

# CONTROL DE LA PROYECCION Y DAÑOS POSIBLES PRODUCIDOS EN CONSTRUCCIONES PROXIMAS POR LOS EFECTOS DE UNA VOLADURA EN TUNEL (\*)

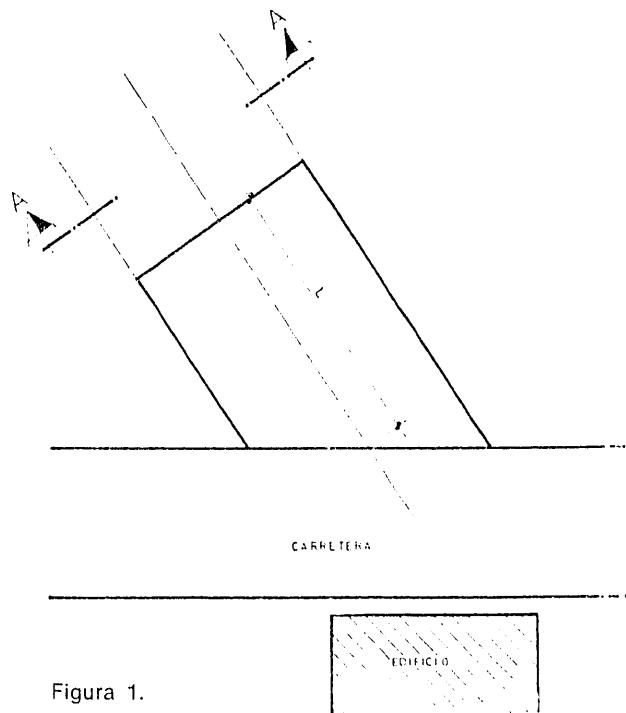
Por LAUREANO CORNEJO ALVAREZ

División de Métodos. Agromán.

*La necesidad que en muchas ocasiones existe de realizar una voladura de modo que las proyecciones de rocas queden dentro de ciertos límites hace que haya de estudiarse el tipo de vuela más conveniente, los parámetros fundamentales de la voladura, la carga explosiva a emplear y el tipo de explosivo más conveniente, cuestiones a las cuales se refiere el presente artículo.*

## 1. Introducción.

A veces se presenta el caso de tener que realizar el emboquillado de un túnel, situado en una zona próxima a una edificación; en esta situación es necesario realizar el trabajo con las máximas garantías para la integridad de la construcción (figs. 1 y 2).



(\*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de agosto de 1974.

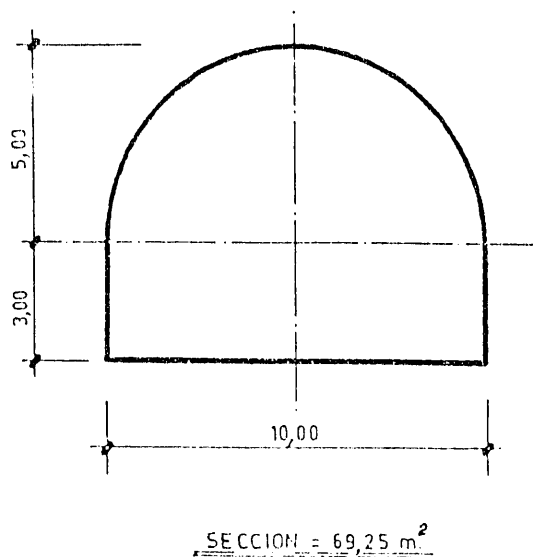


Figura 2.

## 2. Estudio del problema.

### 2.1. Control de la proyección.

Es evidente la necesidad de realizar las voladuras de modo que las proyecciones de las mismas queden dentro de los límites deseados.

Para controlar la proyección de la voladura, es necesario actuar sobre los siguientes factores:

- a) Elección del tipo de cuele más conveniente.

- b) Parámetros fundamentales de la voladura.
- c) Cálculo de la carga explosiva.
- d) Elección del tipo de explosivo.

#### 2.1.a. Elección del cuele.

Analizando los principios de trabajo de los más conocidos tipos de cuele y tratándose de un túnel de una sección amplia, se elige para su empleo el *cuele en abanico horizontal*, por ser aquel en el que los barrenos trabajan con rotura libre en el fondo (figs. 3 y 4). Con esto se consigue un máximo efecto con una carga explosiva dada, ya que el ángulo natural de fractura es  $\alpha_f \approx 90^\circ$ .

