

3) LAUREANO CORNEJO ÁLVAREZ

Revista Industria Minera N° 201 Agosto-Septiembre 1980.

Publicación:

"Utilización de las voladuras controladas en la excavación de túneles".

Utilización de las voladuras controladas en la excavación de túneles

Por **LAUREANO CORNEJO ALVAREZ**

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

1. INTRODUCCION

El presente trabajo se refiere a la excavación con explosivos de una galería de enlace que atraviesa unas formaciones de areniscas molasas; la sección es en forma de herradura con un ancho en solera y una altura de 3,20 m.

Esta galería discurre en las proximidades de un túnel ferroviario a una cota superior.

A causa de esta proximidad con la línea ferrea (distancia mínima 16 m), es necesario proyectar las voladuras de modo que las vibraciones producidas por éstas estén dentro del nivel de seguridad que se adopte como conveniente para este caso, y que evite la relajación de la zona de roca más próxima al perímetro del túnel ferroviario como consecuencia de las tracciones inducidas por las vibraciones.

2. ESTIMACION DEL NIVEL DE DAÑOS

2.1. A continuación se exponen los distintos criterios que rigen en la actualidad y que sirven para cuantificar los efectos producidos por las vibraciones debidas a las voladuras.

2.2. Criterio Americano

En el momento actual, y en base a las investigaciones realizadas por el U.S.B. of Mines. La velocidad de vibración o velocidad de par-

tícula V , es el parámetro más adecuado para estimar el riesgo de daños, siendo éstos directamente proporcionales al valor de dicha velocidad.

Este organismo ha propuesto la siguiente ley exponencial:

$$V = K \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-x}$$

en la que:

V = es el valor máximo de la velocidad de vibración registrado en el curso de la voladura expresado en mm/s.

K = constante a determinar mediante ensayos.
 D = distancia del barreno explosionado al punto en que se hace la observación (en m).

Q = carga total detonada en cada intervalo de retardo (en kg).

x = exponente > 0 a determinar mediante ensayos.

Una vez determinados los parámetros K , x , mediante las voladuras de ensayo pertinentes, para cada velocidad de partícula que se fije, se obtiene el factor de escala correspondiente D/\sqrt{Q} , que nos dará las cantidades máximas de explosivo que puede detonarse con cada número distinto de retardo, en función de la distancia entre el barreno explosionado y la periferia del túnel ferroviario.

Las normas establecen la velocidad de partícula en $V = 50$ mm/seg. como límite de la

