efectúan en el arranque.

Las labores presentan dimensiones de 4.5 x 4, para la rotura de la roca se perfora 48 taladros las cuales 5 son de arrastre, la longitud de perforación efectiva de perforación en promedio es de 3.7 m, el explosivo a usar es emulsión Anfo y emulsión.

Para el desarrollo y preparación de las labores mineras actualmente en mina se tienen como estándar la utilización de tubería tipo PVC de 1 1/2" de diámetro x 4

m. de largo en todos los taladros de la zona de arrastre, y de la misma forma realizan el carguío de estos taladros con emulsión, ya sea en frentes de avance horizontales o con pendiente positivas y/o negativas.

En los taladros de arrastre de 14 ft. se utilizan de 10 a 12 unidades de emulsión, y esto va a depender en algunos casos de acuerdo a las habilidades y/o destrezas del personal de carguío.

### ✓ **Operación de perforación y voladura en el método de taladros largos**

En El porvenir se realiza la perforación en los tajos con el equipo Simba el cual perfora entre los 10 a 12 metros, esta perforación se realiza en negativo.

## **2.3. Bases teóricas**

### **2.3.1. Parámetros del explosivo**

Al momento de elegir un explosivo, las variables que toma en cuenta un equipo técnico son los tres primeros parámetros expresados a continuación; sin embargo, los parámetros siguientes son variables que no se deben descuidar para un obtener resultados positivos.

- ✓ **Densidad:** termino relacionado al peso específico, influye sobre la velocidad detonación y sensibilidad, también es un factor importante para el cálculo de cantidad de carga necesaria en una voladura. Este parámetro generalmente indica que a mayor densidad se tendrá mayor poder rompedor o efecto brisance factor que ayuda a generar mayores fracturas y nuevas grietas, razón por la cual se coloca como cebos a los explosivos más densos.
  
- ✓ **Velocidad de detonación:** expresado en m/s, este parámetro define el ritmo de liberación de energía, es también conocido como la velocidad con que viaja la onda a lo largo de una columna explosiva, este parámetro nos brinda la siguiente conclusión que, a mayor velocidad de detonación, mayor poder rompedor, es decir, tiende a triturar más la roca.

- La velocidad de detonación es afectada por la densidad de la carga, el diámetro, el confinamiento, la iniciación y el envejecimiento del explosivo.
- Conforme aumente el diámetro, densidad de carga y confinamiento la velocidad aumenta.
- ✓ Potencia y energía del explosivo: expresado en J/g, estima la capacidad de trabajo y la capacidad de producir efectos mecánicos en la roca, indica el potencial energético de un explosivo. En general la clasificación de este parámetro es una herramienta para identificar los resultados finales y comparar los explosivos entre ellos.
- ✓ Volumen de gases: expresado en litros/kg indica la cantidad de energía disponible.
- ✓ Resistencia al agua: es la capacidad de resistir al agua sin perder sus características, esta capacidad va vinculada a la cantidad de nitroglicerina presente. Las emulsiones presentan mayor resistencia al agua que el Anfo.
- ✓ Presión de detonación: indica la capacidad de fragmentación que posee la roca por lo tanto esta se relaciona con la densidad del explosivo y la velocidad de reacción, cuando se seleccionan explosivos como cebos es importante considerar este parámetro.
- ✓ Generalmente se usa explosivos de alta presión de detonación en rocas duras y competentes.
- ✓ Presión del taladro: expresado en kbar, MPa, indica la fuerza que el explosivo ejerce sobre las paredes del taladro y este varía con el confinamiento.

### **2.3.2. Condiciones de la carga**

Se tiene varias recomendaciones para las condiciones de carga, las cuales influyen positivamente en los resultados de voladura, entre estas condiciones tenemos:

- ✓ Grado de acoplamiento: un buen acoplamiento entre el explosivo y las paredes de los taladros permite la transferencia de la onda de choque entre ellas, un buen acoplamiento genera muy buena presión de taladro y este se refleja sobre el rompimiento.
  
- ✓ Grado de confinamiento: este depende del acoplamiento y del uso del taco inerte para sellar el taladro pues de esa manera se aumenta la densidad de carga y se evita la pérdida de energía. Es la relación que existe entre el diámetro del explosivo y el diámetro del taladro, en caso de explosivos a granel el factor de acoplamiento tiene un factor de 1, cuando este factor es menor a 1 resulta en desacoplamiento de carga el cual no permite la transferencia al 100 % de la onda de choque a la roca, un mal confinamiento resulta en resultados pobres.
  
- ✓ Distribución de energía: el consumo útil de la energía está vinculado al confinamiento; así un taladro con carga normal de columna y refuerzo de carga de fondo tendrá un buen rompimiento en el piso, por el contrario, si la mayor densidad de carga se encuentra en la boca del taladro, se proyectará demasiado fragmento y se tendrá mal rompimiento del piso. (1)

### **2.3.3. Tipo de explosivo**

En el mercado existe dos grupos de explosivos los cuales se diferencian según sus velocidades de onda de choque o de reacción: explosivos detonantes o altos explosivos los cuales presentan velocidades entre 2000 y 7000 m/s y a los explosivos deflagrantes que presentan velocidades menores a 2000 m/s.

En labores mineras y civiles estos explosivos se dividen en dos categorías altos explosivos y agente de voladura. En la presente tesis, se tomará en cuenta dos explosivos uno de cada categoría Anfo como agente de voladura, el cual se

presenta como explosivo a granel y emulsión el cual es clasificado como alto explosivo y se presenta como explosivo encartuchado.

