

Voladuras en canteras de roca ornamental

En este artículo, se explica la situación actual de las voladuras en las canteras de roca ornamental, a la que se ha llegado por la normal evolución técnica, con la asimilación por parte de este sector minero de las nuevas tecnologías de explosivos e iniciadores y el desarrollo de metodologías de trabajo más modernas, pero también por las modificaciones impuestas por la normativa de almacenamiento de explosivos a partir del año 2.005.

Palabras clave: ARRANQUE, BANCO, CANTERA, DESMONTE, ESTÉRIL, EXPLOSIVO, FRAGMENTACIÓN, LEVANTE, ONDA AÉREA, ROCA ORNAMENTAL, SECUENCIACIÓN, VOLADURA.

Emilio TRIGUEROS TORNERO (*), José M. MUÑOZ CAMARASA (*), Víctor CANOVAS CARRASCO (*), y Marcos MARTÍNEZ SEGURA (*)
 (*) UNIV. POL. DE CARTAGENA, Dpto. Ing. Minera.
 Grupo de Geotecnia y Métodos de Explotación

El sector minero más importante de nuestro país, en términos económicos, la roca ornamental, ha sufrido una serie de cambios en las operaciones extractivas, para *ajustar los costes de explotación* a las exigencias económicas del mercado de venta de productos en bruto (bloques o rachones). Estos cambios se han podido realizar gracias a la masiva incorporación, en los últimos 25 años, de técnicos de minas a las canteras. Profesionales que, por su formación, han sido capaces de industrializar las operaciones artesanales, mediante una planificación previa y una actitud crítica, para el desarrollo constante de cada una de las operaciones del proceso.

Son varias las *zonas a nivel nacional* que producen diferentes tipos de roca ornamental. Los granitos, cuyo máximo exponente es el denominado *Rosa Porriño*, se extraen principalmente en Galicia y en menor medida en Extremadura, donde destacan el *Azul Platino de Trujillo* y diferentes tonalidades de negros en la provincia de Badajoz, y en el centro peninsular (Madrid, Segovia y Avila) donde se produce el *Blanco Castilla*. Los mármoles se encuentran en la zona sureste Comarca del Mármol, en Macael y Chercos, provincia de Almería, con la producción del *blanco Macael*, amarillos y travertinos. En las comunidades murciana y sur de la valenciana, se aglomeran las explotaciones de calizas mármóreas, destacando el *Crema Marfil*, los marrones y los rojos. En la zona norte guipuzcoana se encuentran el *negro Markina* y el *gris Deba*. Las pizarras se concentran en el noroeste de la península, en las provincias y comunidades de Zamora, León, Galicia y Asturias; dentro de la enorme variedad, destacan por su importancia las *Pizarras de*

Luarca, con explotaciones en las comarcas de Valdeorras, Alto Sil, Quiroga, etc.

La roca ornamental tiene un *nivel de aprovechamiento* medio en capa del 25%, lo que quiere decir que, una vez alcanzada esta capa, debemos extraer 75 t de material estéril por cada 25 t de material aprovechable. Pero además, en muchas canteras, se está llegando a zonas en que la capa no es aflorante y hay que descubrirla, alcanzando con facilidad ratios de escombros de desmonte previo de 1:1, ocurriendo entonces que la fracción bruta vendible representa tan solo el 12,5 % del total extraído.

Este planteamiento general de las *necesidades de arranque* en las explotaciones de roca ornamental, nos permite entender la importancia que el desarrollo de las técnicas y operaciones de perforación y voladura han tenido, no solamente para conseguir abaratar los costes de explotación sino también para aumentar las capacidades de producción.

Otro de los factores determinantes en las labores de arranque mediante voladuras, fue la

modificación de la legislación en materia de almacenamientos especiales para explosivos y accesorios, realizada en agosto de 2005, y que produjo en las explotaciones de roca ornamental, un cambio sustancial en los consumos por pega. Hasta ese momento, las condiciones de almacenamiento quedaban recogidas en el artículo 190 del *Reglamento de Explosivos*, situación que se vio ampliada por resolución de la Dirección General de Política Energética y Minas, donde se aprobaban los criterios técnicos mínimos que se establecen para las nuevas cajas de almacenamiento de explosivos, incrementando los grados de seguridad hasta el *grado VII* de nivel de resistencia.