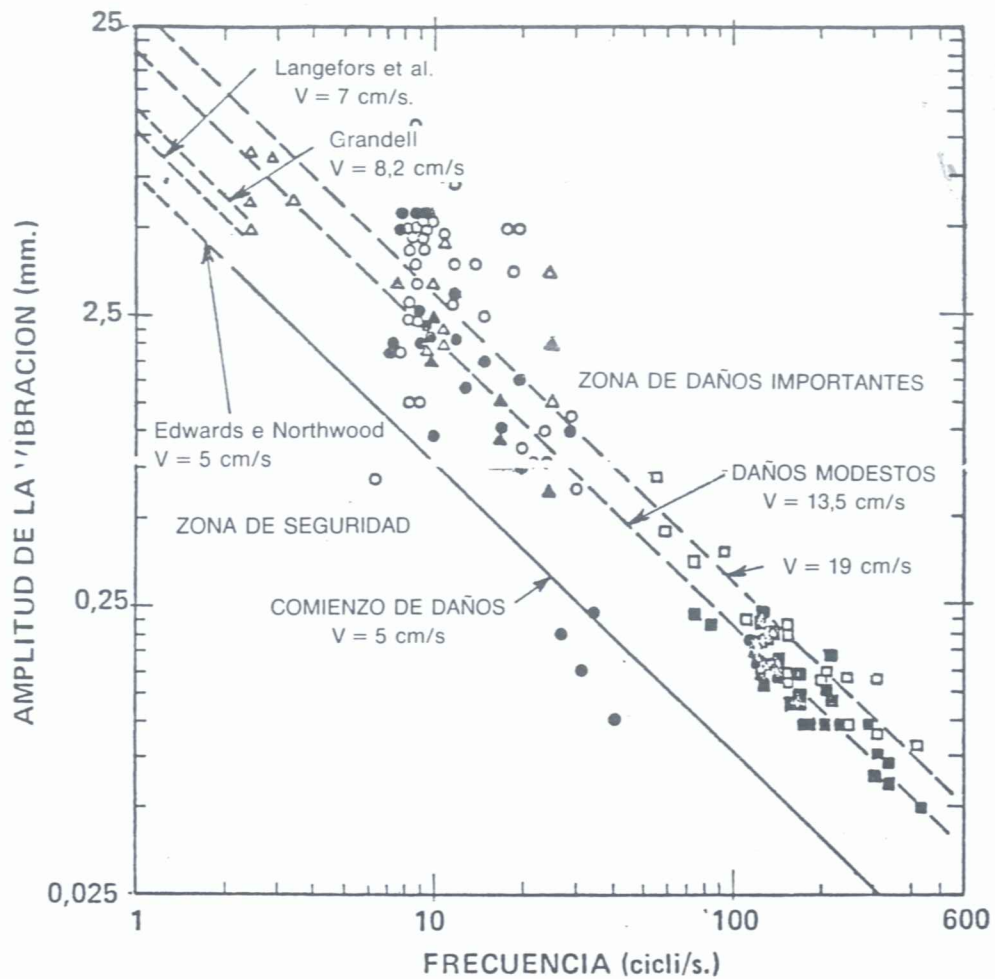


Fig. 1. Zonas de seguridad y de daños con relación a la velocidad de vibración.

- Bureau of Mines
- Langefors et al.
- △ Edwards e Northwood
- Bureau of Mines
- Langefors et al.
- ▲ Edwards e Northwood

DAÑOS IMPORTANTES

DAÑOS MODESTOS

zona de seguridad; por tanto este valor no podrá sobrepasarse en ninguna voladura.

2.3. Criterio de Ambraseys y Hendron

Para voladuras subterráneas con frecuencia se utiliza la fórmula:

$$V = K \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-b}$$

en la que:

V = Velocidad de partícula expresada en centímetros.

D = Distancia entre el barreno y el punto de observación en metros.

Q = Kilogramos de explosivo detonados por número distinto de retardo.

Para valores de

$$\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} > \frac{10 \text{ ft}}{lb^{1/3}}$$

establece para las constante los valores:

K = 210 y b = 1,6 con lo que la fórmula a aplicar es la siguiente:

$$V = 210 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-1,6}$$

En nuestro caso particular, fijando la velo-

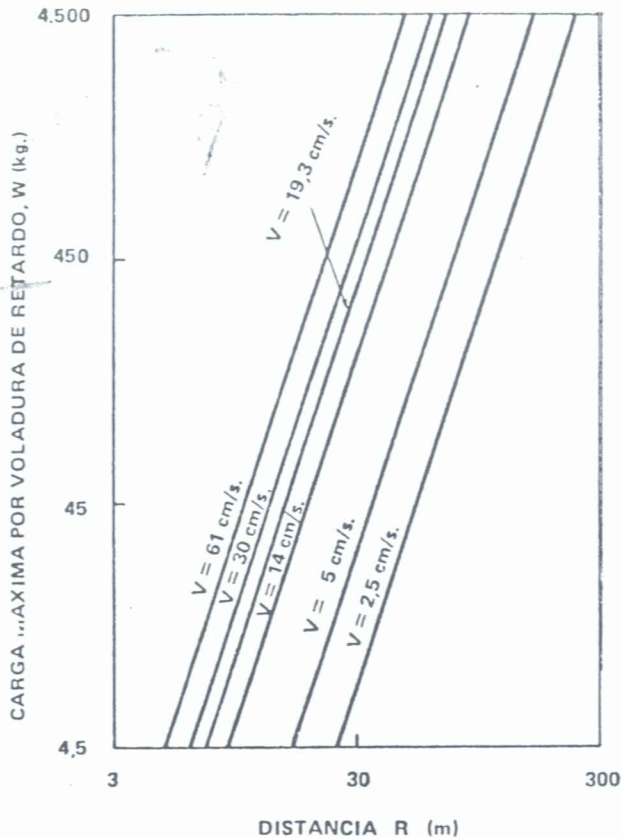


Fig. 2. Variación de la velocidad radial máxima de las partículas con la distancia y la carga del explosivo.

idad de partícula en $V = 5 \text{ cm/s}$, y teniendo en cuenta que la distancia es

$$D = 16 \text{ m}$$

resulta:

$$\log Q = \log \left(\frac{5}{210} + 1.6 \log 16 \right) \times \frac{3}{1.6}$$

$$Q = 3.7 \text{ kg}$$

Por lo tanto aplicando este criterio, la carga máxima a detonar por cada número distinto de retardo sería de 3.7 kg manteniendo la voladura dentro del nivel de seguridad.