La emulsión a diferencia del Anfo presenta alta velocidad, potencia y resistente al agua, estas características ayudan a que el explosivo sea elegido para los taladros de arrastre, pero el precio en el mercado es una desventaja importante; por otro lado, el Anfo presenta baja velocidad de detonación, sin embargo, esta propiedad hace que el explosivo genere un buen volumen de gases lo cual permite que la carga tenga buen empuje ya que estos se encontrarán en los taladros de arrastre, esta gran ventaja ayuda a las operaciones posteriores como el carguío el cual será más fácil para el operador trasladar el materia ya que el material se encontrara con mayor desplazamiento sumado, esta ventaja sumado a su precio se presentan muy atractivos para que la emulsión sea reemplazado por el Anfo en los taladros de arrastre, sin embargo para controlar la presencia de agua y proteger al Anfo del agua se tiene el tubo hermético evidenciado en la presente tesis. (4)

**Tabla 2. Cuadro comparativo sobre especificaciones técnicas de explosivos**

Especificaciones	Emulsión	Anfo
Velocidad de detonación (m/s)	5600 ± 300	3200 ± 200
Presión de detonación (kbar)	91	21
Resistencia al agua	Excelente	Nula
Volumen de Gases (l/kg)	909	1056.5

*Tomado de fichas técnicas de explosivos – Exsa*

### 2.3.5. Factor de carga

Se define como la cantidad de explosivos que será usado en una voladura en relación al volumen total de roca volada. (1)

$$F_c = \frac{W_e}{V}$$

Un alto factor de carga proporciona una buena fragmentación, desplazamiento y esponjamiento de la roca, en voladuras subterráneas los factores de carga pueden



variar entre  $0.9 \text{ kg/m}^3$  y  $7 \text{ kg/m}^3$  dependiendo del tipo de roca, diámetro de taladros y tipos de arranque. (4)

Se expresa de la siguiente forma:

- Kilos de explosivo utilizado / Toneladas de roca volada ( $\text{Kg/t}$ ) en tajeos
- Kilos de explosivo utilizado / Volumen de roca volada ( $\text{Kg/m}^3$ )
- Kilos de explosivo utilizado / Volumen de avance ( $\text{Kg/ML}$ ) en desarrollos

Este último conocido también como factor de avance.

### **2.3.6. Eficiencia de avance**

Permite controlar el avance por disparo, esto también es el resultado de una buena malla de perforación, buena calidad de perforación, calidad y cantidad de explosivos

### **2.3.8. Tipo de roca**

Sin duda las propiedades geomecánicas es una variable muy importante al momento de elegir un explosivo pues influye mucho en los resultados de voladura, generalmente se clasifican en cuatro tipos:

- ✓ Rocas masivas o resistentes (tipo I): para este tipo de rocas se requiere explosivos de densidad elevada, así como elevada velocidad de detonación.
- ✓ Rocas muy fisuradas: en este tipo de roca se prefiere explosivos con una elevada energía de gases pues las fracturas existentes ayudan a quebrar la roca más rápida solo con la acción de los gases.
- ✓ Rocas conformadas por bloques: definido por presentar espaciamientos grandes entre discontinuidades conforman bloques, la fragmentación depende más en la de geometría de voladura.
- ✓ Rocas porosas: en este tipo de rocas se prefiere explosivos de baja densidad y velocidad de detonación.

En conclusión, para rocas duras se requiere de explosivos que presenten elevada velocidad de detonación, pues el poder rompedor creará mayores grietas y fisuras que los gases de voladura extenderán, mientras que para rocas blandas se requiere explosivos de menores velocidades de detonación úes las rocas en su mayoría se encuentran fisuradas por lo tanto el actuar de los gases será de mayor importancia para extender estas fisuras. (4)

#### **2.3.9. Evaluación de la voladura:**

Una buena voladura se caracteriza por los resultados obtenidos en:

- ✓ Volumen de material removido: el cual debe ser por lo menos igual a lo calculado teóricamente considerando el esponjamiento del material roto.
- ✓ Grado de fragmentación: una mala fragmentación ya sea demasiado gruesos o demasiado menudas refleja en sobre costos ya que estos tienen relación directa con el carguío, acarreo y transporte.
- ✓ Avance: se considera un buen avance si es por lo menos igual a la profundidad de los taladros y en la periferia igual a lo proyectado.
- ✓ Nivel del piso: debe resultar al mismo nivel del existente, no debe existir lomos para que no dificulte el trabajo de los equipos cargadores y también no se requiera de voladura secundarias.
- ✓ Desplazamiento y acumulación de carga: si el resultado voladura refleja buen desplazamiento y acumulación de carga va a facilitar las operaciones de carguío y acarreo. (1)

#### **2.3.10. Distribución y denominación de taladros en voladuras subterráneas**

Para abrir cavidades en la roca se requiere de perforaciones denominados taladros en un área establecida donde posteriormente se alojará los explosivos y de esta manera triturar la roca, estas perforaciones siguen un patrón de diseño establecidos, conocidos como diseño de mallas.

Este diseño de malla se compone de:

- ✓ Arranque: son taladros generalmente ubicados en el centro del área, forman la cavidad inicial de las labores.
  
- ✓ Ayudas: son taladros que rodean al arranque y ayudan a generar una mayor cara libre.
  
- ✓ Producción: son taladros que detonan en la voladura principal.
  
- ✓ Cuadradores: son los taladros laterales que forman los hastiales de las labores.
  
- ✓ Techos o corona: son los taladros que forman el techo de la labor
  
- ✓ Arrastre o pisos: son los taladros que forman el piso de la labor, por lo tanto, son disparados al final, son en estos taladros que por lo general se inunda de agua o son ocultados con detritus por los taladros realizados posteriormente y los cuales se encuentran por encima de estos, la presente tesis demuestra que un cambio de explosivos (emulsión por Anfo + tubería hermética) genera beneficios económicos y acelera el proceso de carguío de taladros con explosivos.

