

Recibido: 25 / 11 / 2007, aceptado en versión final: 19 / 12 / 2007

Incremento de la rentabilidad de operaciones mineras a cielo abierto por eliminación de la sobreperforación

OPEN PIT MINING OPERATIONS REVENUE INCREASE BY SUB DRILLING REMOVAL

Oswaldo Ortiz Sánchez*, Godelia Canchari Silverio*, Alfonso Postigo Pinedo*

RESUMEN

La sobreperforación en la malla de perforación de producción en minería superficial puede reducirse o eliminarse mediante el uso de cámaras de aire en el fondo de los taladros de producción. La eliminación de la sobreperforación incrementará la rentabilidad de las operaciones mineras superficiales debido a: menor costo de perforación y voladura, disminución de las vibraciones dentro y fuera del tajo, mayor estabilidad en bermas y taludes, incremento de la productividad de los equipos de perforación, carguío, acarreo, y chancado por mejora en la fragmentación del mineral de mina. Las pruebas efectuadas en una cantera de caliza con roca de dureza media demuestran la factibilidad del método.

Palabras claves: sobreperforación, cámara de aire, onda sísmica, fragmentación.

ABSTRACT

The Sub drilling length in surface mining production drilling grids, can be reduced or eliminated by addition of air chambers at the bottom of drill holes in blasting rounds. Sub drilling removal means surface mine operations revenue increase due to lower drilling and blasting costs, seismic vibrations decrease at inside and outside excavation areas, stable berms and slopes, productivity increase of drilling, loading, excavation, haulage and primary crushing equipment due to better ore fragmentation. The method was satisfactorily tested in a medium hardness rock at a quarry operation.

Key words: sub drilling, air chamber, seismic wave, fragmentation.

I. INTRODUCCIÓN

En la malla de taladros de producción de una operación minera superficial, la sobreperforación es parte del taladro de perforación y su uso es necesario para evitar o reducir al mínimo los pisos altos en los frentes de avance de los bancos y para mejorar el rendimiento del equipo de excavación, facilitando la operación segura y eficiente del cargador y del transportador. Todo taladro de producción lleva en el fondo como sobreperforación, entre 8 a 12% de su altura neta de rotura o altura de banco.

No obstante, la sobreperforación incrementa los costos de perforación y voladura debido a la mayor longitud perforada y explosivo adicional requerido, produce alta vibración sísmica por mayor carga explosiva detonada, desestabiliza las bermas y el talud general y se genera pérdida de eficiencia en el equipo de perforación porque requiere mayor tiempo de perforación para atravesar la altura perturbada "J" del banco inferior.

* Docentes de la EAP de Ingeniería de Minas, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
E-mail: oortiz34@gmail.com

II. OBJETIVO

- Eliminar la sobreperforación del taladro de producción y del explosivo que ella lleva. Esto resultará en menor costo de perforación y voladura, originando, además, otros beneficios como:
- 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.
- 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.

III. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

En el Perú se perforan y disparan anualmente en las operaciones a cielo abierto, más de 460 millones de toneladas de mineral y estéril que requieren un mínimo de 1.1 millones de metros de sobreperforación y 36 millones de kilos de explosivos a un costo total de US \$ 26 millones en gastos por sobreperforación.

La eliminación de la sobreperforación será un avance significativo en la economía y seguridad de las operaciones mineras superficiales. Originará otros beneficios como mayor estabilidad de taludes, menores niveles de vibraciones, ruido y polvo, pisos estables sin roturas, lo que permitirá incrementar la

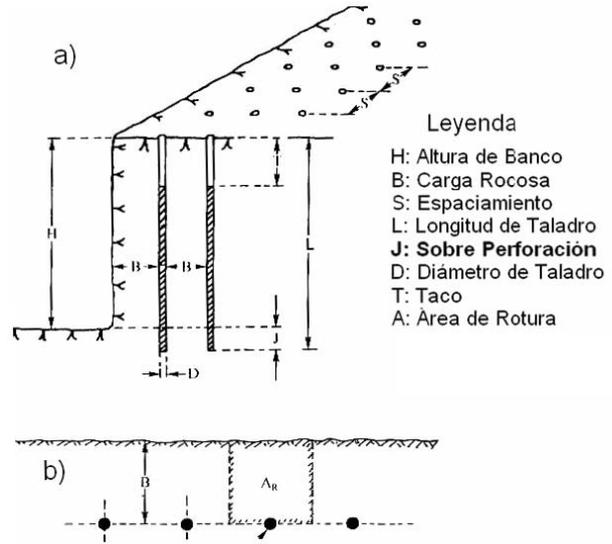


Figura N° 1. Malla de perforación para voladura de producción. a). Vista en 3 dimensiones. b). Vista en plano (una fila de taladros).

velocidad de perforación, bermas con crestas estables que incrementará el ángulo de los taludes finales y de progreso. Mantendrá pisos horizontales y a nivel en frentes de avance, mejorará la fragmentación del material y reducirá el movimiento ascensional de la masa rocosa disparada, evitando tiros cortados.

IV. SITUACIÓN ACTUAL DE LA PERFORACIÓN

La fig. N° 1 presenta la configuración actual de la perforación de banqueo en una operación minera superficial. Los taladros, generalmente, son verticales y se ubican en los vértices de la malla de diseño.

La sobreperforación “J” se corre debajo del nivel del banco.

