

# Últimas tecnologías para el control de proyecciones

El arranque de rocas mediante voladura en explotaciones mineras u obras civiles genera efectos ambientales como son las proyecciones de fragmentos de roca. El control de las mismas es pues inevitable como forma de reducir el impacto ambiental, sobre todo en cercanías de núcleos poblados. Actualmente, las tecnologías disponibles y el adecuado diseño de las voladuras permiten controlar sin problemas este fenómeno ambiental. En este artículo, tras describir los factores que influyen en la generación de las proyecciones, se expone un caso práctico en la cantera granadina de *Afercan* que ha disminuido de forma drástica las proyecciones tras un nuevo diseño de la voladura.

Las proyecciones de roca suponen uno de los efectos ambientales derivados del empleo de voladuras para el arranque de roca. Los sistemas modernos de diseño y monitorización de voladuras, junto con la experiencia profesional de ingenieros de explosivos, permiten un control profundo de este fenómeno, minimizando las probabilidades de que ocurran.

A continuación se exponen las diferentes tecnologías disponibles, así como el caso práctico de la cantera de *Buena Vista*, en Granada, perteneciente a la empresa *Afercan*.

## Factores influyentes en la generación de proyecciones

Se puede definir *proyección* como la salida incontrolada de fragmentos de roca a distan-

cias muy superiores al resto de la voladura, en dirección y alcance distintos a los proyectados. Hay diferentes parámetros que influyen claramente en la generación de proyecciones. A continuación se describen algunos de ellos:

- **Emplazamiento de las cargas:** si la carga explosiva está situada inadecuadamente con respecto a la cara libre de voladura, aunque sea en porciones puntuales, puede darse que muy poca cantidad de roca sea afectada por una cantidad suficiente de explosivo como para fragmentarla enérgicamente e imprimirle una velocidad de salida considerablemente más elevada que al resto de la voladura. Es lo que se conoce como *defecto de piedra*.
- **Longitud de retacado:** el retacado es el tapón de roca (detritus de perforación,

**Palabra clave:** CARGA, CONTROL, DISEÑO, FISURACIÓN, MONITORIZACIÓN, PROYECCIÓN, VOLADURA

**Benjamín CEBRIAN ROMO,**  
Responsable Filiales Europeas  
UEE Servicio Plus

**Iván CARRASCO MARTIÁÑEZ,**  
UEE Europa – Delegación Sur

gravilla u otro material) que completa el barreno hasta la superficie, de forma que contiene la energía del explosivo hacia la superficie del banco de voladura y la dirige hacia el frente, en la dirección deseada de arranque de la roca. Si la longitud de retacado no es suficiente en relación con el diámetro de barreno, el explosivo tiende a romper la roca hacia arriba, de forma que expulsa por la boca y sus alrededores fragmentos en dirección no deseada.

- **Fisuración de la roca. Cuevas y coque-ras:** la presencia de cuevas y coque-ras delante de un barreno es un espacio vacío o relleno de arcilla que no presenta resistencia alguna para el explosivo. En este caso, una cantidad de explosivo superior a la proyectada afecta a una porción de roca de la cara libre del banco. Por ende, la carga de dentro de una de estas cuevas de manera no controlada, puede dar lugar a una concentración excesiva de explosivo que puede dar lugar a proyecciones.
- **Secuenciación de disparo:** como factor de importancia secundaria respecto a los anteriores (ocurre en menor proporción y con menores efectos normalmente), pero también a considerar, se encuentra la secuenciación inadecuada de los barrenos de voladura en banco. Esto es, la asignación inadecuada de tiempos de detonación, por causa de la cual, la roca no tiene tiempo de desplazarse una vez fisurada antes de que detonen los barrenos adyuntos. El esponjamiento de la roca no encuentra lugar de salida de manera frontal y parte o todo se realiza de manera vertical, con la consiguiente incertidumbre en la trayectoria y alcance de los fragmentos de roca. Este fenómeno se da aunque los parámetros anteriores sean correctos.



[Figura 1] Ejemplo de proyección producida en la parte trasera de una voladura, bien por defecto de retacado y/o secuenciación inadecuada.



En una gran mayoría de los casos, las proyecciones se producen por defectos de retacado, carga no dosificada en cuevas o coqueiras que atraviesa el barrenos y defectos de piedra. En menor medida, puede ocurrir cuando uno de estos huecos, vacíos o rellenos de arcilla, están situados delante de uno de los barrenos de la primera fila de voladura, sin que hayan sido atravesados por la perforación, quedando de esta manera ocultos en las labores de monitorización. Este último es un caso muy anecdótico y poco frecuente, quedando a los caprichos de la naturaleza.

## Ejemplo práctico de máximo control: Cantera Buena Vista – Afercan

La empresa Afercan, S.A. es concesionaria y explotadora de la concesión de calizas denominada Buena Vista, situada en las cercanías de la barriada Sierra Elvira perteneciente al municipio de Atarfe, en la provincia de Granada. Actualmente, las viviendas más próximas de la barriada distan 450 m de los frentes de la cantera más cercanos a la población.

