

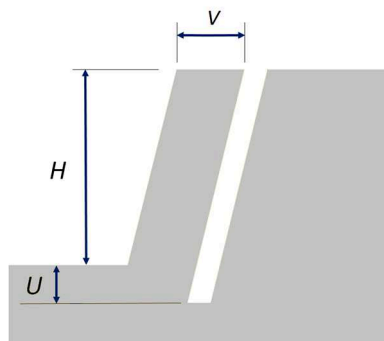
## MÉTODOS DE CÁLCULO DE LA PIEDRA EN UNA VOLADURA EN BANCO DE UNA CANTERA

Procedimientos de Construcción. Prof. Víctor Yepes

**PROBLEMA.** Calcular, con distintos métodos, la piedra en una voladura en banco en una cantera de roca caliza, con una resistencia a compresión simple de 30 MPa. El diámetro de los barrenos a utilizar es de 10 cm, los barrenos son verticales, con una densidad de carga del explosivo en el fondo del barreno de 1,1, un factor de potencia de la carga en el fondo de 1, un factor de roca de 0,4 y una relación entre el espaciamiento y la piedra de 1,25.

Solución:

El valor de la piedra es el valor de mínima resistencia o burden. En la figura que sigue se representa la piedra efectiva  $V$ , que será aproximadamente igual a la piedra real si se desprecia la inclinación de los barrenos.



Suponiendo que no hay desviación en la perforación, el valor de la línea de mínima resistencia o piedra  $V$  se calcula en función del diámetro de los barrenos  $\Phi$ . En el caso de diámetros inferiores a 6,5 pulgadas y rocas blandas:

$$V = K_1 \cdot \Phi = 40 \cdot 10 = 400 \text{ cm} = 4,00 \text{ m}$$

En voladuras pequeñas, se puede estimar la piedra, en metros, como el valor de  $\Phi$ , en pulgadas. En este caso, 10 cm = 3,94", por tanto,  $V = 3,94 \text{ m}$ .

También se puede utilizar la siguiente tabla, donde se recomiendan las variables de diseño de las voladuras en banco de pequeño diámetro (de 65 a 165 mm), en función del diámetro del barreno  $\Phi$ :

Variable de diseño	Resistencia a compresión simple (MPa)			
	Blanda < 70	Media 70-120	Dura 120-180	Muy dura >180
Piedra	39 $\Phi$	37 $\Phi$	35 $\Phi$	33 $\Phi$

Por tanto, siguiendo la recomendación de la tabla:

$$V = 39 \cdot 10 = 390 \text{ cm} = 3,90 \text{ m}$$

Otra expresión para calcular la piedra es aplicar la expresión empírica propuesta por C. López Jimeno (Manual de áridos para el siglo XXI, 2020):

$$V = \left[ 0,19 + \left( \frac{120 - RC}{2.000} \right) \right] \cdot \phi^{0,63}$$

Siendo

$RC$  Resistencia a compresión simple (MPa)