2.4. Criterio de Langefors y Kihlstron. Criterio Sueco

El criterio Sueco establece la siguiente fórmula

$$V_{\text{máx}} = K \sqrt{\frac{Q}{D^{3/2}}}$$

en la que

$V_{\text{máx}}$ = es la velocidad de partícula expresada en mm/s.

Q = carga explosiva en kg.

D = distancia en metros.

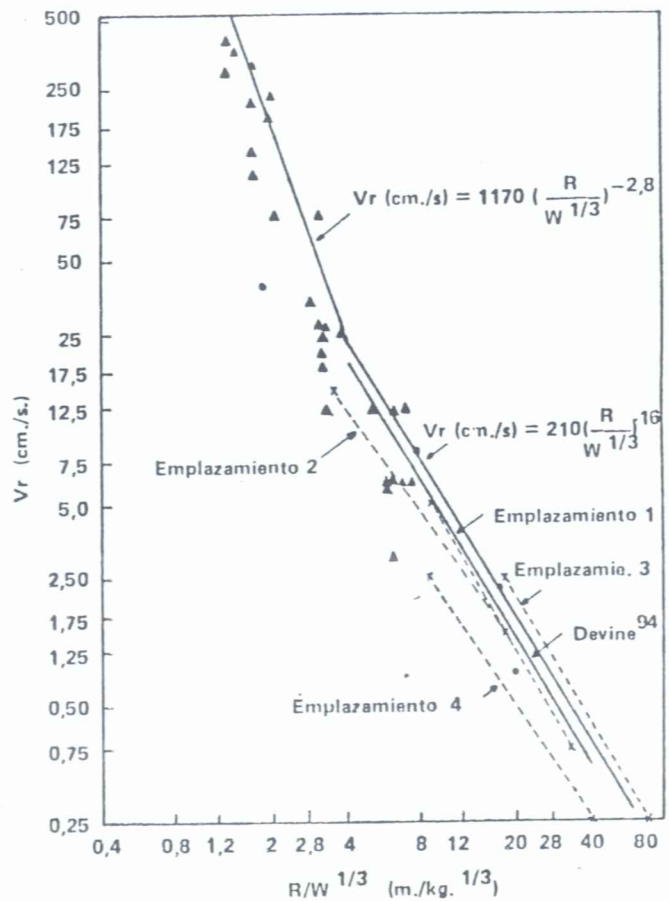


Fig. 3. Relación entre la máxima velocidad radial de las partículas y la distancia referida a $W^{1/3}$, según medidas a escala natural.

- ▲ Ensayos con explosivos potentes⁹⁵
- Voladuras de cantera con un retardo de 17 milisegundos.
- Voladuras de cantera⁹³
- Voladuras de cantera⁹¹
- Valores recomendados para estimaciones en obras de ingeniería.

Los niveles de daños establecidos son los que figuran en el cuadro adjunto:

Velocidad de partícula V mm/seg	D a ñ o s	Observaciones
50	Ninguna fisura	Limite de absoluta seguridad.
70	Ninguna fisura aparente	
100	Fisuras insignificantes	
150	Fisuras	
225	Fisuras grandes	
300	Caída de piedras en galerías	
400	Nuevas fisuras en la roca	
1.400	Fisuras en revestimientos de túneles	

Langefors da el valor de $K = 400$ para rocas duras (granitos suecos, calizas duras).

Kirillow da el valor de $K = 200$ para rocas menos competentes.