Geológicamente, la concesión está situada dentro del Trías Alpujarride, consistiendo en un paquete de calizas con estratificación marcada (estratos de potencia variable entre 30 y 60 cm), que a cotas inferiores a los 590 m (unos 80 m de profundidad) se van transformando en un macizo de dolomía compacta.

La explotación del macizo calizo se realiza por banqueo, oscilando la altura de banco de 5 a 25 m. Dentro de la política adoptada por la nueva dirección técnica de Afercan, se están efectuando las labores precisas para replantear la altura de banco de producción y regularizar todos los frentes de la cantera, definiendo



[Figura 2] El técnico de UEE realizando perfilometría láser 2D en el banco inferior de la cantera Buena Vista. Este sistema permite diseñar o evaluar en tiempo real la seguridad de los barrenos de primera fila.

un tren de bancos de 20 m de altura máxima y bermas de 6 m, con taludes de 1:4 de inclinación. Se ha definido un nuevo fondo de explotación en la cota 600 y a partir de esa cota se ha proyectado un tren de bancos hasta la cota 700 donde se encuentra el banco primero. El acceso a cada uno de los niveles se efectúa por rampas de anchura suficiente para garantizar la maniobrabilidad de la maquinaria de producción. Todos estos trabajos se efectuarán en un plazo estimado de 2 a 3 años.

La perforación actualmente está subcontratada a la empresa de voladuras especiales Volarid, S.L., efectuándose voladuras con barrenos de 89 mm en malla 3,5 m x 4 m al tresbolillo. Como explosivos se emplean Goma 2 ECO y Nagolita. El retacado máximo es de 3,5 m utilizándose gravilla procedente de la propia planta de clasificación de la cantera. Como sistema de iniciación se utilizan detonadores eléctricos y no eléctricos, indistintamente.

Una vez efectuada la voladura, se separa el material apartando los estériles que representan como media un 10% del material volado. Para labores de fragmentación secundaria de bolos, se dispone de dos martillos hidráulicos Krupp de 1.100 kg montados sobre dos retroexcavadoras de cadenas Akerman H14. El material arrancado es cargado mediante palas Caterpillar 988 y Volvo L180 a cuatro volquetes articulados Volvo de 25 t que lo transportan a la tolva de recepción del todo - uno de la planta de trituración y clasificación.

El todo - uno de cantera pasa por una machacadora de mandíbulas Roher, de 1.250 x 1.000 mm y 180 CV. El material quebrantado a 125 mm pasa un precibado y el rechazo grueso alimenta a un molino de impactos Roher de 270 CV. El material molido pasa a dos cribas vibratorias de 3 paños, donde es clasificado en las distintas fracciones comerciales. La fracción gruesa de la primera criba sufre una segunda molienda en un molino centrífugo Roher de 100 CV. El producto de este molino se reincorpora al circuito de clasificación.

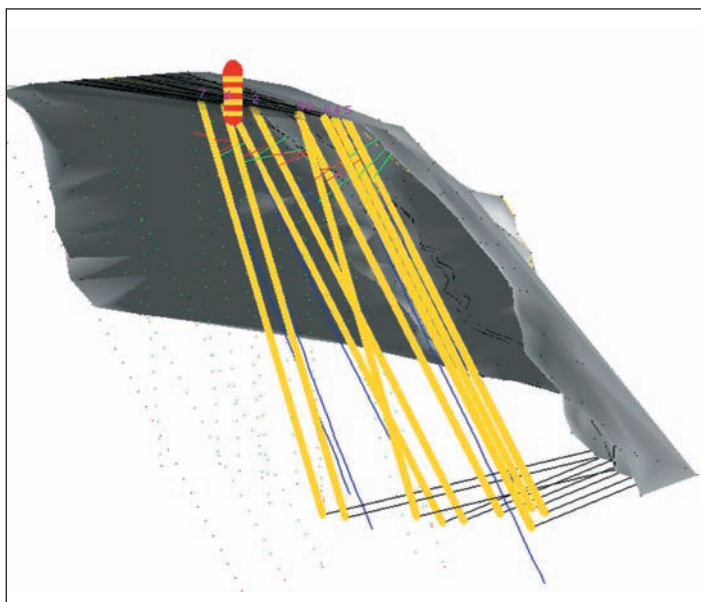
Las fracciones comerciales de ambas cribas son acopiadas en 6 tolvas situadas debajo de ellas. Estas tienen una salida inferior (excepto la tolva de la arena) que pueden descargar sobre una cinta horizontal llevando el material a dos molinos Roher de 150 CV montados en paralelo para molienda de los exce-



