

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Influencia del sistema taponex en la sobreperforación
en tajo abierto, Unidad Operativa
Shougang**

Rudi Cárdenas Herrera

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme salud para lograr mis objetivos además de su infinito amor.

A mis padres: Zósimo y Zenaida, por su comprensión y apoyo incondicional y por ser la razón de mi existencia.

A mi esposa e hija, mis dos tesoros que son la adoración de mi vida.

A mis hermanos que con su ejemplo me enseñaron que se puede alcanzar todos los objetivos propuestos.

A mi tío Julio, que con su conocimiento y apoyo incondicional pude alcanzar mi objetivo.

Bach: Rudi Cárdenas Herrera

DEDICATORIA

Mi profundo agradecimiento a los docentes de la Escuela Profesional de ingeniería de Minas de la universidad Continental, en especial a mi asesor Mg. Julio Fredy Porras Mayta, por la paciencia, apoyo, amistad y dedicación que hizo posible la realización de esta investigación.

Mi agradecimiento a la empresa San Martín, prestigiosa empresa minera que hace posible que jóvenes talentos tengan la oportunidad de desarrollarse como profesional.

Mi gratitud a la jefatura y supervisión de perforación y voladura de la empresa San Martín, quienes compartieron con mi persona, sus consejos, conocimientos y experiencia.

Bach: Rudi Cárdenas Herrera

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
ÍNDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
INTRODUCCIÓN	X
CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	12
1.1 Planteamiento y formulación del problema	12
1.1.1 Problema general	13
1.1.2 Problemas específicos.....	13
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivo general	13
1.2.2 Objetivos específicos.....	13
1.3 Justificación	14
1.3.1 Justificación práctica.....	14
1.3.2 Justificación metodológica	14
1.4 Hipótesis y descripción de variables	14
1.4.1 Hipótesis general	14
1.4.2 Hipótesis específicas	14
1.4.3 Variables	15
CAPITULO II MARCO TEÓRICO.....	16
2.1 Antecedentes del problema	16
2.2 Bases teóricas	23
2.2.1 Voladura en superficie	23
2.2.2 Sistema Taponex.....	49
2.3 Definición de términos básicos	51
CAPITULO III METODOLOGIA.....	56
3.1 Métodos y alcances de la investigación.....	56
3.1.1 Método general.....	56
3.1.2 Tipo de investigación	56

3.1.3 Nivel de investigación	56
3.2 Diseño de investigación.....	56
3.3 Población y muestra.....	57
3.3.1 Población.....	57
3.3.2 Muestra	57
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	57
3.4.1 Técnicas de recolección de datos.....	57
3.4.2 Instrumentos de recolección de datos.....	57
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información	58
4.1.1 Ubicación.....	58
4.1.2 Estandarización del uso del Taponex en mina.....	59
4.1.3 Características geomecánicas de la roca	62
4.1.4 Diseño de cargas tradicionales	63
4.1.5 Diseño de carga 1ra. etapa de pruebas.....	63
4.1.6 Factores favorables (Primera etapa de pruebas)	64
4.1.7 Análisis comparativo con la implementación de Taponex	66
4.1.8 Nivel de piso de la pala.....	67
4.1.9 Incremento de material disparado con el uso masivo de Taponex.....	70
4.1.10 Incremento de material disparado con el uso masivo del Taponex	71
4.1.11 Incremento de taladores perforadores con el uso masivo de Taponex ..	71
4.2 Discusión de resultados.....	73
CONCLUSIONES	76
RECOMENDACIONES	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
ANEXOS.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sobreperforación.....	28
Tabla 2 Características de la roca.....	62
Tabla 3. Dureza de terreno según modelo RHI	65
Tabla 4. Tiempos de carguío versus fragmentación medida con WIP- FRAG	66
Tabla 5. Tabla del nivel de piso de la Pala	67
Tabla 6. Perforación y voladura mina Cuajone con Taponex	68
Tabla 7. Incremento de material disparado con el uso masivo de Taponex	70
Tabla 8. Incremento de material disparado con el uso masivo del Taponex	71
Tabla 9. Evaluación de taladores perforadores con el uso masivo de Taponex	71
Tabla 10. Incremento del factor en ton por kg-Exp.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Banco de voladura – nomenclatura	45
Figura 2. Voladura de bancos – nomenclatura	46
Figura 3 . Voladura de bancos – nomenclatura	46
Figura 4. Factores que influyen en la voladura	47
Figura 5. Influencia del burden sobre la cara libre del banco respecto al volumen de roca a romper	48
Figura 6. Voladura de bancos – causas y efectos	48
Figura 7. Plano de ubicación	59
Figura 8. Diseño de carga	59
Figura 9. Proceso de equilibrio	60
Figura 10. Transmisión de la energía al medio	60
Figura 11. Transmisión de la energía al medio	61
Figura 12. Interacción de taladros con cámara de aire	61
Figura 13. Diseño de cargas tradicionales	63
Figura 14. Diseño de carga 1ra. etapa de pruebas	63
Figura 15. Análisis comparativo con la implementación de Taponex	66
Figura 16. Taladros perforados por mes	72
Figura 17. Incremento del factor en ton por kg-Exp	73

RESUMEN

La presente investigación planteó como problema general: ¿cómo influye la aplicación del sistema Taponex en la sobreperforación en tajo abierto, unidad operativa Shougang 2021?; el objetivo general fue: analizar la influencia de la aplicación del sistema Taponex en la sobreperforación en tajo abierto, unidad operativa Shougang 2021, y la hipótesis general a contrastar fue que: la aplicación del sistema Taponex en la sobreperforación, en tajo abierto, unidad operativa Shougang 2021, influye debido al uso de ondas de tensión en el medio rocoso circundante.

El método general de investigación fue el científico, tipo aplicada, de nivel correlacional, diseño cuasiexperimental, la población estuvo conformada por los blocks mineralizados ubicados en la mina 05-550-19, unidad operativa Shougang y la muestra censal conformada por los blocks mineralizados ubicados en la mina 05-550-19 operadas por San Martín Contratistas Generales S.A. - unidad operativa Shougang.

Producto de la investigación se concluyó que: con la aplicación del sistema Taponex se obtiene una fragmentación más homogénea, se redujo la perforación de taladros alrededor de un 6 % involucrando un ahorro de explosivos hasta un 12 %, respecto al factor t/kg de explosivo se incrementó hasta un 12 % y de igual manera se tiene una reducción de la sobreperforación de 1.5 m a 0.5 m.

Palabras claves: sistema Taponex, sobreperforación y tajo abierto

ABSTRACT

The present investigation was raised as a general problem: How does the application of the Taponex system influence over drilling in open pit, Shougang 2021 Operating Unit? whose general objective was: To analyze the influence of the application of the Taponex system in over drilling in open pit, Shougang 2021 Operative Unit, and the general hypothesis to be contrasted was that: The application of the Taponex system in over drilling, in open pit, Operative Unit Shougang 2021 influences due to the use of stress waves in the surrounding rocky environment.

The general method of investigation was the scientific, applied type, correlational level, quasi-experimental design, the population was made up of the mineralized blocks located in the Shougang Operative Unit 05-550-19 Mine and the census sample made up of: the mineralized blocks located in the 05-550-19 Mine operated by San Martin Contradicts Generals SA - Shougang Operative Unit.

As a result of the investigation, it was concluded that: With the application of the Taponex system, a more homogeneous fragmentation is obtained, the drilling of drills was reduced by around 6%, involving an explosive saving of up to 12%, with respect to the factor ton / kg of explosive. it increased up to 12% and in the same way there is a reduction in over drilling from 1.5 m to 0.5 m.

Keywords: Taponex system, over drilling and open pit

INTRODUCCIÓN

La presente investigación que lleva por título: “Influencia del sistema Taponex en la sobreperforación en tajo abierto, unidad operativa Shougang”, partió de la siguiente problemática: en estos últimos tiempos se diseñan equipos de perforación y herramientas que realizan su trabajo de forma excepcional. Sin embargo, sabemos que los equipos son solo parte de los elementos clave que integran un proceso de mayor envergadura. Por ello, en todo momento los supervisores especialistas trabajan de forma constante explorando posibilidades para desarrollar nuevas tecnologías y aplicar su conocimiento sobre las técnicas de excavación de roca

La presente investigación parte de la problemática de que en la unidad minera se presentan problemas de:

- ✓ Fragmentación con presencia de bolones
- ✓ Factor de carga inapropiada
- ✓ Nivel de piso defectuoso, entre otros

Estos parámetros influyen en el rendimiento y desgaste prematuro de equipos de carguío y transporte.

Para realizar la voladura de las rocas, se debe de tener presente aspectos tales como:

- ✓ Realizar el diseño de malla
- ✓ Realizar la perforación lo más cercano a lo planificado
- ✓ El proceso de cargado con la calidad y cantidad de explosivo
- ✓ Orden de salida de los taladros
- ✓ Ofrecer soporte técnico en el trabajo diario

Nuestro objetivo siempre es el mismo: conducirlo hacia sus objetivos, a una mayor seguridad, productividad y rentabilidad en el negocio. Para un mejor entendimiento el trabajo de investigación que se presenta a continuación esta desarrollado de la siguiente manera:

En el primer capítulo se da a conocer el planteamiento del estudio, en los que se detalla el planteamiento y formulación del problema dando a conocer el problema general y específico, seguidamente se formula el objetivo general y específico, posteriormente se expone la justificación práctica y metodológica; para finalizar este capítulo se exponen la hipótesis general, específica y las variables de esta investigación.

El capítulo II, titulado Marco teórico, se dan a conocer los antecedentes nacionales e internacionales, de igual manera las bases teóricas y para finalizar se redacta la definición de términos básicos de la investigación.

El capítulo III, titulado Metodología, está reservada para la metodología de la investigación, resaltando el método general, tipo, nivel, diseño, población y muestra, así como las técnicas e instrumentos de recolección de datos.

En el capítulo IV corresponde a resultados y discusión en donde se exponen los resultados que se obtuvieron de la realización de la investigación.

Para finalizar se enuncian las conclusiones, recomendaciones alcanzadas en la investigación, seguidamente se dan a conocer referencias bibliográficas y anexos.

Bach: Rudi Cárdenas Herrera

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

En estos últimos años, se diseñaron equipos de perforación y herramientas que realizan su trabajo de forma excepcional. Sin embargo, sabemos que los equipos son solo parte de los elementos clave que integran un proceso de mayor envergadura. Por ello, en todo momento los supervisores especialistas trabajan de forma constante explorando posibilidades para desarrollar nuevas tecnologías, aplicar su conocimiento sobre las técnicas de excavación de roca.

La presente investigación parte de la problemática de que en la unidad minera se presentan problemas de:

- ✓ Fragmentación con presencia de bolones
- ✓ Factor de carga inapropiada
- ✓ Nivel de piso defectuoso, entre otros

Estos parámetros influyen en el rendimiento y desgaste prematuro de equipos de carguío y transporte.

Para realizar la voladura de las rocas, se debe de tener presente aspectos tales como:

- ✓ Realizar el diseño de malla
- ✓ Realizar la perforación lo más cercano a lo planificado
- ✓ El proceso de cargado con la calidad y cantidad de explosivo

- ✓ Orden de salida de los taladros
- ✓ Ofrecer soporte técnico en el trabajo diario

Nuestro objetivo siempre es el mismo: conducirlo hacia sus objetivos, a una mayor seguridad, productividad y rentabilidad en el negocio.

En tal sentido, se hace necesario realizar la evaluación de la aplicación cual significa una reducción de costos directos e indirectos de producción

1.1.1 Problema general

¿Cómo influye la aplicación del sistema Taponex en la sobreperforación en tajo abierto, unidad operativa Shougang 2021?

1.1.2 Problemas específicos

- a) ¿Cuál es el resultado de la aplicación del sistema Taponex en la fragmentación?
- b) ¿Cuál es el resultado de la aplicación del sistema Taponex en el consumo de explosivos?
- c) ¿Cuál es el resultado de la aplicación del sistema Taponex en el nivel de piso?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Analizar la influencia de la aplicación del sistema Taponex en la sobreperforación en tajo abierto, unidad operativa Shougang 2021

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Determinar el resultado de la aplicación del sistema Taponex en la fragmentación.

- b) Establecer el resultado de la aplicación del sistema Taponex en el consumo de explosivos.
- c) Determinar el resultado de la aplicación del sistema Taponex en el nivel de piso.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación práctica

La presente investigación propone realizar la investigación con la aplicación del sistema Taponex en el diseño de malla de perforación, mina 05-550-19 unidad operativa Shougang, de esta manera se pretende dar una propuesta de solución al problema del diseño de una malla de perforación que permita mejorar la fragmentación de rocas.

1.3.2 Justificación metodológica

Con la finalidad de desarrollar la presente tesis, el investigador hará uso de metodologías propias para la toma de información *insitu*, los cuales serán procesados en forma ordenada y sistemática, estas metodologías podrán servir de base para otras investigaciones similares.

1.4 Hipótesis y descripción de variables

1.4.1 Hipótesis general

La aplicación del sistema Taponex en la sobreperforación, en tajo abierto, unidad operativa Shougang 2021, influye debido al uso de ondas de tensión en el medio rocoso circundante.

1.4.2 Hipótesis específicas

- a) La aplicación del sistema Taponex mejora la fragmentación, debido al control de la sobreperforación.
- b) La aplicación del sistema Taponex reduce el consumo de explosivos, debido a la generación de una elevada energía.

- d) La aplicación del sistema Taponex mejora el control del nivel de piso, debido a la generación de una cámara de aire de alta capacidad y bajo consumo de explosivo.

1.4.3 Variables

a) Variable Independiente (X):

- **Sistema Taponex**

Indicadores:

- ✓ Sobreperforación
- ✓ Columna explosiva
- ✓ Fragmentación
- ✓ Granulometría

b) Variable dependiente (Y)

- **Sobreperforación**

Indicadores:

- ✓ Cálculo del burden
- ✓ Cálculo del espaciamiento
- ✓ Cálculo de la profundidad

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

a) Investigación titulada: *“Reducción de costos en perforación y voladura por la aplicación de cámaras de aire en la U.M. Constancia - Hudbay Perú S.A.C”*.

El objetivo general fue: (1)

- ✓ Desarrollar un análisis del estado actual de las actividades de perforación y voladura para identificar los parámetros de mejora y a su vez minimizar el costo y generar ahorros en las actividades de perforación y voladura con la aplicación de cámaras de aire.

Los objetivos específicos fueron: (1)

- ✓ Analizar y describir los parámetros de perforación y voladura para la aplicación de cámaras de aire.
- ✓ Medir el rendimiento horario de los equipos de perforación.
- ✓ Calcular el índice de perforación y factor de carga incidiendo en la reducción de costos.
- ✓ Reducir la sobreperforación del taladro de producción y del explosivo que ella lleva. Esto resultará en menor costo de perforación y voladura.

- ✓ Analizar los costos incurridos de perforación y voladura convencional y los costos adicionales originados a consecuencia de ella, planteando alternativas para su optimización a partir de la aplicación de cámaras de aire.
- ✓ Determinar los costos totales para las actividades de perforación y voladura.

Otros beneficios como:

- ✓ Reducción y/o eliminación de pisos altos en los frentes de avance del banco.
- ✓ Incremento de la estabilidad de taludes de progreso y del talud final por disminución de la perturbación del frente de avance y de la intensidad de vibración del disparo.
- ✓ Reducción y/o Eliminación del fracturamiento de la cresta y piso del banco inferior, incrementando el rendimiento del equipo de perforación.
- ✓ Disminución de ruido, polvo y vibraciones en el área.
- ✓ Mejoramiento de la fragmentación del material disparado.

Producto de la investigación se concluye que:

- ✓ La versatilidad de las cámaras de aire con tapón Taponex en la minería a tajo abierto permite que este pueda ser usado en taladros secos y con agua, reducir el nivel de ruido y vibraciones, minimizar la contaminación del explosivo con el material del taco y permite reducir el factor de carga.
- ✓ El uso de cámaras de aire en el proyecto constancia, permitió ahorrar \$119,282.00 en el periodo julio a septiembre 2014. En las actividades de perforación y voladura lo que implica una reducción en el factor de carga sin tener que alterar los índices operacionales de los equipos de carguío.