#### **2.4. Definición de términos básicos**

- ✓ Anfo: explosivo generado por una mezcla de nitrato de amonio (94 %) el cual actúa como oxidante y petróleo (6 %) el cual actúa como combustible, este explosivo se presenta de forma granular por lo que se requiere de un equipo neumático para su carguío en los taladros.
  
- ✓ Emulsión: denominado explosivo “agua en aceite”, el nitrato de amonio como solución acuosa de sales oxidantes al combinarse con una mezcla de hidrocarburos resulta en el explosivo, sin duda comprende una mezcla compleja.
  
- ✓ Cebo: son explosivos de alto poder rompedor que en combinación con un detonador inician la explosión e todo el taladro.

- ✓ Cargador de Anfo: facilita el carguío de taladros con mezclas granuladas mediante aire comprimido, la inyección se da través de una manguera antiestática de  $\frac{3}{4}$ " de diámetro a una longitud requerida por el operador.
  
- ✓ Piso: es el suelo de la excavación.
  
- ✓ Densidad de carga: es la medida de llenado de un taladro y este factor ayuda a la presión de taladro.
  
- ✓ Presión de taladro: presión que ejercen los gases sobre las paredes del taladro.
  
- ✓ Carga de fondo: cantidad de explosivo en el fondo del barreno.
  
- ✓ Carga de columna: resto del explosivo a lo largo del barreno.
  
- ✓ Taladros de arrastre: son huecos cilíndricos los cuales se ubican en el piso de las labores subterráneas.
  
- ✓ Optimizar: procesos de mejora continua donde se busca mejores resultados
  
- ✓ Costos en voladura: gastos que incurren para realizar una voladura.
  
- ✓ Labores subterráneas: son excavaciones horizontales, verticales o inclinados que comunican la superficie con el cuerpo mineralizado.

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1. Métodos y alcance de la investigación**

#### **3.1.1. Método**

El método a usar en este trabajo de investigación de enfoque cuantitativo, pues se va a describir, explicar y comprobar los resultados de manera deductiva.

#### **3.1.2. Alcance**

Será de tipo explicativo, porque en la presente tesis se busca explicar la relación que presenta la tubería hermética con Anfo sobre los costos de voladura y tiempo de carguío.

### **3.2. Diseño de la investigación**

Será de tipo experimental debido a que se manipula la forma de carguío en los taladros de arrastre para luego analizar las consecuencias sobre los costos de voladura y tiempo de carguío.

### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población**

La población que se estudiará será las voladuras en las labores de desarrollo (rampas negativas y cruceros) en la mina subterránea.

### **3.3.2. Muestra**

Las muestras serán la rampa negativa 446 del NV 3450 y el crucero 406 del NV 3550 ambas de sección de 4.5 x 4.

### **3.4. Técnicas e instrumentación de recolección de datos**

Como técnicas tenemos:

- ✓ Observación
- ✓ Recopilación de datos en campo antes de la aplicación
- ✓ Recopilación de datos en campo después de la aplicación
- ✓ Revisión Bibliográfica
- ✓ Reportes diarios de operación de compañía y de contratos
- ✓ Reportes finales después de la aplicación

Como instrumentos utilizados tenemos:

- ✓ Cámaras fotográficas
- ✓ Laptop

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Resultados de la aplicación de tubería hermética con Anfo en taladros de arrastre y análisis de la información**

En este capítulo se presentan los resultados de las dos labores tomadas como muestras para evidenciar esta investigación, en cada labor se presentan tres demostraciones, estas labores pertenecen al tajo éxito del nivel intermedio:

- Rampa negativa 446 NV 3450
- Crucero 406 NV 3550

Finalmente, en este capítulo se evidencia la evaluación económica en comparación con los explosivos empleados actualmente, asimismo se presenta la discusión de los resultados obtenidos.

#### **4.1.1. Hallazgos preliminares**

- ✓ En la presente unidad minera, los trabajos de preparación y desarrollo minero vienen siendo ejecutados por las E.E. IESA y SEPROCAL.
- ✓ Actualmente, en mina se tienen como estándar la utilización de tubería tipo PVC de 1 1/2" de diámetro x 4 m de largo en todos los taladros de la zona de arrastre; asimismo, en taladros con presencia de agua. En estos taladros se realizan el carguío con Emulsión, ya sea en frentes de avance horizontales o con pendiente positivas y/o negativas.

- ✓ Cuando cae rocas fragmentadas y/o detritus resultantes de la perforación a las tuberías del tipo PVC, estos llegan a quebrarse e incluso se bloquean; por lo que, los personales encargados de las voladuras deben de realizar la limpieza de los escombros para poder descubrirlos y así poder realizar el respectivo carguío, aunque en algunos casos este proceso se hace muy tedioso.
- ✓ En los taladros de arrastre de 14 ft. se utilizan de 10 a 12 unidades de Emulex 100 de 1 ¼" x 12", y esto va a depender en algunos casos de acuerdo a las habilidades y/o destrezas del personal de carguío.

Para el análisis del presente trabajo se tomó en cuenta la rampa negativa 446 del NV 3450 y el cruce 406 del NV 3550 ambas de sección de 4.5 x 4, en ambas labores los hallazgos preliminares fueron:

- ✓ La longitud efectiva de perforación en promedio es de 3.7 m
- ✓ Según geomecánica el tipo de terreno es regular (III-B) con RMR 48
- ✓ Los diámetros de los taladros de arrastre son de 48 mm
- ✓ Presencia de agua en la rampa negativa

A continuación, se presenta evidencia de las tuberías PVC usadas antes de la demostración con tuberías herméticas.