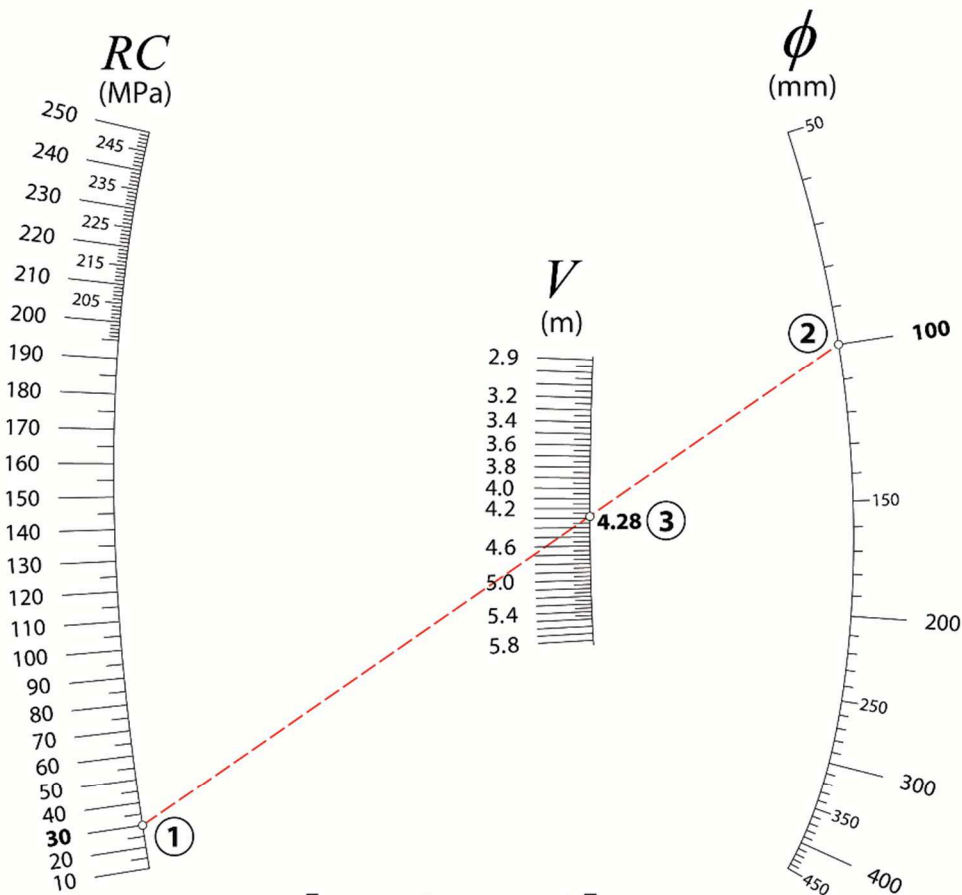
$\phi$  Diámetro de perforación (mm)

Para una caliza con  $RC = 30$  MPa, y  $\phi = 100$  mm, entonces:

$$V = \left[ 0,19 + \left( \frac{120 - 30}{2.000} \right) \right] \cdot 100^{0,63} = 4,28 \text{ m}$$

Se puede utilizar el siguiente nomograma para el cálculo:

Nomograma para el cálculo de la piedra de una voladura



$$V = \left[ 0,19 + \left( \frac{120 - RC}{2000} \right) \right] \times \phi^{0,63}$$

$V$  = Piedra (m)

$\phi$  = Diámetro del barreno (mm)

$RC$  = Resistencia a compresión de la roca (MPa)

(C. López Jimeno, Manual de áridos para el siglo XXI (2020))

Para el cálculo de la piedra teórica, Langefors y Kihlström (1963) propusieron la siguiente fórmula para determinar la piedra máxima, expresando  $V$  en metros:

$$V = \frac{\phi}{33} \cdot \sqrt{\frac{\rho_F \cdot S_F}{c \cdot f \cdot \frac{E}{V}}}$$

Donde

- $\phi$  es el diámetro del barreno (mm)
- $\rho_F$  densidad del explosivo (g/cm<sup>3</sup>)
- $S_F$  potencia relativa en peso
- $E/V$  relación entre el espaciamiento y la piedra
- $f$  factor de inclinación de la roca:
  - barrenos verticales  $f = 1$
  - barrenos inclinados 3:1  $f = 0,9$
  - barrenos inclinados 2:1  $f = 0,85$
- $c$  factor de roca

Esta fórmula se desarrolló principalmente para rocas duras y diámetros pequeños. En cuanto al factor de roca  $c = 0,4$ , este valor se corresponden a un granito; en el caso de una caliza estará algo sobredimensionado, pero del lado de la seguridad. En cualquier caso, la piedra calculada tendrá un error de un 10%, por arriba o por abajo, que puede subsanarse en las siguientes voladuras.

Con los datos del problema,

$$V = \frac{d}{33} \cdot \sqrt{\frac{\rho_F \cdot S_F}{c \cdot f \cdot \frac{E}{V}}} = V = \frac{100}{33} \cdot \sqrt{\frac{1,1 \cdot 1}{0,4 \cdot 1 \cdot 1,25}} = 4,49 \text{ m}$$

La piedra práctica se estima como el 90% de la teórica, por tanto:

$$V_p = 0,9 \cdot V = 0,9 \cdot 4,49 = 4,05 \text{ m}$$

Por tanto, con estos métodos, la piedra oscila entre 3,90 m y 4,28 m. El valor medio obtenido por estos cinco métodos es de  $V = 4,03$  m.

El cálculo de la piedra teórica se puede realizar con el nomograma que se recoge a continuación.



Esta obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