Adoptando uno y otro valor para nuestro caso, se obtienen los siguientes valores:

Para $K = 400$

$$Q = (50/400)^2 \times 16^{3/2} \quad ; \quad Q = 1 \text{ kg}$$

Para $K = 200$

$$Q = (50/200)^2 \times 16^{3/2} \quad ; \quad Q = 4 \text{ kg}$$

El valor de la carga por retardo distinto que buscamos para nuestro caso estará entre estos dos valores y presumiblemente más próximo al valor de 4 kg que al de 1 kg, ya que la roca que tenemos es una arenisca molasa, bastante menos competente que los granitos suecos que han servido de base para la obtención del valor $K = 400$.

Como vemos, el valor de $Q = 4$ kg concuerda con el obtenido en el apartado 2.3.

Según Langefors y M. Kihlstrom, las líneas de igual riesgo de daños obedecen a la ecuación

$$Q D^{-3/2} = K$$

Para una roca tipo granito con una velocidad de propagación sónica de

$$c = 3.000 \text{ m/s}$$

tendríamos el siguiente cuadro para los niveles de daños:

Escala Mercalli modificada grados	$Q D^{-3/2}$ kg m ^{-3/2}	V cm/seg	V/C μ/m	Daños	
II	0.008	0.225	10	El hombre acusa estas vibraciones	
V		2.25		Caída de yeso. ninguna fisuración	
VI		3.50		5	Ninguna fisuración
		4.50		7	Ninguna fisuración visible
		0.015		10	Fisuras insignificantes
		0.03		15	Fisuras
		0.06		22.5	Fisuras importantes
		0.12		30.—	Caída de piedras en galerías y túnel
		0.25			Fisuras en rocas
		0.50			
1.—					

Estableciendo el nivel de daños en 0,015 que es el que corresponde a una vibración de 50 mm/seg en un granito y para una distancia $D = 16$ m obtendríamos un valor para la carga de