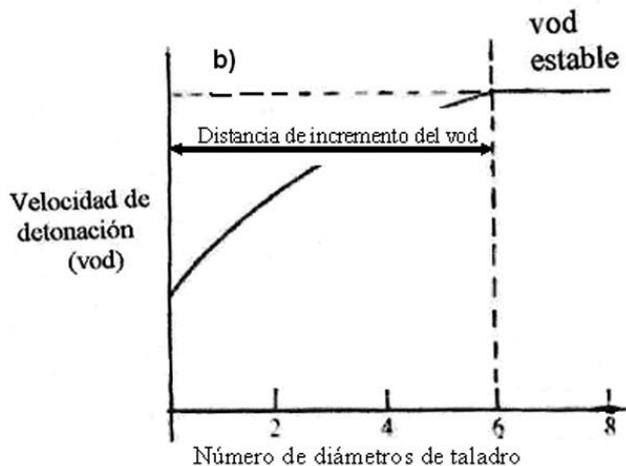
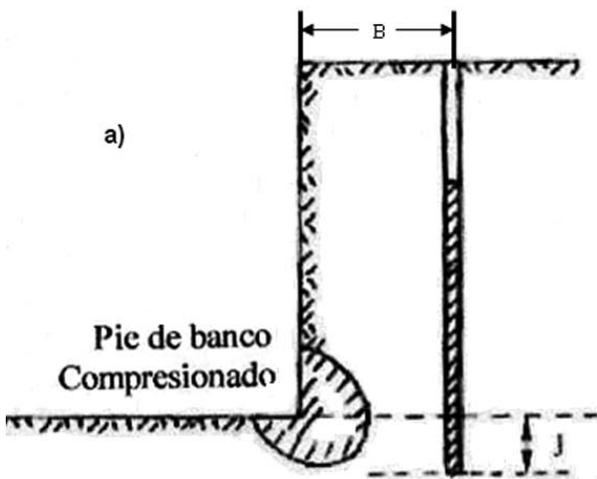


Figura N° 2. a). Pie de banco compresionado. b). Variación del VOD con la distancia.

4.1. La sobreperforación: Solución deficiente

Se introdujo para evitar pisos altos y desiguales y mejorar la fragmentación. Pisos altos y mala fragmentación dificultan disparos posteriores e incrementan los costos de carguío y acarreo.

Pisos altos son causados entre otros, por confinamiento del pie de banco (fig. N° 2a). Para romper este piso, debe agregarse más energía (presión de detonación p_e), o más volumen de explosivos para lo cual se prolonga el taladro por debajo del piso del banco. Hustrulid (1999) indica que la longitud “J” de sobreperforación, debe ser igual a la distancia en que el VOD del explosivo alcanza su máximo nivel estable desde su punto de detonación (fig. N° 2b). La presión de detonación “ p_e ” es proporcional al cuadrado de la velocidad de detonación ($p_e \propto (VOD)^2$) y en la curva de la fig. N° 2b este nivel máximo estable según Langefors y otros (1963), se alcanza a una distancia mínima de 6D donde D es diámetro del taladro. Por seguridad se agrega 2D con lo que se tiene:

$$J = 8D.$$

Como B&D investigadores como Calvin (1995), encontraron que $B = (25 - 35)D$, por lo que $J = (0,23 - 0,32)B$ adoptándose $J = 0,3B$ como valor típico universal.

4.2. Consecuencias negativas de la sobreperforación “j”.

- a) Se producen daños en crestas, pisos de bancos y bermas de protección (figs. N° 3 y 4).
- b) Se acentúa el movimiento vertical en el taladro, incrementando los tiros cortados y el exceso de rotura en taludes y cresta de bancos.
- c) Se incrementa las vibraciones, el ruido y polvo en el área de influencia.
- d) Obliga a disminuir el ángulo del talud.

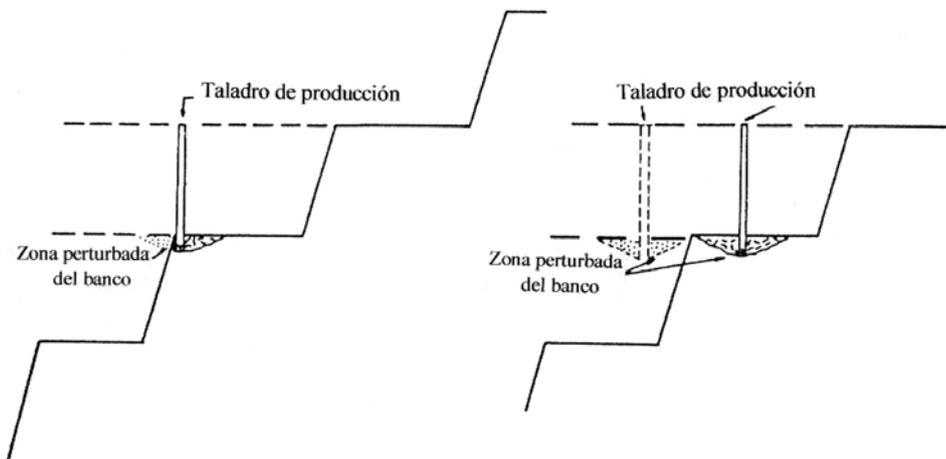


Figura N° 4. Daños en cresta y berma debido a sobreperforación

V. PROCEDIMIENTO DEL ANÁLISIS

5.1. METODOLOGÍA

El trabajo se inició con la revisión bibliográfica sobre la materia no encontrando información específica sobre la eliminación de la sobreperforación, excepto un intento efectuado en un tajo a cielo abierto y cuyos resultados no han sido publicados.

5.2. FUNDAMENTO DEL SISTEMA

La posibilidad de eliminación de la sobreperforación con ventaja técnica y económica se origina del conocimiento de la acción de cámaras de aire en taladros de perforación de producción, Ash (1995).