Con esta situación se produjo un importante cambio en las cantidades que se transportan y manejan en las canteras, dado que *la mayoría de las explotaciones desecharon los minipolvorines de consumo*, donde guardaban pequeñas cantidades de hasta 50 kg de explosivo, y/o 500 detonadores, empezando a funcionar con consumos directos desde polvorines comerciales de distribución. Además, el incremento del coste del transporte, y el tener que disponer de guardias jurados con especialidad en explosivos, para consumir a partir de 1 kg de materia reglamentada, han favorecido que el explotador tienda a consumir menos veces y mayores cantidades cada vez, con lo que además se reducen los gastos de proyecto y tramitación.

Procedimientos de voladura

Podemos distinguir hasta 3 tipos de voladura en Roca Ornamental: la voladura *de desmonte*, que son voladuras en banco muy similares a las realizadas en canteras de áridos, las vola-



■ [Figura 1].- Acceso a la masa de granito sano en Cantera de Rosa Porriño.

duras de estéril de capa con levante previo y las voladuras de fragmentación de bloques y sobretamaños, que por su bajo consumo absoluto de explosivos se hacen coincidir con las anteriores.

La dificultad en el acceso a los paquetes explotables, requiere la realización de voladuras de desmonte. Una zona que siempre se ha caracterizado por la realización de este tipo de voladuras es la del Puntal, en Macael (Almería). La capa de mármol subhorizontal, se encuentra cubierta por unas decenas de metros de margas y esquistos que han de ser remozados antes de la explotación (Fig. 2). Las voladuras denominadas coloquialmente (atómicas) detonaban con un único iniciador hasta 6 toneladas de explosivos, y actualmente, ya con secuenciación, llegan a consumir decenas de toneladas (Fig. 3).

Una de las circunstancias que se tiene en cuenta en el diseño geométrico de estas voladuras es la distancia mínima entre la carga de fondo, para la que se emplean dinamitas, y la zona de roca aprovechable, utilizando una secuenciación que permita el correcto trabajo de estos explosivos, de mayor capacidad de rotura, y cuya misión es la de cizallar la base de los bancos hacia la cara libre (Fig. 4). Son fundamentalmente voladuras en banco (para bajar de nivel se utilizan también voladuras en zanja). El consumo específico, en estas voladuras para roca ornamental llega hasta los 400 gr/m³, empleando básicamente dinamitas y anfos (Fig. 5).

Cuando trabajamos dentro de la capa de material vendible, encontramos zonas que no tienen la calidad apropiada, con defectos de color o mayor diaclasado. Hasta hace unos años, el material se seguía cortando con el procedimiento habitual para luego desecharlo, lo que resultaba muy costoso. En la actualidad se realizan voladuras de estéril de capa con levante previo, independizando la zona de material malo del resto de la capa con un precorte mecanizado o realizado mediante explosivos. Una vez ejecutados los planos de corte verticales y horizontales, con los que se interrumpe la progresión de la onda de detonación, se procede al volado de la roca mala, con el fin de fragmentarla suficientemente para que pueda ser retirada. Estas voladuras, lógicamente, no requieren sobreperforación (Fig. 6).

Por último, hemos citado las voladuras de fragmentación de bloques y sobretamaños de la explotación, que se realizan cuando ha quedado una zona aislada por alguna diaclasa principal, que pudiera presentar algún riesgo, o cuando se desea romper algún fragmento que no pueda ser transportado. La fragmentación se realiza utilizando cordón detonante y nagolita distribuida en dos o tres partes separada con retacados intermedios de arena.

[Figura 2].-
Capa de esquistos de recubrimiento del mármol en el Puntal de Macael



[Figura 3].-
Preparación de una voladura de desmonte con 43 t.de explosivos en Macael.



[Figura 4].-
Perforación para voladura de desmonte de capa de Pizarra en Mahide (Zamora).



[Figura 5].-
Voladura en zanja para acceso a bancos inferiores en Monte Coto de Pinoso.





■ [Figura 6] .- Voladura con levantes en el Monte Coto de Pinoso.



■ [Figura 7] .- Voladura con rozado horizontal inferior y precorte vertical en Markina (Guipuzkoa).

Al ser fragmentos de medidas irregulares no existe una piedra como tal, simplemente se vigilará que ningún barreno quede a menos de 1 m. del frente libre. El precorte se realiza mediante barrenos separados 50 cm. cargados en toda su longitud con cordón detonante de 100 gr. Para la fragmentación se utiliza una única fila de barrenos con una separación de 2 m. cargados con cordón detonante de 20 gr/m. en toda su longitud y nagolita a granel distribuida en tres partes de 1 kg cada una por barreno separadas con retacados intermedios. La longitud de cada carga de nagolita es de aproximadamente 50 cm. No se realizará sobreperforación, teniendo los barrenos la misma longitud que el bloque a volar.