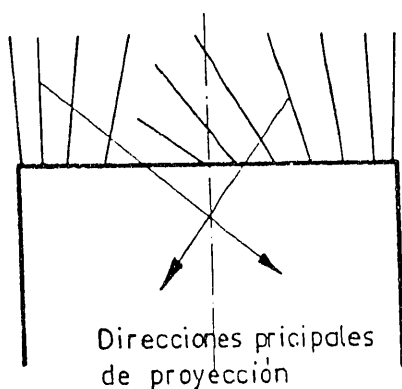


Figura 3.

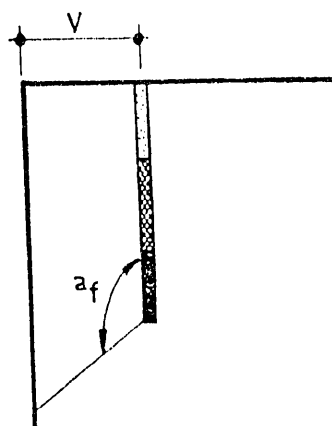


Figura 4.

Por tanto, los barrenos que constituyen el cuele en abanico, trabajan como en una voladura a cielo abierto con fondo libre.

El cuele en abanico presenta también la ventaja de tener la dirección principal de pro-

yección dirigida hacia los hastiales (fig. 3). Con el cuele en abanico se abre una zanja en el frente hacia la cual trabaja el resto de los barrenos de franqueo.

#### 2.1.b. Parámetros fundamentales de la voladura.

##### 2.1.b.1. Piedra máxima.

Se obtiene mediante la expresión:

$$V_{\max} = \frac{D_n}{33} \sqrt{\frac{P \cdot S}{c \cdot f} \cdot \frac{V}{E}} \quad (1)$$

en la que:

- $D_n$  = diámetro del fondo del barrenos (mm).
- $P$  = grado de retacado ( $\text{Kg/dm}^2$ ).
- $S$  = potencia relativa del explosivo.
- $c$  = factor de roca ( $\text{Kg/m}^3$ ).
- $f$  = grado de fijación en el fondo.
- $E$  = espaciamiento entre barrenos.

##### 2.1.b.2. Piedra práctica.

Como piedra práctica se utiliza la de la expresión:

$$V = K (V_{\max} - \alpha' H) \quad (2)$$

en la que:

- $K$  = factor de reducción que depende del grado de acunamiento de los barrenos, para el cuele en abanico  $K = 0,9$ .
- $\alpha'$  = desviación porcentual de los barrenos; se le asigna el valor  $\alpha' = 0,05$ .
- $H$  = profundidad del barrenos en m.