La fig. N° 5a presenta el arreglo actual de un taladro de producción y la fig. N° 5b es el mismo taladro sin sobreperforación y con una cámara de aire de longitud “ca” en el fondo que actúa como superficie libre.

En el disparo de bancos en superficie, la onda generada por la detonación del explosivo en un taladro puede asumirse en forma triangular. Al llegar a la interfase, la onda se refleja aplicándose la teoría de las ondas generadas por cargas cilíndricas o esféricas,

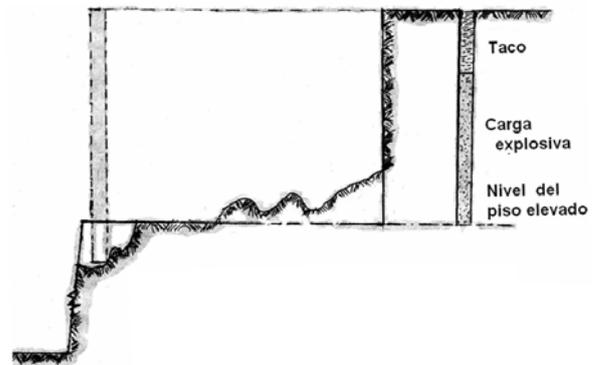


Figura N° 3. Piso elevado y desigual. Daños en cresta de banco.

pero por simplicidad puede aceptarse que se trata de una onda plana que viaja en un medio homogéneo. La onda incidente se caracteriza por ser compresiva y la reflejada tensiva. El proceso de reflexión se muestra en la fig. N° 6. La onda compresiva incidente, según Hustrulid (1999), incide en la cara libre (interfase), a ángulos entre 0° y 90° y se refleja totalmente como una onda de tensión que viaja a velocidad “c” de vuelta hacia el punto de origen. Si la tensión (t) es superior a la resistencia tensiva de la roca, ésta se desprenderá en fragmentos iniciándose la acción en el punto donde la suma de las amplitudes de la onda reflejada e incidente iguala la resistencia a la tensión de la roca.

La fig. N° 7 muestra el resultado inicial de la detonación del explosivo en el taladro, compuesto por deformación radial y fracturas radiales alrededor del taladro. La fig. N° 8 presenta la onda sísmica incidente y reflejada entre 0° y 90° con la interfase. La fig. N° 9 muestra la onda incidente compresiva y la reflejada tensiva en relación a la extensión de la fractura.

Se generan dos ondas: Longitudinal y de corte. Por simplicidad solo se analiza la componente longitudinal cuya reflexión se considera que sigue la ley de Snell en óptica que establece que el ángulo de incidencia $\theta = \text{ángulo de reflexión } \alpha$. La onda incidente compresiva se convierte en onda reflejada tensiva. Esta onda según Roberts y otros (1954), viaja a una velocidad 3 veces mayor que la velocidad de crecimiento de la fractura que se inicia en el taladro y avanza por acción de la presión de los gases. Esto origina que la onda reflejada alcance a la fractura antes de que ésta llegue a la superficie libre. Si la onda toca el extremo creciente de la fractura, acelerará el desarrollo de la misma. En la fig. N° 10, puede estimarse esta distancia de encuentro de la onda con el extremo creciente de la fractura:

$$g + h = B / \cos \Phi (1 + \cos 2 \Phi)$$

En la fig. N° 11 se presenta un arreglo en que la componente radial o tensiva de la onda reflejada actúa a favor del incremento de la fractura.

VI. ACCIÓN DE LA CÁMARA DE AIRE

En la fig. N° 5b se presenta la ubicación de la cámara de aire en el taladro de producción.

La fig. N° 12 muestra las variables numéricas de las pruebas efectuadas en taladros de una cantera de caliza.

Los resultados observados al suprimir la sobreperforación “J” son los siguientes:

- La cámara de aire almacena energía y crea una fractura que se expande horizontalmente hacia los taladros vecinos.

- La energía se trasmite al medio y las ondas tensivas o reflejadas colisionan con las incidentes o compresivas que emite la detonación. Las ondas reflejadas se propagan en gran cantidad en forma de ondas de choque secundarias.
- Las ondas reflejadas ascendentes hacen desviar a la corriente detonante, hacia el fondo y costados

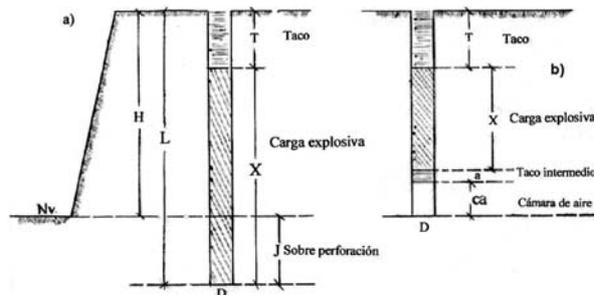


Figura N° 5. Taladros para voladura en bancos de producción. a). Taladro con sobreperforación. b). Taladro sin sobreperforación y con cámara de aire