Cuando los fragmentos son muy pequeños ya no se emplea el taqueo. El martillo hidráulico demoledor ha sustituido esa práctica, aunque es considerablemente caro y para evitar su uso se procede a elevar el consumo específico en las voladuras.

La evolución en los medios de iniciación ha sido también muy importante. Desde el comienzo y aun hoy en día se ha empleado el detonador de mecha lenta o detonador ordinario; casquillo de aluminio con carga en el extremo cerrado, y que mediante aplicación por el extremo abierto de una mecha lenta, inicia la detonación; esta situación ha ido cambiando paulatinamente en base a las necesidades de no producir destrozos en los materiales aprovechables. Se han ido y se siguen sustituyendo los detonadores ordinarios por detonadores de tipo eléctrico, y del tipo no eléctrico. Las voladuras de desmonte se asemejan, en cuanto a secuenciaciones, cada día más a las voladuras de producción de áridos. El paso de detonadores eléctricos a detonadores no eléctricos ha supuesto un incremento sustancial en el número de retardos emplea-

dos en las voladuras, lo que mejora, además de la fragmentación, las vibraciones generadas en la operación.

Realización de los levantes

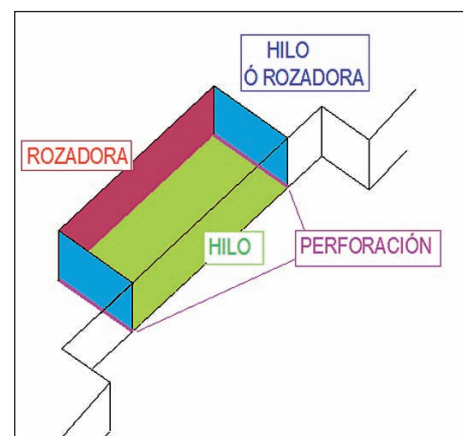
Llamamos *levantes* a las superficies que separan la masa que vamos a volar de la capa a la que pertenece, y que cumplen la misión de disminuir el daño a la roca vecina y mantener la geometría de trabajo de corte, característica del laboreo ornamental. La palabra procede del diaclasado característico de los granitos (*levante* o *andar*) que se aprovecha en su explotación para la separación de bloques. La generación de esa superficie se puede hacer mediante *corte mecanizado*, utilizando rozadora de brazo o hilo diamantado, o mediante la técnica de *precorte con explosivos*: pólvora o cordón detonante.

La capacidad de las rozadoras en los granitos es tan baja que normalmente se utilizan los explosivos. Es frecuente el uso de la pólvora para los levantes horizontales: se efectúan perforaciones que normalmente varían entre 5 y 7 mts de longitud, cuyo espaciamiento entre barrenos se sitúa en torno a los 50 cms, y se emplea pólvora como explosivo fundamental inserto en tubos de PVC, sellado para que no les afecte el agua; los consumos específicos en este tipo de labores son muy pequeños, ya que lo único que se pretende es realizar un plano de corte en la horizontal, para separar el bloque del resto de material y poder proceder con posterioridad al corte con hilo de la sección vertical (Fig. 7). Es habitual también el levante horizontal en otras rocas ígneas como las granodioritas, con cordón detonante en agujeros de 40 mm y 6 metros de longitud espaciados cada 30 cm.

Una práctica común, es realizar los planos de separación vertical mediante cordón deto-

nante (*splitting dinámico*) para lo que se practican perforaciones verticales con separación de hasta 1 metro, y se introduce cordón de alto gramaje que se hace detonar inmediatamente antes de la voladura.

No obstante, la tendencia en las superficies de levante en mármol y calizas es la de utilizar medios de corte convencionales, rozadora e hilo diamantado, pero en su realización existen diferentes alternativas, una de las más eficientes e innovadoras es la del *rozado del plano dorsal vertical con serrucho* de 7 metros y *corte de lateral y de base con hilo de diamante*. De esa forma la base puede tener más profundidad y volar en una sola operación mayor cantidad de roca. Por otra parte se amortiza el tiempo de preparación de las máquinas de rozado e hilo, empleándolos en superficies de mayores dimensiones. Otra tendencia para ahorrar el uso de rozadora es la de *realizar conexiones* de hasta tres perforaciones para después pasar el hilo cortando las tres superficies ortogonales (Fig. 8).