$$Q D^{-3/2} = 0,015 \quad ; \quad Q = 1 \text{ kg}$$

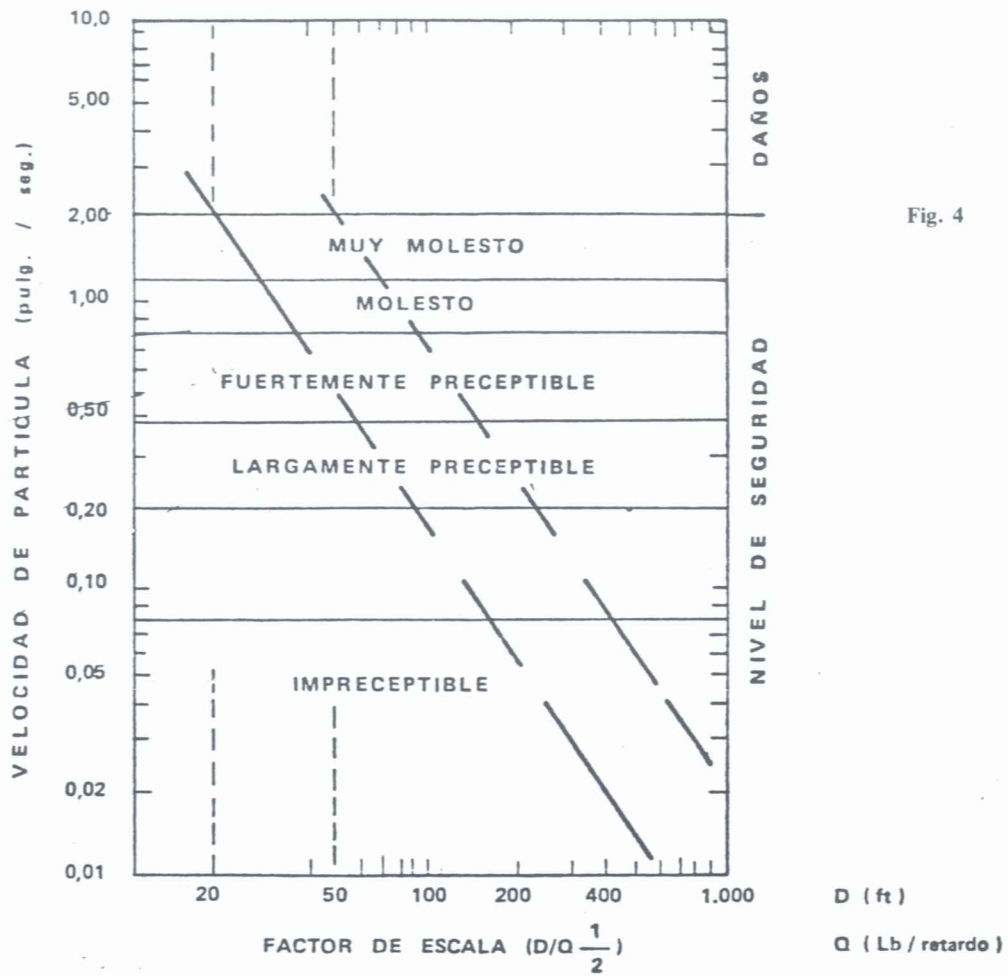


Fig. 4

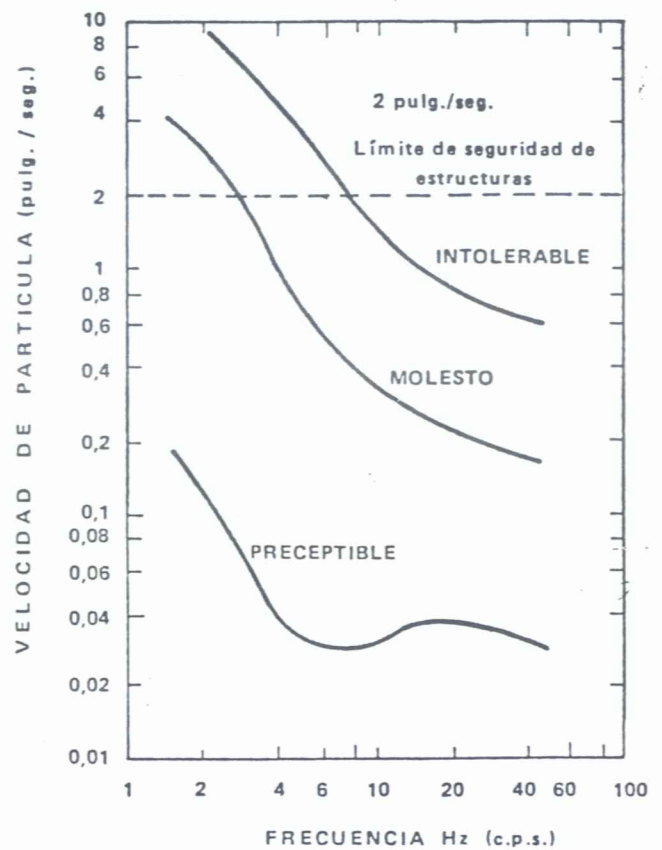


Fig. 5

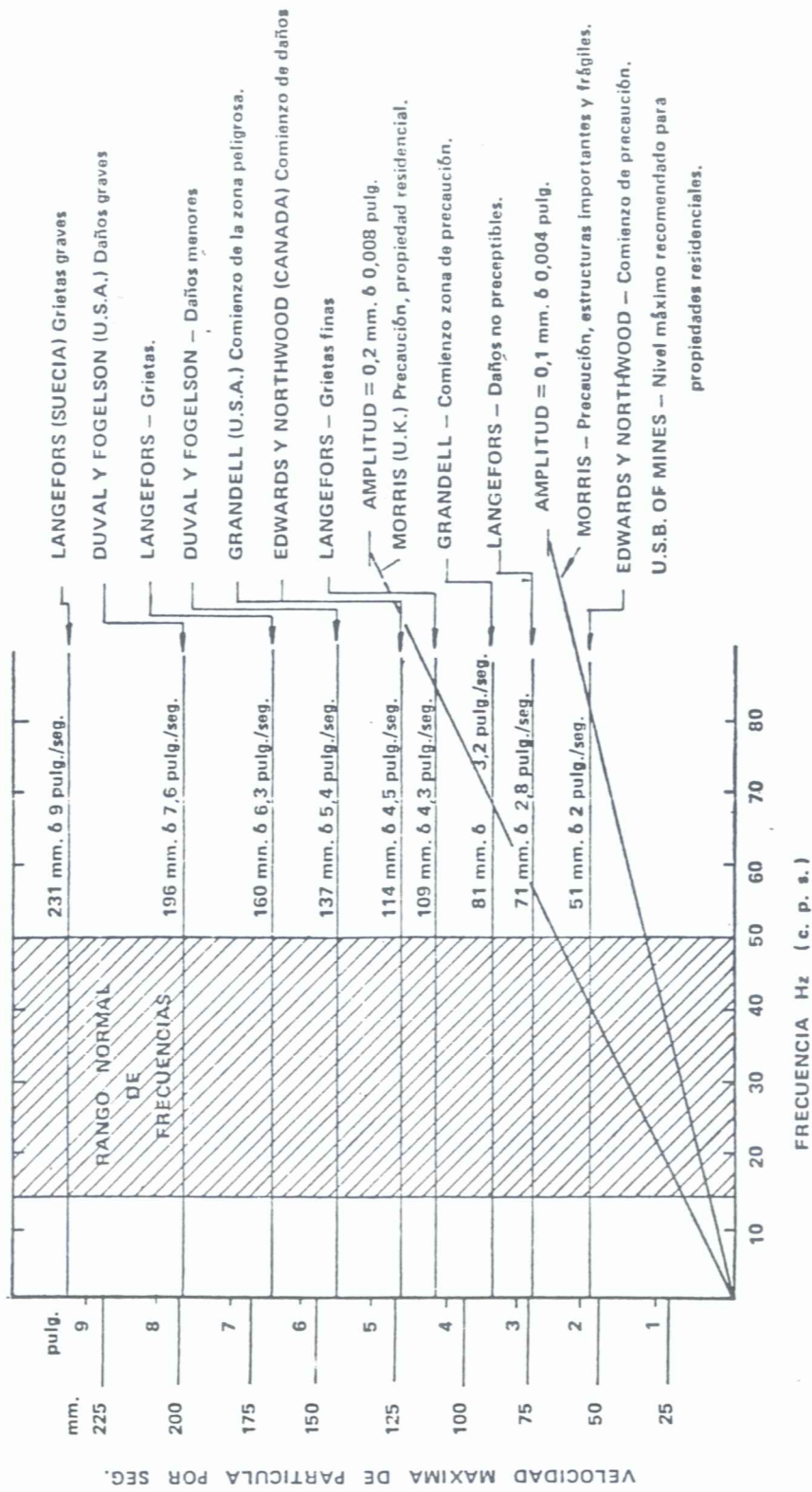


Fig. 6

Como la roca, en nuestro caso, es una molasa a la cual suponemos un valor para la velocidad de propagación sónica no superior a

$$C = 2.000 \text{ m/s}$$

el nivel de daños, manteniendo el mismo valor para la velocidad de vibración, será de:

Angulo de cizallamiento

$$\frac{V}{C} = \frac{50.000}{2.000} = 25 \mu/m$$

al que corresponde un valor de

$$Q \cdot D^{3/2} = 0,03$$

para cuyo nivel la carga será de

$$Q = 2,00 \text{ kg}$$

2.5. Conclusiones

Todos los criterios anteriormente enumerados han sido obtenidos mediante tratamiento estadístico de una serie de datos constatados en un tipo concreto de roca, en el caso sueco en granitos.

Todo lo que deduzcamos en base a estos datos, se moverá dentro de la certeza estadística; en ningún caso dentro de una certeza matemática para nuestro caso concreto; para ello hay que recurrir a las voladuras de ensayo previas.

De todos modos estos datos estadísticos aportan una aproximación fundada a los datos que se obtengan en la realidad.

En base a ésto, obtendremos como criterio de partida el siguiente:

Velocidad de vibración: Limitada a 50 mm/seg.

Velocidad de transmisión sónica de la roca (molasa):

$$C = 2.000 \text{ m/s}$$

Angulo de cizallamiento

$$V/C = 25 \mu/m$$

A este valor de ángulo de cizallamiento corresponde un nivel de daños

$$Q \cdot D = 0,03$$

en cuyo nivel, la carga máxima a detonar por número de retardo distinto es de

$$Q = 2,00 \text{ kg}$$

Adoptando un coeficiente de seguridad de 2, el valor de dicha carga queda limitado a

$$Q = 1 \text{ kg}$$

con cuyo criterio se han proyectado las voladuras tipo.