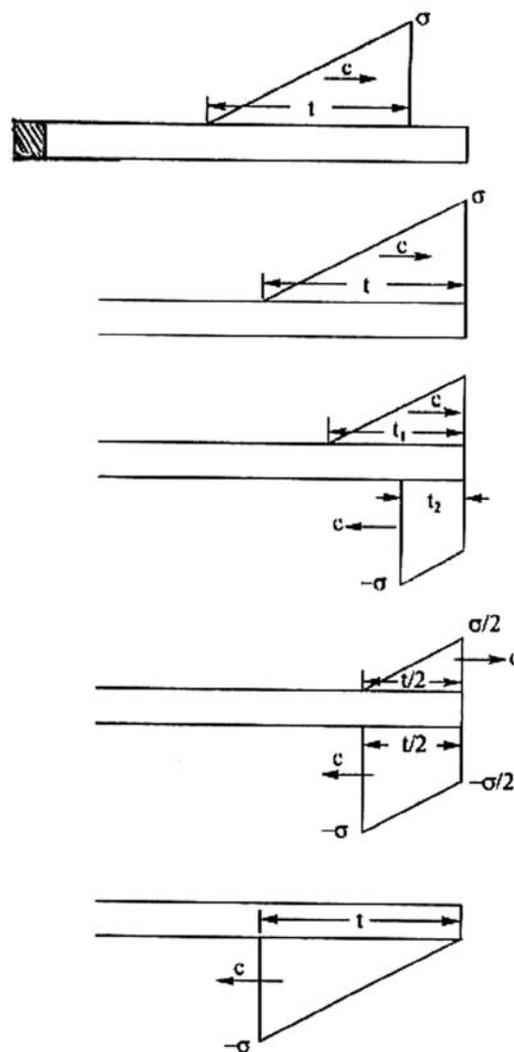


Figura N° 6. Estados de la onda sísmica en su viaje de reflexión en la interfase.



Figura N° 7. Acción inicial de la detonación del explosivo en el taladro.

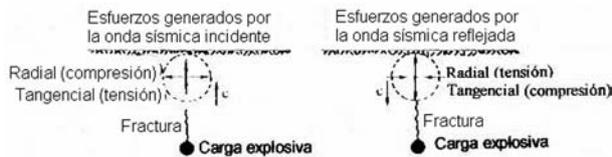


Figura N° 9. Componentes del esfuerzo, originados por la onda sísmica incidente y reflejada a 90° y su relación con la extensión de la fractura.

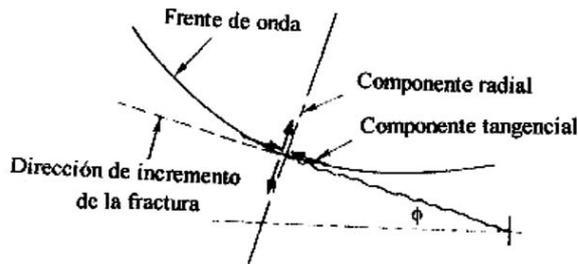


Figura N° 11. Incidencia de la onda reflejada en el frente de avance de la fractura orientada.

del macizo rocoso adyacente. Otras ondas de choque se propagan por las fracturas horizontales ya formadas en el fondo del taladro, creando un precorte a nivel del piso en todos los taladros cercanos.

- En el fondo del taladro la cámara de aire actúa como cara libre semiconfinada que equilibra la presión y orienta la detonación hacia la base del taladro.
- El taco bloqueador protegido con 50 cm de detritus (fig. N° 15), encabeza la onda detonante que viaja al fondo del taladro.
- Las ondas compresivas se reflejan al penetrar el cambio de medio formado por la fractura horizontal en el fondo del taladro.
- Las ondas de compresión se reflejan con mayor intensidad en forma de ondas de tensión. Estas ondas trituran el material rocoso y se reflejan de vuelta a la formación y al mismo tiempo

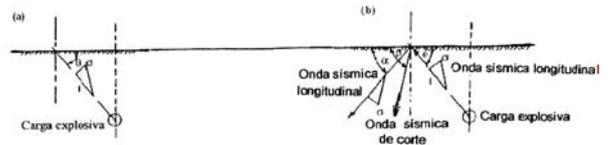


Figura N° 8. Onda sísmica a ángulo inferior a 90° en interfase: a). Incidente. b). Reflejada

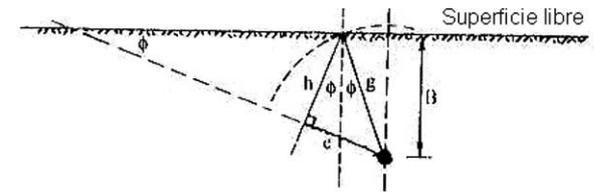


Figura N° 10. Geometría de la onda reflejada. Incrementa longitud de fractura orientada a la superficie libre.

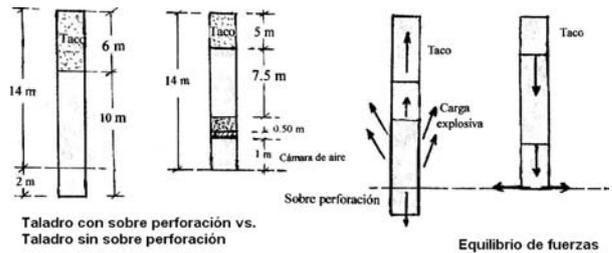


Figura N° 12. Diseño de taladros con sobreperforación y sin sobreperforación en una cantera de caliza.

interaccionan con ondas de tensión de taladros vecinos originando más tensión (fig. N° 13).

- Una gran densidad de ondas se reflejan propagándose al medio a causa de la interacción entre ondas de taladros colindantes.

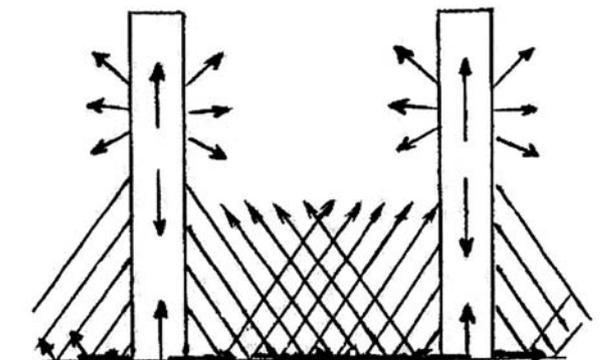


Figura N° 13. Interacción de taladros con cámara de aire en el fondo.