**Figura 5. Vista de las tuberías PVC que se usan en los frentes y en taladros largos**



En cuanto a las tuberías herméticas son tubos antiestáticos, flexibles, de espesor delgado. Presenta un extremo sellado con terminación en punta para una colocación efectiva dentro del taladro, el otro extremo presenta una abertura con un diámetro externo de 1 3/4" x 14 pies.



**Figura 6. Vista de un extremo de la tubería hermética**

#### **4.1.2. Presentación de resultados**

##### **4.1.2.1. Rampa negativa 446 NV 3450**

Se realizaron 3 voladuras con las tuberías herméticas en esta labor:

##### **a) Primera voladura, 16/02/2020**

**Tabla 3. Datos antes de 1era. voladura – Rp 446 Nv 3450**

Labor /Tipo	Rp. 446 Nv 3450 zona intermedia / negativa
Long. Barra de perforación	14 pies (4.2 m)
Long. efectiva de perforación	3.7 m
Aplicación de tuberías herméticas	Taladros de arrastre = 5 und. Hastial derecho = 2 und.

- ✓ Se instalaron cinco tuberías en los arrastres y dos en el hastial derecho pues el terreno se presentaba muy fracturado, en la instalación de las tuberías no presento complicaciones, se dispararon todos los taladros con Anfo donde se instaló las tuberías herméticas.



**Figura 7. Vista de la rampa 446, con las tuberías instaladas en los arrastres y el hastial derecho**

- **Análisis de los resultados de la primera voladura**

**Tabla 4. Resultados de 1era. voladura – Rp 446 Nv 3450**

Labor /Tipo	Rp. 446 Nv 3450 zona intermedia / Negativa
Explosivos usados en la tubería.	Emulex 100 de 1 ¼" x 12" (7 Und. – 1.95 Kg) Anfo = 23.1 Kg
Long. de avance	3.3 m
Eficiencia de Voladura	89 %

Se presenta piso parejo y uniforme después de la voladura, lo cual evidencia que no se presentó complicaciones en la demostración.



*Figura 8. Vista de la rampa 446 después de la voladura*

**b) Segunda voladura, 18/02/2020**

**Tabla 5. Datos antes de 2da. voladura – Rp 446 Nv 3450**

Labor /Tipo	Rp. 446 Nv 3450 zona intermedia / Negativa
Long. Barra de perforación	14 pies (4.2 m)
Long. efectiva de perforación	3.6 m
Aplicación de tuberías herméticas	Taladros de arrastre = 4 und.

- ✓ Se instalan solamente 4 tuberías en los arrastres sin complicaciones, el quinto taladro del arrastre (lado izquierdo) no se llega a instalar, debido a que el jumbo presentó una falla mecánica la cual lo dejó inoperativo, se dispara la labor en esas condiciones.



**Figura 9. Vista de la rampa 446, instalación de 4 tuberías en los taladros de arrastre**

- **Análisis de los resultados de la segunda voladura:**

**Tabla 6. Resultados de 2da. voladura – Rp 446 Nv 3450**

Labor /Tipo	Rp. 446 Nv 3450 zona intermedia / Negativa
Explosivos usados en la tubería.	Emulex 100 de 1 ¼" x 12" (4 Und. – 1.11 Kg) Anfo = 13.2 Kg
Long. de avance	3.3 m
Eficiencia de Voladura	91%

- ✓ El resultado en el piso (lado derecho) fue satisfactorio, debido a que el piso quedo nivelado, sin embargo, el lado izquierdo no salió bien debido a que no se llegó a perforar 1 taladro de arrastre (lado izquierdo)





**Figura 10. Vista de la rampa 446, después de la voladura**

**c) Tercera voladura, 19/02/2020:**

**Tabla 7. Datos antes de 3ra. voladura – Rp 446 Nv 3450**

Labor /Tipo	Rp. 446 Nv 3450 zona intermedia / Negativa
Long. Barra de perforación	14 pies (4.2 m)
Long. efectiva de perforación	3.6 m
Aplicación de tuberías herméticas	Taladros de arrastre = 5 unidades Ayuda de arrastre = 2 unidades

- ✓ Se instalaron 5 tuberías en los arrastres y 2 en la ayuda de los arrastres, debido a que el terreno está muy fracturado en la parte central de la labor y con presencia de agua, las instalaciones de las tuberías no presentaron inconvenientes.



**Figura 11. Vista de la rampa 446, instalación de 5 tuberías en los taladros de arrastre y 2 en las ayudas de los arrastres**

- **Análisis de los resultados de la tercera voladura:**

**Tabla 8. Resultados de 3ra. voladura – Rp 446 Nv 3450**

Labor /Tipo	Rp. 446 Nv 3450 zona intermedia / Negativa
Explosivos usados en la tubería.	Emulex 100 de 1 ¼" x 12" (7 Und. – 1.94 Kg) Anfo = 23.1 Kg
Long. de avance	3 m
Eficiencia de Voladura	83%

- ✓ En esta voladura hubo comunicación de taladros en el arranque y este afecto a la longitud de avance.
- ✓ El resultado en el piso fue satisfactorio y se aprecia el nivelado.



**Figura 12. Vista de la rampa 446, después de la voladura**

#### **4.1.2.2. Crucero 406 NV 3550**

Se realizaron 3 voladuras con las tuberías herméticas en esta labor:

##### **a) Primera voladura, 15/02/2020**

**Tabla 9. Datos antes de 1ra. voladura – CX 406 Nv 3550**

Labor /Tipo	Cx. 406 NV 3550 zona intermedia / Horizontal
Long. Barra de perforación	14 pies (4.2 m)
Long. efectiva de perforación	3.7 m
Aplicación de tuberías herméticas	Taladros de arrastre = 5 und.

