

Técnicas de voladuras para control de dilución en minería metálica

Benjamín Cebrián Romo¹

¹ Director Técnico Blast Consult S.L.. C/ Almazan 50-52 3ºB 28011 Madrid. blast-consult@blast-consult.com

Palabras clave: Modelo de desplazamiento, contacto mineral-estéril, voladuras consistentes, control

1. La dilución en la minería metálica

Se define comúnmente como dilución a la mezcla de mineral con estéril, mediante la cual se lleva bien a procesar un material que no tiene el valor económico previsto, o bien se arroja a la escombrera mineral, con la consiguiente pérdida de aprovechamiento de las reservas.

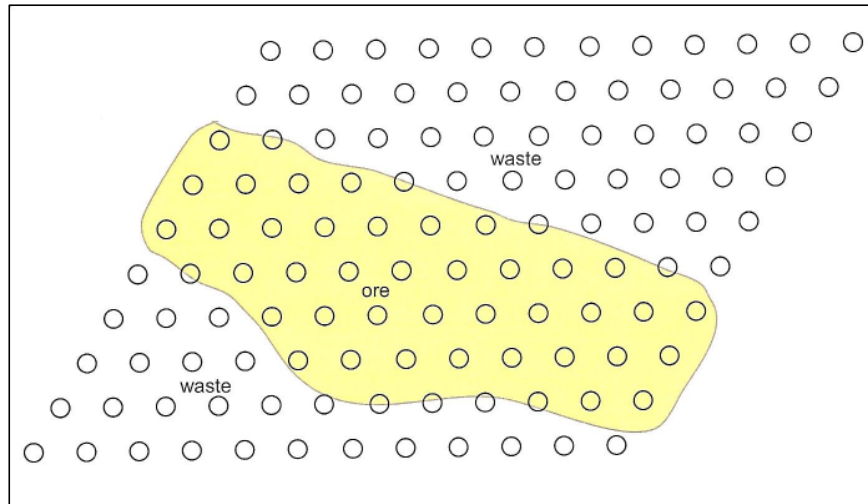


Figura 1. Ejemplo de distribución de una masa mineral en una voladura (Floyd, 2007)

En la minería a cielo abierto, la técnica de arranque de roca mediante voladura conlleva una necesidad de controlar la dilución que se produce a través de los mecanismos de fragmentación y desplazamiento de la pila de roca. La escasez de las reservas, los grandes volúmenes arrancados en cada voladura y el actual valor histórico de los metales hacen del control de la dilución un apartado de significado económico de primer orden.

2. Control de la dilución en voladura

2.1. Modelo geológico y modelo de desplazamiento de la roca

La primera fase de un programa de control de dilución es definir dos puntos básicos. Uno, los contactos estéril mineral, determinando qué voladuras van a precisar de un especial control al encontrarse una o más masas de mineral entre un cuerpo rocoso estéril. Esto se determina tanto por los muestreos de cada barreno de voladura o bien de barrenos de investigación (que atraviesan dos bancos de voladura) y complementando con la información topográfica del banco superior en ese mismo punto.

Dos, hay que determinar cómo se mueve la roca volada en las condiciones específicas de nuestra explotación. Esto se consigue mediante un modelo de desplazamiento, en el que los ingenieros de voladura, en coordinación con el departamento de geología y topografía, elaboran una estimación del desplazamiento de la roca volada, no sólo en superficie, sino en el corazón del banco de voladura.

2.2. Consistencia: La clave de la predicción del movimiento del mineral en voladura.

Una vez que se pone en marcha un programa de control del desplazamiento de roca, debe implementarse una voladura tipo sobre la cual aplicar las modificaciones que sean oportunas. Para esto, deben aplicarse criterios de consistencia, de continuidad y control, en el diseño e implementación de las voladuras. De nada serviría tener el mejor software con el que representar voladuras en un plano sin una implantación fidedigna y controlable, con permanencia de parámetros en el tiempo.

Así, parámetros como longitud de barreno, diámetro y ángulo de perforación, carga de explosivo por barreno, calidad del explosivo, longitud y calidad de retacado, tipo de detonadores empleado, secuenciación, piedra y espaciamento, deben ser correctamente diseñados y su implementación controlada mediante auditorias regulares. Asimismo, los geólogos y topógrafos deberían estar en coordinación con el departamento de voladura para ir anticipando e informando sobre las circunstancias a encontrar, y también sobre el resultado y la efectividad de los parámetros empleados en situaciones anteriores.