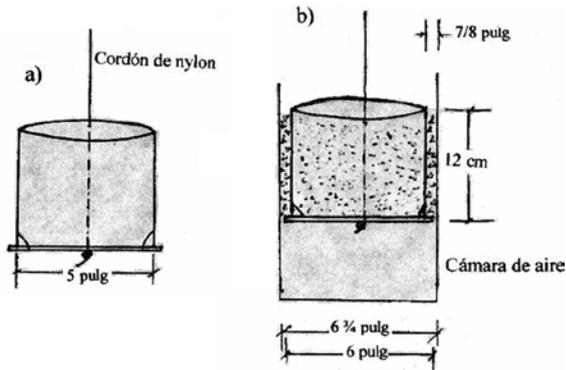


Figura N° 14. Tapón bloqueador de taladro de producción: a). Tapón. b). Ubicación del tapón en el taladro.

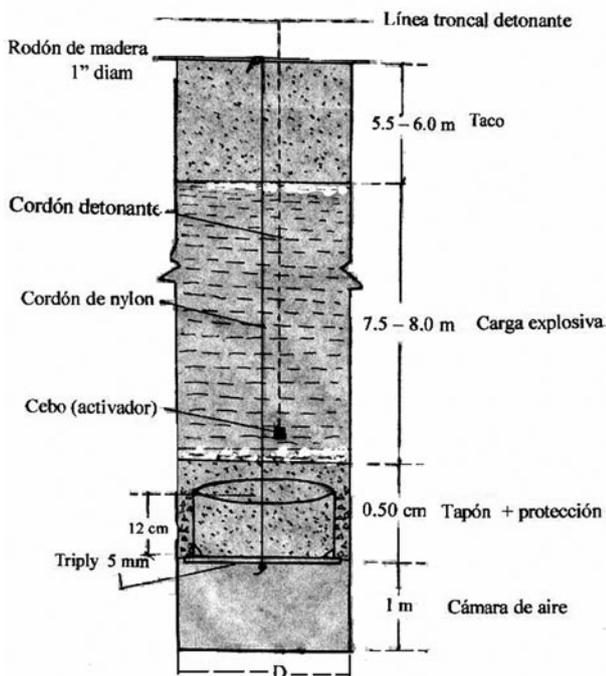


Figura N° 15. Taladro de producción cargado en el sistema con cámara de aire.

VII. BLOQUEADOR DE TALADRO

Es un dispositivo que impide el paso del explosivo al fondo del taladro formando la cámara de aire de altura variable.

Se diseñó dos tipos de bloqueador de taladro:

- Sistema mecánico que consiste en un depósito de plástico y cordón de suspensión. Las fig. N° 14 y 15 presentan los detalles para un taladro de 63/4 pulg. de diámetro.
- Sistema neumático que consiste en una bolsa plástica resistente con válvula para el llenado de aire, tubo plástico para el aire a presión y equipo de suministro de aire. Las fig. N° 16 y 17 presentan los componentes del sistema y detalles de cálculo.

VIII. PRUEBAS DE CAMPO

Para estas pruebas se diseñó una forma que lleva el nombre de "Levantamiento de datos de campo" donde se registran los datos de entrada y los resultados. Se compara la operación actual sin cámara de aire con sobreperforación, con el nuevo método con cámara de aire (sin sobreperforación). Se registran ambas informaciones en el mismo tipo de formato. La fig. N° 18 presenta los detalles del formato llenado para mallas de perforación con cámara de aire. Los disparos se efectuaron en caliza de dureza media.

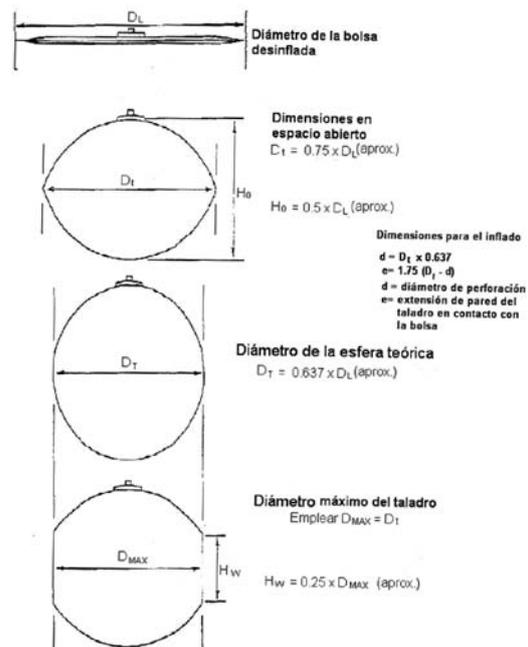


Figura N° 16. Diseño de bolsa de aire para bloquear taladro de producción.