- ✓ Se instalaron cinco tuberías en los arrastres, las instalaciones de las tuberías no presentaron inconvenientes.



**Figura 13. Vista del cruceo 406, instalación de 5 tuberías en los taladros de arrastre**

- **Análisis de los resultados de la primera voladura**

**Tabla 10. Resultados de 1ra. voladura – Cx 406 Nv 3550**

Labor /Tipo	CX. 406 Nv 3550 zona intermedia / Horizontal
Explosivos usados en la tubería.	Emulex 100 de 1 ¼" x 12" (5 Und. – 1.39 Kg) Anfo = 16.5 Kg
Long. de avance	2.9 m
Eficiencia de voladura	78%

- ✓ No se tuvo un buen avance, debido al terreno fracturado que se está atravesando y esto hizo que se comunicaran internamente los taladros de arranque, lo que a su vez facilitó la pérdida de energía durante la voladura.
- ✓ El resultado en el piso fue satisfactorio y se aprecia el nivelado.





**Figura 14. Vista del crucero 406, después de la voladura**

**b) Segunda voladura, 16/02/2020**

**Tabla 11. Datos antes de 2da. voladura – CX 406 Nv 3550**

Labor /Tipo	Cx. 406 NV 3550 zona intermedia / Horizontal
Long. Barra de perforación	14 pies (4.2 m)
Long. efectiva de perforación	3.7 m
Aplicación de tuberías herméticas	Taladros de arrastre = 5 und.

- ✓ Se instalaron 5 tuberías en los arrastres, las instalaciones de las tuberías no presentaron inconvenientes.



**Figura 15. Vista del crucero 406, instalación de 5 tuberías en los taladros de arrastre**

- **Análisis de los resultados de la segunda voladura:**

**Tabla 12. Resultados de 2da. voladura – Cx 406 Nv 3550**

Labor /Tipo	CX. 406 Nv 3550 zona intermedia / Horizontal
Explosivos usados en la tubería.	Emulex 100 de 1 ¼" x 12" (5 Und. – 1.39 Kg) Anfo = 16.5 Kg
Long. de avance	3 m
Eficiencia de voladura	81%

- ✓ El resultado en el piso fue satisfactorio y se aprecia el nivelado.



**Figura 16. Vista del crucero 406, después de la voladura**

**c) Tercera voladura, 17/02/2020**

**Tabla 13. Datos antes de 3era. voladura – CX 406 Nv 3550**

Labor /Tipo	Cx. 406 NV 3550 zona intermedia / Horizontal
Long. Barra de perforación	14 pies (4.2 m)
Long. efectiva de perforación	3.7 m
Aplicación de tuberías herméticas	Taladros de arrastre = 5 und.

- ✓ Se instalaron 5 tuberías en los arrastres, las instalaciones de las tuberías no presentaron inconvenientes.



**Figura 17. Vista del crucero 406, instalación de 5 tuberías en los taladros de arrastre**

- **Análisis de los resultados de la tercera voladura:**

**Tabla 14. Resultados de 3ra. voladura – Cx 406 Nv 3550**

Labor /Tipo	CX. 406 Nv 3550 zona intermedia / Horizontal
Explosivos usados en la tubería.	Emulex 100 de 1 ¼" x 12" (5 Und. – 1.39 Kg) Anfo = 16.5 Kg
Long. de avance	3.5 m
Eficiencia de Voladura	94%

- ✓ Avance aceptable
- ✓ El resultado en el piso fue satisfactorio y se aprecia el nivelado



*Figura 18. Vista del crucero 406, después de la voladura*

#### **4.2. Análisis comparativos de costos aplicando la tubería hermética.**

Premisas de cálculo:

- Para el presente cálculo se está considerando los costos de los insumos que fueron proporcionados por el área de costos de El Porvenir.
- Solo se consideran los insumos donde se reemplazó el PVC + emulsión, por tubería hermética + Anfo + emulsión.
- Usando PVC en los taladros de arrastre con barra de 14 ft. se consideraron 12 salchichas de emulsión, y esto está en función de las destrezas del personal de carguío, ya que puede variar de acuerdo a las condiciones del terreno.
- Usando tubería hermética en los taladros de 14 ft. se consideraron 0.278 kg. de emulsión (cebo) + 3.30 kg. de Anfo.



- Solo se considera el PVC utilizado en los arrastres, mientras que la tubería hermética se consideró tanto en los arrastres como en taladros donde se tuvo que haber utilizado emulsión por presencia de agua.
- Para la tercera voladura de la rampa se considera dos tubos de PVC extra pues el terreno se presentaba muy fracturado y con presencia de agua.

### 4.3. Presentación de cuadros comparativos

A continuación, se presenta los cuadros comparativos en relación a los costos de los explosivos y accesorios antes de la implementación con tubería hermética y después de la implementación.

En el primer cuadro se presenta los costos de los explosivos en unidad de kg y de los accesorios como piezas, en el segundo cuadro se muestra la cantidad de explosivos y accesorios consumidos por labores donde se realizó la demostración y por último se muestra los escenarios de ahorro por día, semana, mes y año.

