

# Optimización de la operación minera en las canteras de Roca Ornamental de Markina (Guipuzkoa)

Emilio Trigueros, José Manuel Muñoz-Camarasa y Manuel Cánovas. Escuela de Ing. de Minas UNIV. POLITÉCNICA DE CARTAGENA  
Héctor Fano. Director Gral. ZELETA, S.A.



Gran talud que separa la zona superior del foso de cantera

**L**a empresa Zeleta, S.A., del Grupo vasco Amenabar, cuenta con canteras de roca ornamental, variedad Negro Markina, ubicadas en Markina y Aulesti (Cantera Lekoitz). Estas explotaciones, adquiridas recientemente, se encuentran en fase de modernización. Con el objetivo de racionalizar los medios productivos, se han adquirido nuevas máquinas de corte y se está estudiando la reorganización del personal de

cantera. Se están reagrupando las labores, ahora dispersas y en diferentes cotas, con taludes de grandes alturas, para disponer de un suficiente número de frentes con roca de calidad vendible y obtener la mayor recuperación de los recursos.

Dentro de ese proceso de modernización, ya emprendido, y efectuando un planteamiento más completo de las explotaciones, la empresa ha realizado un diagnóstico tecnológico de sus



métodos y operaciones, con la ayuda del Grupo de Geotecnia y Métodos de Explotación, del Departamento de Ingeniería de Minera, de la Universidad Politécnica de Cartagena. El equipo de investigación se desplazó a la cantera durante tres semanas para tomar datos reales de rendimiento de máquinas y operaciones en cada una de las fases de trabajo en los frentes.

### 1. Explotación actual

El método que se desarrolla en la actualidad es un método de "banco bajo" en el que cada bloque se extrae directamente del frente y se clasifica. La altura del banco es de 3 metros y la secuencia elemental de las operaciones consiste en el corte de la base del banco mediante rozadoras de cadena, y los cortes dorsal y laterales mediante perforadoras y cuñas hidráulicas. Dada la geometría actual de la zona intermedia de la cantera, los frentes tienen una anchura que va desde los 16 metros, al oeste, hasta los 45 metros, al este, y las pistas, que comunican los 6 niveles, de esta zona, en los que se trabaja tienen una anchura de 9 metros.

La profundidad del corte de la base, con rozadora, es de 3 metros; se realiza en seco empleando, como dientes, tanto vidías, de 8 puntas, como diamantes. En ambos casos, salvo cuando aparece una veta de pirita, que requiere más tiempo, se avanza a una velocidad de 4 cm/min lo que equivale a un corte neto de 7,2 m<sup>2</sup>/h. Se dispone de 6 rozadoras F70 RAP de Fantini.

El corte dorsal del banco se efectúa con martillo hidráulico de 32 mm efectuando taladros cada 10 cm. en hileras separadas 1,5 m. Se emplean máquinas automáticas, modelo Tempest 100 de Perfora, con tramos de vías, sobre las que se mueve el chasis, de 5,7 m de longitud.

El corte lateral, de finalización del bloque, se realiza también con martillos hidráulicos, esta vez mediante un carro, sobre neumáticos, con brazo de posicionamiento, modelo Girodrill 200 de Perfora. Para el corte lateral de los bloques de agua se utiliza el corte de hilo.

La separación de los bloques se realiza con cuñas hidráulicas y centralita de presión. Primeramente, se origina la grieta a través de las perforaciones dorsales y, más tarde, se separan tramos de 2 o 3 bloques moviéndolos con la pala para su separación final, trabajando con las cuñas a través de las perforaciones laterales.

Se utilizan voladuras para la remoción del estéril de capa, si lo hay, y para eliminar las zonas sin valor ornamental que se van a moler

## La empresa ha realizado un diagnóstico tecnológico de sus métodos y operaciones con la ayuda del Grupo de Geotecnia y Métodos de Explotación del Departamento de Ingeniería de Minera, de la Universidad Politécnica de Cartagena

y a aprovechar como áridos. Se trabaja, en este caso, sobre bancos de 6 metros, rozando la base en 3 metros y realizando barrenos de precorte dorsal. El consumo específico es de 0,26 a 0,3 kg/m<sup>3</sup>. El material de voladura, junto con el de los bloques de mala calidad, troceados mediante el martillo demoledor, son molidos luego en una planta móvil situada en una explanada próxima al nivel intermedio de la cantera.