Costos con aplicación de Cámaras de Aire y Convencional - a Septiembre 2014		
	Costo Perforación y Voladura Convencional	Costo Perforación y Voladura Cámaras de Aire
Cantidad de taladros (m)	2898	2898
Profundidad de taladro (m)	16.5	15.5
Costo Perforación(\$/m)	4.42	4.42
Altura de Carga (m)	8.5	7.5
Costo Voladura(\$/m)	42.16	42.16
Costo Total (\$/m)	46.58	46.58
Ahorro (\$)	1,249,878	1,114,890
Inversión de Taponex.		15,707.00
Ahorro		119,282

Además, los cálculos de la proyección de ahorro para el presupuesto 2015 nos dio un resultado de \$1, 273,791.

Costos con aplicación de Camaras de Aire y Convencional - Budget 2015		
	Costo Perforación y Voladura Convencional	Costo Perforación y Voladura Cámaras de Aire
Metros planificados (m)	30947	30947
Profundidad de taladro (m)	16.5	15.5
Costo Perforación(\$/m)	4.42	4.42
Altura de Carga (m)	8.5	7.5
Costo Voladura(\$/m)	42.16	42.16
Costo Total (\$/m)	46.58	46.58
Ahorro (\$)	13,347,132	11,905,620
Inversión de Taponex.		167,734.00
Ahorro		1,273,791.00

- ✓ El Taponex no es un retenedor de taco sino es un sujetador de taco, porque al dejar una cámara de aire se reduce la eyección del taco debido a que la onda de choque al viajar en el interior del pozo pasa de un medio sólido al aire, implicando que la energía disminuya en ese sector.
- ✓ El uso de cámaras de aire no altera los demás parámetros de perforación y voladura, consecuentemente, se mantiene la malla de perforación para el uso de este método, secuencia de salida y tipos de explosivo.
- ✓ Con el uso de cámaras de aire existe la posibilidad de la eliminación de la sobreperforación en taladro de producción.

- ✓ La instalación de la cámara de aire incrementa el tiempo de carguío de los taladros, lo que requiere cierta práctica y destreza.

b) Tesis titulada: *“Efecto de las cámaras de aire en taladros de producción para mejorar la fragmentación del material y reducir el nivel de vibraciones por voladura en minería a tajo abierto en el norte del Perú, 2016”*

El objetivo general fue: (2)

- ✓ Determinar el efecto de las cámaras de aire en el fondo del taladro de producción, para mejorar la fragmentación del material y reducir el nivel de vibraciones en minería a tajo abierto.

Los objetivos específicos fueron: (2)

- ✓ Evaluar el efecto de cámaras de aire en el fondo del taladro de producción, para mejorar la fragmentación del material en minería a tajo abierto.
- ✓ Evaluar el efecto de cámaras de aire en el fondo del taladro de producción, para reducir el nivel de vibraciones en minería a tajo abierto.
- ✓ Determinar los porcentajes de reducción de la fragmentación del material y de la vibración usando cámaras de aire (Taponex).

Producto de su investigación concluye que: (2)

- ✓ En referencia al objetivo específico 1, el disparo con Taponex obtuvo entre 20.83 a 24.96 % de mejoras en la fragmentación del material para las mallas entre P20 a P80; por lo tanto, se concluye que existe un efecto del uso de la cámara de aire sobre la fragmentación del material.
- ✓ Se verifica que el valor del P-Valué = 0.040 es menor a $\alpha = 0.05$, se rechaza la H_0 y se acepta H_1 .
- ✓ Por lo tanto, se concluye que con un $\alpha = 0.05$, la fragmentación promedio con disparos en taladro de producción con Taponex es menor a la fragmentación promedio con disparos en taladro de producción normal (pulgadas).

- ✓ En referencia al objetivo específico 2, el disparo con el uso de cámaras de aire en la columna explosiva reduce las vibraciones hasta un 58.30 % frente a la voladura convencional que no utiliza cámaras de aire; por lo tanto, se concluye que existe un efecto del uso de la cámara de aire en la reducción de las vibraciones. Esta importante reducción de las vibraciones es fundamental porque evita la percepción de las comunidades aledañas sobre el daño de sus viviendas.
- ✓ Se verifica que el valor del P-Valué = 0.037 es menor a $\alpha = 0.05$, se rechaza la H_0 y se acepta H_1 .
- ✓ Por lo tanto, se concluye que con un $\alpha = 0.05$, las Vibraciones promedio con disparos en taladro de producción con Taponex es menor a las Vibraciones promedio con disparos en taladro de producción normal (mm/s).
- ✓ En referencia al objetivo específico 3.
- ✓ Se determina que con el uso de cámaras de aire (Taponex) se reduce la fragmentación en un promedio de 23.31%. y la vibración en un promedio de 37.09%.

c) Tesis titulada: *“Efecto de la cámara de aire en la voladura a tajo abierto para incrementar la tasa de excavación (Dig Rate) en el tajo Tapado Oeste de minera Yanacocha, Cajamarca 2017”*

El objetivo general fue: (3)

- ✓ Determinar el efecto de la cámara de aire en la voladura a tajo abierto para incrementar la tasa de excavación (Dig Rate) en el tajo tapado oeste de minera Yanacocha, Cajamarca 2017.

Los objetivos específicos fueron: (3)

- ✓ Recolectar y analizar información de voladuras convencionales para evaluar su efecto en el Dig Rate.

- ✓ Realizar pruebas en la voladura con el dispositivo Cartuflex para evaluar los efectos en el Dig Rate.
- ✓ Realizar pruebas en la voladura con el dispositivo Aquadeck para evaluar los efectos en el Dig Rate.
- ✓ Comparar costo/taladro y el ahorro anual con la utilización de cámaras de aire.

Las conclusiones de su investigación fueron: (3)

- ✓ En la investigación se comprobó que el uso de cámaras de aire en la voladura, incrementa el Dig Rate en Minera Yanacocha 2017. Se encontró que usando una voladura convencional el Dig Rate fue 2,405 t/h, 3,247 t/h y 4,549 t/h para Cartuflex y Aquadeck respectivamente, es decir se incrementa el Dig Rate convencional en 35% usando Cartuflex y 85% usando Aquadeck.
- ✓ Se recolectó información en voladuras convencionales en los meses de enero-abril 2017, en donde se analizaron 19 voladuras, teniendo en cuenta una alteración argílica avanzado - propilítica, con densidades de roca de media a dura, y adicionalmente se realizaron 3 voladuras tomando en cuenta las mismas características geológicas, y se encontró un Dig Rate de 2,405 t/h con una desviación estándar de ± 311.70 y su coeficiente de variación de 13%.
- ✓ Se realizaron 3 pruebas usando Cartuflex, en los meses de marzo y abril 2017, con alteración argílica-propilítica, con densidad de roca de media a dura, y su efecto en el Dig Rate utilizando este dispositivo dio un incremento de 35%, con una desviación estándar de ± 283.6 y su coeficiente de variación de 8.7%.
- ✓ Se realizaron 3 pruebas usando Aquadeck, en los meses de marzo y abril 2017, con alteración argílica-propilítica, con densidad de roca de media a dura, y su efecto en el Dig Rate utilizando este dispositivo dio un incremento de 85%, con una desviación estándar de ± 548.9 y su coeficiente de variación de 12.1%.
- ✓ Se comparó el costo por taladro usando Aquadeck, Cartuflex vs taladro sin cámaras de aire, tomando en cuenta las consideraciones generales de altura

de banco, mezcla explosiva, taco y diámetro del taladro, al no emplear cámaras de aire el costo/ taladro es de US\$ 275.81, US\$246.94 y \$244.84 para Cartuflex y Aquadeck, respectivamente. Anualmente se planifican volar 5000 taladros ahorrando con Cartuflex US\$144,350.00 y con Aquadeck US\$154,850.00.

d) Tesis titulada: “Aplicación del método Air Deck para optimizar la voladura en mina Pierina”.

Su objetivo general fue: (4)

- Realizar un análisis minucioso del diseño y aplicación de Air Deck con el fin de hacer una óptima distribución de energía y obtener una eficiente voladura.

Sus objetivos específicos fueron: (4)

- Realizar una evaluación del manejo del área de voladura a través de pruebas in situ.
- Analizar el procedimiento de carguío y amarre de las mallas de voladura.
- Realizar la optimización de voladura en mina Pierina.

Producto de su investigación concluyo que: (4)

- Con los espaciamientos de aire se consigue que la energía producida al detonarse la MEC sea mejor distribuida y por ende los esfuerzos serán mejor distribuidos, con lo cual se evita triturar la roca que se encuentra alrededor del taladro.
- Haciendo uso de esta técnica se logra que los gases ejerzan una presión sobre las paredes de los taladros por un periodo de tiempo más largo, así como se utilizó un nuevo procedimiento de uso de Taponex.
- Se obtuvo un óptimo P80 promedio de 21,34 cm equivalente a 8,4 in en mineral y 23,37 cm equivalente a 9,2 pulg en desmonte, por lo cual, estos valores se encuentran en el rango solicitado por chancadora, a la vez hubo un

ahorro de costos en voladura un promedio 0,02 \$/t, en mineral como en desmonte.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Voladura en superficie

La voladura de rocas en superficie comprende trabajos de explotación minera en bancos de canteras y tajos abiertos, obras de ingeniería civil y vial como excavaciones, canales, zanjas, cortes a media ladera y trabajos especiales como rotura secundaria de pedrones, demoliciones y voladuras controladas (Smooth Blasting) pero fundamentalmente se concreta en bancos. (5)

a) Voladura en bancos (aspectos generales)

Los bancos son excavaciones similares a escalones en el terreno. Su característica principal es la de tener, como mínimo, dos caras libres: la superior y la frontal.

- **Según su envergadura se consideran dos tipos:**

- ✓ Voladuras con taladros de pequeño diámetro, de 65 a 165 mm.
- ✓ Voladuras con taladro de gran diámetro, de 180 a 450 mm.

- **Por su aplicación o finalidad son:**

- **Convencional**

Busca la máxima concentración, esponjamiento y desplazamiento del material roto, aplicada para explotación minera.

- **De escollera**

Para obtener piedras de gran tamaño.

- **De máximo desplazamiento (Cast Blasting)**

Para proyectar gran volumen de roca a distancia.

- **De cráter**

Con taladros cortos y gran diámetro, para desbroce de sobre capas y otros.

- **Zanjas y rampas**

Excavaciones lineares confinadas.

- **Excavaciones viales**

Para carreteras, autopistas, laderas y también para producir material fino para ripiado o para agregados de construcción.

- **Para cimentaciones y nivelaciones**

Obras de ingeniería civil o de construcción.

- **De aflojamiento o pre voladuras**

Fracturamiento adicional a la natural de macizos rocosos, sin apenas desplazarlos, para remover terreno agrícola, incrementar la permeabilidad del suelo o retirarlo con equipo ligero o escariadoras (Scraper) etc.

- **Tajeos mineros**

Muchos trabajos de minería subterránea se basan en los parámetros de bancos cuando tienen más de dos caras libres, (ejemplos: tajeos VCR, Breasting y otros).

Lo que busca una voladura es la máxima eficiencia al menor costo y con la mayor seguridad, lo que se refleja, entre otros aspectos, en:

- Grado de fragmentación obtenido
- Esponjamiento y rango de desplazamiento
- Volumen cargado versus tiempo de operación del equipo
- Geometría del nuevo banco; avance del corte, pisos, estabilidad de taludes frontales y otros, aspectos que se observan y evalúan después del disparo para determinar los costos globales de la voladura y acarreo. (5)

b) Elementos para el diseño de voladuras en bancos

También denominados parámetros de la voladura, son datos empleados en el cálculo y diseño de disparos. Unos son invariables, como los correspondientes a las características físicas de la roca: densidad, dureza, grado de fisuramiento, coeficientes de resistencia a deformación y rotura, etc.; y otros son variables, es

decir que podemos modificarlos a voluntad, de acuerdo a las necesidades reales del trabajo y condiciones del terreno. (5)

Estos parámetros controlables se pueden agrupar en:

- Geométricos: altura, ancho y largo del banco, talud, cara libre.
- De perforación: diámetro y longitud del taladro, malla.
- De carga: densidad, columna explosiva, longitud de taco, características físico-químicas del explosivo.
- De tiempo: tiempos de retardo entre taladros, secuencia de salidas de los disparos.

c) Dimensión de la voladura

Comprende al área superficial delimitada por el largo del frente y el ancho o profundidad de avance proyectados (m^2) por la altura de banco o de corte (H), en m^3 .

$$(L \times A \times H) = \text{volumen total}$$

Donde:

L: largo, en m.

A: ancho, en m.

H: altura, en m.

Si desean expresarse en toneladas de material in situ se multiplica por la densidad promedio de la roca o material que pretende volarse.

$$(L \times A \times H \times \rho \times 1\,000) = \text{masa total}$$

Donde:

ρ : densidad de la roca, en kg/m^3

d) Parámetros dimensionales

- **Diámetro de taladro (Ø)**

La selección del diámetro de taladro es crítica considerando que afecta a las especificaciones de los equipos de perforación, carga y acarreo, también al burden, espaciado distribución de la carga explosiva, granulometría de la fragmentación, tiempo a emplear en la perforación y en general a la eficiencia y economía de toda la operación.

Para determinar el diámetro óptimo en la práctica, se consideran tres aspectos:

- ✓ La disponibilidad y aplicabilidad del equipo de perforación en el trabajo proyectado.
- ✓ La altura de banco proyectada y la amplitud o envergadura de las voladuras a realizar.
- ✓ La distancia límite de avance proyectado para el banco.

Con diámetro pequeño, los costos de perforación y de preparación del disparo normalmente son altos y se emplea mucho tiempo y personal, pero se obtiene mejor distribución y consumo específico del explosivo, permitiendo también efectuar voladuras selectivas.

El incremento de diámetro aumenta y mantiene estable la velocidad de detonación de la carga explosiva, incrementa el rendimiento de la perforación y el de los equipos de acarreo, disminuyendo el costo global de la voladura. Además, facilita el empleo de camiones cargadores de explosivos.

Por otro lado, si la roca a volar presenta sistemas de fracturas muy espaciadas o que conforman bloques naturales, la fragmentación a obtener puede ser demasiado gruesa o irregular. En bancos de canteras y en obras civiles de superficie los diámetros habituales varían entre 50 y 125 mm (2" a 5") mientras que en la minería por tajos abiertos varían entre 150 a 310 mm (6" a 12") y llegan hasta 451 mm (15"). El máximo diámetro a adoptar depende de la profundidad del taladro y, recíprocamente, la mínima profundidad a la que puede ser

perforado un taladro depende del diámetro, lo que usualmente se expresa con la igualdad: (5)

$$L = (2 \times \emptyset)$$

Donde:

L: la mínima longitud del taladro, en pies.

$\emptyset$: es el diámetro del taladro, en pulgadas.

- **Longitud o profundidad de taladro (L)**

La longitud de taladro tiene marcada influencia en el diseño total de la voladura y es factor determinante en el diámetro, burden y espaciado.

Es la suma de altura de banco más la sobreperforación necesaria por debajo del nivel o rasante del piso para garantizar su buena rotura y evitar que queden lomos o resaltos (toes), que afectan al trabajo del equipo de limpieza y deben ser eliminados por rotura secundaria.

Esta sobreperforación debe ser por lo menos de 0,3 veces el valor del burden, por tanto:

$$L = (0,3 \times B)$$

Donde:

L: longitud de taladro

B: burden.

Esta relación es procedente para taladros verticales que son los más aplicados en las voladuras de tajo abierto con taladros de gran diámetro, pero en muchas canteras de pequeña envergadura se perforan taladros inclinados, en los cuales la longitud de taladro aumenta con la inclinación, pero, por lo contrario, la sobreperforación (SP) disminuye, estimándose por la siguiente relación: (5)

$$L = (H / \cos(\alpha)) + [1 - ((\alpha/100) \times SP)]$$

Donde:

L: longitud del taladro.