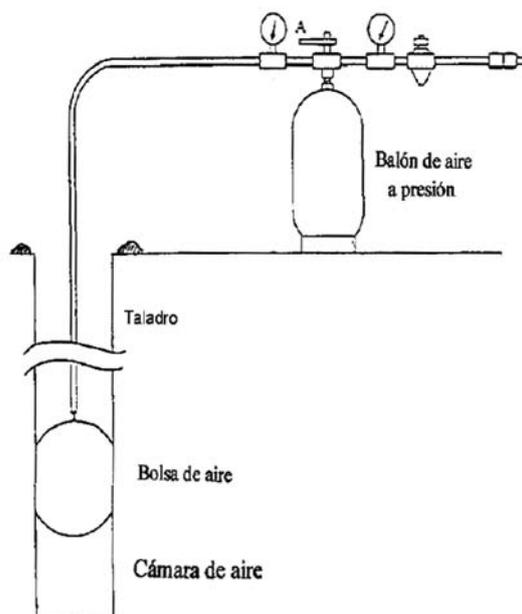


Figura N° 17. Sistema de inflado de bolsa de aire.

Con el diámetro del taladro fijo se establece la altura óptima de la cámara de aire mediante pruebas graficando los resultados Altura de cámara vs. Eficiencia de voladura.

8.1. Malla de perforación

Las características de las mallas de perforación de producción son las siguientes:

Sistema tradicional de disparo en la cantera

Atocongo: Malla de 5 x 5.50 m sin cámara de aire, consobre perforación de 2 y 11 m de carga explosiva para taladros de 6 ¾ pulg. de diámetro. Factor de potencia 0.22 kg/tm.

Sistema en prueba: Malla de 5 x 5.50 m, 2 m de sobreperforación cámara de aire de 1 m en la base del

taladro. Taladro de 6 ¾ pulg de diámetro y factor de potencia 0.18 kg/tm.

Sistema en prueba: Malla de 5 x 5.50 m, 2 m de sobreperforación cámara de aire de 1 m en la base del taladro. Taladro de 6 ¾ pulg. de diámetro y factor de potencia 0.18 kg/tm.

El diseño del taladro con cámara de aire se inició con el cálculo del RMR (característica geomecánica de la masa rocosa), que permitió clasificar las áreas en caliza blanda, media y dura.

Se calculó las constantes de la roca en forma directa e indirecta. La tabla N° 1 presenta los detalles y la tabla N° 2 muestra los estándares de perforación y voladura para la caliza Atocongo.

Tabla N° 1. Constantes y clasificación de la caliza.

| Tipo caliza | símbolo | m. | σ_c (Mpa) | σ_t (Mpa) | E(Gpa) | V | C(Mpa) | ϕ° | RMR |
|-------------|---------|----|------------------|------------------|--------|------|--------|--------------|-----|
| Blanda | 0.1 | 18 | 96 | 30 | | 0.26 | 0.30 | 38 | 45 |
| Media | 0.2 | 20 | 105 | 48 | | 0.26 | 0.50 | 40 | 65 |
| Dura | 0.3 | 23 | 140 | 53 | | 0.26 | 0.60 | 47 | 74 |

Leyenda: σ_c y σ_t = resistencias a la compresión y tensión, respectivamente; V = módulo de Poisson; C = cohesión; ϕ° = ángulo de fricción interna; E = módulo de elasticidad; RMR = calificación de la masa rocosa.

Tabla N° 2. Variables de perforación y voladura para taladros con sobreperforación

| Tipo Caliza | Código | Burden (m) | Espacminto (m) | S/P (m) | F. de P. (kg/ton) | Prof. Tal. (m) | Colum.Expls. (m) | Taco (m) |
|-------------|--------|------------|----------------|---------|-------------------|----------------|------------------|----------|
| Blanda | 001 | 5.5 | 5.5 | 2.0 | 0.19 | 16 | 11 | 5 |
| Media | 002 | 5.0 | 5.5 | 2.0 | 0.22 | 16 | 11 | 5 |
| Dura | 003 | 5.0 | 5.0 | 2.0 | 0.24 | 16 | 11 | 5 |

Explosivo: ANFO, diámetro de broca: 6 ¾ pulg., altura de banco: 14 m, densidad de caliza *in situ*: 2.60 ton/m³

Tabla N° 3. Pruebas de voladura para eliminar la sobre perforación en disparos de producción.

| Long Tal. | S/P m | Malla m x m | Rtacado m | Clumna explos.m | Explosivo kg/tal | Factor de potencia | Cámara aire m. | Tapón+ prot. m | Reducción carga % | Resultdo piso+frag |
|-----------|-------|-------------|-----------|-----------------|------------------|--------------------|----------------|----------------|-------------------|--------------------|
| 16 | 2 | 5 x 5.5 | 5 | 11 | 214 | 0.22 | 0 | 0 | 0 | Bueno |
| | | 5 x 5.5 | 5 | 9.5 | 185 | 0.19 | 1.0 | 0.50 | 10 | Bueno |
| | | 5 x 5.5 | 5 | 9.0 | 175 | 0.18 | 1.5 | 0.50 | 18 | p. eval |
| | | 5 x 5.5 | 5 | 8.5 | 166 | 0.17 | 2.0 | 0.50 | 22 | p. eval |
| 15 | 1 | 5 x 5.5 | 5 | 8.5 | 166 | 0.17 | 1.0 | 0.50 | 22 | p. eval |
| | | 5 x 5.5 | 5 | 8.0 | 156 | 0.16 | 1.5 | 0.50 | 27 | p. eval |
| | | 5 x 5.5 | 5 | 7.5 | 146 | 0.15 | 1.0 | 0.50 | 31 | p. eval |
| 14 | 0 | 5 x 5.5 | 5 | 7.5 | 146 | 0.15 | 1.0 | 0.50 | 31 | p. eval |
| | | 5 x 5.5 | 4.5 | 7.5 | 146 | 0.15 | 1.5 | 0.50 | 31 | p. eval |
| | | 5 x 5.5 | 4.0 | 7.5 | 146 | 0.15 | 2.0 | 0.50 | 31 | p. eval |

