

Optimización de una voladura de escollera

Se denomina *escollera* a la roca de grandes dimensiones que se utiliza para la protección de puertos marinos o para calzar los pies de taludes rocosos o de suelos. En este artículo se ilustran las técnicas empleadas en un caso práctico en la explotación minera que la *Compañía General de Canteras (CGC)* tiene ubicada en Casares (Málaga). Ésta es la principal suministradora de escollera para las obras de ampliación del puerto de Algeciras (Cádiz).

El empleo de técnicas avanzadas en el diseño y control de la voladura permite, de un lado atender la demanda del cliente en tipo y calidad de productos, obteniendo una menor producción de excedentes que entran en stock afectando negativamente la cuenta de resultados y por otro asegurar el ritmo de suministro, al elevar el porcentaje de tamaños tipo escollera en la pila de voladura.

Las voladuras de *obtención de escollera* consisten en una técnica de utilización de explosivos que precisa de la adecuada comprensión de los mecanismos de rotura de la roca. Se tratará de fragmentar de una manera que los tamaños obtenidos queden comprendidos en una porción gruesa, con minimización de tamaños pequeños y finos.

Sin embargo, no basta con minimizar los consumos de explosivo y energético. Más aun, los consumos suelen ser elevados, pero orientados a técnicas especiales de arranque de roca que no fragmenten excesivamente la roca y que, a la vez, produzcan un despegue limpio, un corte adecuado de pie de banco que no deje repiés y un desplazamiento adecuado para permitir una carga correcta del material volado. Además, deberán dejar un frente de voladura sin daños excesivos que permitan el replanteo y funcionamiento adecuado y consistente de voladuras posteriores.

La simple ampliación de malla en voladuras convencionales puede producir resultados no satisfactorio en cuanto a tamaños obtenidos (no homogéneos ni en el rango deseado), además de daños en el macizo remanente en las zonas anexas a la voladura.

El diseño de una *voladura de escollera* implica definir claramente el objetivo de la misma (tamaños a obtener), estudiar si la estructura geotécnica del macizo rocoso permite la obtención de esos tamaños, contemplar las limitaciones por vibraciones y proyecciones en el entorno y por la maquinaria de la explotación.

Diseño inicial

El diseño inicial de las voladuras de escollera, antes del proceso de ajuste y optimización se basó en las recomendaciones de diseño específicas de este tipo de voladuras. Los parámetros pueden consultarse en el **Cuadro I**.

Algunos parámetros comunes fueron:

- Inclinación de barrenos entre 5° y 10°.
- Diámetro de perforación de 112 mm.
- Fila única de barrenos.

Este diseño, si bien produjo un arranque suficiente y ausencia de repiés, producía una sobretrituración en la parte baja del banco (zona de carga de fondo) y unos tamaños excesivamente gruesos en la parte superior.

Por ello, se introdujeron una serie de evoluciones en algunos de estos parámetros que condujeron a resultados mejores para el rango requerido de tamaños y en cuanto a la economía de las voladuras.

Palabras clave: ARRANQUE, CANTERA, CARGA, DIÁMETRO, ESCOLLERA, EXPLOSIVO, FRENTE, ROTURA, TAMAÑO, VOLADURA.