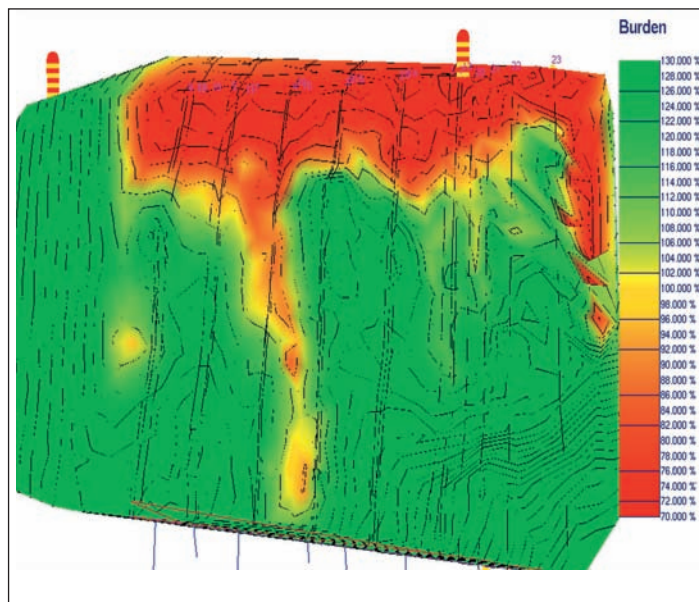
[Figura 3] Medición de posición real de los barrenos de primera fila.



[Figura 4] Perforación de primera fila según diseño tras mediciones iniciales.



[Figura 5] Vista lateral del conjunto de barrenos en abanico para lateral irregular del banco de voladura superior.



[Figura 6] Mapa de piedras del banco superior. La piedra nominal es 4 m para 3,5", con margen de seguridad incrementado.

dentes a tamaños inferiores de mayor demanda. El material procedente de ambos molinos es llevado mediante una cinta de retorno a la cinta general de los clasificadores, quedando así cerrado el circuito.

La capacidad de producción de la planta viene limitada por la capacidad de la machacadora primaria, que es del orden de las 250 t/h para una apertura de descarga de 125 mm, lo que representa una capacidad de producción real diaria de la planta de 2.500 t/día, en jornada de 10 horas. El circuito produce un rechazo estéril del 20%.

## Diseño de la voladura

En el año 2005 está previsto realizar labores de desmonte en los bancos superiores, con un movimiento de tierras que alcanzará aproximadamente un volumen de 13.000 t. Se prevé obtener una producción de áridos en sus diferentes granulometrías en torno a las 400.000 t, es decir, unos 160.000 m<sup>3</sup>.

La cantera Buena Vista, situada en la provincia de Granada, solicitó la asistencia del Servicio Plus de UEE para realizar diseños de voladura de máxima seguridad. Debido a una gran irregularidad geométrica de la cara libre del banco de voladura, con numerosos entrantes y salientes, el correcto emplazamiento y ángulo de voladura requería una precisión que los sistemas tradicionales no pueden brindar. Estos sistemas tradicionales se basan en repetir alturas de retacado y ángulo en todos los barrenos, posicionando el emboquille de manera aproximada.

Durante los meses de marzo y abril de 2005, se realizaron mediciones de dos diferentes bancos de voladura, cada uno en emplazamientos diferentes de la explotación.

Dichas mediciones consistieron en la toma de datos para un diseño inicial teórico con láser 2D (según el perfil de cada barreno), para luego re-evaluar este mismo diseño mediante perfilometría 3D. Esta última es una herramienta mucho más potente, que detecta las condiciones de la roca no sólo según el perfil del barreno sino alrededor del mismo. Por último, la supervisión de la voladura se complementó con la sonda de desviación de barrenos Boretrak. De esta manera se comprobó que tanto barrenos teóricos como reales se ajustaban estrictamente dentro de parámetros de seguridad muy amplios.

Tras las mediciones de evaluación, se procede al diseño de la voladura, teniendo en cuenta que las irregularidades del banco requieren posicionar barrenos en lugares no intuitivos, variar su retacado según el grado de descabezamiento del banco, y complementar con barrenos a diferentes ángulos aquellas zonas que la malla normal de voladura no podría fragmentar adecuadamente.

Seguidamente, se procede a la perforación según el diseño, para después re-evaluar las condiciones de seguridad de la voladura ya perforada, poniendo especial énfasis en la situación real de los barrenos.

## En conclusión: seguridad total

Tras exhaustivas campañas de trabajo de diseño y evaluación, los parámetros determinantes en la generación de proyecciones en la cantera Buena Vista han sido sometidos a las más estrictas medidas de seguridad. Éstas se han conseguido mediante las últimas tecnologías de control y supervisión empleadas de acuerdo a la legislación británica, referencia

mundial de la seguridad en explotaciones mineras.

Tanto la posición de las cargas dentro del macizo, como los niveles de retacado, presencia de grietas y coqueras y la secuenciación han sido examinados y tenidos en cuenta para un diseño completo de cara a la seguridad.

Las medidas tomadas en Buena Vista se sitúan a la cabeza de las iniciativas de control de proyecciones en el mercado nacional.

## Agradecimientos

A Francisco Hidalgo y Manuel Hidalgo, de Afercan, por su colaboración y confianza a la hora de realizar este estudio.

### Información:

**UEE Servicio Plus**  
Avda. Partenón, 16. Campo de las Naciones  
28042 Madrid  
Tel.: 91 722 02 18  
Fax: 91 722 01 85  
E-mail: bcebrian@uee.es  
Pág. Web: www.uee.es