ESTUDIO PARA LA APLICACIÓN DE CAMARA DE AIRE EN EL FONDO DE LOS TALADROS PARA MINIMIZAR LA SOBREPORFORACION

LEVANTAMIENTO DE DATOS DE CAMPO

DATOS DE ENTRADA

DATOS GENERALES

| | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------|-----------|
| MINA | | CEMENTO LIMA | |
| TAJO | | ATOCONGO | |
| NIVEL | | 176 E | |
| ANCHO DE BERMA (m) | | 75.0 | |
| ALTURA DE BANCO (m) | | 14.0 | |
| Características de los mantos | Potencia (m) | 100 | |
| | Rumbo | - | |
| Propiedades Geomecánicas del terreno | Buzamiento | - | |
| | Tipo de roca | CALIZA | |
| | Dureza | MEDIA | |
| | Resistencia a la Comp (MPa) | 100 | |
| | P. de Estratíf. respecto al Tal. | FAVORABLE | |
| | Diaclasamiento | BAJO | |
| | Densidad (TM/m3) | 2.6 | |
| | Orientación de Estr. (fallas, Pleg.) | - | |
| Fracturamiento | BAJO | | |
| AREA DE PERFORACIÓN | | LARGO: 50 | ANCHO: 40 |

CON CAMARA

| | |
|-----------------------|------------|
| FECHA: | 08/08/2003 |
| GUARDIA | DIA |
| JEFE DE GUARDIA | J. A. |
| ASISTENTE DEL ESTUDIO | - |
| CAPATAZ | - |
| PERFORISTA | - |

Recuadro para el croquis de la orientación de los taladros respecto a los planos de estratificación.

NOTA: Después de conocer la dirección de estratificación.

PERFORACION

| NUMERO DE TALADROS | Dirección | | | | | | | | | | | | | 14 | | |
|--------------------------------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | | | |
| DIAMETRO DE PERFORACION(mm) | 171 | 171 | 171 | 171 | 171 | 171 | 171 | 171 | 171 | 171 | 171 | 171 | 171 | 171 | 171 | 171 |
| PROFUNDIDAD DE LOS TALADROS(m) | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| BURDEN(m) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| ESPACIAMIENTO(m) | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 |
| PARALELISMO DEL TALADRO | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B |
| SOBREPORFORACION (m) | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |

Nota: hacer el croquis de la mailla de perforación al dorso o adjuntar el plano de perforación. (A L & VUELTA).

VOLADURA

| NUMERO DE TALADROS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|--------------------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| LONGITUD DE CAMARA DE AIRE (m) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| LONGITUD DE TACO INTERMEDIO (m) | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| LONGITUD DE LA COLUMNA EXPLOSIVA(m) | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| LONGITUD DEL RETACADO, T (m) | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 |
| EXPLOSIVO USADO | ANFO | | | | | | | | | | | | | |
| CANTIDAD DE CARGA EXPLOSIVA (Kg/tal) | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| MALLA DE RETARDO | Hacer el croquis en la mailla de perforación | | | | | | | | | | | | | |
| SISTEMA DE RETARDO | FANEC | | | | | | | | | | | | | |
| PERIODO / TIEMPO DE RETARDO (ms) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |

Nota: Hacer un esquema del cargulo del taladro y ubicación del cebo

RESULTADOS:

| NUMERO DE TALADRO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | |
|---|-------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|--|
| FRAGMENTACION | MALA (-): < 20 Cm | | | | | | | | | | | | | |
| | BUENA (-): 20 - 35 cm | | | | | | | | | | | | | |
| | EXCELENTE: 35 - 50 cm | | | | | | | | | | | | | |
| | BUENA (+): 50 - 65 cm | | | | | | | | | | | | | |
| NUMERO DE FRAGMENTOS SOBREDIMENSIONADOS | MALA (+): > 65 cm | | | | | | | | | | | | | |
| | 50 - 75 cm | | | | | | | | | | | | | |
| | 75 - 100 cm | | | | | | | | | | | | | |
| | 100 - 125 cm | | | | | | | | | | | | | |
| NIVEL DE PISOS (ALTURA DE TOES) | 125 - 150 cm | | | | | | | | | | | | | |
| | > 150 cm | | | | | | | | | | | | | |
| | MALA (-): < -50 cm | | | | | | | | | | | | | |
| | BUENA (-): -50 a -20 cm | | | | | | | | | | | | | |
| CONTORNO DE LA EXCAVACION | EXCELENTE: -20 a +10 cm | | | | | | | | | | | | | |
| | BUENA (+): +10 a +40 cm | | | | | | | | | | | | | |
| | MALA (+): +40 a +70 cm | | | | | | | | | | | | | |
| | PESIMA (+): >70 cm | | | | | | | | | | | | | |
| DAÑOS A LA ROCA REMANENTE | SUB - EXCAVACION | | | | | | | | | | | | | |
| | UNIFORME | | | | | | | | | | | | | |
| PRESENCIA DE TIROS CORTADOS | SOBRE - EXCAVACION | | | | | | | | | | | | | |
| | IMPERCEPTIBLE | | | | | | | | | | | | | |
| DAÑOS A LA ROCA REMANENTE | PEQUENO | | | | | | | | | | | | | |
| | GRANDES FISURAS | | | | | | | | | | | | | |

OBSERVACIONES:

Figura Nº 18. Registro de datos de entrada y de resultados en taladros con cámara de aire. Diseño Propuesto.

IX. PRUEBAS DE VOLADURA

La tabla N° 3 muestra las pruebas de voladura ejecutadas y las proyectadas para establecer la altura óptima de la cámara de aire.