H: altura de banco.

α : ángulo con respecto a la vertical, en grados.

SP: sobreperforación.

La perforación inclinada, paralela a la cara libre del banco, al mantener uniforme el burden a todo lo largo del taladro proporciona mayor fragmentación, esponjamiento y desplazamiento de la pila de escombros, menor caracterización en la boca o collar del taladro, menor consumo específico de explosivos y dejan taludes de cara libre más estables.

Por lo contrario, aumenta la longitud de perforación, ocasiona mayor desgaste de brocas, varillaje y estabilizadores, dificulta la carga de explosivos y tiende a desviación de los taladros, especialmente con los mayores a 20 m. (5)

- **La sobreperforación (SP)**

Tal como se indicó anteriormente, es importante en los taladros verticales para mantener la rasante del piso. Si resulta corta normalmente reproducirán lomos, pero si es excesiva se produciría sobre excavación con incremento de vibraciones y de los costos de perforación. (5)

En la práctica, teniendo en cuenta la resistencia de la roca y el diámetro de taladro, se estima los siguientes rangos:

Tabla 1. <i>Sobreperforación</i>	
Tipo de roca	sobreperforación
Blanda a media	De 10 a 11 x Ø
Dura a muy dura	12 x Ø

También es usual la relación: $SP = 0,3 \times B$, en donde B es el burden.

- **Longitud de taco (T)**

Normalmente el taladro no se llena en su parte superior o collar, la que se rellena con material inerte que tiene la función de retener a los gases generados durante la detonación, sólo durante fracciones de segundo, suficientes para

evitar que estos gases fuguen como un soplo por la boca del taladro y más bien trabajen en la fragmentación y desplazamiento de la roca en toda la longitud de la columna de carga explosiva. (5)

$$T = (L - (SP/3))$$

O igual a la longitud del burden:

$$T = B$$

Si no hay taco los gases se escaparán a la atmósfera arrastrando un alto porcentaje de energía, que debería actuar contra la roca. Si el taco es insuficiente, además de la fuga parcial de gases se producirá proyección de fragmentos, fraternización y fuerte ruido por onda aérea. Si el taco es excesivo, la energía se concentrará en fragmentos al fondo del taladro, dejando gran cantidad de bloques o bolones en la parte superior, especialmente si el fisuramiento natural de la roca es muy espaciado, resultando una fragmentación irregular y poco esponjada y adicionalmente se generará fuerte vibración. (5)

Normalmente como relleno se emplean los detritos de la perforación que rodean al taladro, arcillas o piedra chancada fina y angulosa. En ocasiones en taladros inundados se deja el agua como taco cuando la columna de carga es baja (también en voladura subacuática).

En la práctica su longitud usual es de 1/3 del largo total del taladro.

Si se tiene en cuenta al burden y resistencia de la roca, el taco variará entre $T = 0,7 B$ para material muy competente, como granito homogéneo, o en un radio de taco o burden que puede aproximarse a 1, es decir: $T = B$ para material incompetente con fisuras y fracturas abiertas. (5)

En la práctica también se relaciona el diámetro con la resistencia a compresión, con valores para roca blanda a intermedia de:

$$T = (33 \text{ a } 35) \times \varnothing$$

Y para roca dura a muy dura de:

$$T = (30 \text{ a } 32) \times \emptyset, \text{ en canteras}$$

En bancos con mayor diámetro variará entre: 40 $\emptyset$ para roca blanda a 25 $\emptyset$ para roca muy dura. (5)

En material suelto o incompetente, como es una sobre capa de suelo y detritus que recubre a la roca en un trabajo de desbroce de mina, o de una obra vial, esta relación será mucho mayor, generalmente del radio 2:1 sobre la roca (ejemplo: 2 m de sobre capa serán aproximadamente iguales a 1 m de roca, para propósitos de taqueo).

En desbroce también se puede aplicar la razón de burden T igual a 0,7 B sumándole la mitad del espesor de la sobre capa:

$$T = (0,7 \times B) + (SC/2)$$

Donde:

SC: espesor de sobre capa.

Para estimar el taco en taladros perforados en taludes inclinados se mantendrá la relación 2:1, considerando al burden como la distancia desde el tope de la columna explosiva hasta la cara libre más cercana, lo que se representa con un triángulo rectángulo en el que la base es el burden y el cateto menor es la longitud del taco (ejemplo: para 1,50 m de burden el taco será de 1,0 m).

Usualmente, cuando el terreno es muy irregular o su elevación cambia drásticamente, el tamaño del taco también variará para cada taladro. (5)

En algunas voladuras se mantiene igual longitud de taco para todos los taladros, mientras que otras se diseñan con mayor longitud en la primera y última filas, para bajar la altura y fuerza de la columna explosiva con lo que se limita la proyección frontal y la rotura hacia atrás.

Para taladros largos, delgados, no siempre es necesario el taco inerte real, siempre y cuando no se presente una excesiva pérdida de gases y presión.

- **Altura de banco (H)**

Distancia vertical desde la superficie horizontal superior (cresta) a la inferior (piso).

La altura es función del equipo de excavación y carga, del diámetro de perforación, de la resistencia de la roca de la estructura geológica y estabilidad del talud, de la mineralización y de aspectos de seguridad.

En un equipo de carga y acarreo son determinantes la capacidad volumétrica (m³) y la altura máxima de elevación del cucharón, además de su forma de trabajo (por levante en cargadores frontales y palas rotatorias o por desgarrar hacia abajo en retroexcavadoras). (5)

Normalmente los cargadores frontales a ruedas se emplean en bancos de 5 a 10 m de altura, con taladros de 65 a 100 mm (2 ½" a 5") de diámetro, mientras que las excavadoras y grandes palas a oruga, en bancos de 10 a 15 m y más, con taladros de 100 mm (4" a 12") o de diámetro, pudiéndose estimar la altura de banco con la siguiente fórmula:

$$H = 10 + (0,57 \times (C - 6))$$

Donde:

C: es la capacidad del cucharón de la excavadora en m³

Según el diámetro de taladro en voladuras de tajo abierto en relación con la resistencia de la roca, se estima que para roca suave alcanzaría a unos 50 diámetros y para roca muy dura a unos 35 diámetros.

Para calcular la altura más adecuada o económica en forma práctica, se estimará cuatro veces en metros el diámetro del taladro dado en pulgadas: H (en mm) = 4 x Ø, donde Ø es el diámetro de taladro; así, para un diámetro de 2" la altura será de 8 m.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que si la altura de banco es igual al burden (1:1) la fragmentación resultará gruesa, con sobre excavación y lomos al piso, porque la cara libre no se podrá flexionar. (5)

Si la altura es el doble del burden (2:1) la fragmentación mejora y los lomos disminuyen. Si la altura de banco es tres o más veces mayor (3:1) la relación H/B permitirá la flexión, lográndose fragmentación menuda y eliminación de los otros efectos. (5)

Otra relación práctica indica que la altura de banco debe ser mayor que el diámetro de la carga explosiva, es decir:

$$(H \times \varnothing)/15$$

En donde H en m y $\varnothing$ en mm.

Así, para un diámetro de 100 mm (4") resulta una altura mínima de 6,6 m, lo que indica que la altura práctica debe ser mayor a esa cifra. (5)

Por otro lado, el diámetro máximo de taladro sugerido (en mm) para una altura de banco conocida, debería ser igual a la altura, en metros, multiplicada por 15.

$$\varnothing \text{ máx.} = (15 \times H)$$

Donde

$\varnothing$: diámetro máximo de taladro, en mm

H: altura de banco, en m.

Así, con un banco de 8 m el diámetro máximo debería ser de $8 \times 15 = 120$ mm.

- **Burden (B)**

También denominada piedra, bordo o línea de menor resistencia a la cara libre.

Es la distancia desde el pie o eje del taladro a la cara libre perpendicular más cercana. También la distancia entre filas de taladros en una voladura. (5)

Se considera el parámetro más determinante de la voladura.

Depende básicamente del diámetro de perforación, de las propiedades de la roca, altura de banco y las especificaciones del explosivo a emplear. (5)

Se determina en razón del grado de fragmentación y al desplazamiento del material volado que se quiere conseguir.

Si el burden es excesivo, la explosión del taladro encontrará mucha resistencia para romper adecuadamente al cuerpo de la roca, los gases generados tenderán a soplar y a craterizar la boca del taladro. (5)

Por el contrario, si es reducido, habrá exceso de energía, la misma que se traducirá en fuerte proyección de fragmentos de roca y vibraciones. En la práctica, el burden se considera igual al diámetro del taladro en pulgadas, pero expresado en metros. Así, para un diámetro de 3" el burden aproximado será de 3 m, conociéndose como burden práctico a la relación empírica:

$$\varnothing \text{ (en pulgadas)} = B \text{ (en m)}$$

También se aplican las siguientes relaciones prácticas según Languetors:

$$B = (0,046 \times \varnothing) \text{ (en mm)}$$

Tomando en cuenta la resistencia a compresión de las rocas en taladros de mediano diámetro, el burden variará entre 35 y 40 veces el diámetro para roca blanda y entre 33 a 35 veces el diámetro para roca dura a muy dura. (5)

Tomando en cuenta el tipo de explosivo en taladros de mediano gran diámetro, la relación será:

✓ **Con dinamita:**

- En roca blanda: $B = (40 \times \varnothing)$

- En roca muy dura: $B = (38 \times \emptyset)$

✓ **Con emulsiones:**

- En roca blanda: $B = (38 \times \emptyset)$
- En roca muy dura: $B = (30 \times \emptyset)$

✓ **Con Examon o ANFO:**

- En roca blanda: $B = (28 \times \emptyset)$
- En roca muy dura: $B = (21 \times \emptyset)$

Así, por ejemplo, para roca dura a volar con ANFO en taladros de 3" de diámetro tenemos:

$$B = 40 \times 3 = 120 \times 2,54 = 3,05 \text{ (igual a 3 m)}$$

Usualmente se considera:

$$B = (40 \times \emptyset)$$

Otra definición dice que el burden, en metros, normalmente es igual al diámetro de la carga explosiva en milímetros multiplicado por un rango de 20 a 40, según la roca. Así, por ejemplo: el burden para una carga de 165 mm de diámetro será:

$$165 \times 20 = 3,3 \text{ m y } 165 \times 40 = 6,6 \text{ m}$$

Por otro lado, se consideran dimensiones típicas en minería y canteras a las siguientes relaciones:

$$B = (32 \times \emptyset)$$

Para roca con densidad promedio menor de $3,3 \text{ g/cm}^3$, ($\emptyset$ es el diámetro de carga).

$$B = (26 \times \emptyset)$$

Para roca con densidad promedio mayor de $3,3 \text{ g/cm}^3$, ($\emptyset$ es el diámetro de carga).

Con criterios más técnicos se han propuesto varias fórmulas para el cálculo del burden, que involucran parámetros de la perforación y de la roca, pero todas al final señalan valores entre 25 a 40 Ø, dependientes principalmente de la calidad y resistencia de la roca.

Aunque no es propósito de este manual detallarlas, se mencionan algunas, como referencia. (5)

- **Fórmula de Andersen**

Considera que el burden es una función del diámetro y longitud del taladro, describiéndola así:

$$B = \sqrt{(\varnothing * L)}$$

Donde:

B: burden

Ø: diámetro del taladro, en pulgadas

L: longitud del taladro, en pies

La relación longitud de taladro-burden o altura de banco, influye sobre el grado de fragmentación. (5)

- **Fórmula de Langefors**

Considera además la potencia relativa del explosivo, el grado de compactación, una constante de la roca y su grado de fracturamiento, mediante la siguiente fórmula:

$$B = \left(\frac{db}{33}\right) * \sqrt{\frac{(P * S)}{c * f * \left(\frac{E}{B}\right)}}$$

Donde:

B: burden, en metros

P: grado de compactación que puede estar entre 1,0 y 1,6 kg/dm³

S: potencia relativa del explosivo (por ejemplo, de 1,3 para una gelatina especial)

c: constante para la roca, generalmente entre 0,45 y 1,0

f: grado de fractura. Para taladro vertical el valor es de 1,0

E: espaciamiento entre taladros

E/B: radio de espaciamiento a burden

db: diámetro de broca

Empleando valores métricos para esta fórmula tenemos:

$$P = 1,25 \text{ kg/dm}^3$$

$$S = 1,0$$

$$c = 0,45$$

$$f = 1,0$$

$$E = 1,25$$

$$B = \left(\frac{db}{33}\right) * \sqrt{\frac{(1.25 * 1)}{0.45 * 1 * \left(\frac{1.25}{B}\right)}}$$

$B = db/22$; si consideramos que el diámetro de broca $db = 75 \text{ mm (3")}$ tendremos:

$$B = 75,9/22 = 3,5 \text{ m (11,3 pies)}$$

Langefors muestra una relación que determina el radio de “diámetro de broca a burden”. (5)

- **Fórmula de C. Konya**

Basada en las teorías del Dr. Ash. Determina el burden con base en la relación entre el diámetro de la carga explosiva y la densidad, tanto del explosivo como de la roca, según:

$$K_e = 1,2 \text{ a } 1,8 \text{ para taladros secuenciados con retardos cortos}$$

- Longitud de taco

$$T = (K_s \times B), (K_s \text{ entre } 0,7 \text{ y } 1,6)$$

- Sobreperforación

$$SP = (K_s \times B), (K_s \text{ entre } 0,2 \text{ y } 1).$$

El burden se mantiene para la primera y demás filas de taladros con salidas paralelas, pero se reduce cuando los taladros se amarran en diagonal (Corte "V" y Echelón).

- **Espaciamiento (E)**

Es la distancia entre taladros de una misma fila que se disparan con un mismo retardo o con retardos diferentes y mayores en la misma fila.

Se calcula en relación con la longitud del burden, a la secuencia de encendido y el tiempo de retardo entre taladros.

Al igual que con el burden, espaciamientos muy pequeños producen exceso de trituración y craterización en la boca del taladro, lomos al pie de la cara libre y bloques de gran tamaño en el tramo del burden. Por otro lado, espaciamientos excesivos producen fracturación inadecuada, lomos al pie del banco y una nueva cara libre frontal muy irregular. (5)

En la práctica, normalmente es igual al burden para malla de perforación cuadrada $E = B$ y de $E = 1,3$ a $1,5 B$ para malla rectangular o alterna.

Para las cargas de precorte o voladura amortiguada (Smooth Blasting) el espaciamiento en la última fila de la voladura generalmente es menor: $E = 0,5$ a $0,8 B$ cuando se pretende disminuir el efecto de impacto hacia atrás.

Si el criterio a emplear para determinarlo es la secuencia de salidas, para una voladura instantánea de una sola fila, el espaciado es normalmente de $E = 1,8 B$, ejemplo para un burden de 1,5 m (5') el espaciado será de 2,9 m (9').

Para voladuras de filas múltiples simultáneas (igual retardo en las que el radio longitud de taladro a burden (L/B) es menor que 4 el espaciado puede determinarse por la fórmula:

$$E = \sqrt{(B * L)}$$

Donde:

B: burden, en pies

L: longitud de taladros, en pies

En voladura con detonadores de retardo el espaciado promedio es aproximadamente de:

$$E = (1,4 \times B)$$

Si el criterio a emplear en taladros de mediano diámetro es la resistencia a compresión, para roca blanda a media variará de 50 a 45 Ø y para roca dura a muy dura de 43 a 38 Ø. Si además de la resistencia se involucra el tipo de explosivo, para taladros de medio a gran diámetro se puede considerar lo siguiente:

- **Con Examon y ANFO:**

- Para roca blanda a media: E = 27 a 33 Ø.
- Para roca dura a muy dura: E = 25 a 24 Ø.

- **Con emulsiones y ANFO pesado:**

- Para roca blanda a media: E = 37 a 45 Ø.
- Para roca dura a muy dura: E = 35 a 34 Ø.