##### 2.1.b.3. Concentración de la carga de fondo.

$$I_f = p \left( \frac{D_n}{36} \right)^2 \text{ Kg/m} \quad (3)$$

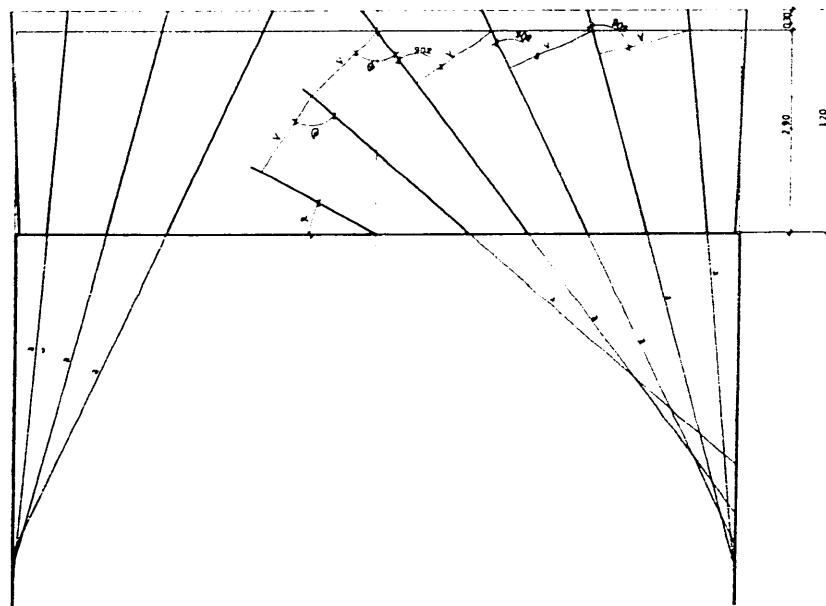
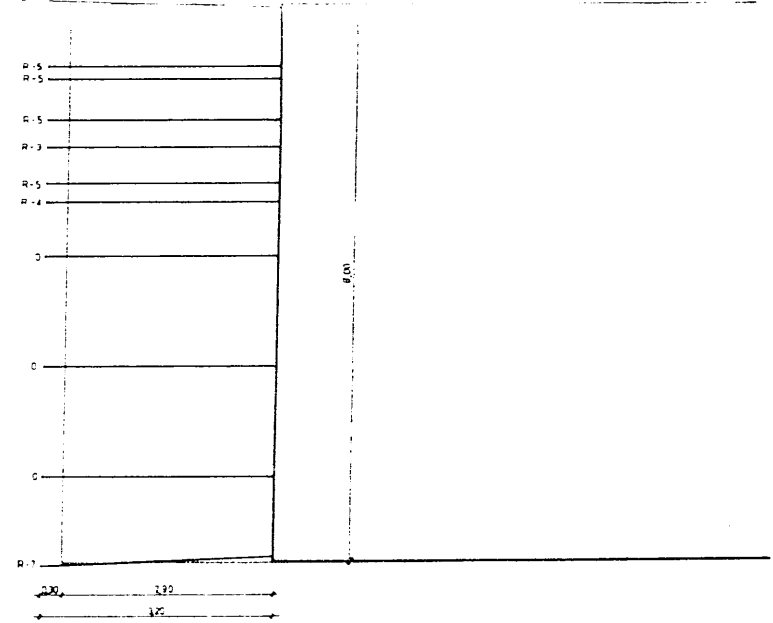
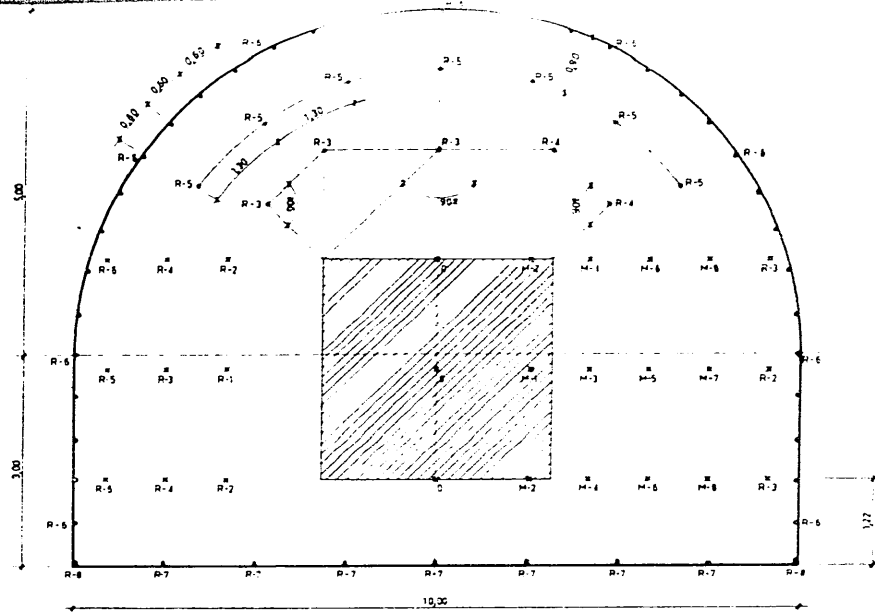
##### 2.1.b.4. Carga de fondo.

$$Q_f = h_f \times I_f \quad (4)$$

La longitud de la carga de fondo:

$$h_f = 1,3 V \text{ m} \quad (5)$$

$$Q_f = 1,3 V I_f \text{ Kg} \quad (4')$$



$V = 1.28 \text{ m}$   
 $g = 808$   
 $W = 308$   
 $A = 5.00 \text{ m}$

Sección transversal:  $S = 59.25 \text{ m}^2$   
 Longitud de perforación:  $H = 3.82 \text{ m}$   
 Avance de la pega:  $A = 2.52 \text{ m}$   
 Diámetro de perforación:  $d = 38 \text{ mm}$   
 Nº de barrenos: 83  
 Consumo medio específico:  $q_m = 0.428 \text{ kg/m}^3$   
 Fuerza unitaria de la carga de fondo:  $q_b = 0.88 \text{ kg/m}$

Figura 5.

### 2.1.b.5. Concentración de la carga de columna.

$$I_c = \frac{1}{2,7} I_f \quad (6)$$

### 2.1.b.6. Carga de columna.

$$Q_c = h_c \times I_c \text{ Kg} \quad (7)$$

en la que:

$$h_c = H - 2,3 V \quad (8)$$

$$Q_c = (H - 2,3 V) I_c \quad (7')$$

### 2.1.c. Cálculo de la carga explosiva y parámetros fundamentales.

El cálculo de la carga específica  $q$  Kg/m<sup>3</sup> a utilizar se basa en el de la carga límite  $q_0$ , que es aquella que produce el quebrantamiento total de la roca con proyección nula, dicha proyección se mide por el desplazamiento del centro de gravedad de la roca volada.