El personal de la cantera está compuesto por un Ingeniero Técnico, un encargado y 18 obreros especialistas, organizados de forma que cada uno atiende a cada una de las máquinas activas.





**2. Características y rendimientos de las operaciones de corte**

**Corte de la base con rozadoras Fantini 70 RAP**

Esta operación es básica en el método actual y es considerada crítica dentro del conjunto de operaciones de corte puesto que va, en general, retrasada con respecto al resto.

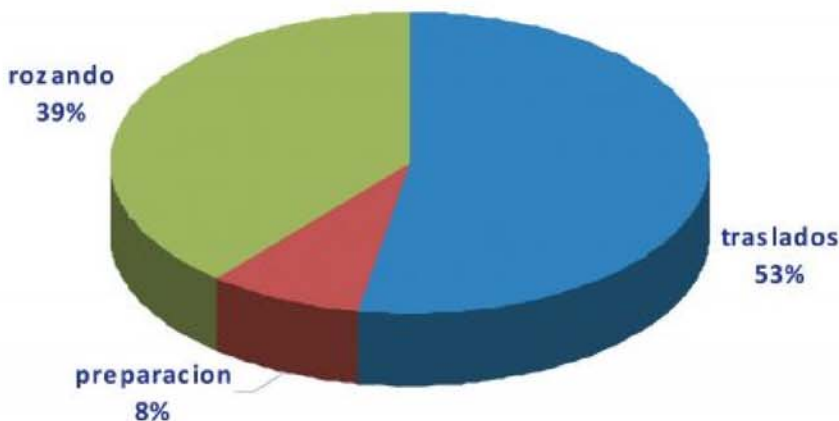
En la tabla 1. hemos incluido los cálculos de cada una de las tres rozadoras analizadas, y en la figura 1 un reparto de los tiempos de traslado, preparación y rozado. El de preparación es aquel tiempo en el que la máquina está en marcha pero sin rozar. Estos valores son importantes puesto que permiten un valor de referencia a la hora de analizar nuevas propuestas. Los rendimientos reales son algo bajos, teniendo en cuenta lo crítico de la operación, la organización debe reducir los tiempos de traslado y tiempos muertos (falta de pala para el traslado, de compresor para colocar vías...)

**TABLA 1: RENDIMIENTOS MEDIDOS EN LAS ROZADORAS**

ROZADORAS	roz 2	roz 7	roz 3	media
tiempo de traslado	34,10%	65,99%	58,30%	52,80%
tiempo en marcha	65,90%	34,01%	41,70%	47,20%
tiempo rozando	51,26%	29,76%	35,86%	38,96%
rendimiento m2/h	8,1	7,2	7,2	7,5
m2/día	33,2	17,1	20,7	23,7
rendim. real m2/h	4,15	2,14	2,58	3,0

figura 1: tiempos medios medidos en las rozadoras

**Rozadoras**



**TABLA 2: RENDIMIENTOS MEDIDOS EN LAS PERFORADORAS HIDRÁULICAS TEMPEST 100**

TEMPEST 100	temp 1	temp 2	media
tiempo de traslado	30,09%	27,64%	28,86%
tiempo en marcha	69,91%	72,36%	71,14%
tiempo perforando	41,52%	36,80%	39,16%
rendimiento m2/h	9,5	14,0	11,8
m2/día	31,7	41,3	36,5
*rendim. real m2/h	4,0	5,2	4,6