- **Radio Longitud a burden (L/B)**

La relación ideal de longitud a burden es de 3:1 que sirve de referencia para comprobar el burden y diámetros óptimos, mediante tanteos con diferentes diámetros hasta aproximarnos lo más posible a 3, en base al burden obtenido con la fórmula de Konya. (5)

Ejemplo, teniendo los siguientes valores:

- Diámetro del explosivo: 3"
- Densidad del explosivo: 0,85
- Densidad de la roca: 2,70
- Longitud de taladro: 25 pies (7,62m)

$$B = 3.15 \sqrt[3]{\frac{0.85}{2.70}} = 6.4 \text{ pies}$$

Comprobación:

Longitud: 25 pies.

Burden: 6,4

$$\frac{L}{B} = \frac{25}{64} = 3.9$$

Valor muy elevado al pasarse de 3, por lo que deberá ajustarse una de las variables. Densidad del explosivo (cambiando el tipo) o el diámetro del explosivo (cambiando el diámetro del taladro), que es más aceptable, ya que, si el radio resulta muy alto, el burden puede ser incrementado, con lo que disminuye el número de taladros; por otro lado, es difícil considerar un explosivo con densidad menor de 0,85. Tanteando nuevamente con la fórmula, para un diámetro de 5" el resultado será de $B = 10,7$ pies aplicando la prueba:

$$\frac{L}{B} = \frac{25}{10.7} = 2.3$$

Este valor es muy corto respecto a 3. Tanteando otra vez con la misma fórmula, pero con diámetro de 4", el resultado será:

$B = 8,5$ pies. Aplicando la prueba:

$$\frac{L}{B} = \frac{25}{8.7} = 2.92$$

Que es un valor adecuado muy cercano a 3. Por tanto, en estos ejemplos el burden ideal será de 8,5' (2,6 m) para un taladro de 4" de diámetro (101 mm) y 25 pies (7,62 m) de longitud, cargado con explosivo de baja densidad (0,85 g/cm³), a granel.

e) Cálculo y distribución de la carga explosiva

• Columna explosiva

Es la parte activa del taladro de voladura, también denominada "longitud de carga" donde se produce la reacción explosiva y la presión inicial de los gases contra las paredes del taladro. Es importante la distribución de explosivo a lo

largo del taladro, según las circunstancias o condiciones de la roca. Usualmente comprende de 1/2 a 2/3 de la longitud total y puede ser continua o segmentada. (5)

Así pueden emplearse cargas sólo al fondo, cargas hasta media columna, cargas a columna completa o cargas segmentadas (espaciadas, alternadas o Deck charges) según los requerimientos incluso de cada taladro de una voladura.

La columna continua normalmente empleada para rocas frágiles o poco competentes suele ser del mismo tipo de explosivo, mientras que para rocas duras, tenaces y competentes se divide en dos partes: La carga de fondo (CF) y la carga de columna (CC). (5)

- **Carga de fondo (CF)**

Es la carga explosiva de mayor densidad y potencia requerida al fondo del taladro para romper la parte más confinada y garantizar la rotura al piso, para, junto con la sobreperforación, mantener la rasante, evitando la formación de resaltos o lomos y también limitar la fragmentación gruesa con presencia de bolones.

Su longitud es normalmente equivalente a la del burden más la sobreperforación: $B + 0,3 B$; luego:

$$CF = (1,3 \times B)$$

No debe ser menor de $0,6 B$ para que su tope superior esté al menos al nivel del piso del banco. Se expresa en kg/m o lb/pie de explosivo. Los productos usualmente empleados son:

ANFO aluminizado, hidrogeles Slurrex, emulsiones sensibilizadas, Examon-V o ANFOs Pesados como Slurrex-AP de 30/70 a 60/40, en razón a que la energía por unidad de longitud en el fondo del taladro debe ser al menos dos veces mayor que la requerida para romper la roca en la parte superior.

Si se toma en consideración la resistencia de la roca y el diámetro de la carga, la longitud de la carga de fondo variará entre 30 Ø para roca fácil a 45 Ø para muy dura.

El cebo iniciador o Booster debe colocarse en esta parte de la carga, preferentemente al nivel del piso del banco, para su mayor efectividad.

- **Carga de columna (CC)**

Se ubica sobre la carga de fondo y puede ser de menos densidad, potencia o concentración ya que el confinamiento de la roca en este sector del taladro es menor, empleándose normalmente ANFO convencional, Examon-P o ANFO Pesado en relaciones de 10/90 a 20/80.

La altura de la carga de columna se calcula por la diferencia entre la longitud del taladro y la suma la carga de fondo más el taco.

$$CC = L - (CF + T)$$

Usualmente $CC = 2,3 \times B$.

Años atrás, en los grandes tajos se empleaban cartuchos o mangas de hidrogel (Slurrex 40, Slurrex 60 o Slurrex 80) como carga de fondo cuando se requería reforzar la carga iniciadora en taladros secos o en taladros con presencia de agua, llenándose el resto de la columna con ANFO.

Actualmente, con la posibilidad de poder preparar mezclas de emulsión-ANFO de diferentes proporciones en los camiones mezcladores-cargadores (camiones fábricas), es común carga con ANFO Pesado en relaciones de 10/90 a 60/40, con una longitud de (10/15) Ø al fondo y completar la carga de columna con ANFO normal.

- **Cargas segmentadas o espaciadas**

Normalmente se emplean cargas continuas en taladros de pequeña o mediana longitud, pero en taladros largos o en aquellos que se requiera disminuir la energía, pero manteniéndola distribuida en toda su longitud, se emplean cargas espaciadas con tacos inertes intermedios y con un iniciador en cada una

para garantizar su salida. Estas cargas pueden ser del mismo tipo de explosivo o emplearse uno de mayor densidad o potencia en la primera carga al fondo. Las salidas pueden ser simultáneas o con diferentes tiempos de salida para cada una, mediante retardos en orden ascendente o descendente, según el diseño de la voladura o los efectos que se quieran obtener. (5)

- **Carga específica (CE)**

Llamado también consumo específico o factor de carga (Powers factor). Es la cantidad de explosivo necesaria para fragmentar 1 m³ o yd³ de roca. Se expresa en kg/m o lb/yd.

$$CE = \frac{(\text{Total de explosivo utilizado, en kg})}{(\text{Total de explosivo utilizado, en kg})}$$

La carga específica es una excelente unidad referencial para el cálculo de la carga total de un disparo, pero no es el mejor parámetro de por sí, ya que la distribución de este explosivo en la masa de la roca mediante los taladros tiene gran influencia en los efectos de fragmentación y desplazamiento, es decir, en el resultado de la voladura.

Así, a igualdad de carga específica, una voladura efectuada con taladros de pequeño diámetro muy próximos entre sí resultará con mejor fragmentación que si se utilizan taladros de gran diámetro, pero más espaciados.

Usualmente se determina con base en la cantidad de explosivo utilizado por m³ de roca volada en varios disparos, incluso diferenciando varios tipos de roca, considerando valores promedio para el cálculo de los disparos subsiguientes. (5)

Otros valores utilizados para estimar la carga requerida para un disparo son: el factor de energía del explosivo en kcal/kg conjugado con las características mecánicas de la roca, como su módulo de resistencia elástica (módulo de Young), resistencia a compresión-tensión, densidad, etc. En voladura, la cantidad de explosivo utilizado deberá ser muy próxima a lo mínimo necesario para desprender la roca. Menos carga significa tener una voladura deficiente y,

por el contrario, un exceso de carga significa mayor gasto y mayores riesgos de accidentes, debiéndose tenerse en cuenta que el exceso de carga colocado en el taladro origina una proyección cuya energía es proporcional a dicho exceso por m³, estimándose que el centro de gravedad de la masa de la voladura podría desplazarse varios metros hacia adelante por cada 0,1 kg/m³ de exceso de carga, siendo aún mayor el riesgo de proyección de trozos pequeños a distancias imprevisibles (Flying rock). (5)

- **Estimación de cargas**

Volumen a romper por taladro = Malla por altura de taladro

$V = (B \times E \times H) = m^3$ por taladro

Tonelaje: volumen por densidad de la roca o mineral

- **Volumen de explosivo**

Diámetro de taladro por longitud de la columna explosiva (columna continua) o por la suma de las cargas segmentadas.

$$V_e = (\emptyset \times C_e), \text{ en } m^3$$

- **Factor de carga (FC)**

Es la relación entre el peso de explosivo utilizado y el volumen de material roto.

$$FC = (W_e/V)$$

- **Tonelaje roto**

El tonelaje roto es igual al volumen del material roto multiplicado por la densidad de dicho material.

$$\text{Tonelaje} = (V \times \rho_r)$$

- **Carga específica para cada taladro en voladuras de varias hileras**

- Primera fila (burden a la cara libre frontal inicial):

$$C_e = (H - SP) \times E \times (B + T/2) \times FC, \text{ en kg}$$

- Para la segunda fila y subsiguientes:

$$C_e = (H - SP) \times E \times B \times FC, \text{ en kg.}$$

Donde:

Ce: carga explosiva, en kg

H: profundidad de taladro (5)

SP: sobreperforación

E: espaciamiento entre taladros

B: burden

T: piso quedado

FC: factor de carga (por tipo de roca, tendrá que definirse para cada caso en especial)

- **Perforación específica**

Es el número de metros o pies que se tiene que perforar por cada m³ de roca volada.

$$\frac{(L/H)}{(B * E)}$$

Donde:

L: profundidad del taladro (altura de banco (H) – 0,3 B)

H: altura de banco

B: burden

E: espaciamiento

- **Factor de perforación (FP)**

$$FP = (H/B) \times E \times H, \text{ en m/m}^3$$

Luego:

$$\frac{\text{Perforación total}}{FP * \text{volumen total}}$$

- **Cálculo general para carga de taladro**

$$(0,34 \times \varnothing^2 \times \text{pe}), \text{ en lb/pie}$$

Donde:

0,34: factor

Ø: diámetro del taladro, en pulg

pe: densidad del explosivo a usar, en g/cm³

- **Densidad de carga (Dc)**

$$Dc = 0,57 \times pe \times \text{Ø}^2 \times (L - T)$$

Donde:

Dc: densidad de carga, en kg/tal

0,57: factor

Ø: diámetro del taladro, en pulg.