■ [Fig. 8] .- Levantes mediante corte para independizar una masa estéril de capa a volar.

Planteamiento de las voladuras de estéril de capa

Tomamos como ejemplo las consideraciones en el caso de una cantera de *Crema Marfil*, roca con una densidad de 2.6 t/m^3 y de una resistencia a compresión media próxima a los 80 MPa. Tendremos en cuenta primero las capacidades de carga de los equipos de la explotación, de forma que eso nos proporcione el volumen de roca a mover más apropiado. A partir de la altura de los bancos de corte de la zona a volar (más habitual de 7 hasta 11 m), estableceremos la planta de material a volar (ancho y fondo). Son habituales valores de 1.000 a 2.000 m^3 , que con un consumo específico de $0,26 \text{ kg/m}^3$, para una fragmentación adecuada, nos llevaría a consumos de explosivo de entre 260 y 520 kg.

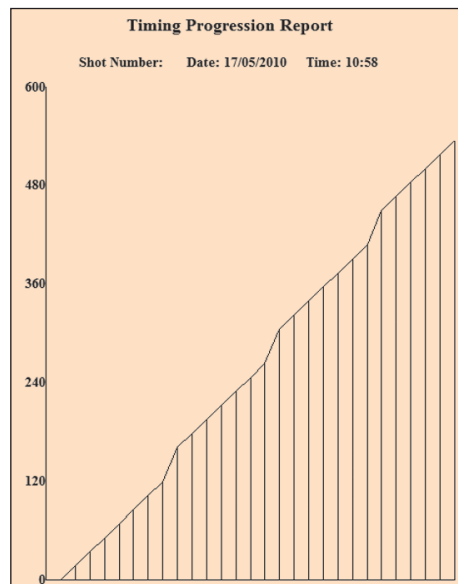
El diámetro de carga utilizado es de 60 mm. Los barrenos se realizarán con la perforadora de martillo en fondo a un diámetro de 90 mm., para posteriormente ser entubados con tubo de PVC de 60 mm., para impedir concentraciones excesivas de explosivo en coqueas y fisuras, lo que provocaría proyecciones. En la explotación existen *bancos con alturas de entre 7 y 11 metros*, para los cálculos tomamos el caso más desfavorable, es decir 11 metros. Teniendo en cuenta que se realizarán voladuras sobre frentes verticales cortados y que es necesario conservar la disposición de frentes verticales para futuros cortes con hilo, los *barrenos serán verticales*, tomando una longitud igual a la altura de banco *menos un metro*, que impida el daño al material de la base. En los bancos en los cuales su altura sea menor, lo único que cambiará será la longitud de carga de explosivo, manteniéndose igual el resto de parámetros (retacado, espaciamiento, piedra, etc.). Se adopta una o varias filas de barrenos al trespelillo a lo largo del frente con una piedra o distancia al frente de 2,2 m y un espaciamiento de 2,7 m.

El *diseño de la voladura* se realiza con una carga de fondo de 0,5 m. utilizando 2 cartuchos de Goma de $40 \times 240 \text{ mm}$, de 0,417 kg cada uno, resultando un total de 480 mm y 0,834 kg. Para la carga de columna, tomando un coeficiente de densidad de la nagolita de $0,8 \text{ gr/cm}^3$ y un diámetro de 60 mm, obtenemos una densidad de carga por metro lineal de carga de columna de 2,26 kg/m. Para un longitud de la carga de columna de 7,3 m, la carga de columna es de 16,49 kg.

Mediante la *combinación de detonadores* no eléctricos y conectores entre barrenos de distintos tiempos de micro-retardo, conseguire-

mos que no exista solape de cargas, siendo la carga máxima de encendido por microretardo de 17,32 kg. Para la conexión entre barrenos utilizamos conectores *EZTL* de 17 ms, mientras que para la conexión de filas utilizaremos conectores *EZTL* de 42 ms. Para iniciar la voladura se colocará un primer conector *EZTL* de 17 ms, al que se le unirá el tubo de transmisión hasta la zona segura de disparo.