\*el corte no queda efectivamente acabado hasta que no actúan las cuñas

**Tempest**

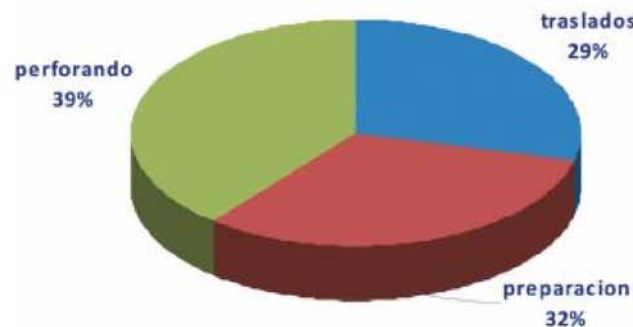


figura 2: tiempos medios medidos en las perforadoras TEMPEST 100

**Perforación dorsal con la TEMPEST 100**

Esta operación, que va muy adelantada en relación con el corte de la base, consiste en la perforación de barrenos separados de 10 en 10 cm. hasta los 2,8 m. de profundidad. Para ello se utiliza un bastidor y un mástil-guía, en el que se sujeta el martillo hidráulico, que van montados sobre unas vías, en tramos de 5,70 m. Las 2 máquinas son semiautomáticas, con horómetros de marcha y de perforación, y requieren un compresor para el barrido.

Se han medido los tiempos de perforación y de traslación entre agujeros consecutivos, así como los de colocación de vías y traslado entre hileras. De estos tiempos se han obtenido los rendimientos de las dos máquinas, que se incluyen en la tabla 2, representados por la figura 2.

Los tiempos de preparación, en este caso, incluyen los de traslado entre agujeros, que son importantes (entre una cuarta parte y una quinta de los de perforación), y los de servicio de la máquina a causa de roturas y agarrotamientos del varillaje.

### Separación de bloques con las cuñas hidráulicas

Para terminar el corte, separando la superficie dorsal y lateral, previamente marcadas por los barrenos, se utilizan las cuñas. Se trabaja con la bomba de aceite y con los 3 pistones de percusión hidráulica que actúan sobre las cuñas. Obviamente, la operación es discontinua, y se realiza a un ritmo aproximado de 5 bloques a la hora.

Las cuñas provocan la propagación de la rotura a lo largo de los barrenos, pero frecuentemente, y sobre todo en la cara del bloque con barrenos más separados (lateral), la rotura escapa de la hilera de barrenos, provocando irregularidades que disminuyen el aprovechamiento. Este efecto se ve acrecentado en la parte inferior del bloque puesto que las perforaciones no llegan hasta la base rozada y las cuñas se aplican en la cara opuesta, muy lejos de esta zona.

### 3. Alternativa a las operaciones actuales

Una vez analizadas las operaciones de cantera y, teniendo en cuenta el conocimiento de los procedimientos en otras canteras, se consideró de interés formular una serie de alternativas que pueden ahorrar tiempo y mejorar el aprovechamiento, con una mejora económica sobre la explotación. De entre todas ellas la más satisfactoria fue la de bancos de 6 metros y corte con hilo diamantado.

Variación con alturas de banco a 6 m

En este caso se adoptaría una altura de banco de 6 metros, rozando la base del frente como hasta ahora. Los cortes dorsal y laterales se hacen con hilo, una vez efectuada la perforación vertical para buscar la superficie inferior rozada.

Inicialmente, esta operación aporta la ventaja de reducir a la mitad la superficie rozada por cada m<sup>3</sup>. Acudir a alturas mayores plantea dificultades operativas y conduce a situaciones de mayor riesgo.

Los dos grandes bloques definidos se vuelcan sobre una cama de tierra que se coloca sobre la plaza de la cantera. La labor de troceado de los bloques podría realizarse con las perforadoras hidráulicas sobre vías o sobre neumáticos ya existentes, empleando dos equipos simultáneamente (ver figura 3).