 **Javier ORIVE, Jefe de Producción de Cantera La UTRERA (CGC).**
Juan J. SAÉZ y Benjamín CEBRIÁN, de BLAST CONSULT, S.L.

Proceso de optimización

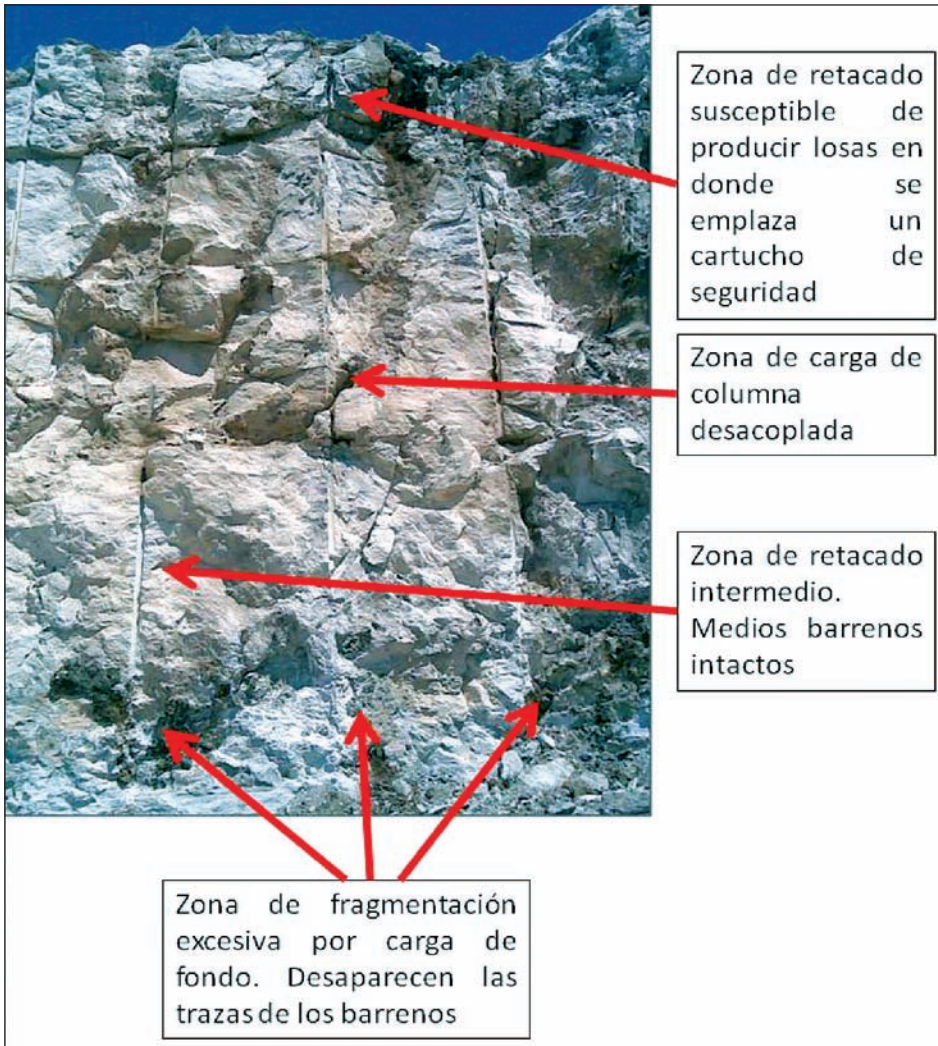
Para mejorar los resultados de las voladuras, así como la economía de las mismas, se realizaron una serie de ajustes:

- Mallas más abiertas en zonas de macizo rocoso de menor resistencia.
- Ajuste de la carga de fondo, tanto en *Riodin* como en *Nagolita* para el anular, en paralelo con el incremento de malla.
- Tiempos secuenciados en los extremos de la voladura para proteger la integridad de los frentes remanentes e instantáneo en el resto.
- Colocación de cebo de seguridad en cabeza (bajo el retacado) que ayudara a fragmentar la zona de retacado (estratificación horizontal tendente a la formación de losas).

Para ajustar correctamente el emplazamiento de los barrenos, sobre todo en la zona del banco con geometría irregular se realizaron

PARAMETRO	DISEÑO ORIGINAL	EVOLUCION 1	EVOLUCION 2	EVOLUCION 3
PIEDRA	4,2 m	4,5 m	4,5 m	4,5 m
ESPACIAMIENTO	2,5 m	2,5 m	2,75 m	2,75 m
CARGA FONDO	25 kg Riodin	25 kg Riodin + 12 kg Nagolita	25 kg Riodin + 25 kg Nagolita	11,12 kg Riodin + 25 kg Nagolita
CARGA COLUMNA	Nagolita embolsada en 76 mm	Nagolita embolsada en 76 mm	Nagolita embolsada en 76 mm	Nagolita embolsada en 76 mm
RETACADO INTERMEDIO	1,5 m	1,5 m	1,5 m	1,5 m
SOBREPERFORACION	1,1 m	0,5 m	0,5 m	0,5 m
SECUENCIACION	Grupos de 2 con 9 ms entre grupos	Grupos de 2 con 9 ms entre grupos	Instantánea menos 17 m s a los laterales	Instantánea menos 17 m s a los laterales
RETACADO	2 m	2 m	1,5 m	1,5 m

■ [CUADRO I] .- Paámetros en función del diseño de la voladura.



[Figura 1] .- Evaluación del comportamiento del explosivo a diferentes alturas del frente y con diferentes configuraciones.