#### 4.3.1. Cuadro de costos de Insumos

El siguiente cuadro muestra el precio de los insumos en dólares

Tabla 15. Cuadro de costos de explosivos y accesorios

<b>CUADRO DE COSTOS</b>		
<b>EMULSION + PVC VS EMULSION + ANFO + TUBERÍA HERMÉTICA</b>		
<b>INSUMOS</b>	<b>UNIDAD MEDIDA</b>	<b>COSTO</b>
INSUMO		COSTO KG / PIEZA
<b>EMULSION + PVC</b>		
EMULNEX100 1 1/4"x12"	KG	2.50
TUBO PVC 1 1/2" x 3 m.	PZA	0.80
<b>EMULSION + ANFO + TUBERÍA HERMÉTICA</b>		
ANFO	KG	0.60
EMULNEX100 1 1/4" x 12"	KG	2.50
TUBERÍA HERMÉTICA 1 3/4" x 14"	PZA	4.00

#### 4.3.2. Cuadro comparativo de costos por demostraciones realizadas

Tabla 16. Cuadro comparativo emulsión + PVC vs Anfo + tubería hermética

<b>CUADRO COMPARATIVO DE COSTOS Y AHORROS EN USD DE LOS FRENTE EN DEMOSTRACION</b>														
<b>EMULSION + PVC VS EMULSION + ANFO + TUBERÍA HERMÉTICA</b>														
			<b>LABORES</b>											
<b>INSUMOS</b>			<b>RP 446 NV 3450</b>		<b>RP 446 NV 3450</b>		<b>RP. 446 NV 3450</b>		<b>CX. 406 NV 3550</b>		<b>CX. 406 NV 3550</b>		<b>CX. 406 NV 3550</b>	
			<b>1era DEMO</b>		<b>2da DEMO</b>		<b>3era DEMO</b>		<b>1era DEMO</b>		<b>2da DEMO</b>		<b>3era DEMO</b>	
<b>INSUMO</b>	<b>COSTO KG / PIEZA</b>	<b>UNIDAD MEDIDA</b>	<b>CANT.</b>	<b>TOTAL</b>	<b>CANT.</b>	<b>TOTAL</b>	<b>CANT.</b>	<b>TOTAL</b>	<b>CANT.</b>	<b>TOTAL</b>	<b>CANT.</b>	<b>TOTAL</b>	<b>CANT.</b>	<b>TOTAL</b>
<b>EMULSION + ANFO + PVC</b>														
EMULNEX100 1 1/4"x12"	2.50	KG	17.236	43.09	13.34	33.36	23.35	58.38	16.68	41.70	16.68	41.70	16.68	41.70
TUBO PVC 1 1/2" x 3 m.	0.80	PZA	7.00	5.60	4.00	3.20	7.00	5.60	5.00	4.00	5.00	4.00	5.00	4.00
ANFO	0.60	KG	7.20	4.32										
			<b>TOTAL</b>	<b>\$53.01</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$36.56</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$63.98</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$45.70</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$45.70</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$45.70</b>
<b>EMULSION + ANFO + TUBERÍA HERMÉTICA</b>														
ANFO	0.60	KG	23.10	13.86	13.20	7.92	23.10	13.86	16.50	9.90	16.50	9.90	16.50	9.90
EMULNEX100 1 1/4" x 12"	2.50	KG	1.95	4.87	1.11	2.78	1.95	4.87	1.39	3.48	1.39	3.48	1.39	3.48
TUBERÍA HERMÉTICA 1 3/4" x 14"	4.00	PZA	7.00	28.00	4.00	16.00	7.00	28.00	5.00	20.00	5.00	20.00	5.00	20.00
			<b>TOTAL</b>	<b>\$46.73</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$26.70</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$46.73</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$33.38</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$33.38</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$33.38</b>
			<b>AHORROS</b>	<b>\$6.29</b>	<b>\$9.86</b>	<b>\$17.26</b>	<b>\$12.33</b>	<b>\$12.33</b>	<b>\$12.33</b>	<b>\$12.33</b>	<b>\$12.33</b>	<b>\$12.33</b>	<b>\$12.33</b>	<b>\$12.33</b>
			<b>%</b>	<b>12%</b>	<b>27%</b>	<b>27%</b>	<b>27%</b>	<b>27%</b>	<b>27%</b>	<b>27%</b>	<b>27%</b>	<b>27%</b>	<b>27%</b>	<b>27%</b>

Tabla 17. Escenarios de ahorros por día, semana, mes y año

TABLE COMPARATIVA Y ESCENARIOS DE POSIBLES AHORROS PVC + EMULSIÓN VS TUBERÍA HERMÉTICA + ANFO + EMULSIÓN								
				TOTALES EN USD				
INSUMOS	COSTO PIEZA O KG	UNIDAD MEDIDA	CANT. X FRENTE	POR FRENTE (5 TALADROS DE ARRASTRE)	POR DIA (18 FRENTE)	SEMANAL (126 FRENTE)	MENSUAL (540 FRENTE)	ANUAL (6480 FRENTE)
<b>PVC + EMULSION</b>								
EMULNEX100 1 1/4"x12"	2.50	KG	16.68	41.7	750.60	5254.20	22518.00	270216.00
TUBO PVC 1 1/2" x 3 m.	0.80	PZA	5	4.00	72.00	504.00	2160.00	25920.00
			<b>TOTAL</b>	<b>\$45.70</b>	<b>\$822.60</b>	<b>\$5,758.20</b>	<b>\$24,678.00</b>	<b>\$296,136.00</b>
<b>TUBERÍA HERMÉTICA + ANFO + EMULSION</b>								
ANFO	0.60	KG	16.5	9.90	178.20	1247.40	5346.00	64152.00
EMULNEX100 1 1/4" x 12"	2.50	KG	1.39	3.48	62.55	437.85	1876.50	22518.00
TUBERÍA HERMÉTICA 1 3/4" x 14"	4.50	PZA	5	22.50	405.00	2835.00	12150.00	145800.00
			<b>TOTAL</b>	<b>\$35.88</b>	<b>\$645.75</b>	<b>\$4,520.25</b>	<b>\$19,372.50</b>	<b>\$232,470.00</b>
			<b>AHORRO</b>	<b>\$9.83</b>	<b>\$176.85</b>	<b>\$1,237.95</b>	<b>\$5,305.50</b>	<b>\$63,666.00</b>
				<b>21.50%</b>				
				<b>PORCENTAJE DE AHORRO</b>				

° En este análisis, solo se están considerando los insumos de los 5 taladros de arrastre, por lo que los ahorros se podrían incrementar si se considera el uso de las tuberías herméticas en los demás taladros que presentan filtración de agua.