### 4. Comparación de las alternativas en tiempo

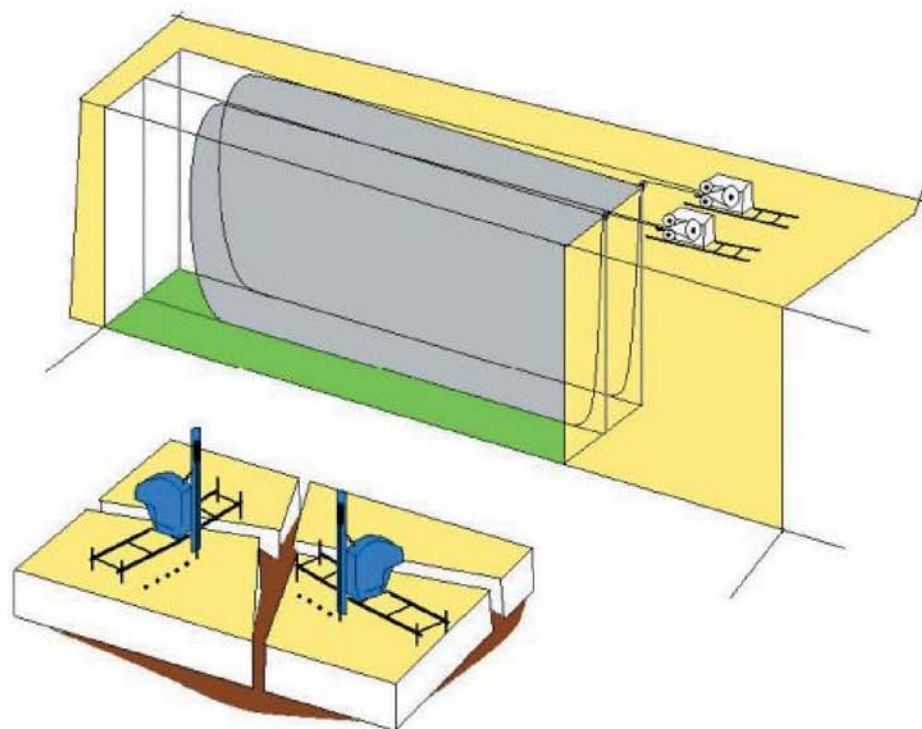
Si desmenuzamos las operaciones de corte, teniendo en cuenta las tareas que deben

realizarse y el rendimiento de las máquinas, obtenemos los tiempos de operación que podrían esperarse, sin imprevistos ni tiempos muertos. Estos tiempos de operación, señalados en la tabla 3, son los que utilizaremos luego, combinando la secuencia de tareas que completan cada operación, para comparar las alternativas, al variar el método o la geometría.

**TABLA 3: COMPARACIÓN DE TIEMPO DE TRABAJO, DURACIÓN Y MÉTODO DE CORTE ENTRE ALTERNATIVAS.**

par-metros/sistema	actual		banco 6 m.	
horas trabajo/m <sup>3</sup>	0,31	max	0,26	max
duración trabajo/m <sup>3</sup>	0,20	min	0,19	min
m <sup>2</sup> rozado/m <sup>3</sup> en bloque	0,33	19,8%	0,17	9,9%
m <sup>2</sup> perforados dorsal/m <sup>3</sup>	0,67	39,7%		
m <sup>2</sup> corte hilo dorsal/m <sup>3</sup>			0,67	39,7%
m <sup>2</sup> perforados lateral/m <sup>3</sup>	0,68	40,5%		
m <sup>2</sup> corte hilo lateral/m <sup>3</sup>			0,08	4,8%
m <sup>2</sup> perforados tortas/m <sup>3</sup>			0,77	45,6%
m <sup>2</sup> apertura con cuñas/m <sup>3</sup>	1,35		0,77	
m <sup>2</sup> cortados/m <sup>3</sup>	1,68		1,68	
% rozado	19,8%		9,9%	
% perforado		80,2%		45,6%
% hilo				44,5%

figura 3: trabajo a 6 metros con dos máquinas de hilo y dos de troceado de bloques







Cara lateral de bloque con mucho desperdicio por una propagación anómala de fractura

Se desprenden las siguientes ventajas empleando bancos de 6 metros con hilo:

Menos horas de trabajo (ahorro de un 16%) por metro cúbico, lo que está directamente relacionado con el coste de mano de obra (más productividad).

Más rapidez de operación (al menos un 5%), y la posibilidad de despejar los frentes para conseguir una mayor producción.

Disminuimos la operación de rozado en un 50% y la de perforación en un 43%, sustituyendo esos cortes por el corte con el hilo, que es más barato.

### 5. Comparación de las alternativas en aprovechamiento

El aprovechamiento es el porcentaje de volumen de bloques que se pueden vender

en relación con el total de volumen que hay que arrancar. Las circunstancias geológicas de la capa, en concreto el diaclasado y los cambios de coloración, van a determinar la existencia de masas suficientemente aprovechables. En la medida que nuestra geometría de corte se adapte a la disposición geológica del material, conseguiremos una mayor cantidad de bloques vendibles.