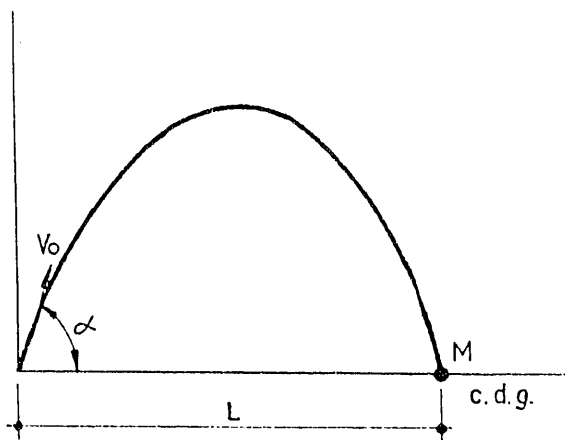


Figura 6.

La energía de proyección  $E_p$  se obtiene de la expresión:

$$E_p = \alpha (E_T - E_0) \quad (9)$$

en la que:

$E_T$  = energía total liberada por el explosivo.

$E_0$  = energía mínima necesaria para quebrantar la roca.

$\alpha$  = coeficiente que indica el tanto por ciento de utilización del exceso de energía, en energía de proyección.

Por otra parte:

$$E_T = q \times \varepsilon \times 10^{-3} \frac{\text{Newtons} \times \text{m}}{\text{m}^3} \quad (10)$$

en la que:

$q$  = consumo específico de explosivo utilizado (Kg/m<sup>3</sup>).

$\varepsilon$  = energía liberada por un kilogramo de explosivo (Newtons × m)/Kg.

$$E_0 = q_0 \times \varepsilon \times 10^{-3} \frac{\text{Newtons} \times \text{m}}{\text{m}^3}$$

$q_0$  = carga límite (Kg/m<sup>3</sup>).

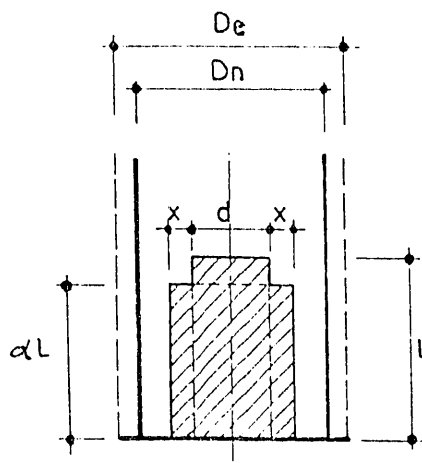


Figura 7.

Sustituyendo las expresiones (10) y (11) en (9), se obtiene:

$$E_p = \alpha (q - q_0) \frac{\text{Newtons} \times \text{m}}{\text{m}^3} \quad (9')$$

Por otra parte:

$$E_p = \frac{1}{2} M V_0^2 \quad (12)$$

en la que:

$M$  = masa de la roca volada.

$V_0$  = velocidad inicial.

El movimiento de la masa de roca considerada concentrada en su centro de gravedad es parabólico si despreciamos la resistencia del

aire, el desplazamiento máximo viene dado por la expresión:

$$L = \frac{2 V_{01}^2}{g} \sin \alpha \cos \alpha \quad (13)$$

Sustituyendo el valor de  $V_{01}$  obtenido de (13) en la expresión (12), resulta la energía de proyección:

$$E_p = \frac{1}{2} M \frac{L \cdot q}{2 \sin \alpha \cos \alpha};$$

$$E_p = \beta L \quad (14)$$

en la que:

$$\beta = \frac{1}{2} M \frac{q}{\sin \alpha \cos \alpha}.$$

Igualando las expresiones (9') y (14) resulta:

$$E_p = \alpha (q - q_0) = \beta L \quad (15)$$

La expresión (15) pone de manifiesto que la proyección del centro de gravedad de una masa de roca volada, es directamente proporcional al exceso de carga específica utilizada en la misma.

Ensayos realizados dan la siguiente relación entre el exceso de carga y la proyección del centro de gravedad de la roca.

TABLA 1

|                                                     |   |     |     |     |     |
|-----------------------------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|
| Exceso de carga:<br>$\frac{q - q_0}{q} = \gamma$    | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 |
| Proyección del centro de gravedad:<br>$L \text{ m}$ | 0 | 6   | 12  | 18  | 24  |

El control de la proyección se basa, como hemos dicho, en el cálculo de la carga límite de la roca de que se trate.

