

ESTUDIO SOBRE VOLADURAS (*)

Por LAUREANO CORNEJO ALVAREZ

Ingeniero de Minas.
División Investigación y Métodos
de Agromán Empresa Constructora, S. A.

1. CONTROL DE LA PROYECCION EN LAS VOLADURAS

1.1. Generalidades.

En aquellos casos en los que es necesario efectuar voladuras en zonas próximas a edificaciones, es necesario establecer un control de la proyección de la voladura a fin de evitar los posibles daños producidos por ésta.

La proyección de una voladura puede ser totalmente controlada y previamente estimada; por el contrario, cabe la posibilidad de que algunos fragmentos de roca sean proyectados de 5 a 10 veces más lejos que lo haya sido el centro de gravedad de la roca volada; este fenómeno se llama "dispersión" y escapa a un control directo. Esta es la razón por la que se hace necesario el empleo de protecciones en este tipo de voladuras principalmente en zonas de bancos bajos expuestos a un mayor riesgo de dispersión.

1.2. Control de la proyección.

La proyección de una voladura, medida por el desplazamiento del centro de gravedad de la roca volada, es directamente proporcional al incremento de la carga específica; el cálculo de la proyección se basa, pues, en el cálculo de la carga límite q , que indica la carga explosiva en kilogramos por metro cúbico que no dé ninguna proyección:

$$E_{\text{proyec.}} = K (q - q_1)$$

K = constante.

q = carga específica empleada en la voladura.

q_1 = carga límite.

$E_{\text{proyec.}}$ = energía de proyección expresada en newtons/m.

La tabla siguiente establece la longitud de proyección del centro de gravedad de la zona volada en función del exceso de carga empleado en la voladura.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la redacción de esta Revista hasta el 31 de diciembre de 1971.

TABLA 1

Exceso de carga Kg/m ³ ...	0	0,1	0,2	0,3	0,4
La roca es lanzada hasta una distancia m	0	6	12	18	24

Es decir, en una voladura efectuada con un exceso de carga de 0,1 Kg/m³ el centro de gravedad de la roca volada se desplazará 6 m.

El control de la proyección de una voladura se efectúa mediante los siguientes factores:

1. Carga específica empleada en la voladura.
2. Empleo de tiempo de retardo conveniente entre barrenos.

En las voladuras con micro-retardos el desplazamiento de la roca necesita una mayor energía, ya que se produce una rotura mayor y más homogénea en la masa de la roca; en este tipo de voladuras, parte de la energía es empleada en la fragmentación, lo que supone una menor energía disponible de proyección.

En voladura, de varias hileras con micro-retardos, los fragmentos de la última fila que tengan mayor velocidad chocarán con los fragmentos más lentos de las hileras anteriores y los empujarán; esta colisión reduce también la energía total de proyección en el choque no elástico; o bien, parte de la energía de traslación se transforma en energía de rotación como consecuencia del choque; estas voladuras se llaman de colisión y mejoran la fragmentación reduciendo, por tanto, la proyección.

Una proyección reducida en una voladura de micro-retardo se consigue eligiendo un tiempo de retardo entre barrenos contiguos lo suficientemente pequeño; este tiempo de retardo depende de la piedra V empleada en la voladura; para piedras pequeñas deben usarse retardos pequeños, para piedras grandes, retardos grandes.

Según esto, para una piedra $V = 0,7$ m debe emplearse un retardo $\tau = 2-20$ milisegundos, mientras que para una piedra $V = 8$ m el retardo debe ser $\tau = 100$ milisegundos. Si se utiliza el mismo número de retardo para cada hilera, el retardo entre los barrenos es la dispersión del tiempo de retardo $\tau = 5$ ms.

Cuando se usa un retardo diferente en cada barreno, debe observarse que la diferencia de tiempo entre un barreno y el más próximo en la hilera no sea tan grande que no haya efecto de micro-retardo entre las hileras.

El tiempo de retardo para piedras entre 0,5 y 1 m puede ser $\tau = 3-10$ ms. con retardos más grandes debe tenerse cuidado, pues, aumenta la proyección y hay que utilizar pantallas protectoras.

La dispersión de pequeños trozos de roca parece ser que se debe principalmente a que han sido arrancados por gases que pasan a gran velocidad a través de poros o grietas cuando la roca rompe en grandes bloques. El flujo de gases puede concentrarse más fácilmente en una sola dirección si la carga no es capaz de desprender y romper la roca; las cargas de columna excesivamente pequeñas pueden, por esto, ser causa de dispersión.