## AHORROS PROYECTADOS



**Figura 19. Ahorros proyectados mensual y anual**

#### 4.3.4. Cuadro comparativo de carguío de explosivos en taladros de arrastre

Tabla 18. Cuadro comparativo de tiempos de carguío de explosivos en taladros de arrastre

CUADRO COMPARATIVO DE TIEMPOS DE CARGUÍO EN TALADROS DE ARRASTRE												
EMULSION + PVC VS EMULSION + ANFO + TUBERÍA HERMÉTICA												
INSUMOS	LABORES											
	RP 446 NV 3450		RP 446 NV 3450		RP. 446 NV 3450		CX. 406 NV 3550		CX. 406 NV 3550		CX. 406 NV 3550	
	Tiempo en 5 taladros (min)	Tiempo promedio por 1 Taladro (seg)	Tiempo en 5 taladros (min)	Tiempo promedio por 1 Taladro (seg)	Tiempo en 5 taladros (min)	Tiempo promedio por 1 Taladro (seg)	Tiempo en 5 taladros (min)	Tiempo promedio por 1 Taladro (seg)	Tiempo en 5 taladros (min)	Tiempo promedio por 1 Taladro (seg)	Tiempo en 5 taladros (min)	Tiempo promedio por 1 Taladro (seg)
<b>EMULSION + ANFO + PVC</b>												
EMULNEX100 1 1/4"x12"	19.6	168	11	165	19.3	166	13.4	161	13.5	163	14	168
<b>EMULSION + ANFO + TUBERÍA HERMÉTICA</b>												
ANFO	6.4	55	3.4	51	5.8	50	4.3	52	4	49	4.4	53
<b>DIFERENCIA</b>	<b>13.2</b>		<b>7.6</b>		<b>13.5</b>		<b>9.1</b>		<b>9.5</b>		<b>9.6</b>	
<b>PROMEDIO DE REDUCCIÓN DE TIEMPO</b>	<b>10.42</b>											

#### **4.4. Discusión de resultados**

De la tabla 15, los resultados muestran que la aplicación de las tuberías herméticas solo en los taladros de arrastre presenta un ahorro del 27 %, sin embargo, al aplicar las tuberías en taladros de forma innecesaria, es decir en taladros donde no se presenta agua o no se encuentra el terreno muy fracturado, el ahorro en costos disminuye, debido a que en estos taladros en condiciones normales del terreno ya se usa Anfo y aplicar tubería es incrementar el costo, ya que no hay cambio de explosivo.

Esta última aseveración es evidenciada en la primera demostración de la RP. 446 NV 3450 donde se instaló 2 tuberías en el hastial derecho por presencia de terreno muy fracturado, llegando a un ahorro solo del 12 %, por lo tanto, los cálculos demostrados para evidenciar los ahorros en costos son aplicados solo por cambio de explosivos en los taladros de arrastre, los demás taladros no son modificados en explosivos ni en accesorios de voladura.

De la tabla 16, los resultados muestran los ahorros proyectados por aplicación de las tuberías en los taladros de arrastre. En esta mina en evaluación solo se requiere de cinco taladros de arrastre y por información del área de productividad por día realizan 18 frentes entre 2 contratistas y compañía, en estas condiciones al realizar las proyecciones a futuro se presenta ahorros en un 21.5 %.

De la tabla 17, el cual muestra los tiempos de carguío de los taladros de arrastre con emulsión y con Anfo, para hacer esta comparación se tomó los tiempos promedios de carguío en condiciones normales, esto quiere decir que los taladros de arrastre se encontraban fáciles de localizar y no se encontraban con mucha carga para descubrir el taladro y cargarlos.

En cuanto a esta toma de tiempos, se presentó en varias oportunidades dificultades al ser cargado con emulsión pues los taladros de arrastre se encontraban escondidas con carga acumulada de detritus de los taladros perforados por encima de estos, a pesar que en estos taladros se ponían tubos

PVC. Estos se rompían por la fuerza de impacto de los detritus que caían de los taladros perforados, cuando se presentaba estos escenarios la toma de tiempo no eran considerados pues el equipo de cargadores demoraba en descubrir cada taladro entre 5 a 10 min, esto quiere decir que la demora en cargar todo el frente demoraba en 15 a 30 minutos más, perjudicando en ocasiones en el horario de disparo pues cuando no se completaba de cargar por el problema expuesto el frente no era disparado y se esperaba completar en la guardia siguiente para disparar en el horario correspondiente.

Al momento de cargar con Anfo, se evidenció la diferencia notablemente pues el equipo de cargadores ya no necesitaba buscar los taladros de arrastre. Los tubos herméticos sobresalían 70 cm. Estas tuberías presentan la propiedad de no romperse, solo deformarse; es decir que, cuando cae detritus de las perforaciones superiores la tubería hermética permanecía intacta lo cual facilitaba notablemente el carguío, a esta ventaja se le suma la facilidad con la se carga con Afo pues este requiere de un cargador portátil accionado por aire comprimido el cual carga un taladro de 14 pies en un tiempo promedio de 18 a 25 segundos, una ventaja superior a cargar con emulsión pues este último se carga poniendo cada 3 emulsiones y atacar, así sucesivamente hasta completar el taladro, en promedio 4 veces repitiendo esta acción y un tiempo de carguío de 2 minutos con 30 segundos a 3 minutos.