*Ejemplo.* — Esta carga límite se obtiene mediante una voladura de ensayo; para una voladura de ensayo con  $V = k = 0,5 \text{ m}$ , y suponiendo un factor de roca  $c = 0,4$ , la fórmula:

$$Q_p = 0,75 (0,07 V^2 + c V^3)$$

nos da la carga a introducir en el barreno que resulta ser  $Q_p = 0,05 \text{ Kg}$ ; el consumo específico de la voladura de ensayo será:

$$q_p = \frac{0,8 Q_p}{V^3} = \frac{0,8 \times 0,05}{0,5^3}; q_p = 0,320 \text{ Kg/m}^3$$

Efectuada la voladura se ha comprobado que la proyección del centro de gravedad de la roca volada ha sido de 4 metros, lo que según la tabla 1 supone un exceso de carga empleada de 0,066; por tanto:

$$\frac{q_p - q_0}{q_p} = 0,066$$

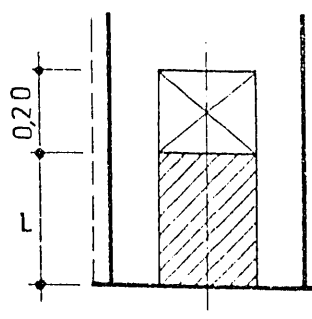


Figura 8.

la carga específica límite para la roca ensayada será  $q_0 = 0,298 \text{ Kg/m}^3$ , a la que corresponde una carga en el barreno de:

$$Q_0 = \frac{0,298 \times 0,5^3}{0,8}; Q_0 = 0,0465 \text{ Kg}$$

Con los valores  $Q_0 = 0,0465$  y  $V = 0,5$ , en el diagrama adjunto se obtiene para la roca ensayada el valor del factor de roca  $C_0 = 0,3$ .

El valor de la piedra máxima viene dada por la expresión (1), en la que:

$$\bar{c} = 0,07/V + c + 0,004 V \quad (16)$$

$$c = 1,2 C_0, C = 0,36$$

En nuestro caso:

$$\bar{c} = \frac{0,07}{V} + 0,36 + 0,004 V$$

Sustituyendo este valor en (1), resulta para:

$$S = 1, I = 1 \text{ y } V/E = 0,8$$

la ecuación:

$$V_{\text{máx}}^3 + 90 V_{\text{máx}}^2 + 17,5 V_{\text{máx}} - \left( \frac{D_{\text{H}}}{33} \right)^2 \times 0,8 \times P = 0 \quad (17)$$

Para los distintos valores de  $P$  y  $D_{\text{H}}$ , se obtienen los valores de  $V_{\text{máx}}$ , recogidos en la tabla 2:

TABLA 2. — Valores de  $V_{\text{máx}}$ .

| $P$<br>$D_{\text{H}}$<br>mm | 0,8  | 1           | 1,2             | 1,3  | 1,4  | 1,5  |
|-----------------------------|------|-------------|-----------------|------|------|------|
| 30                          | 1,11 | 1,25        | 1,38            | 1,44 | 1,49 | 1,55 |
| 32                          | 1,19 | 1,34        | 1,47            | 1,54 | 1,60 | 1,56 |
| 38                          | 1,43 | <b>1,60</b> | 1,76            | 1,84 | 1,92 | 1,98 |
| 42                          | 1,58 | 1,78        | 1,96            | 2,04 | 2,12 | 2,20 |
| 50                          | 1,90 | 2,13        | 2,34            | 2,44 | 2,54 | 2,63 |
| CARGA MANUAL                |      |             | CARGA NEUMÁTICA |      |      |      |

Si se elige como diámetro de perforación  $D_{\text{H}} = 38$  mm y estimamos que el grado de retacado sea  $p = 1$ , el valor de la piedra máxima será  $V_{\text{máx}} = 1,60$  m; sustituyendo este valor en (16) se obtiene el factor de roca  $c = 0,409$ .

Los valores de la piedra máxima del cuadro adjunto no se emplean en la práctica, ya que es necesario compensar las influencias de la desviación de la perforación y tener en cuenta la energía adicional que es necesaria para conseguir un buen esponjamiento.