pe: densidad del explosivo a usar

L: longitud de perforación

T: taco

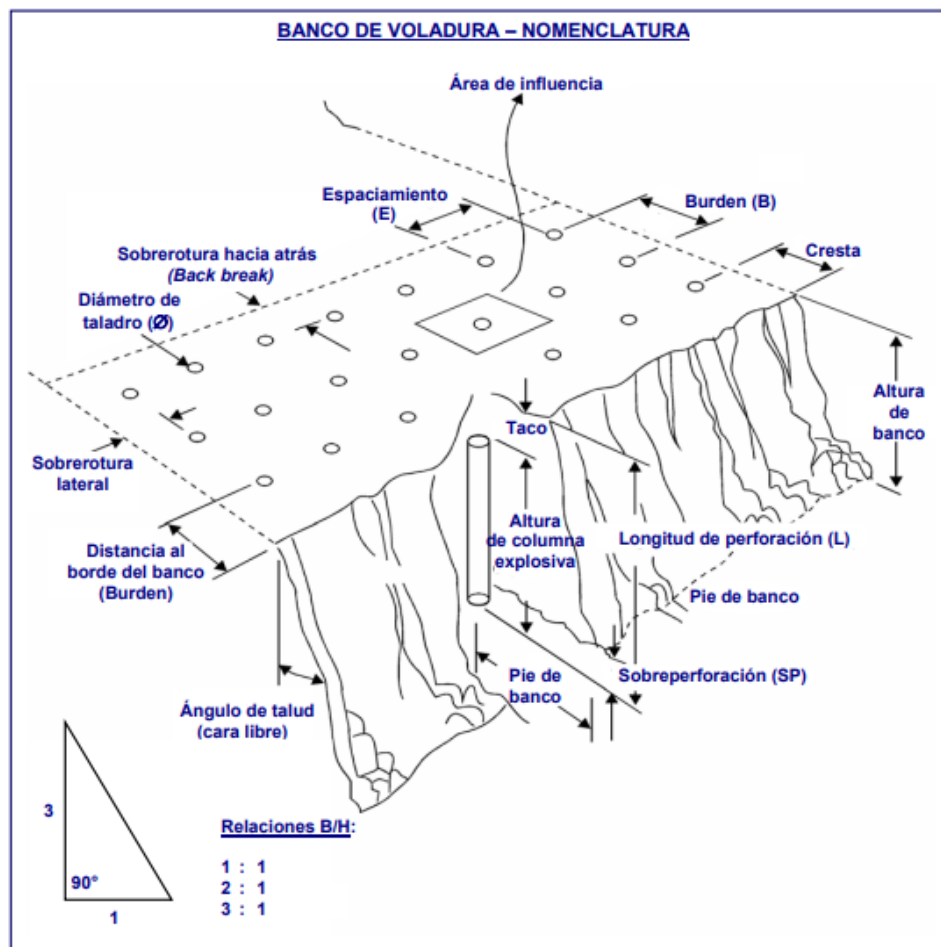


Figura 1 Banco de voladura – nomenclatura

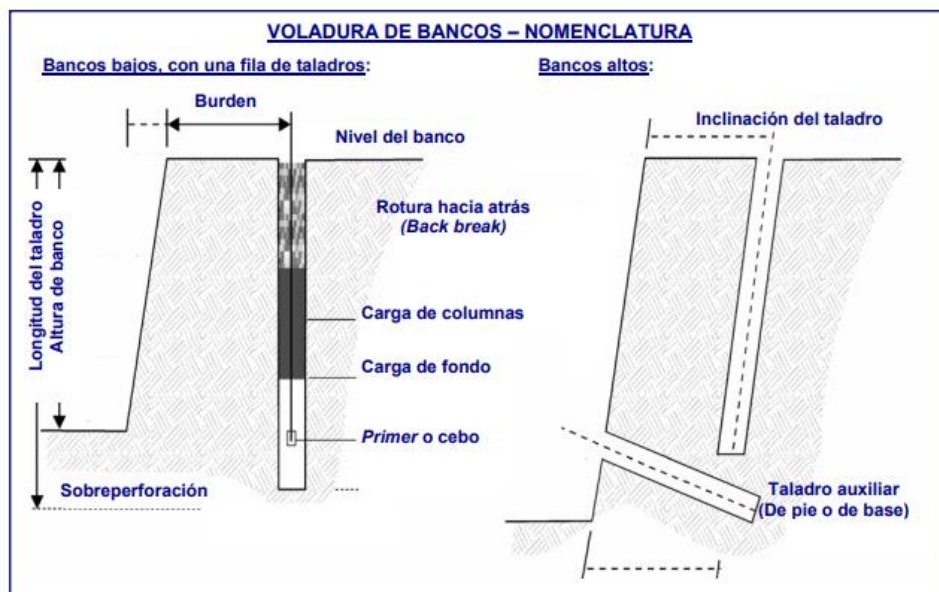


Figura 2. Voladura de bancos – nomenclatura

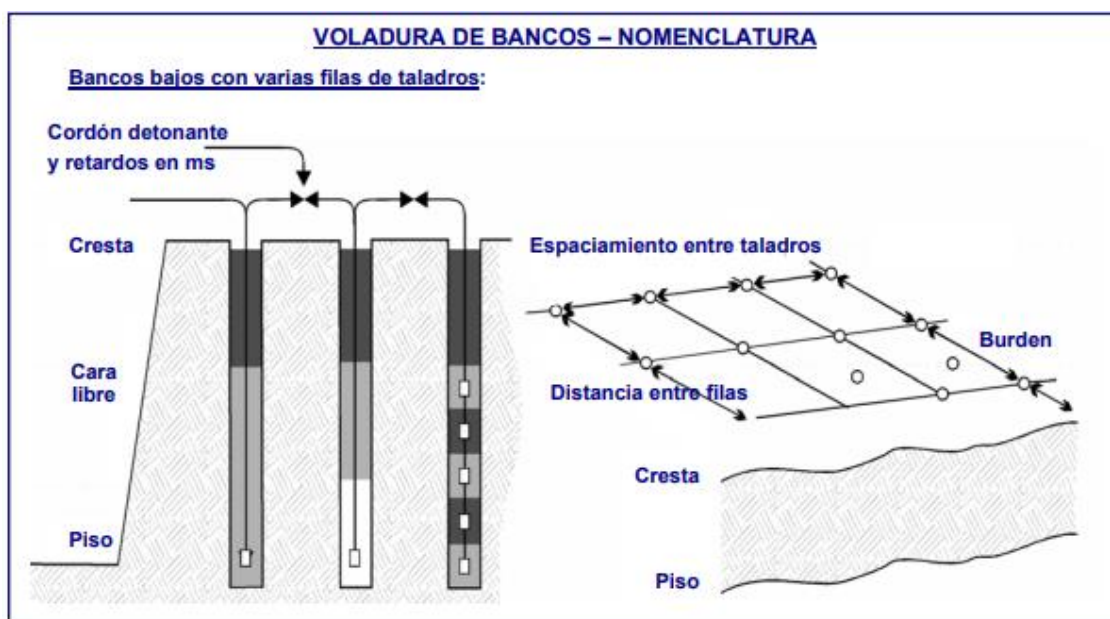
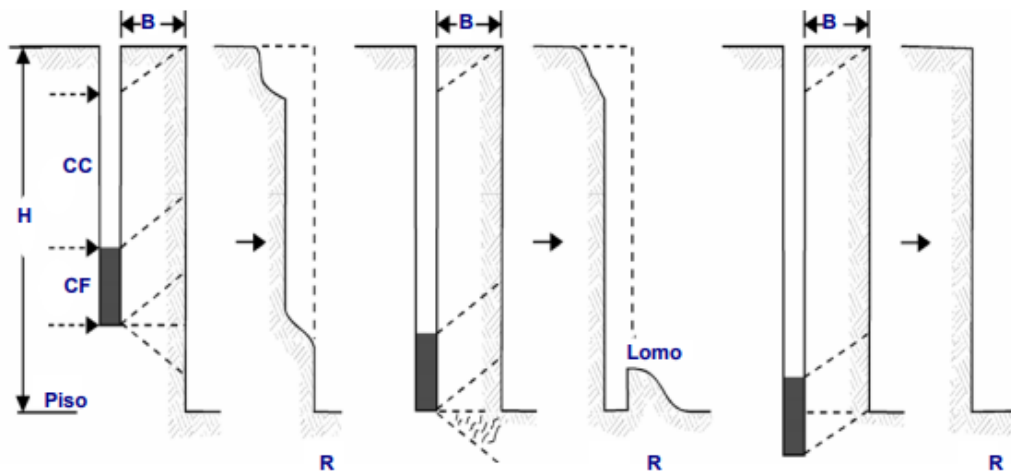


Figura 3 . Voladura de bancos – nomenclatura

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA VOLADURA

Profundidad del taladro y carga de fondo respecto al piso y cara libre. Ejemplos:



A. Taladro corto

B. Taladro al piso

C. Con sobreperforación

H : altura del banco
 B : burden
 CC : carga de columna
 CF : carga de fondo
 R : resultado al piso

Figura 4. Factores que influyen en la voladura

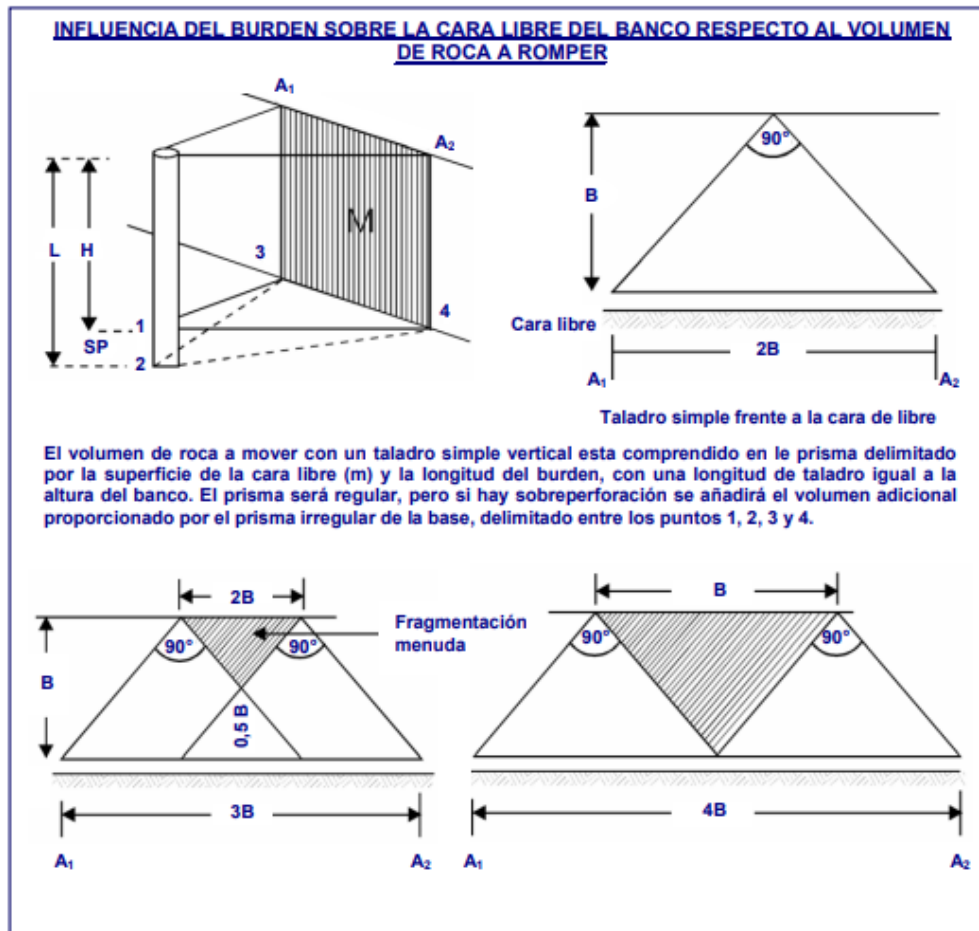


Figura 5. Influencia del burden sobre la cara libre del banco respecto al volumen de roca a romper

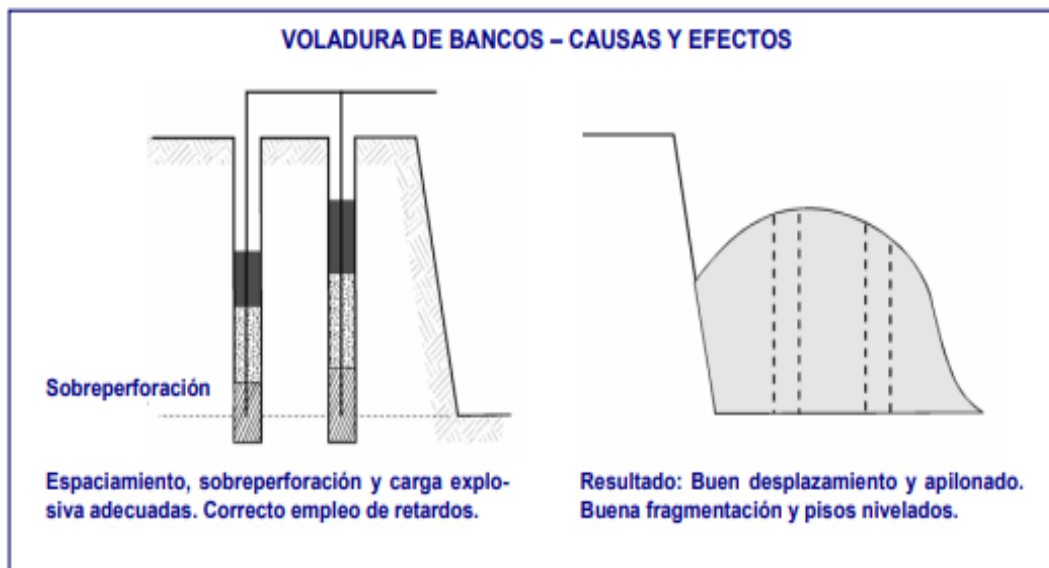


Figura 6. Voladura de bancos – causas y efectos

2.2.2 Sistema Taponex

- **Beneficios del sistema**

El sistema Taponex® está especialmente diseñado para asegurar la creación y aplicación de ondas de tensión en el medio rocoso circundante al taladro cargado con explosivos, dando como origen el método de voladura de tensión.

El sistema Taponex está probado y funciona bien en: (6)

- ✓ Pozos secos sin presencia de agua
- ✓ Pozos saturados de agua, cargados con Anfo pesado o emulsión.

Su diseño producto de numerosas pruebas en campo y su construcción en plástico de alta resistencia, aseguran que el TAPONEX® quede finalmente en la posición correcta. (6)

Esto garantiza una instalación simple y rápida, principalmente en los siguientes casos:

- Sobre el explosivo en la zona del Taco.
- Bajo el explosivo, para control del piso en una voladura.
- Cámara Intermedia, al medio de la columna explosiva
- Sostener columnas de explosivos o material inerte con absoluta seguridad.
- Sellar los taladros evitando la eyección de los tacos.
- Impide la contaminación de los explosivos con material del taco en taladros saturados con agua.

Cuando el TAPONEX® es usado correctamente en conjunto con detonadores electrónicos de precisión, ahorros sustanciales pueden ser alcanzados tanto en los costos de perforación, voladura, carguío y transporte.

- **Ventajas del uso del Taponex®:**

- Disminución de la sobreperforación
- Reducción de la columna explosiva
- Contracción de la eyección de tacos
- Reducción de "Fly Rock" y onda aérea
- Descenso de las vibraciones

- Fragmentación más homogénea
- La granulometría es más fina a pesar de la disminución del factor de carga
- Se puede aplicar pozos con agua y secos
- El sistema se ha utilizado en rocas de 80 MPa hasta 230 MPa
- Se mantiene la misma malla, secuencia de salida y tipos de explosivo. (6)

Cuando el TAPONEX® es usado correctamente en conjunto con detonadores electrónicos de precisión, ahorros sustanciales pueden ser alcanzados tanto en los costos de perforación, voladura, carguío y transporte.

Para obtener más antecedentes del proceso solicita a Blasting Analysis International, Inc. (BAI) la realización de pruebas a escala total y taladro por taladro para determinar cómo trabaja el Sistema Tensional de Voladura.

Los resultados del estudio han mostrado:

- Reducción o eliminación de la sobreperforación en la perforación
- Reducciones en las vibraciones hasta en un 33 %
- Reducción del consumo de explosivos entre 16 y 25 %
- Mejoramiento de la fragmentación hasta en un 25 %

International Technologies S.A empresa chilena filial de su homóloga en EEUU, la cual se dedica a la optimización de perforación y voladura. Diseña, fabrica y comercializa el producto TAPONEX®, sistema y accesorio patentado, a nivel mundial con oficinas en EEUU, Perú, Sudáfrica, Australia y Chile.

El sistema TAPONEX está especialmente diseñado para asegurar la creación y aplicación de ondas de Tensión en el medio rocoso circundante al taladro cargado con explosivos, dando como origen el fracturamiento de la voladura por tensión.

Su peculiar diseño producto de numerosas pruebas en campo y su construcción en plástico de alta resistencia, aseguran que el TAPONEX® quede finalmente en la posición correcta.

Esto garantiza una instalación simple y rápida, principalmente en los siguientes casos: sobre el explosivo en la zona del taco, como cámara de aire capacidad; y/o bajo el explosivo, para control del piso en una voladura.

Adicionalmente puede ser usado en taladros secos y saturados con agua, además de poder sostener columnas de explosivos o material inerte con absoluta seguridad, así como sellar los taladros evitando la eyección de los tacos, e impidiendo la contaminación de los explosivos con material del taco en taladros saturados con agua. (6)

- **Beneficios**

Entre las principales ventajas del uso del TAPONEX® destacamos:

- ✓ Disminución de la sobreperforación
- ✓ Reducción de la columna explosiva
- ✓ Contracción de la eyección de tacos
- ✓ Descenso de las vibraciones
- ✓ Disminución onda choque
- ✓ Fragmentación más homogénea
- ✓ La granulometría es más fina a pesar de la disminución del factor de carga
- ✓ No se detecta diferencia en pozos con agua y secos
- ✓ El sistema se ha utilizado en rocas de 80 MPa hasta 230 MPa
- ✓ Se mantiene la misma malla, secuencia de salida y tipos de explosivo. (6)

2.3 Definición de términos básicos

- **Agente de voladura**

Cualquier compuesto o mezcla química insensible a los fulminantes que no contengan ningún ingrediente explosivo y que pueda hacerse detonar cuando se inicia con un primer (iniciador) explosivo de gran potencia (por ejemplo, ANFO). (7)

- **ANFO**

Agente explosivo que no contiene otros ingredientes esenciales fuera de nitrato de amonio “prilled” y el petróleo diésel N° 2. (7)

- **Altos explosivos**

Materiales explosivos que se usan para detonar por medio de un fulminante, cuando no están confinados (por ejemplo, dinamita, polvos centellantes y salvas a granel). (7)

- **Área de voladura**

Área en la cual la concusión (onda de choque), el material lanzado o los gases producidos por una detonación podrían ocasionar daños a las personas. Al determinar el área de voladura deberán considerarse los siguientes factores: (6)

- ✓ La geología o el material que se va a volar;
- ✓ Las mallas de perforación y voladura;
- ✓ La mezcla explosiva burden, profundidad, diámetro y ángulo de los taladros;
- ✓ La experiencia en voladura que se tenga de la mina;
- ✓ El sistema de retardo, factor de carga y libras por retardo;
- ✓ El tipo y cantidad de material explosivo; y
- ✓ Tipo y cantidad de taco (7)

- **Bajos explosivos**

Materiales explosivos pueden ser usados para deflagar cuando están confinados (por ejemplo: pólvora negra, mecha de seguridad, dispositivos de incendio, mechas rápidas y encendedores de mechas) (7)

- **Boosters (iniciadores)**

Accesorios de voladura constituida por una carga explosiva detonante sin medios para iniciarse. Se usan para iniciar a los agentes de voladuras. (7)

- **Carguío**

Colocación del material explosivo ya sea en un taladro o contra el material que se va hacer volar. (7)

- **Conmutador de seguridad**

Conmutador que proporciona protección en derivación en los circuitos de voladura entre el área de voladuras y el conmutador usado para conectar una fuente de energía al circuito de voladuras. (7)

- **Cordón detonante**

Cordón flexible que contiene un núcleo central de altos explosivos, el cual puede usarse para iniciar otros explosivos. (7)

- **Detonador**

Cualquier dispositivo que contenga una carga detonadora usada para iniciar un explosivo. Entre estos dispositivos se incluyen los fulminantes eléctricos y no eléctricos instantáneos o los fulminantes de retardo, y también los conectores de retardo. El término “detonador” no incluye al cordón detonante. Comúnmente, los detonadores consisten en un pequeño tubo metálico o plástico que contiene explosivos, tales como azido” de plomo, PETN o combinaciones de explosivos. Están diseñados para iniciar un tren de voladura. Pueden construirse para detonar inmediatamente o pueden contener un elemento de retardo. Pueden contener no más de 10g de peso total de explosivos, sin incluir las cargas de ignición y retardo, por unidad. (7)

- **Dinamita**

Explosivo detonante que contiene un ingrediente explosivo líquido (generalmente nitroglicerina, ésteres orgánicos similares de nitrato, o ambos), mezclado uniformemente con un material absorbente, como pulpa de madera, y que usualmente contiene materiales como nitrocelulosa, nitrato de sodio y de amonio. (7)

- **Dispositivos detonadores, no eléctricos para la voladura**

Detonadores no eléctricos ensamblados y activados con medios tales como una mesa de seguridad, manguera fanel, tubo de destellos o cordón detonante. Pueden ser de diseño instantáneo o incorporar elementos de retardo. Aquí se incluyen los detonadores de retardo que incorporan cordón detonante. (7)

- **Emulsión**

Material explosivo que contiene cantidades sustanciales de oxidantes disueltos en pequeñas gotas de agua, rodeados por un combustible inmiscible. (7)

- **Explosivo de voladura**

Sustancias explosivas detonantes usadas en minería, construcción y tareas similares. Los explosivos de voladura pueden contener componentes inertes tales como diatomita y otros ingredientes menores, como agentes colorantes y estabilizadores. (7)

- **Explosión deflagrante.**

Sustancia, por ejemplo, de propulsión que reacciona por deflagración en vez de hacerlo por detonación cuando se enciende y es usada de manera normal. (7)

- **Explosivo detonante**

Sustancia que reacciona por detonación en vez de por deflagración cuando se inicia y es usada de manera normal. (7)

- **Material explosivo**

Explosivos, agentes de voladura y detonadores. (7)

- **Mecha de seguridad**

Artículo que consiste en un núcleo de pólvora negra de grano fino, rodeado por tejidos flexibles con una o más cubiertas protectoras externas. Cuando se enciende, se quema a una velocidad predeterminada sin efecto explosivo. (7)

- **Mecha rápida**

Accesorios de voladura que se quema progresivamente en su longitud con una llama externa en la zona de quemado; se usa para encender una serie de mechas de seguridad en una secuencia deseada. (7)

- **Pólvora negra (pólvora)**

Sustancia que consiste en una mezcla íntima de carbón vegetal u otro carbono (C) y potasio (K) o nitrato de sodio (NaNO_3), más azufre (S). Puede presentarse molido, granular, comprimido o en pellets. (7)

- **Punto de inflamación**

La temperatura mínima a la cual un líquido libera vapor suficiente para formar una mezcla inflamable de vapor y aire cerca de la superficie del líquido. (7)

- **Separación laminada**

Separación compuesta por el siguiente material y con dimensiones nominales mínimas de ½ pulgada (1,3cm) de madera terciada gruesa; ½ pulgada de cartón de yeso; 1/8 de pulgada (30mm) e acero de carbón; ¼ de pulgada de espesor (60mm) de madera terciada gruesa, todos ellos unidos en ese orden.