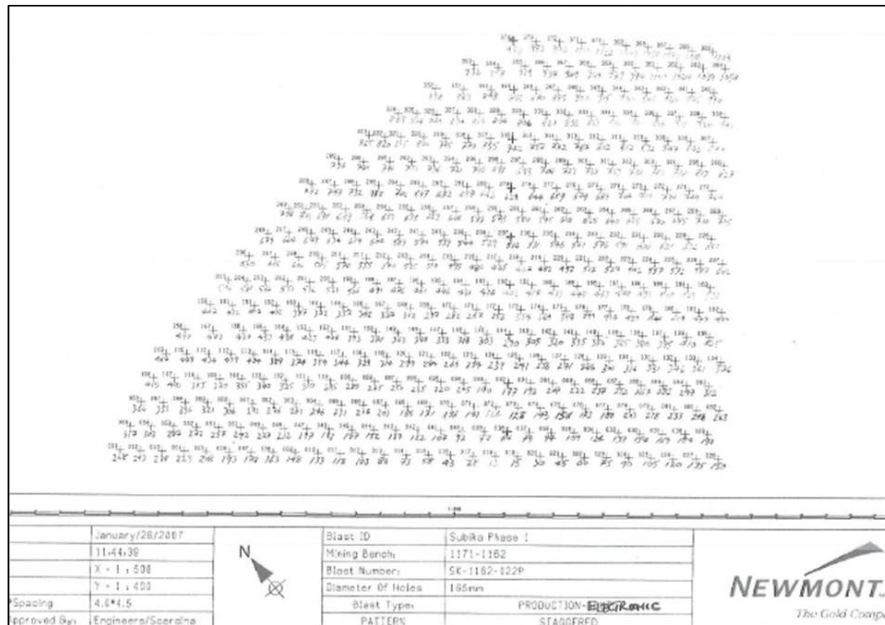


Figura 2. Plan de disparo de una voladura en mineral con detonadores electrónicos (Cortesía Newmont Ghana)

Sk_1162_022P - ELECTRONIC									
Desired Cup Density = 1.16g/cc					Product : 100		Emulsion		
Hole ID	Hole Type	Hole Depth, m	Designed Final Stemming Height, m	Charge Length, m	Kilos Per Hole	Actual Depth Before Charging	Stemming Height Before Gassing	Actual Final stemming Height	Water Level
1	165mm	10.33	5.0		139	10.6			
2	165mm	10.29	5.0		133	10.4			
3	165mm	10.24	5.0		128	10.2			
4	165mm	10.2	5.0		126	10.1			
5	165mm	10.12	5.0		126	10.3			
6	165mm	10.07	5.0		128	10.3			
7	165mm	10.02	5.0		123	10.0			
8	165mm	9.96	5.0		126	10.1			
9	165mm	9.91	5.0		123	10.0			
10	165mm	9.88	5.0		126	10.0			
11	165mm	9.85	5.0		121	9.9			
12	165mm	9.82	5.0		126	10.1			
13	165mm	9.87	5.0		126	10.1			
14	165mm	9.93	5.0		123	10.0			
15	165mm	9.98	5.0		126	10.1			
16	165mm	9.99	5.0		126	10.1			
17	165mm	10	5.0		131	10.3			
18	165mm	10.02	5.0		133	10.4			
19	165mm	10.03	5.0		123	10.0			
20	165mm	10	5.0		118	10.0			
21	165mm	9.97	5.0		123	10.0			
22	165mm	9.95	5.0		118	10.0			
23	165mm	9.92	5.0		123	10.0			
24	165mm	9.89	5.0		123	10.0			
25	165mm	9.85	5.0		123	10.0			
26	165mm	9.83	5.0		123	10.0			
27	165mm	9.8	5.0		123	10.0			
28	165mm	9.83	5.0		123	10.0			
29	165mm	9.83	5.0		123	10.0			

Figura 3. Estadillo con parámetros de diseño y control de campo en voladura de mineral, que debe ir firmado por el operario y el supervisor de voladura (Cortesía Newmont Ghana)

3. Parámetros de voladura recomendados para voladuras con contactos estéril-mineral

Las voladuras en las que encontramos contactos estéril-mineral deben seguir, entre otras, las líneas generales siguientes:

- Altura de banco: reducida, en torno los 6 a 10 metros, para controlar mejor el movimiento producido por el empuje de gases del explosivo. A pesar de que la fragmentación se ve beneficiada del factor de esbeltez de un banco alto, el pandeo de roca y movimiento diferencial que se produce en el interior del mismo hace más difícil un control efectivo del desplazamiento.