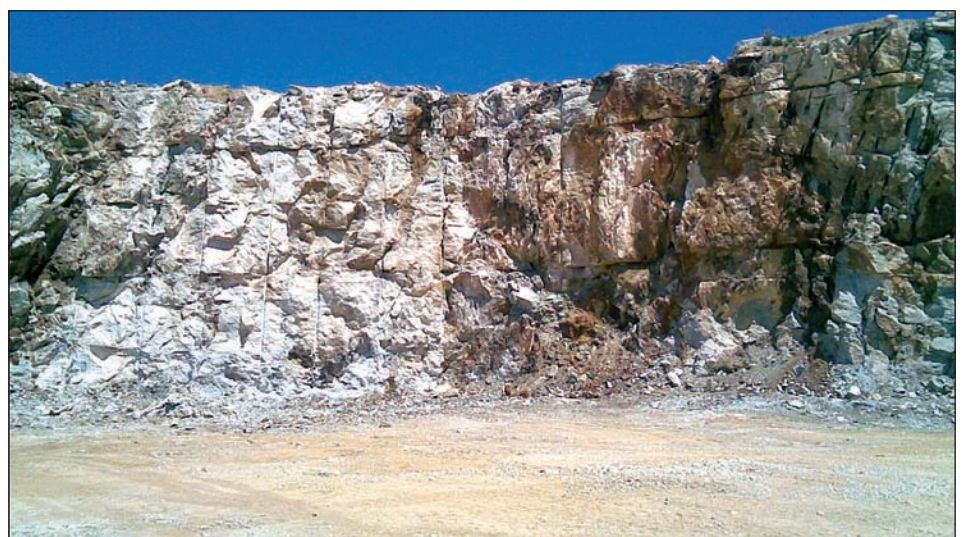
perfilometrías 2D previas a la perforación. Esta acción es fundamental para asegurar una carga de roca regular y homogénea a todos los barrenos.

Otro de los ajustes de mejora realizados en función de las características del lugar fue la *reducción de sobre perforación*. Los cálculos iniciales aconsejaban una sobreperforación 10 veces el diámetro del taladro (1,1 m) y una carga de fondo de 25 Kg. Ésta fue reducida a 5 veces el diámetro de perforación y 11 Kg. de carga de fondo ya que la estratigrafía es horizontal y no requiere de tanta fuerza para *segar* el banco. De esta manera se consiguió un ahorro económico. Si se perforará más y se introdujera más explosivo, sólo se traduciría en vibraciones al macizo y sin resultados aparentes en la producción.

Se separó la carga de fondo mediante un retacado intermedio de 1,5 m para que la carga de columna fragmente la roca de la forma y tamaños deseados.

Para desacoplar la carga de columna se embolsó el A.N.F.O. en bolsas de un diámetro

de 76 mm (3 ") y se cebó con un cartucho de Goma2-ECO (2,77 kg).



[Figura 2] .- Comparación de un frente remanente por voladura de escollera (izda) con el resultante de voladura convencional (dcha). Los fundamentos de estas voladuras son paralelos a los de las voladuras de recorte.

De esta manera, el impacto producido no fragmentaba la roca demasiado.

El retacado comenzó con una longitud de 25 diámetros de perforación pero fue disminuido hasta 15 diámetros de carga con material triturado de granulometría mayor que el detritus de perforación, evitando así las proyecciones y utilizando la energía del explosivo enteramente en desplazar la roca.

La secuenciación perfecta para este tipo de voladuras es la de detonación instantánea en toda la fila de barrenos, pero dada la posibilidad de a priori de producir vibraciones demasiado elevadas, se comenzó secuenciando por grupos de dos barrenos hasta llegar a una gran fila de barrenos separados en 3 grupos con una diferencia de 17 milisegundos entre grupo y grupo.

Los barrenos de los extremos se secuencian con una diferencia de 17 milisegundos del resto de barrenos de su grupo para no dañar el banco.

Beneficios económicos

Los beneficios económicos que se derivaron de emplear diseños especializados de voladura son, por un lado, un mayor aprovechamiento de las reservas para la venta de tamaños de mayor valor. Por otro, se produce un ahorro directo en costes por taqueo o picado de grandes bloques, que se hubieran obtenido cuando se pretende aumentar el porcentaje de escollera en pila por técnicas poco especializadas.

El aumento de coste por tonelada en voladuras para escollera por aumento de la carga de fondo y de personal para una carga más laboriosa, se valoró en la explotación de **Cía General de Canteras** en 0,15 €/t, siendo el aumento del beneficio, por tonelada total volada

para escollera, por mayor valor del producto final obtenido de 0,50 €/t.,

Conclusiones

Las voladuras de escollera requieren un estudio de la geología y un diseño acorde más minucioso que en las voladuras convencionales de producción. Comenzar por un diseño adecuado y ajustarlo correctamente deriva en unos mayores porcentajes de tamaños buscados y una mejor economía de la operación.

Es fundamental el correcto emplazamiento de los barrenos, controlar la rotura de la carga de fondo y la de columna y conseguir un buen frente y suelos remanente que faciliten la repetitividad y consistencia de los resultados.