## CONCLUSIONES

1. La tubería hermética recubre todo el largo del taladro manteniéndolo libre, continuo y seco para ser cargado posteriormente con Anfo.
2. Se agiliza el proceso de carguío, pues la manguera del Anfoloader entra sin problemas en la tubería hermética y el Anfo tiene un perfecto confinamiento al interior de esta. Además, que esta maniobra es más rápida en comparación al cargar con emulsión pues estos se tienen que atacar cada 2 o 3 explosivos, aparte de que se tiene el inconveniente del agua dentro del taladro. Este trabajo conlleva a realizar en tiempos de 13 min a 18 min por cada frente de perforación.
3. Asimismo, en los frentes de perforación se evita buscar los taladros de arrastre que suelen taparse cuando se usa el PVC evitando así los retrabajos en la zona de arrastre que suelen quedar desnivelados y con esto se optimiza la operación, obteniendo ahorros en horas hombre-máquina y demás insumos, así como también se evitan los desfases y/o pérdida de turnos.
4. Aún con fuerte presencia de agua posibilitamos el uso de Anfo, reduciendo el consumo de emulsión (solo se usa una emulsión como cebo).
5. Al usar la tubería hermética se mantuvo la eficiencia de avance que actualmente presentan, incluso se evidenció que en algunos casos la eficiencia de avance aumentó entre 3 a 7 cm.
6. Se evidencio que las tuberías pueden ser usados en cualquier tipo de terreno espacialmente en terrenos quebrados que suelen bloquearse por la percusión de la barra.

7. El uso de Anfo adicionado a la tubería hermética en los taladros de arrastre o piso de la rampa negativa facilita obtener una voladura muy buena con pisos más firmes y parejos, facilitando el trabajo de todos como equipos al momento de realizar la limpieza del frente y de igual manera del personal operador y de voladura.
  
8. El ahorro comparativo de los costos de los insumos de voladura; es decir, la diferencia entre el uso de emulsión vs Anfo son moderados, pues se obtendrían ahorros aproximados de \$5,305.88 mensuales y de \$63,666.00 anuales, el cual ya está considerado el P.U. de nuestros productos; y esto a su vez representa un 21.5 % de ahorro de costos en promedio de los insumos.

## RECOMENDACIONES

1. Con la implementación de las tuberías herméticas se recomienda realizar un correcto lavado de los taladros después de la perforación, a fin de facilitar el ingreso inmediato después de sacar la barra.
2. A las tuberías herméticas se les deberá de colocar una piedra en la parte inferior para que la boca de este se levante, ya que el nivel del agua puede subir y filtrarse a su interior afectando al Anfo.
3. Si se cumple las recomendaciones referidas a una correcta perforación y a una adecuada instalación de las tuberías herméticas, se podrán mejorar sus avances actuales; ya sea cuando se usan en taladros con agua o en taladros con terreno quebrado, ya que estos últimos suelen bloquearse por efecto de la percusión de la barra.
4. Se recomienda solo usar las tuberías en los taladros de arrastre o en taladros donde el terreno se encuentre fracturado o con agua, como máximo hasta 3 taladros demás fuera de los taladros de arrastre, de lo contrario no se encuentra ahorros.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. EXSA. *Manual práctico de voladura*. 4ta. edición. [en línea]. Lima, 2005. 2013 [fecha de consulta: 14 de abril de 2021]. Disponible en: [https://www.academia.edu/23767654/MANUAL\\_PRACTICO\\_DE\\_VOLADURA\\_Edici%C3%B3n\\_especial\\_La\\_L%C3%ADnea\\_m%C3%A1s\\_Completa\\_para\\_Voladura\\_Das\\_Komplette\\_Sprengstoffprogramm\\_The\\_Most\\_Complete\\_Blasting\\_Line](https://www.academia.edu/23767654/MANUAL_PRACTICO_DE_VOLADURA_Edici%C3%B3n_especial_La_L%C3%ADnea_m%C3%A1s_Completa_para_Voladura_Das_Komplette_Sprengstoffprogramm_The_Most_Complete_Blasting_Line)
2. D.S. 024-2016-EM. Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería. [en línea]. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 28 de julio de 2016 [fecha de consulta: 7 de abril de 2021]. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/per160277.pdf>
3. LÓPEZ, JIM. *Voladura de rocas con anfo para optimizar avances en labores subterráneas de Compañía Minera Casapalca S.A.* Tesis (Título de Ingeniero de Minas).Junín: Universidad Nacional del Centro del Perú., 2019, 112 pp.
4. BERNAOLA, José, CASTILA, Jorge, HERRERA, Juan. *Perforación y voladura de rocas en Minería*. [en línea]. Madrid. Universidad Politécnica de Madrid. s.n., 2013. [fecha de consulta: 4 de abril de 2021]. Disponible en: [http://oa.upm.es/21848/1/20131007\\_PERFORACION\\_Y\\_VOLADURA.pdf](http://oa.upm.es/21848/1/20131007_PERFORACION_Y_VOLADURA.pdf)



## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### Método de explotación – SLS

En esta imagen se evidencia el método de taladros largos el cual es usado para efectuar el método de explotación Sublevel Stopping, como se aprecia en la imagen después de realizar la voladura y acarreo del mineral se deja una cavidad expuesta entre dos subniveles, para la mina el porvenir la diferencia entre subniveles varía entre 10 a 12 metros de altura.



*Figura 20. Cavidad dejada por el método de taladros largos*



### Anexo 3

### Explosivos usados en voladura



Figura 22. Explosivos usados – emulsión y ANFO

**Anexo 4**  
**Carguío en tuberías herméticas**



***Figura 23. Carguío de tuberías herméticas***

## Anexo 5

### Visualización final de tuberías herméticas cargados



*Figura 24. Tuberías herméticas cargados*