En una explotación como la de Lekoitz, de "banco bajo" con una predefinición de los bloques que vamos a cortar, no podemos aplicar la selectividad minera, que es la adaptación de las labores para un mayor aprovechamiento. Una simulación sobre modelos geológicos que permiten un 20% de aprovechamiento, como en el presente, nos permite predecir una mejora de éste hasta el

TABLA 4

	Coste suministro/m2	m2/h	Coste m-quina/h	Coste mto./h	Coste hombre/m2	Coste/m2
hilo	1,51	10,5	1,08	0,81	20,68	3,66
rozadora	3,27	4,0	4,80	3,60	20,68	10,54
perfora	1,77	7,5	3,33	2,50	20,68	5,31

25 %, lo que supone, con la misma extracción total, pasar de 12.000 a 15.000 m<sup>3</sup> de bloques.

Hay que tener en cuenta también el desperdicio del bloque. Este, no es más que el volumen del mismo que se va a perder en el telar y que se reduce del volumen total cuando se vende. Viene provocado por las irregularidades de la superficie de corte y por las roturas en el proceso de separación en cantera. Estas roturas (panzas o coqueras) son más imprevisibles y pueden aumentar de manera importante el desperdicio (ver foto 2), que se traduce directamente en una reducción del valor económico del bloque, por lo que el corte con hilo aumenta el valor de los bloques un 5%.

## 6. Comparación de las alternativas en Costes

Para conocer con precisión este asunto, que es fundamental en la toma de decisión, se han preparado dos modelos económicos que permiten simular económicamente las decisiones técnicas sobre la explotación tal como es ahora. Ha sido desarrollado y cargado con los datos recogidos y medidos en la explotación. El segundo explica cómo puede ser la cantera con los cambios alternativos, asumiendo el método de banco de 6 m y corte con hilo.

### Comparación económica de los sistemas de corte

La primera utilización que nos permiten los modelos es la de conocer los costes por m<sup>2</sup> de los procedimientos de corte. Estos son la suma de los suministros que necesita la máquina (incluyendo la energía), la amortización por hora, el mantenimiento y el coste de mano de obra. En la tabla 4, podemos ver con claridad en qué se basa la economía del corte con hilo, a pesar de haber incluido un coste importante del agua para el corte en este sistema.

Podemos comprobar que los cortes con rozadora cuestan dos veces más que los de hilo, y los de perforadora 45% más que los de hilo.

### Comparación económica de los métodos de explotación

Las principales conclusiones a que nos conduce la comparación de la Rentabilidad, al introducir una explotación con una

producción de 12.000 m<sup>3</sup> como la de Lekoitz, son las siguientes:

Los coste de operación actuales se fijan en 53,02 €/t, correspondiendo 44,39 € a la operación minera y 8,63 € a los costes de inversión. Con el nuevo método los costes totales se reducen a 39,01 €/t, descompuestos en 32,26 € y 6,74 € respectivamente.

El cambio de método de explotación ofrece un aumento de rentabilidad que va desde el 56% hasta el 151%, si no tenemos en cuenta un ajuste de plantilla. En caso de realizar ese ajuste llegaríamos al 181% de rentabilidad.

El riesgo de la inversión se reduce puesto que el valor de venta de mínima rentabilidad, que fijamos en el 16%, podría llegar a 125 €/m<sup>3</sup>, frente a los 169 €/m<sup>3</sup> actuales.

## Agradecimientos

Este estudio ha disfrutado de las ayudas de I+D+i del Gobierno Vasco para la financiación de proyectos y actuaciones de innovación minera para el ejercicio 2008. Queremos expresar nuestro agradecimiento a la D.Gral. de Industria del País Vasco y al Jefe del Servicio de Minas, D. Jesús Cospedal, por su apoyo y colaboración para el desarrollo de los trabajos y estudios.

## 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 Universidad Politécnica 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. et Al. (2010). "DIAGNÓSTICO TECNOLÓGICO Y OPTIMIZACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN DE ROCA ORNAMENTAL EN LAS CANTERAS DE LEKOITZ (C. E. NEGRO MARKINA)" Informe para la empresa Zeleta, S.A.