1.3. Medidas de seguridad.

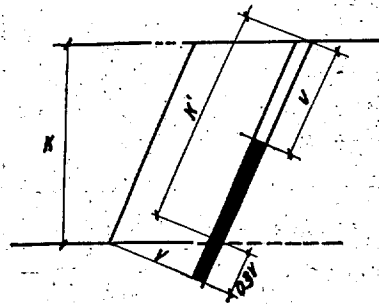
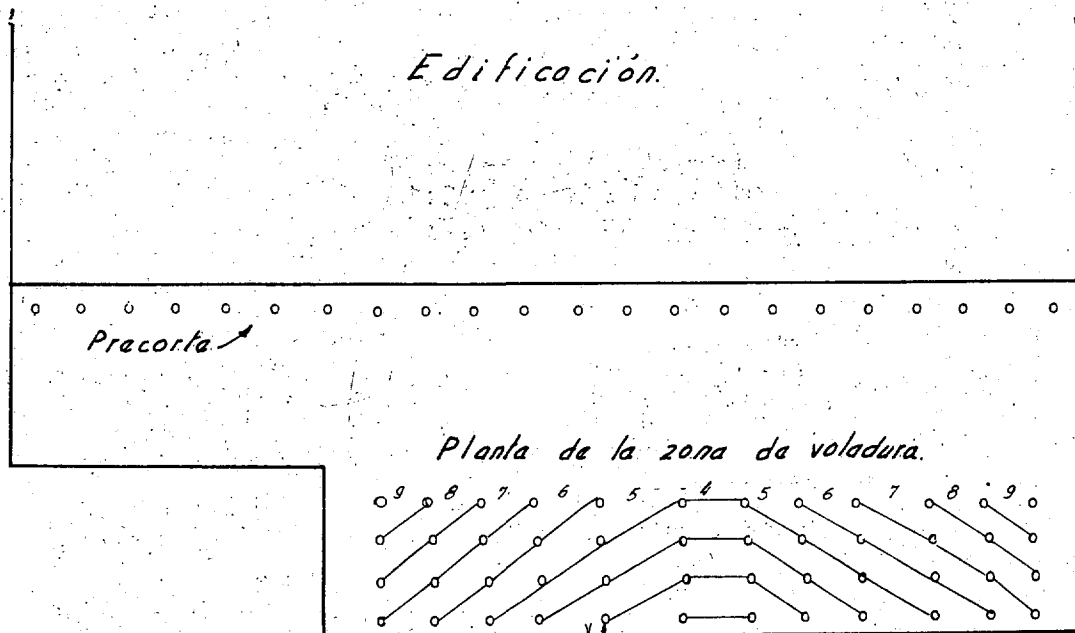
En las voladuras de bancos bajos, en las que se emplean valores pequeños bajos para la piedra, el riesgo de dispersión es máximo, siendo en este caso necesario recurrir a la protección de la voladura.

Las protecciones pueden ser directas o indirectas. Las directas constan de un recubrimiento de material pesado, las indirectas protegen las superficies expuestas a dichas dispersiones mediante vallas.

Mediante el sistema moderno de voladuras, se han efectuado voladuras de hasta 50.000 Kg de explosivos en zonas próximas a edificaciones.

2. CALCULO DE UNA VOLADURA PROXIMA A EDIFICACIONES

A continuación haremos el cálculo de una voladura próxima a una edificación existente; esta voladura deberá proyectarse con el máximo cuidado, ya que las averías producidas en la subestación por las proyecciones de la voladura serían objeto de una sanción económica para el contratista.



Datos.

Altura de banco: $K = 1,50$ m.

Roca: granito.

1.^a Solución. — Voladura de varias hileras.

Inclinación de los barrenos: 2 : 1.

Diámetro de perforación: $d = 32$ mm.

Distancia a la línea de mínima resistencia: $V = 1,10$ m.

Espaciamiento de los barrenos: $E = 1,37$ m.

Longitud de los barrenos: $H = 1,12 K + 0,3 V$, $H = 2,00$ m.

Carga mínima por barreno: $Q = 0,85$ Kg de explosivo.

Longitud de barreno cargado: $h = 0,90$ m.

Volumen de roca arrancada por barreno: $1,10 \times 1,37 \times 1,12 \times 1,5 = 2,53$ m³.

Carga específica: $q = 0,85/2,53$, $q = 0,336$ Kg/m³.

Tiempo de retardo: $\tau = 3-10$ m (con el aumento del tiempo de retardo entre barrenos aumenta también el riesgo de proyección, siendo necesario el empleo de protecciones, tanto directas como indirectas).

2.^a Solución. — Voladura de varias hileras.

Altura del banco: $K = 1,50$.

Inclinación de los barrenos: 2 : 1.

Diámetro de perforación: $d = 38$ mm.

$V = 1,20$ m.

$E = 1,50$ m.

$H = 2,04$ m.

$Q = 1$ Kg.

$h = 0,90$ m.

Volumen de roca arrancada por barreno: 3 m³.

$q = 0,33$ Kg/m³.

Tiempo de retardo: $\tau = 15-30$ m.

3.^a Solución. — Voladura de varias hileras.

Altura del banco: $K = 1,50$ m.

Inclinación de barrenos: 2 : 1.

$d = 44$ mm.

$V = 1,30$ m.