Pueden usarse otras combinaciones de material, como madera terciada, madera o cartón de yeso como aislantes, y acero o madera como elementos estructurales, a condición de que la partición sea equivalente a una separación laminada para fines tanto de aislamiento como estructurales. (7)

- **Slury**

Material explosivo que contiene porciones importantes de in líquido, oxidantes y combustible, más de un espesador. (7)

- **Sitio de voladura**

Área donde se manipula el material explosivo durante la carga, incluyendo el perímetro formado por los taladros y 50 pies (15,25m) en todas las direcciones desde los taladros cargados. El requerimiento de distancia de 50 pies también se aplica a lo largo de toda la profundidad del taladro. En las minas subterráneas, se pueden sustituir 15 pies (4,6 m) de viga o pilar sólidos por 50 pies de distancia. (7)

- **Tiro cortado**

Falla total o parcial del material explosivo en detonar según lo planificado. El término también se usa para describir al mismo material explosivo que no ha detonado. (7)

- **Waters gel**

Material explosivo que contiene porciones importantes de agua, oxidantes y combustible, más un agente de unificación. (7)

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1 Métodos y alcances de la investigación

3.1.1 Método general

El método general de la investigación es el científico, debido que se seguirán pasos ordenados con la finalidad de demostrar las hipótesis planteadas mediante la observación experimental, para buscar la solución al problema planteado.

3.1.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada, debido a que en una primera instancia se aplicará los conocimientos de la investigación básica para solucionar el problema del diseño de una malla de perforación.

3.1.3 Nivel de investigación

El nivel de investigación es correlacional, el propósito consiste en buscar la causa efecto que se generan en el problema en el diseño de una malla de perforación.

3.2 Diseño de investigación

La investigación cuasi experimental, debido a que la variable independiente será manipulada para encontrar el efecto en la variable dependiente y realizar el diseño de la malla de perforación.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

La población está conformada por: los blocks mineralizados ubicados en la Mina 05-550-19 unidad operativa Shougang

3.3.2 Muestra

La muestra censal está conformada por: los blocks mineralizados ubicados en la Mina 05-550-19 operadas por San Martin Contratistas Generales S.A. - unidad operativa Shougang

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas de recolección de datos

- ✓ Observación
- ✓ Entrevista
- ✓ Encuesta

3.4.2 Instrumentos de recolección de datos

- ✓ Ficha de observación de campo
- ✓ Ficha de entrevista
- ✓ Ficha de encuesta

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información

4.1.1 Ubicación

La unidad minera se encuentra políticamente ubicada en el distrito de Marcona, provincia de Nazca, departamento de Ica, en la costa del sur del Perú, aproximadamente a 530 km al sur de Lima. Está dividida en tres zonas diferentes denominadas Mina, San Nicolás y San Juan.

El acceso desde Lima es a través de la carretera Panamericana Sur con dirección a Nazca y posteriormente tomando la dirección oeste, hacia la ciudad de San Juan de Marcona. Todas las vías por las que se circula para llegar a Marcona están asfaltadas.



Figura 7. Plano de ubicación

4.1.2 Estandarización del uso del Taponex en mina

a) Diseño de carga

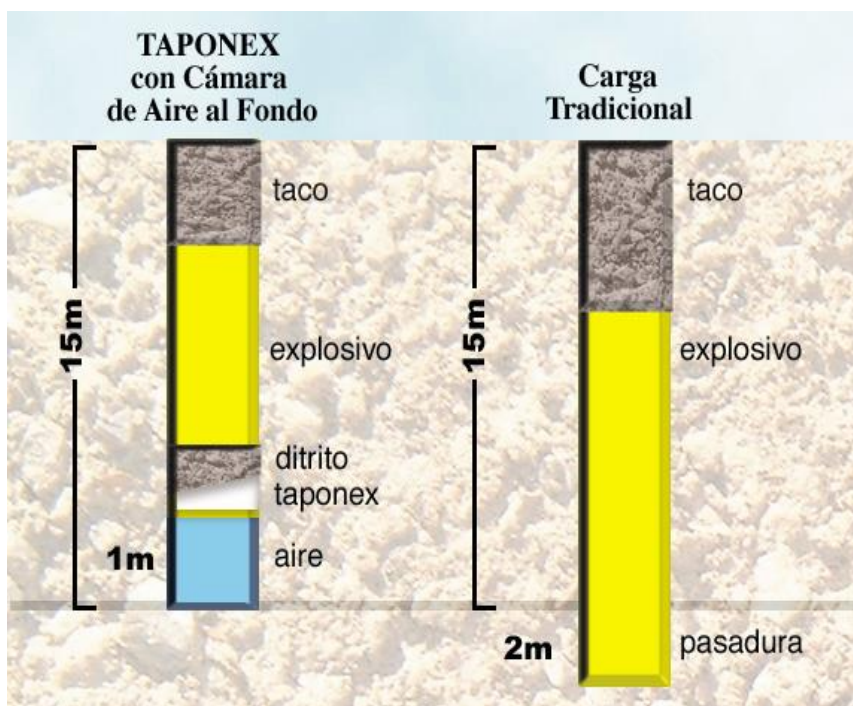


Figura 8. Diseño de carga
Tomada de International Technologies S.A. Santiago, Chile

b) Proceso de equilibrio

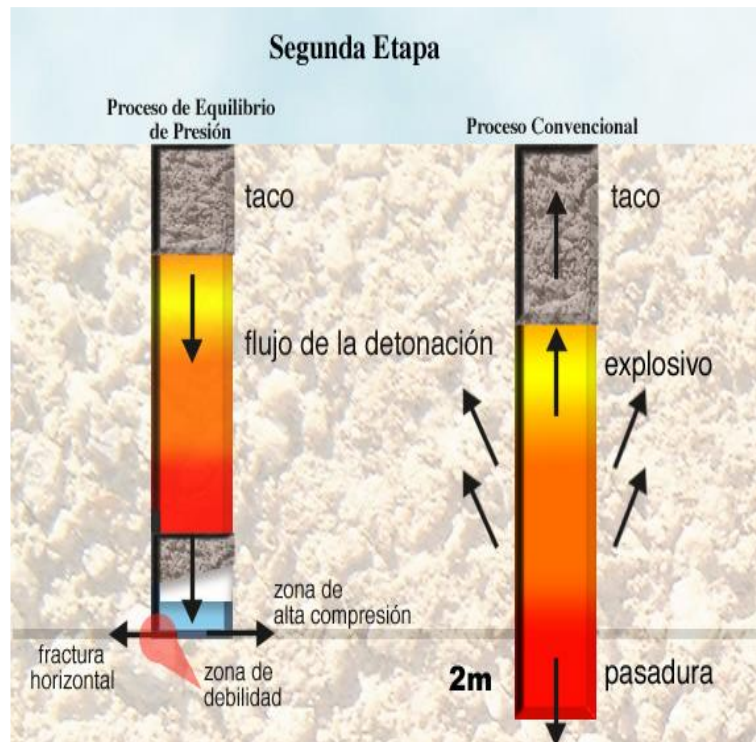


Figura 9. Proceso de equilibrio
Tomada de International Technologies S.A. Santiago, Chile

c) Transmisión de la energía al medio

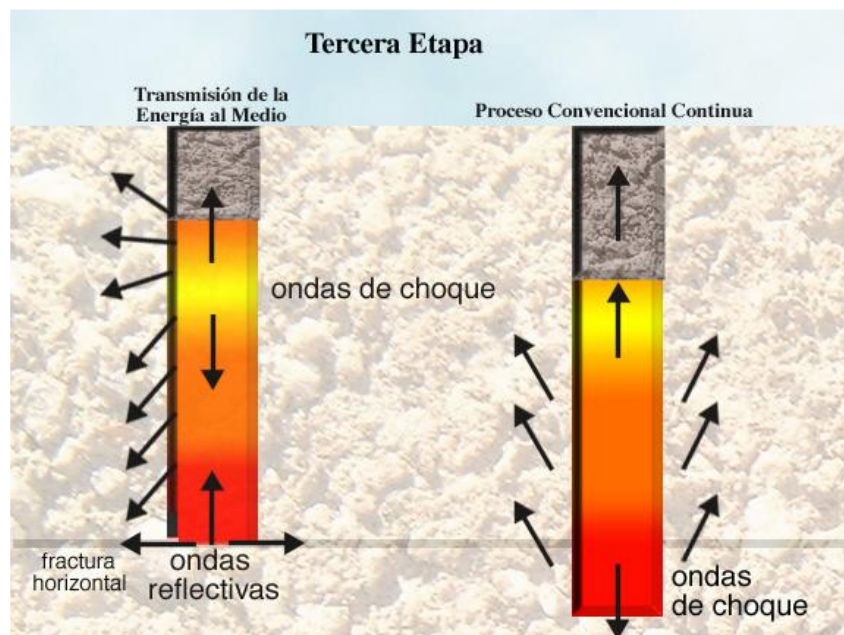


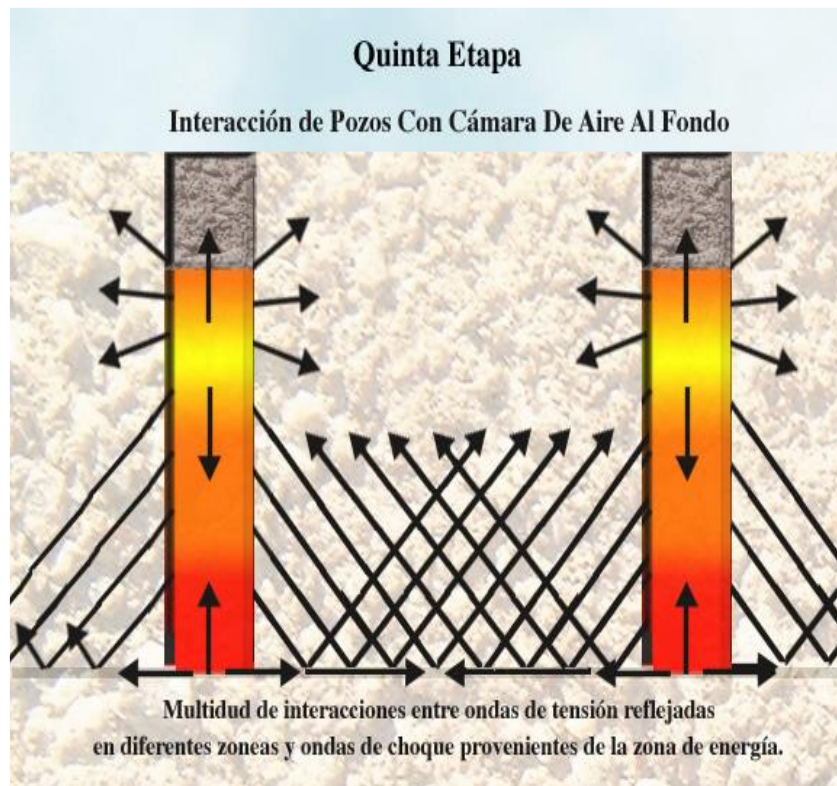
Figura 10. Transmisión de la energía al medio
Tomada de International Technologies S.A. Santiago, Chile

d) Transmisión de la energía al medio



*Figura 11. Transmisión de la energía al medio
Tomada de International Technologies S.A. Santiago, Chile*

e) Interacción de taladros con cámara de aire



*Figura 12. Interacción de taladros con cámara de aire
Tomada de International Technologies S.A. Santiago, Chile*

4.1.3 Características geomecánicas de la roca

Tabla 2 Características de la roca

Tipo de Roca	Símbolos	RMR ₈₉	m _i	S _c Mpa	S _T Mpa	E _{rm} Gpa	n	c Mpa	f (°)
Toba superior	TS	52	15	36.2	2.7	5.1	0.25	0.231	32.1
Aglomerado inferior	AI	52	20	5.6	0.9	2	0.25	0.133	21.4
Toba inferior	TI	52	15	3.1	0.6	1.5	0.25	0.102	16.1
Toba cristal	TC	58	15	50.5	3.1	8.5	0.25	0.314	39
Traquita	TR	53	16	91.5	7	8.5	0.25	0.344	41.3
Vitrofiro	VT	53	19	9.5	1.2	2.8	0.25	0.159	24.9
Toba blanca	TB	53	15	6.9	0.9	2.3	0.25	0.135	20.9
Aglomerado gris	AG	53	20	6.7	1.1	2.3	0.25	0.144	23.1
Andesita basáltica	BA	61	17.2	32.7	7.2	8.08	0.25	0.295	38.8
Andesita basáltica alterada	BAA	61	17.2	39.3	8.5	8.08	0.25	0.317	40.3
Andesita basáltica fract.	BAF	57	17.2	18	5.4	4.76	0.25	0.213	31.2
Latita porfírica	LP	63	14.5	55.4	5.5	11.8	0.25	0.388	42.9
Latita porfírica estéril	BLP	63	14.5	69.4	7.3	11.8	0.25	0.434	44.7
Riolita porfírica	RP	61	16	83.2	7.4	12.88	0.25	0.438	45.9

Donde

RMR₈₉ = Rock Mass Rating (1989)

m = Constante de roca

S_c = Resistencia a la compresión

S_T = Resistencia a la tensión

E_{rm} = Módulo de Young

n = Relación de Poisson

c = Cohesión

f = Angulo de fricción

Para iniciar las pruebas, y conociendo las características geomecánicas de las rocas, clasificamos usando el modelo de RHI considerando la facilidad para perforación y voladura.