- Malla y diámetro de perforación: mallas cerradas y a diámetros medianos-pequeños son más adecuados para controlar la distribución de energía y el empuje del explosivo. En la minería metálica a veces se emplean diámetros de 6" a 3" para el mineral.

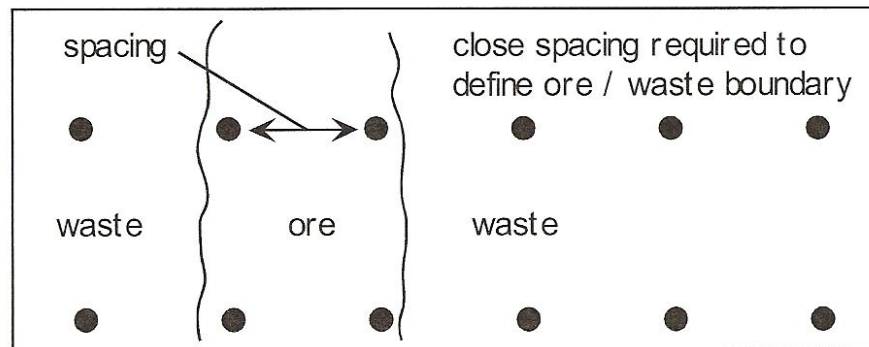


Figura 3. Fundamento de las mallas pequeñas para las voladuras en mineral (Floyd 2007)

- Secuenciación: Aunque se tiende a emplear tiempos cortos y a veces en secuenciación por paneles en un mismo banco de voladura, de nuevo es la consistencia del diseño (y por tanto del desplazamiento) la clave en el control del emplazamiento final del mineral y del estéril, en un nuevo contacto a definir sobre roca volada por los geólogos de la mina. Algunas operaciones mineras incrementan los tiempos entre filas para permitir un mejor desplazamiento. A pequeñas mallas, la secuenciación se aproxima normalmente a los 17 ms (4 ms/m a 5ms/m espaciamiento)
- Dirección de movimiento preferible: según cada caso, aunque se buscará una paralela a la longitud mayor de la masa mineral, de forma que la máxima cantidad posible de mineral se desplace a zonas donde existía mineral.
- Es fundamental la ausencia de proyecciones. El movimiento incontrolado de roca da lugar a toda clase de efectos perjudiciales en las voladuras con mineral: contaminación, pérdida de metal en estéril o falta de información para actualización del modelo geológico de desplazamiento.

Tabla 1. Parámetros de voladuras en mineral de 3 operaciones mineras

Parámetros	Cobre las Cruces	Rio Narcea Resources	Newmont Ghana
Piedra	Por definir	3 m	3,9 m
Espaciamiento	Por definir	3,5 m	4,5 m
Diámetro perforación	4"	4 ½"	6 ½ "
Altura de banco	5 m	8 m	9 m
Sobreperforación	Por definir	0,5 m	1,5 m
Tipo cuele	Por definir	V central	V flat
Numero de pases retro	2	2	3
Tiempo entre barrenos	Por definir	17 ms	15 ms
Tiempo entre filas	Por definir	Incremental 25,42,67...	45 ms
Retacado		2 m (6-12mm)	4,5 m

Tabla 2. Valor económico de la pérdida de un barreno de mineral

Parámetros	Cobre las Cruces	Rio Narcea Resources	Newmont Ghana
Piedra	3 m (supuesto)	3 m	3,9 m
Espaciamiento	3,5 m (supuesto)	3,5 m	4,5 m
Altura de banco	5 m	8 m	9 m
Volumen	60	84 m ³	157 m ³
Tonelaje	199 T	252 T	439 T
Ley de mineral	6 %	0,66 %	1 ppm
Precio metal	6000 euros/t (cobre)	50.000 Euros/t (nickel)	12.000 Euros/kg (oro)
Valor económico de 1 barreno perdido	71.900 euros	83.160 euros	5.260 euros

Referencias

Floyd, J. *Efficient Blasting Techniques: Special Blasting Techniques Proceedings* Reno, NV 2007 pp. 60-80.