9.1. Resultados

Los disparos se evaluaron siguiendo el avance del equipo de carguío, y tomando nota del tiempo de carguío, fragmentación y nivel del piso.

Material: Caliza de dureza media.

Equipo de carguío: Cargador frontal Cat 992 de 12 yd3.

Explosivo: ANFO normal.

Disparo N° 1460.

permite configurar la cámara de aire para un mismo diámetro de taladro.

- Antes del diseño de perforación se efectúa un mapeo geológico de detalle en los frentes de avance y taludes de progreso.
- La información sobre velocidad de penetración del banco superior se proyecta al banco inferior. Los pisos altos se identifican con curvas de nivel a intervalos de 30 a 60 cm.
- En los bancos se ubican las zonas de alteración que luego se proyectan a lo largo de las estructuras predominantes.
- Las performances del cargador y del perforador a medida que avanza la extracción en el frente, ayudan a calificar la dureza del material.

| Situación Inicial (con s/p. y sin cámara de aire) | | | | | |
|--|----------------|-----------------------|------------------------|--|----------------------|
| Nivel | Malla m x m | Factor de carga mm | Diám. de broca | Observaciones | |
| 176E | 5 x 5.5 | 0.22 | 171 | Columna explosiva: ANFO con activador de 1 lb. Cordón detonante N° 5 | |
| Situación probada (con cámara de aire) | | | | | |
| Nivel | Malla m x m | Factor de carga | Diam. de broca mm | Observaciones | |
| 176E | 5 x 5.5 | 0.18 | 171 | Se cargaron con tapón 6 de 30 taladros. Se disminuyó un metro la carga explosiva y se mantuvo 2 metros de s/p. | |
| Situación actual | | | | | |
| | Nivel | Roca | Tiempo Carguío Seg. | F. de C. | Fragmentación D<75%* |
| Inicial | 176E | Caliza | 185 | 0.22 | 305 |
| Tapón | 176E | “ | 180 | 0.18 | 310 |
| Nivel del piso | Disparo N° | Nivel | Roca | Cota m | |
| Sin tapón | 1460 | 176E | Caliza | 180.2 | |
| Con tapón | 1461 | 176E | “ | 179.8 | |

Blast Dynamics (1998).

9.2 Calificación de la zona para el disparo

- El mapeo geotécnico y la velocidad de penetración del perforador califican la facilidad del disparo en el área y determinan las mallas de perforación y factores de potencia.
- La caliza dentro del tajo está dividida en categorías de dureza: Blanda, media y dura que
- La información de velocidad de penetración y de altura de pisos se usan para verificar o modificar los contactos reportados por el mapeo geotécnico de los bancos.
- Se establece la configuración del disparo y se calcula el factor de potencia para cada zona de acuerdo con los resultados del disparo anterior,

la performance de excavación y características geotécnicas de la roca en el banco.

9.3. Instalación de la cámara de aire en el taladro

El siguiente procedimiento es recomendable para la instalación de la cámara de aire en el fondo del taladro:

1. Registrar velocidad de perforación y presión sobre la broca al perforar.
2. Chequear la profundidad de taladro.
3. Verter una lampada de detritus en el depósito del tapón y ubicarlo a la profundidad requerida fijándolo en superficie mediante el amarre del cordón a un rodón de madera.
4. Verter una lampada de detritus de $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{8}$ de pulgada de diámetro sobre el tapón instalado.
5. Medir volumen de detritus de 50 cm de altura de taladro. Volumen total por rellenar 11.5 litros, para taladro de $6\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro.
6. Chequear la profundidad de taladro.
7. Verter 1.5 m de explosivo ANFO sobre tapón instalado en el fondo del taladro.
8. Instalar activador en el fondo sobre el tapón con su línea de cordón detonante a superficie.
9. Verter el peso del explosivo ANFO calculado en kilogramos para la longitud del taladro que abarca hasta la posición del retacado.
10. Chequear la profundidad del explosivo en el taladro, comprobando la altura calculada del retacado.
11. Verter el detritus hasta la superficie formando el retacado.
12. Chequear amarres.

X. CONCLUSIONES

Pruebas efectuadas en roca de dureza media permiten confirmar la factibilidad de eliminación de la sobreperforación en taladros de producción. Las pruebas efectuadas en caliza de dureza media muestran una mejora en la fragmentación del material y en los pisos a nivel.

Como consecuencia el factor de potencia disminuye y las vibraciones en las áreas disparadas son menores por emplear menor cantidad de explosivos.

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

Para cada tipo de roca donde se pretenda eliminar la sobreperforación deberá efectuarse pruebas para encontrar la altura óptima de la cámara de aire, el nivel de eliminación de la sobreperforación y la nueva configuración de la carga explosiva.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASH, L. Richard, 1995. The Design of Blasting Rounds. Surface Mining, Ch. 6. Bruce A. Kennedy, Editor. Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc., Littleton, Colo. USA.
- [2] BLAST DYNAMICS INC., 1998. Introducción a técnicas eficientes de voladuras.
- [3] CALVIN A. Konya, 1995, Blast Design Chapter 2., V. SIPÈVOR – PIM- 94.
- [4] HUSTRULID, W., 1999. Blasting Principles for Open Pit Mining. V. 1. General Design Concepts, p. 74 – 82.
- [5] LANGEFORS, U. and Kihlsström B., 1963. The Modern Technique of Rock Blasting, John Wiley & Sons, Inc. Stockholm.
- [6] ROBERTS, D.K. & Wells A.A., 1954, Velocity of brittle fracture. Engineering, Dec.24.