La piedra práctica viene dada por la expresión (2):

$$V = 0,9 (V_{\text{máx}} - 0,05 H); \text{ para } H = 3,20 \text{ m}$$

$$V = 1,296 \text{ m}$$

La carga específica media a emplear en la voladura vendrá dada por la expresión:

$$\frac{q_{\text{m}} - q_{\text{u}}}{q_{\text{m}}} = \gamma \quad (18)$$

$$q_{\text{m}} (1 - \gamma) = q_{\text{u}}; q_{\text{m}} = \frac{q_{\text{u}}}{1 - \gamma} \quad (18)$$

En la tabla 3 figuran, para distintos valores de la proyección máxima deseada, el exceso de carga a utilizar y la carga específica correspondiente:

TABLA 3

| Proyección $L$ m .....                                                                           | 0     | 6     | 12    | 18    | 24    | 30    | 36    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Exceso de carga .....                                                                            | 0     | 0,1   | 0,2   | 0,3   | 0,4   | 0,5   | 0,6   |
| Carga media específica a utilizar $q_{\text{m}}$<br>Kg/m <sup>3</sup> .....                      | 0,293 | 0,331 | 0,372 | 0,426 | 0,496 | 0,596 | 0,745 |
| Carga específica de fondo $q_{\text{f}} =$<br>$\frac{q_{\text{m}}}{0,6}$ Kg/m <sup>3</sup> ..... | 0,496 | 0,552 | 0,620 | 0,710 | 0,827 | 0,993 | 1,242 |
| Carga específica de columna Kg/m <sup>3</sup><br>$q_{\text{c}} = 0,4 q_{\text{f}}$ .....         | 0,198 | 0,221 | 0,248 | 0,284 | 0,331 | 0,397 | 0,497 |

Si pretendemos que la proyección del centro de gravedad de la voladura no sobrepase los 18 m, deberemos emplear una sobrecarga del 30 por 100 con una carga específica de fondo de  $Q_f = 0,710 \text{ Kg/m}^3$  y una carga de columna de  $q_c = 0,284 \text{ Kg/m}^3$ . Es de esperar que algunas de las partes más pequeñas de la roca sean proyectadas de cinco a diez veces más lejos; este fenómeno se denomina dispersión y no puede ser controlado de ninguna manera.

Podemos estimar que más de las dos terceras partes de la roca volada no sobrepasarán los 23 m de proyección.

El estudio de la ley de distribución de la proyección de los fragmentos de roca será objeto de un estudio posterior.

#### 2.1.d. Elección del explosivo.

##### 2.1.d.1. Grado de retacado.

Se define como grado de retacado de un explosivo en un barreno, la cantidad en kilogramos del mismo contenido en un decímetro cúbico de barreno.

De acuerdo con esta definición el grado de retacado viene dado por la expresión:

$$P = \frac{1}{\alpha} \left( \frac{d}{D_{II}} \right)^2 \times \delta \text{ Kg/dm}^3 \quad (19)$$

en la que  $\delta$  es la densidad del explosivo empleado.

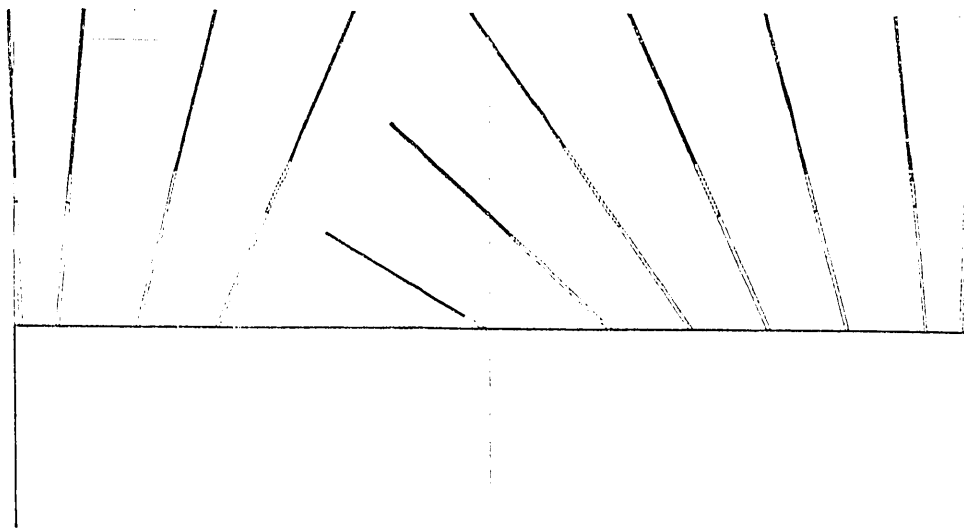
El factor  $1/\alpha$  depende para un cartucho dado, del grado de eficacia de la operación de retacado según la expresión:

$$\frac{1}{\alpha} = \left( \frac{d + 2x}{d} \right)^2 \quad (20)$$

La tabla 4 proporciona los valores de  $1/\alpha$  para los distintos diámetros de los cartuchos y grados de eficacia del retacado, vendrá expresada por:

TABLA 4

| d mm            | 0 | 1     | 2                  | 3     | 4     |
|-----------------|---|-------|--------------------|-------|-------|
| 22              | 1 | 1.092 | 1.182              | 1.274 | 1.364 |
| 26              | 1 | 1.077 | 1.155              | 1.231 | 1.307 |
| 32              | 1 | 1.063 | 1.126              | 1.187 | 1.250 |
| 40              | 1 | 1.050 | 1.100              | 1.151 | 1.205 |
| RETACADO MANUAL |   |       | RETACADO NEUMATICO |       |       |
|                 |   |       |                    |       |       |



Esquema de carga de cartuchos.