Realizados los cálculos de la secuenciación correspondiente a una voladura de 4 filas con 7 barrenos por fila, mediante el *software* de cálculo *Compu-Blast*, se obtiene un tiempo de energización de la voladura es de 534 ms. Al utilizar detonadores de 500 ms en los barrenos, casi toda la voladura queda energizada antes de que detone el primer barreno. En la **Fig. 9** se pueden observar la progresión de la voladura en milisegundos. El manteni-



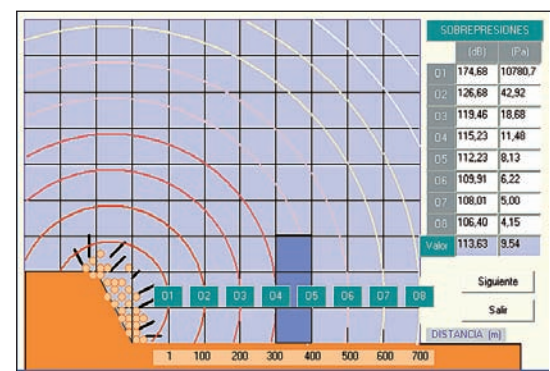
[Fig. 9].- Gráfico de evolución de los disparos en una voladura de 28 barrenos en 4 filas.

VOLADURA	desmante	estéril capa	fragmentación
Nº BARRENOS	25	28	17
Ø Barreno	60 mm.	60 mm.	60 mm.
Nagolita	440,75 Kg.	461,72 Kg.	9 Kg.
Goma 2 EC 40x240	41,50 Kg.	23,24 Kg.	
Cordón detonante 100 gr/m			98 m. / 9,8 Kg.
Cordón detonante 20 gr/m			32 m.
Primadet nº 20	25 Und.	28 Und.	2 Und.
Conector EZTL 17 ms.	22 Und.	25 Und.	1 Und.
Conector EZTL 42 ms.	3 Und.	3 Und.	1 Und.
Volumen de roca	1.306 m³	1.829 m³	98 m³
Explosivo por voladura	482,25 Kg.	484,96 Kg.	19,8 Kg.
Metros perforados	287,5 m.	280 m.	119 m.
Consumo específico	0,36 Kg/m³	0,26 Kg/m³	0,19 Kg/m³
Carga operante	19,29 Kg.	17,32 Kg.	9,8 Kg.

[TABLA I].- Comparativa de voladuras en Crema marfil

miento de una progresión lineal, facilita la fragmentación, reduce las proyecciones y minimiza las vibraciones.

Cada vez tiene más importancia la limitación del ruido. En la práctica, el ruido provocado por la onda aérea tiene una frecuencia por debajo de los 20 Hz, y no puede ser percibido por el oído humano; aunque si se puede notar en efectos molestos como vibración de cristales, etc. Sin embargo, el criterio límite de nivel de ruido que adoptaremos será el de 128 dB, con el fin de evitar las quejas de las posibles personas cercanas a la zona. Para evitar la producción de ruido, los retacados tendrán la longitud proyectada, y se cubrirá el cordón detonante que queda en la superficie con arena. Según cálculos realizados con el *Software AIRVOL v. 1.0*, se ha estimado el ruido producido para una carga máxima por barreno de 19,29 Kg, 1 detonación repetida en la primera fila y 350 m. de distancia al taller de elaboración de mármol en 113,63 dB y una presión de 9,54 Pa (**Fig. 10**).



[Figura 10].- Gráfica de amortiguación geométrica de la onda aérea producida en las voladuras.

Bibliografía

- MUÑOZ-CAMARASA, J.M. (2.004). *Canteras de Mármol: Arranque, perforación y corte, carga y transporte. Operaciones auxiliares. Apuntes del II Curso Especialista en Industrias de la Piedra Natural, Centro Tecnológico del Mármol y U.P. de Cartagena.*
- CARDU, M.; LOVERA, E.; CRASSOULIS, V. (2.004). *Optimising Quarrying Techniques and Practices. Capítulo 3: New quarrying methods and technological progress. Editions OSNET - European Commission. Vol. 7.*
- TRIGUEROS, E.; MARTINEZ, J. (2.009). *Limitaciones de carga operante para voladuras en canteras de roca ornamental. Aplicación a una cantera de Piedra Bateig. Ingeopres, vol 181.*
- TRIGUEROS, E.; MUÑOZ-CAMARASA, J.M.; CÁNOVAS, M.; FANO, H. (2.010). *Optimización de la operación minera en las canteras de Roca Ornamental de Markina (Guipuzkoa). Canteras y Explotaciones.*