4.1.4 Diseño de cargas tradicionales

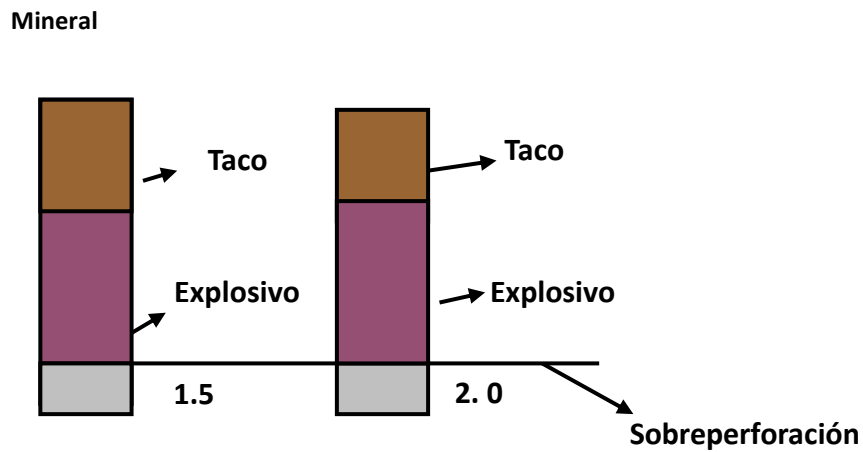


Figura 13. Diseño de cargas tradicionales

4.1.5 Diseño de carga 1ra. etapa de pruebas

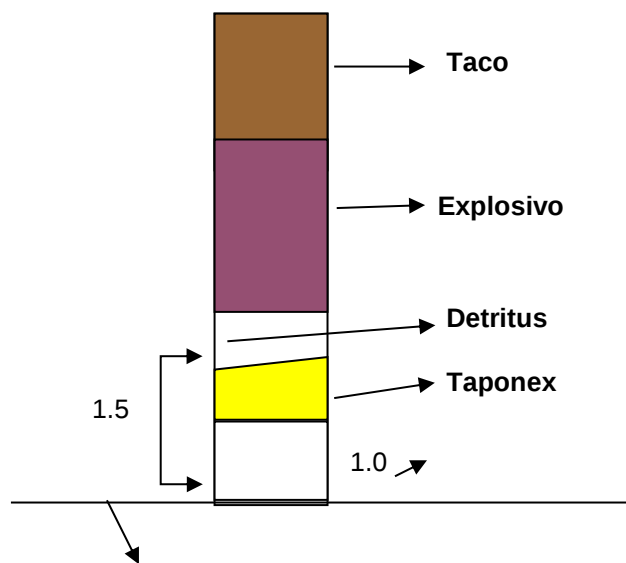


Figura 14. Diseño de carga 1ra. etapa de pruebas

4.1.6 Factores favorables (Primera etapa de pruebas)

Menos metros de perforación: 1.5 m, en mineral y 2.0 m en desmonte ahorro de explosivo

a) Factores desfavorables

- ✓ Algunos pisos con nódulos
- ✓ Utilización de voladura secundaria para corregir

b) Resultados de prueba

En la segunda etapa de pruebas se ajustaron los parámetros hasta conseguir una sobreperforación óptima, que detallamos continuación:

- ✓ Dividimos los tipos de rocas de mina en dos grupos:
- ✓ Rocas suaves
- ✓ Rocas intermedias a duras
- ✓ Rocas suaves
- ✓ Sobreperforación: 0.5 m.
- ✓ Rocas intermedias a duras
- ✓ Sobreperforación: 1 m.

c) Factores favorables

- ✓ Pisos uniformes
- ✓ Buen performance del equipo de carguío
- ✓ Ninguna utilización de voladura secundaria para corrección de pisos

d) Factores desfavorables

- ✓ Aumento de sobreperforación de 1 m, en terreno intermedio a duro, 0.5m en terreno suave con respecto a la primera etapa de pruebas.

- **Condición 1:** El taco no debe de ser menor de 7.0 m.
- **Condición 2:** En Roca intermedia a dura lo mínimo permisible para que un taladro sea corto es 0.5 m.

- Ejemplo:
 - Longitud pedida: 16 m
 - Longitud perforada: 15.5 m
 - Se carga sin Taponex y con HA 37 como carga de fondo
 - Longitud perforada: 15.00m, (Re perforar)
- **Condición 3:**
 - En roca suave lo mínimo permisible para que un taladro sea corto es 1 m.
 - Longitud pedida: 16mt.
 - Longitud perforada 15 m. cargar sin Taponex.
 - Longitud perforada 14.5 m, (Re perforar)

Tabla 3. Dureza de terreno según modelo RHI

Notación	Descripción	RHI
T. Roca	Dureza del terreno según modelo RHI	RHI
Ba-Arg	Andesita basáltica argílica	8
Ba-Arg	Andesita intrusiva argílica	9
LP/QS	Latita porfírica-QZ-sericita	9.9
BA-QV	Andesita basáltica QZ venas	10
TI	Toba inferior	N/D
TS	Toba superior	N/D
RP	Riolita porfírica silicificada	11
IA/FP	Andesita intrusiva fílica propílica	11.6
LP/MS	Latita porfírica moderadamente silicificada	11.7
BX-MS	Brecha de latita porfírica moderadamente silicificada	11.7
BX	Brecha	11.7
BA-PTK	Andesita basáltica potásica	N/D
BA-FL-TK	Andesita basáltica filítica potásica	N/D
TC	Toba cristal	N/D
TR	Traquita	N/D
IA-QP	Andesita intrusiva QZ pervasiva	12
IA-ES-RQ	Andesita intrusiva estructura reticular	12.5
LP-ES-RQ	Latita porfírica estructura reticular QZ	15.2
LP/F	Latita porfírica fresca	15.9
LP-S	Latita porfírica silicificada	16.3

4.1.7 Análisis comparativo con la implementación de Taponex

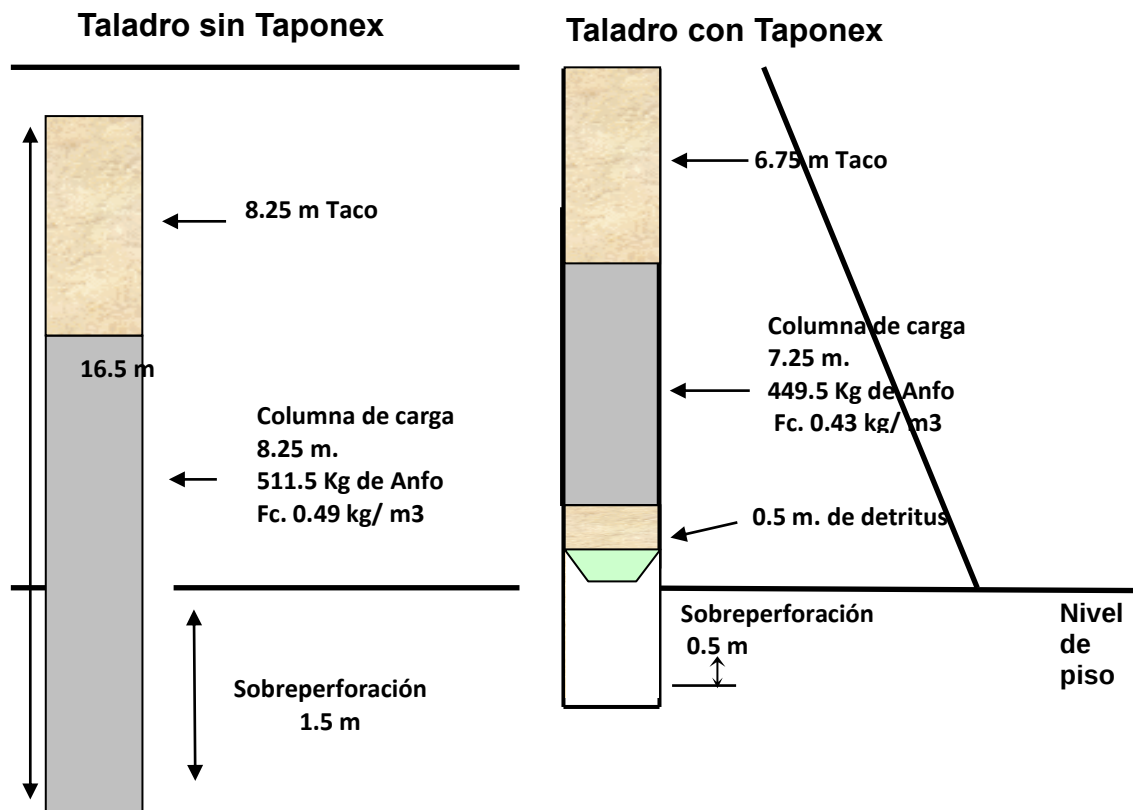


Figura 15. Análisis comparativo con la implementación de Taponex

Tabla 4. Tiempos de carguío versus fragmentación medida con WIP- FRAG

		Tiempos de carguío			Fragmentación medida con WIP- FRAG				
Fecha de carguío		Tiempo carguío Desser (seg)	Tiempo carguío Cat (seg)	Factor de carga (kg/m³)	D< 10% mm	D< 25% mm	D< 50% mm	D< 75% mm	D< 90% mm
S. inicial nivel 3385	21B, 27B, 28A, 29A, 30A, 31AB	75	75	0.49	76	97	136	225	330
Prueba nivel 3385	29B, 30AB, 31AB	75	76	0.43	76	95	133	224	341

4.1.8 Nivel de piso de la pala

Tabla 5. Tabla del nivel de piso de la Pala

Disparo	Nivel	Roca	Guardia	Taponex	Cota
17	3385	LP-F	B	No	33.83.657
17	3385	LP-F	B-1	No	33.83.594
17	3385	LP-F	B	No	3383.200
Promedio					3383.48367

Disparo	Nivel	Roca	Guardia	Taponex	cota
17	3385	LP-F	A	Sí	3383.524
17	3385	LP-F	B	Sí	3383.322
17	3385	LP-F	A	Sí	3384.098
17	3385	LP-F	B	Sí	3384.087
Promedio					3383.75775

Tabla 6. Perforación y voladura mina Cuajone con Taponex

- ✓ Perforación y voladura mina Cuajone con Taponex
- ✓ Tipo de explosivo ANFO
- ✓ Perforación y disparos
- ✓ Diámetro de broca = 12 ¼ pulgadas
- ✓ Tipo de malla = Triangular equilátera
- ✓ Altura de Banco = 15 metros
- ✓ Fecha:

Tipo de Roca	Código	Burden (B) m.	Espaciamiento (E) m.	Sub Drilling m.	FP kg/m³	Profundidad taladros m.	Carga m.		Taco m. **
							Fondo		
							HA	HA	
							37	55	
Latita porfirítica (WI = 11.7, 12.5)	LP-MS	8.66	10	0.5	0.33	15.5	5.5		8.5
Latita porfirítica (WI = 9.9)	LP-QS	8.66	10	0.5	0.23	15.5	5.0		9.0
Latita porfirítica estéril (WI=15.9)	BLP	7.79	9	1.0	0.43	16.0	7.5		7.0
Latita porfirítica silicificada (WI = 16.3)	LP-S	7.79	9	1.0	0.70	16.0		7.5	7.0
Latita porfirítica estructura reticular (WI = 15.2)	LP-ES-RQ	7.79	9	1.0	0.70	16.0		7.5	7.0

Andesita basáltica alterada (zona central, lado sur y norte alto)	BA	9.09	10.5	0.5	0.19	15.5	4.5	9.5
Andesita basáltica potásica	BA-PTK	7.79	9	0.5	0.61	15.5	6.5	7.5
Andesita intrusiva (WI=12.0)	IA-QP	8.66	10	0.5	0.26	15.5	5.5	8.5
Riolita porfirítica	RP	8.66	10	0.5	0.31	15.5	6.5	7.5
Brecha desmonte	BX	6.93	8	0.5	0.83	15.5	7.0	7.0
Brecha mineral	BXm	6.93	8	0.5	0.83	15.5	7.0	7.0
Traquita	TR	7.36	8.5	1.0	0.49	16.0	7.5	7.0
Toba cristal	TC	6.93	8	1.0	0.55	16.0	7.5	7.0
Toba inferior	TI	8.66	10	0.5	0.26	15.5	5.5	8.5
Aglomerado inferior	AI	6.93	8	0.5		15.5	-	
Aglomerado gris	AG	6.93	8	0.5		15.5	-	
Conglomerado basal	CB	8.66	10	0.5	0.33	15.5	7.0	7.0

* La longitud de *subdrilling* se reduce 1 metro, también la columna de carga ha sido reducida en 1 m.

** El Taco, es la diferencia de la longitud del taladro - altura de carga - 1 m de cámara de aire - 0.5 m de tierra.

Nota: Estos parámetros de perforación y de voladura, solo son en terrenos secos y en zonas de agua, y no son aplicados en taladros de las crestas ni tampoco en la primera fila de taladros cercanos a material disparado.

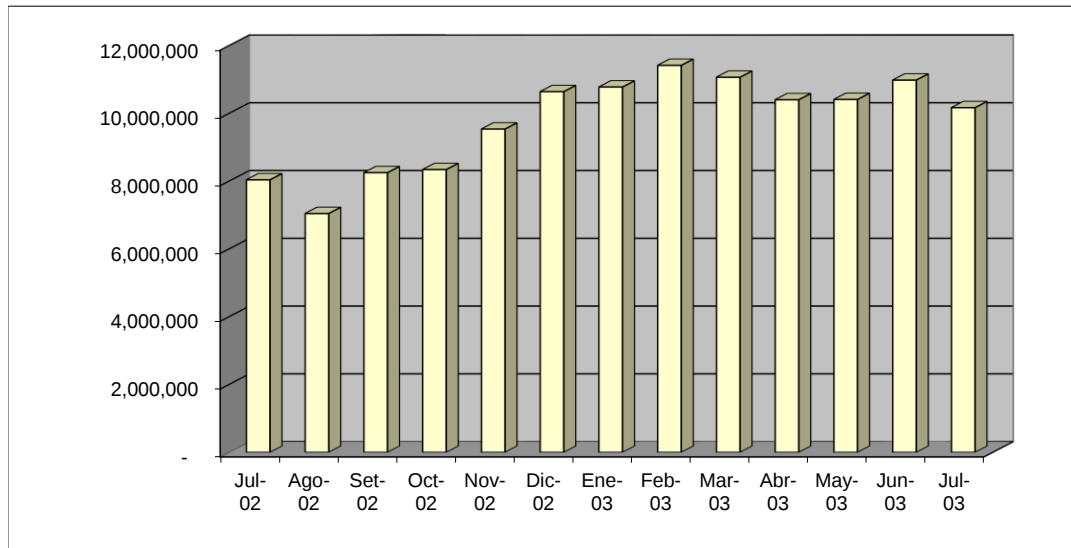
4.1.9 Incremento de material disparado con el uso masivo de Taponex

Tabla 7. Incremento de material disparado con el uso masivo de Taponex

Fecha	Material TM
Jul - 02	8,040,785
Ago - 02	7,046,245
Set - 02	8,251,422
Oct - 02	8,343,402
Nov - 02	9,538,748
Dic - 02	10,642,605
Ene - 03	10,779,449
Feb - 03	11,418,714
Mar - 03	11,067,002
Abr - 03	10,403,843
May - 03	10,412,435
Jun - 03	10,983,254
Jul - 03	10,169,977

4.1.10 Incremento de material disparado con el uso masivo del Taponex

Tabla 8. Incremento de material disparado con el uso masivo del Taponex
INCREMENTO DE MATERIAL DISPARADO CON EL USO MASIVO DEL TAPONEX



4.1.11 Incremento de taladores perforadores con el uso masivo de Taponex

Tabla 9. Evaluación de taladores perforadores con el uso masivo de Taponex

Fecha	Taladores
Feb - 02	2,754
Mar - 02	2,508
Abr - 02	2,889
May - 02	2,787
Jun - 02	2,996
Jul - 02	3,204
Ago - 02	3,196
Set - 02	3,015
Oct - 02	3,364
Nov - 02	3,440
Dic - 02	2,829
Ene - 03	3,246
Feb - 03	3,333
Mar - 03	3,131
Abr - 03	2,753
May - 03	3,360
Jun - 03	2,816

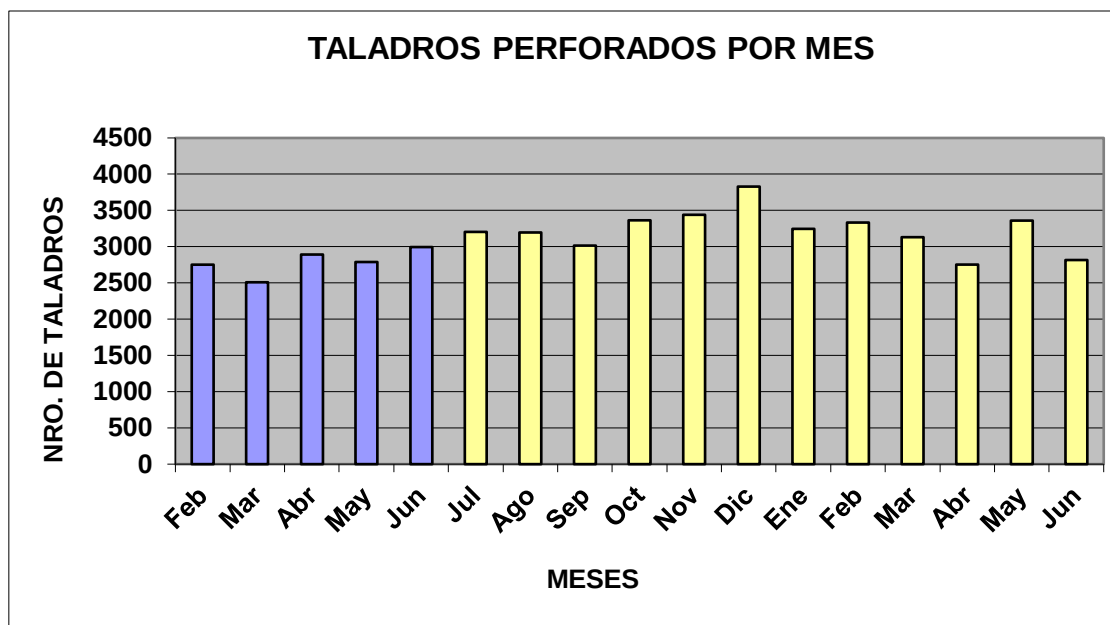


Figura 16. Taladros perforados por mes

Tabla 10. Incremento del factor en ton por kg-Exp.