En el caso en que la carga de cartuchos se realice empleando separadores, el grado de retacado, vendrá expresado por:

$$P = \frac{1}{\beta} \left( \frac{d}{D_n} \right) \times \delta \text{ Kg/dm}^3 \quad (21)$$

El coeficiente  $1/\beta$  se obtiene mediante la relación:

$$\frac{1}{\beta} = \frac{L}{L + 0,20} \quad (22)$$

La tabla 5 proporciona los valores de  $1/\beta$  para las principales longitudes de cartuchos fabricados:

TABLA 5

| $L \text{ m}$ | $1/\beta$ |
|---------------|-----------|
| 0,130         | 0,342     |
| 0,200         | 0,444     |
| 0,240         | 0,489     |
| 0,400         | 0,615     |
| 0,430         | 0,632     |
| 0,480         | 0,657     |
| 0,500         | 0,666     |
| 0,600         | 0,706     |

Por otra parte, el factor:

$$\left( \frac{d}{D_n} \right)^2 \times \delta$$

depende del tipo de explosivo empleado, del diámetro de los cartuchos y de perforación.

La tabla 6 proporciona los valores de dicho factor para los distintos valores más usados de  $d$ ,  $D_n$  y  $\delta$ .

El grado de retacado vendrá, por tanto, expresado por el producto de los dos factores ya señalados y reflejados en las tablas adjuntas.

En nuestro caso se ha supuesto un grado de retacado  $P = 1$ , que para  $D_n = 38 \text{ mm}$  y  $\delta = 1,35$  se consigue con un cartucho de diámetro  $d = 32 \text{ mm}$  y un retacado manual ligero ( $x = 1$ ).

Se ha considerado la potencia relativa del explosivo  $S = 1$ , lo que corresponde a un explosivo gelatinoso con un 35 por 100 de nitroglicerina; el explosivo más similar dentro de los fabricados en España es la goma núm. 2 especial C. Para la carga de columna de los barrenos debe emplearse un explosivo menos potente, ya que la energía necesaria en la columna del barreno es el 40 por 100 de la energía necesaria en el fondo; el explosivo que reúne estas condiciones es la Amonita 2.1.

## 2.2. Planificación de los trabajos.

1. *Determinación del factor de roca  $C_n$ .* — Mediante voladura de ensayo de acuerdo con el diagrama 2.4, en la voladura de ensayo se fija un factor de roca, cuyo valor verdadero se determina con ella.
2. *Determinación de la piedra máxima* mediante la ecuación (17), cuyos coeficientes variarán con el valor de  $C_n$ , siendo necesario fijar el diámetro de perforación y el grado de retacado.
3. *Determinación de la piedra práctica* mediante la expresión (2); con este valor calculado se dibuja el esquema de tiro.
4. *Fijación del coeficiente en función de la proyección máxima deseada* para el campo de gravedad de la roca volada.
5. *Obtención en la tabla 3 de los valores de las cargas específicas a utilizar*,  $q_m$ ,  $q_f$  y  $q_c$ .
6. *En función del grado de retacado y del diámetro de perforación, obtención del diámetro del cartucho a utilizar* según la tabla 6.
7. *Determinación de las cargas de fondo y columna mediante las expresiones (3), (4'), (6) y (7').*

*Nota.* — Aunque es el sistema correcto, no es absolutamente necesario realizar la voladura de ensayo, realizándose los cálculos sobre la base del valor del factor de roca  $C_n = 0,3$ , haciendo las correcciones pertinentes a la vista de los resultados de la primera voladura efectuada.

TABLE 6

| $\delta$ Kg/dm <sup>3</sup>                  | 0,9   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $D_n$ mm                                     | 30    |       |       | 32    |       |       | 38    |       |       | 42    |       |       | 50    |       |       |
| $d$ mm                                       | 24    | 22    | 20    | 26    | 24    | 22    | 32    | 30    | 28    | 36    | 34    | 32    | 44    | 42    | 40    |
| $\left(\frac{d}{D_n}\right)^2 \times \delta$ | 0,576 | 0,484 | 0,399 | 0,594 | 0,506 | 0,425 | 0,638 | 0,561 | 0,488 | 0,736 | 0,661 | 0,589 | 0,697 | 0,635 | 0,576 |