$E = 1,62$ m.

$H = 2,07$ m.

$Q = 1,46$ Kg.

$h = 0,77$ m.

Volumen de roca arrancada por barreno: 3,53 m³.

$q = 0,413$ Kg/m³.

Tiempo de retardo: $\tau = 15-30$ m.

4.^a Solución.

$$d = 50 \text{ mm.}$$

$$V = 1,40 \text{ m.}$$

$$E = 1,75 \text{ m.}$$

$$H = 2,10 \text{ m.}$$

$$Q = 1,75 \text{ Kg.}$$

$$h = 0,70 \text{ m.}$$

Volumen de roca arrancada por barreno: 4,12 m³.

$$q = 0,424 \text{ Kg/m}^3.$$

$$\tau = 15-30 \text{ ms.}$$

5.^a Solución.

$$d = 63 \text{ mm.}$$

$$Q = 2,24 \text{ Kg.}$$

$$V = 1,60 \text{ m.}$$

$$h = 0,56 \text{ m.}$$

$$E = 2,00 \text{ m.}$$

$$H = 2,16 \text{ m.}$$

Volumen de roca arrancada por terreno: 5,38 m³.

$$q = 0,416 \text{ Kg/m}^3.$$

$$\tau = 15-30 \text{ ms.}$$

6.^a Solución.

$$d = 75 \text{ mm.}$$

$$Q = 2,74 \text{ Kg.}$$

$$V = 1,70 \text{ m.}$$

$$h = 0,49 \text{ m.}$$

$$E = 2,12 \text{ m.}$$

$$H = 2,19 \text{ m.}$$

Volumen de roca arrancada por barreno: 6,05 m³.

$$q = 0,452 \text{ Kg/m}^3.$$

$$\tau = 15-30 \text{ ms.}$$

Cuadro resumen.

Inclinación de taladros: 2 : 1.

Altura del banco: $K = 1,50 \text{ m.}$

Soluciones	d	V	E	H	Q	h	Vol.	q	ms
1. ^a	32	1,10	1,37	2,00	0,85	0,90	2,53	0,336	3-10
2. ^a	38	1,20	1,50	2,04	1,00	0,84	3,00	0,333	15-30
3. ^a	44	1,30	1,62	2,07	1,46	0,77	3,53	0,413	"
4. ^a	50	1,40	1,75	2,10	1,75	0,70	4,12	0,424	"
5. ^a	63	1,60	2,00	2,16	2,24	0,56	5,38	0,416	"
6. ^a	75	1,70	2,12	2,19	2,74	0,49	6,05	0,452	"

7.^a Solución.

$K = 1,50 \text{ m.}$

Inclinación de taladros: 2 : 1.

Una sola hilera de barrenos.

Soluciones	d	V	E	H	Q	h	Vol.	q
1. ^a	32	1,10	1,37	2,00	0,67	0,90	2,53	0,26
2. ^a	40	1,20	1,50	2,04	0,85	0,84	3,00	0,283
3. ^a	45	1,30	1,62	2,07	1,02	0,77	3,53	0,29
4. ^a	50	1,40	1,75	2,10	1,14	0,70	4,12	0,27
5. ^a	63	1,60	2,00	2,16	1,80	0,56	5,38	0,33
6. ^a	75	1,70	2,12	2,19	2,00	0,49	6,06	0,33

3. CONCLUSIONES

Del estudio anterior se deduce que la voladura más segura, desde el punto de vista de proyecciones, sería la que tuviese las características siguientes:

3.1.

N.º	CONCEPTO		VALOR
1	Voladura formada por una única hilera de barrenos.		
2	Inclinación de los barrenos.	<i>i</i>	2 : 1
3	Diámetro de perforación.	<i>d</i>	32 mm
4	Distancia a la línea de mínima resistencia.	<i>V</i>	1,10 m
5	Separación entre barrenos.	<i>E</i>	1,37 m
6	Longitud de los barrenos.	<i>H</i>	2,00 m
7	Carga explosiva en cada barreno.	<i>Q</i>	0,67 Kg
8	Longitud de la carga explosiva en el barreno.	<i>h</i>	0,9 m
9	Volumen de escombros por barreno.	<i>V_{es}</i>	2,53 m ³
10	Carga específica de explosivo.	<i>q</i>	0,26 Kg/m ³

3.2. Sin embargo, para que el rendimiento de las voladuras fuese mayor, consiguiendo así una reducción en el coste de excavación, sería necesario efectuar voladuras de varias hileras de barrenos simultáneas, proponiéndose como secuencia de encendido la representada en la figura adjunta.

A la vista del cuadro resumen, las voladuras que ofrecerían mayores seguridades serían las correspondientes a las soluciones 1.^a y 2.^a.

El número de hileras disparadas por voladura vendría limitado por el nivel de daños estimado como aceptable y producido por las vibraciones del terreno debidas a la voladura. El estudio de estas vibraciones será objeto de un estudio posterior.