Fecha	Tonelada por kg- Exp.
FEB - 02	4.77
MAR - 02	4.28
ABR - 02	4.35
MAY - 02	6.14
JUN - 02	5.82
JUL - 02	6.30
AGO - 02	6.44
SET - 02	6.24
OCT - 02	5.89
NOV - 02	6.44
DIC - 02	4.76
ENE - 03	5.25
FEB - 03	5.24
MAR - 03	4.92
ABR - 03	5.90
MAY - 03	5.82
JUN - 03	5.14

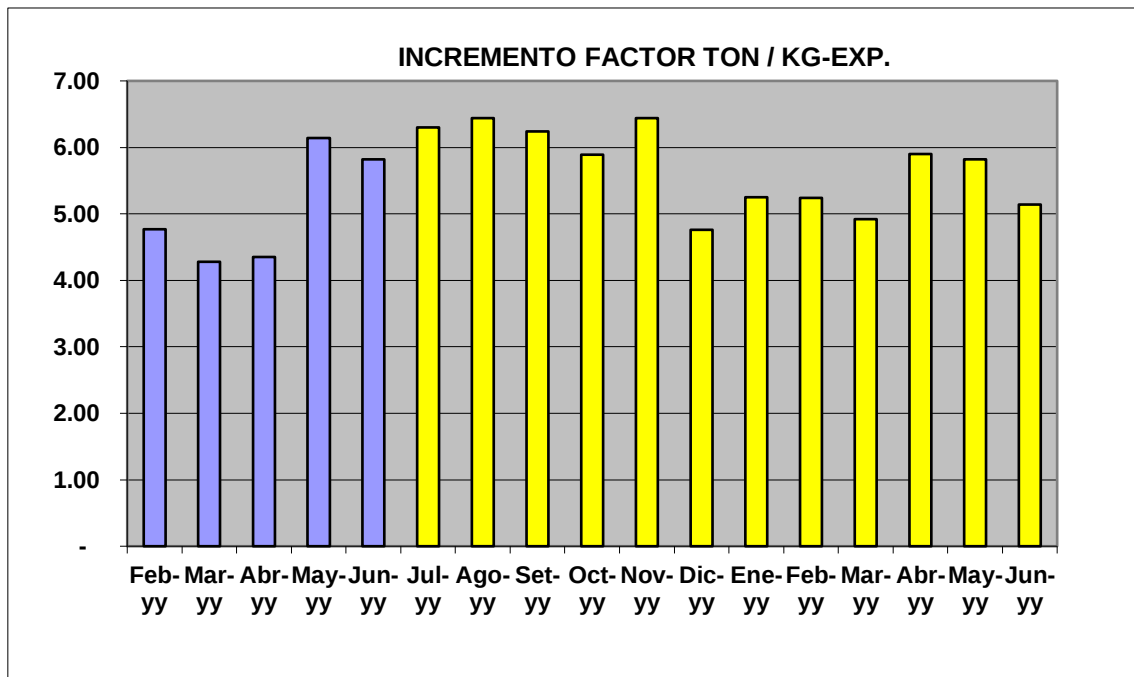


Figura 17. Incremento del factor en ton por kg-Exp.

4.2 Discusión de resultados

• Respecto a la hipótesis N°01

La aplicación del sistema Taponex mejora la fragmentación, debido al control de la sobreperforación.

La conclusión respecto a esta hipótesis fue: con la aplicación del sistema Taponex mejoró la fragmentación, obteniendo una fragmentación más homogénea esto debido a la reducción de la sobreperforación, lo cual incide en el carguío del mineral; de igual manera el incremento del material roto es significativo

Según Cumpa (2), en su investigación: “Efecto de las cámaras de aire en taladros de producción para mejorar la fragmentación del material y reducir el nivel de vibraciones por voladura en minería a tajo abierto en el norte del Perú, 2016”; concluyó que:

En referencia al objetivo específico 1, el disparo con Taponex obtuvo entre 20.83 a 24.96 % de mejoras en la fragmentación del material para las mallas entre P20 a P80; por lo tanto, se concluye que existe un efecto del uso de la cámara de aire sobre la fragmentación del material.

Se verifica que el valor del P-Valué = 0.040 es menor a $\alpha = 0.05$, se rechaza la H_0 y se acepta H_1 .

Por lo tanto, se concluye que con un $\alpha = 0.05$, la fragmentación promedio con disparos en taladro de producción con Taponex es menor a la fragmentación promedio con disparos en taladro de producción normal (pulgadas).

De ambas investigaciones se establece que el uso del sistema Taponex mejora la fragmentación.

- **Respecto a la hipótesis N°02**

La aplicación del sistema Taponex reduce el consumo de explosivos, debido a la generación de una elevada energía.

La conclusión respecto a esta hipótesis fue: con la reducción hasta del 6 % por taladro se obtuvo un ahorro de explosivo del 12 % por cada taladro perforado. La aplicación del sistema Taponex reduce el consumo de explosivos, debido a la generación de una elevada energía se incrementó el factor Ton/kg de explosivo en 12 %.

Según Machuca (3), en su investigación: “Efecto de la cámara de aire en la voladura a tajo abierto para incrementar la tasa de excavación (Dig Rate) en el tajo Tapado Oeste de minera Yanacocha, Cajamarca 2017” comparó el costo por taladro usando Aquadeck, Cartuflex vs taladro sin cámaras de aire, tomando en cuenta las consideraciones generales de altura de banco, mezcla explosiva, taco y diámetro del taladro, al no emplear cámaras de aire el costo/ taladro es de US\$ 275.81, US\$246.94 y \$244.84 para Cartuflex y Aquadeck, respectivamente. Anualmente se planifican volar 5000 taladros ahorrando con Cartuflex US\$144,350.00 y con Aquadeck US\$154,850.00.

De ambas investigaciones se establece que el uso del sistema Taponex reduce el consumo de explosivo lo que se evidencia con la reducción de costos.

- **Respecto a la hipótesis N°03**

La aplicación del sistema Taponex mejora el control del nivel de piso, debido a la generación de una cámara de aire de alta capacidad; y bajo consumo de explosivo.

La conclusión respecto a esta hipótesis fue: se mejoró el control del nivel de piso, debido a la generación de una cámara de aire de alta capacidad; y bajo consumo de explosivo

Según Catacora (4), en su investigación: “Aplicación del método Air Deck para optimizar la voladura en mina Pierina” menciona que con los espaciamientos de aire se consigue que la energía producida al detonarse la MEC sea mejor distribuida y por ende los esfuerzos serán mejor distribuidos, con lo cual se evita triturar la roca que se encuentra alrededor del taladro.

Haciendo uso de esta técnica se logra que los gases ejerzan una presión sobre las paredes de los taladros por un periodo de tiempo más largo, así como se utilizó un nuevo procedimiento de uso de Taponex.

Se obtuvo un óptimo P80 promedio de 21,34 cm equivalente a 8,4 pulg en mineral y 23,37 cm equivalente a 9,2 pulg en desmonte, por lo cual, estos valores se encuentran en el rango solicitado por chancadora, a la vez hubo un ahorro de costos en voladura un promedio 0,02 \$/t, en mineral como en desmonte.

De ambas investigaciones se establece que el uso del sistema Taponex tiene incidencia en el control del piso.

CONCLUSIONES

1. Con la aplicación del sistema Taponex se obtiene una fragmentación más homogénea, se redujo la perforación de taladros alrededor de un 6 % involucrando un ahorro de explosivos hasta un 12 %, respecto al factor t/kg de explosivo se incrementó hasta un 12 % y de igual manera se tiene una reducción de la sobreperforación de 1.5 m a 0.5 m.
2. Con la aplicación del sistema Taponex mejoró la fragmentación, obteniendo una fragmentación más homogénea esto debido a la reducción de la sobreperforación, lo cual incide en el carguío del mineral; de igual manera el incremento del material roto es significativo.
3. Con la reducción hasta del 6 % por taladro se obtuvo un ahorro de explosivo del 12 % por cada taladro perforado. La aplicación del sistema Taponex reduce el consumo de explosivos, debido a la generación de una elevada energía se incremento el factor t/kg de explosivo en 12 %.
4. Se mejoró el control del nivel de piso, debido a la generación de una cámara de aire de alta capacidad y bajo consumo de explosivo.

RECOMENDACIONES

1. La aplicación de esta técnica es sencilla, pero requiere un seguimiento al personal encargado de su aplicación.
2. Para el éxito de la aplicación de esta técnica las reglas deben ser claras para su ejecución.
3. Para taladros de 12 ¼ de diámetro, el taco no debe de ser menor a 7 metros en todos los terrenos.
4. En terreno intermedio a duro, lo mínimo permisible para que un taladro lo consideremos como corto es 50 cm. Y este tiene que ser cargado sin Taponex y con dos metros de H.A. Como carga de fondo.
5. En terreno suave, lo mínimo permisible para que un taladro sea corto es 1 m., y debe de cargarse sin el uso del Taponex.
6. Los taladros de cresta se perforan con sobreperforación tradicional y se cargan sin Taponex; por fracturas de disparo anterior dificulta instalar el Taponex.
7. En los taladros de buffer se utiliza la malla de 6x7, sin sobreperforación, manteniendo el factor de carga del tipo de roca, pero con carga desacoplada en mangas de 9".

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. QUISPE, Joel. Reducción de costos en perforación y voladura por la aplicación de camaras de aire en la U.M. Constancia - Hudbay Perú S.A.C. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Arequipa - Perú : Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2014, 104 pp.
2. CUMPA, Jorge. Efecto de las cámaras de aire en taladros de producción para mejorar la fragmentación del material y reducir el nivel de vibraciones por voladura en minería a tajo abierto en el norte del Perú. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Cajamarca – Perú: Universidad Cesar Vallejo, 2016, 83 pp.
3. MACHUCA, Paola. Efecto de la cámara de aire en la voladura a tajo abierto para incrementar la tasa de excavación (Dig Rate) en el tajo Tapado Oeste de minera Yanacocha, Cajamarca 2017. Tesis (Título de Ingeniero de Minas).Cajamarca – Perú: Universidad Privada del Norte, 2018, 88 pp.
4. CATACORA, Julio. Aplicación del método Air Deck para optimizar la voladura en mina Pierina. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Tacna -Perú : Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, 2015, 184 pp.
5. EXSA. *Manual practico de voladura*. [en línea] Lima - Perú : s.f.[Fecha de consulta: 15 de enero de 2022] 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
6. INTERNACIONALES, INTEC Tecnologías. *Soluciones, innovaciones y eficiencias relacionadas con perforación y voladura en el área minera*. Santiago de Chile : s.n., 1990.
7. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. *Guía ambiental para la perforación y voladura en operaciones mineras*. [en línea] Lima - Perú, 1995. Fecha de consulta: 18 de enero de 2022] Disponible en: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/perforacion.pdf>

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia

	Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable
General	¿Cómo influye la aplicación del sistema Taponex en la sobreperforación en tajo abierto, Unidad Operativa Shougang 2021?	Analizar la influencia de la aplicación del sistema Taponex en la sobreperforación en tajo abierto, Unidad Operativa Shougang 2021	La aplicación del sistema Taponex en la sobreperforación, en tajo abierto, Unidad Operativa Shougang 2021, influye debido al uso de ondas de tensión en el medio rocoso circundante.	INDEPENDIENTE Sistema Taponex
Específicos	a) ¿Cuál es el resultado de la aplicación del sistema Taponex en la fragmentación?	a) Determinar el resultado de la aplicación del sistema Taponex en la fragmentación.	a) La aplicación del sistema Taponex mejora la fragmentación, debido al control de la sobreperforación.	DEPENDIENTE Diseño de malla de perforación
	b) ¿Cuál es el resultado de la aplicación del sistema Taponex en el consumo de explosivos?	b) Establecer el resultado de la aplicación del sistema Taponex en el consumo de explosivos.	b) La aplicación del sistema Taponex reduce el consumo de explosivos, debido a la generación de una elevada energía.	
	c) ¿Cuál es el resultado de la aplicación del sistema Taponex en el nivel de piso?	c) Determinar el resultado de la aplicación del sistema Taponex en el nivel de piso.	c) La aplicación del sistema Taponex mejora el control del nivel de piso, debido a la generación de una cámara de aire de alta capacidad; y bajo consumo de explosivo.	

	Concepto	Dimensión	Indicador
VARIABLE INDEPENDIENTE	El sistema Taponex está especialmente diseñado para asegurar la creación y aplicación de ondas de Tensión en el medio rocoso circundante al taladro cargado con explosivos, dando como origen el método de Voladura de Tensión. El sistema Taponex está probado y funciona bien en:	▪ Sonbreperforación ▪ Columna explosiva ▪ Fragmentación ▪ Granulometría	% Kg Pulgadas Pulgadas
Sistema Taponex	de ondas de Tensión en el medio rocoso circundante al taladro cargado con explosivos, dando como origen el método de Voladura de Tensión. El sistema Taponex está probado y funciona bien en: • Pozos secos sin presencia de agua • Pozos saturados de agua, cargados con Anfo pesado o emulsión Su diseño producto de numerosas pruebas en campo y su construcción en plástico de alta resistencia, aseguran que el TAPONEX® quede finalmente en la posición correcta. Esto garantiza una instalación simple y rápida, principalmente en los siguientes casos:		
VARIABLE DEPENDIENTE	La perforación y voladura es la parte esencial del ciclo de minado, en donde se extrae el mineral mediante el uso de explosivos, un correcto uso de los mismos en conjunto con un diseño adecuado nos permite realizar una voladura con el menor costo y lo más importante con la mayor seguridad	▪ Cálculo del burden ▪ Cálculo del espaciamiento ▪ Cálculo de la profundidad	m m s/u
Sobreperforación			

Anexo 2

Fotografías