| $\delta$ Kg/dm <sup>3</sup>                  | 1     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $D_n$ mm                                     | 30    |       |       | 32    |       |       | 38    |       |       | 42    |       |       | 50    |       |       |
| $d$ mm                                       | 24    | 22    | 20    | 26    | 24    | 22    | 32    | 30    | 28    | 36    | 34    | 32    | 44    | 42    | 40    |
| $\left(\frac{d}{D_n}\right)^2 \times \delta$ | 0,640 | 0,537 | 0,444 | 0,660 | 0,562 | 0,473 | 0,709 | 0,623 | 0,543 | 0,818 | 0,735 | 0,655 | 0,774 | 0,706 | 0,640 |

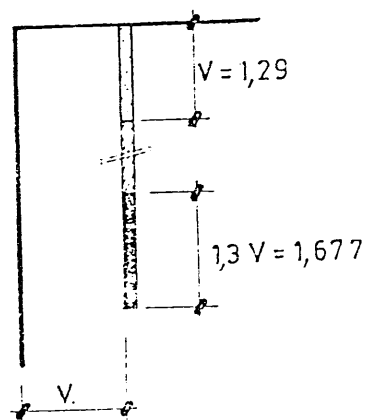
| $\delta$ Kg/dm <sup>3</sup>                  | 1,2   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $D_n$ mm                                     | 30    |       |       | 32    |       |       | 38    |       |       | 42    |       |       | 50    |       |       |
| $d$ mm                                       | 24    | 22    | 20    | 26    | 24    | 22    | 32    | 30    | 28    | 36    | 34    | 32    | 44    | 42    | 40    |
| $\left(\frac{d}{D_n}\right)^2 \times \delta$ | 0,768 | 0,645 | 0,533 | 0,792 | 0,675 | 0,567 | 0,851 | 0,748 | 0,651 | 0,982 | 0,881 | 0,786 | 0,929 | 0,847 | 0,768 |

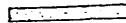
| $\delta$ Kg/dm <sup>3</sup>                  | 1,4   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $D_n$ mm                                     | 30    |       |       | 32    |       |       | 38    |       |       | 42    |       |       | 50    |       |       |
| $d$ mm                                       | 24    | 22    | 20    | 26    | 24    | 22    | 32    | 30    | 28    | 36    | 34    | 32    | 44    | 42    | 40    |
| $\left(\frac{d}{D_n}\right)^2 \times \delta$ | 0,896 | 0,753 | 0,622 | 0,924 | 0,785 | 0,662 | 0,993 | 0,872 | 0,760 | 1,146 | 1,028 | 0,917 | 1,084 | 0,988 | 0,896 |

| $\delta$ Kg/dm <sup>3</sup>                  | 1,5   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $D_n$ mm                                     | 30    |       |       | 32    |       |       | 38    |       |       | 42    |       |       | 50    |       |       |
| $d$ mm                                       | 24    | 22    | 20    | 26    | 24    | 22    | 32    | 30    | 28    | 36    | 34    | 32    | 44    | 42    | 40    |
| $\left(\frac{d}{D_n}\right)^2 \times \delta$ | 0,960 | 0,806 | 0,666 | 0,990 | 0,844 | 0,709 | 1,064 | 0,935 | 0,814 | 1,227 | 1,102 | 0,983 | 1,161 | 1,058 | 0,960 |

Cuadro resumen de los parámetros de la voladura.

| Barrenos            | Número de barrenos | Diámetro de perforac. $D$ mm | Piedra práctica $V$ m | Carga de fondo        |           |             | Carga de columna        |           | Tipo de explosivo | Potencia relativa | Diámetro de cartucho $D$ mm | Longitud de los cartuchos | Densidad del explosivo $\delta$ |
|---------------------|--------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|-------------|-------------------------|-----------|-------------------|-------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|
|                     |                    |                              |                       | $q_i$                 | $l_i$     | $\phi_i$ Kg | $q$                     | $l$       |                   |                   |                             |                           |                                 |
| De cuele y franqueo | 39                 | 38 mm                        | 1.30 m                | 0.7 Kg/m <sup>3</sup> | 0.88 Kg/m | 1.4 Kg      | 0.284 Kg/m <sup>3</sup> | 0.33 Kg/m | Goma N.º 2E-C     | $S = 1$           | 32                          | 200                       | 1.35                            |
| De recorte          | 44                 |                              | $E$ $V$<br>0.60 0.90  | 0.12 Kg/m             |           |             |                         |           | Amonita 2-I       | $S = 0.85$        | 17 mm                       | 460                       | 1                               |



-  Carga de fondo.
-  Carga de columna.
-  Longitud de retaco.