Agradecimientos

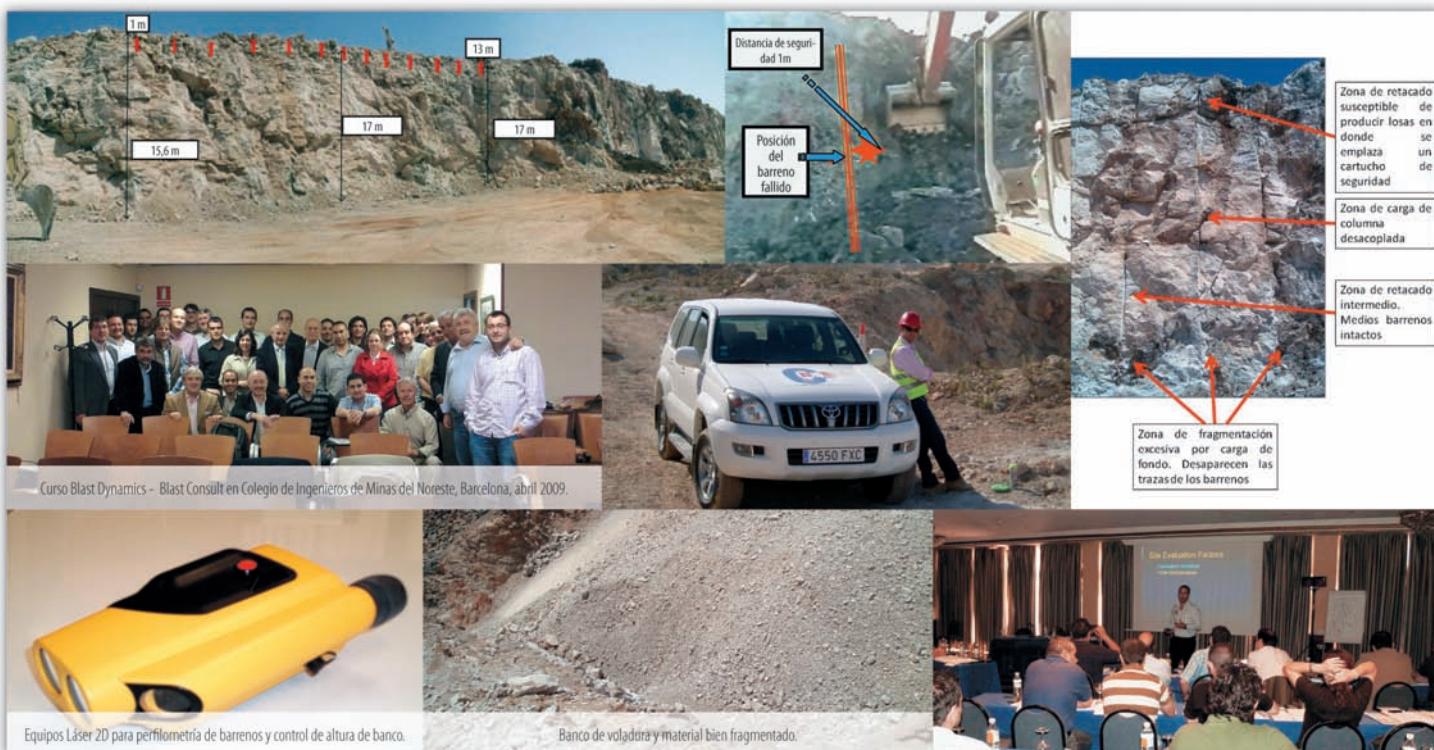
- Al grupo *Italcementi*, al cual pertenece *Compañía General de Canteras S.A.*, por los medios aportados en la realización de este artículo y en especial al ingeniero responsable de la explotación, *Javier Orive* por su espíritu innovador y entusiasmo en los proyectos de mejora



[Figura 3] .- Resultados en tamaños adecuados tras la evolución de los diseños iniciales.

- Al personal de CGC, en especial a los artilleros *José Antonio* y *Carlos*, que junto con el resto del personal de la cantera trabajan duro por superarse en cada voladura.

BLAST CONSULT, S.L.
 José Fentanes, 42
 28035 Madrid
 ☎ 609 988 120 - 913 768 596
 ✉ blast-consult@yahoo.es



Curso Blast Dynamics - Blast Consult en Colegio de Ingenieros de Minas del Noreste, Barcelona, abril 2009.

Equipos Láser 2D para perimetría de barrenos y control de altura de banco.

Banco de voladura y material bien fragmentado.



**Especialistas
 en explosivos
 y fragmentación
 de roca**



Consultoría
de Voladuras



Peritaje
de Accidentes



Auditoría
de Operaciones



Prevención
de Accidentes
con Barrenos Fallidos

BLAST CONSULT, S.L.

CENTRAL

C/ José Fentanes, 42. 28035 Madrid. Fax: +34 91 376 85 96
 e-mail: blast-consult@blast-consult.com

DELEGACIÓN SUR

C/ Fragata, Urb. Pta. Europa, 10. 11207 Algeciras, Cádiz
 e-mail: blast-consult@yahoo.es