2.6. Voladuras tipo

A continuación proponemos, en base a los criterios del apartado 2.5, unas voladuras tipo que pueden emplearse con el margen de seguridad suficiente para que no se llegue a sobrepasar el límite de la zona de seguridad de daños en la roca perimetral de túnel ferroviario.

2.6.1. Voladura tipo núm. 1 (Figs. 7 y 8)

Esta voladura se da en dos fases:

- 1) Perforación y voladura precorte, barrenos de cuele y contra-cuele.
- 2) Perforación y voladura zapateras y destroza.

Cada baremo de precorte lleva una carga de 0,204 kg.

El máximo de barrenos de precorte que disparamos con un mismo número de microretardo es de 4, por lo que la carga que se detona de una vez es de:

$$4 \times 0,204 \text{ kg} = 0,816 \text{ kg}$$

cantidad menor de 1 kg.

Una vez disparado el precorte se crea una grieta alrededor del túnel que reduce la magnitud de la vibración transmitida a la roca como consecuencia de las voladuras siguientes. Esto nos permite aumentar la carga por barrenos manteniéndonos dentro del mismo nivel de seguridad; veamos cuanto podemos aumentar las cargas de los barrenos que siguen al precorte.

Esta reducción viene motivada por la creación de una superficie de discontinuidad en la que, al pasar la energía transmitida de la roca al colchón de aire y continuar a través de la roca, se produce una disminución en el nivel de energía transmitida de la roca al colchón

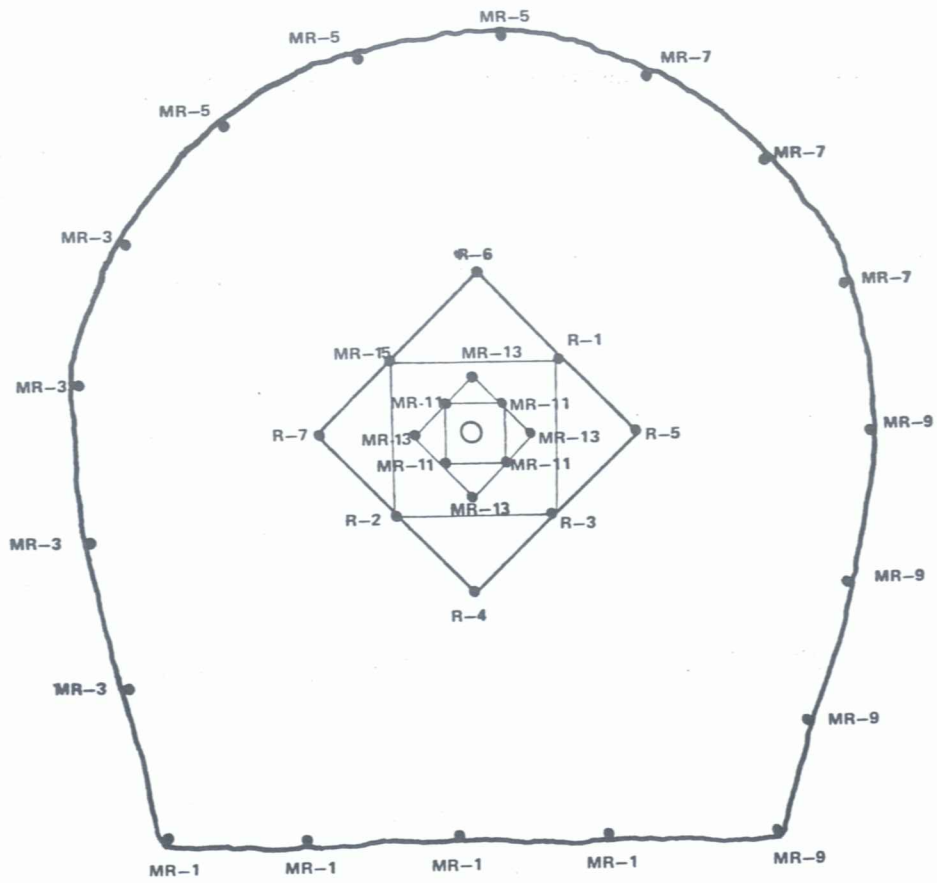


Fig. 7. Voladura tipo núm. 1 (1.ª fase).

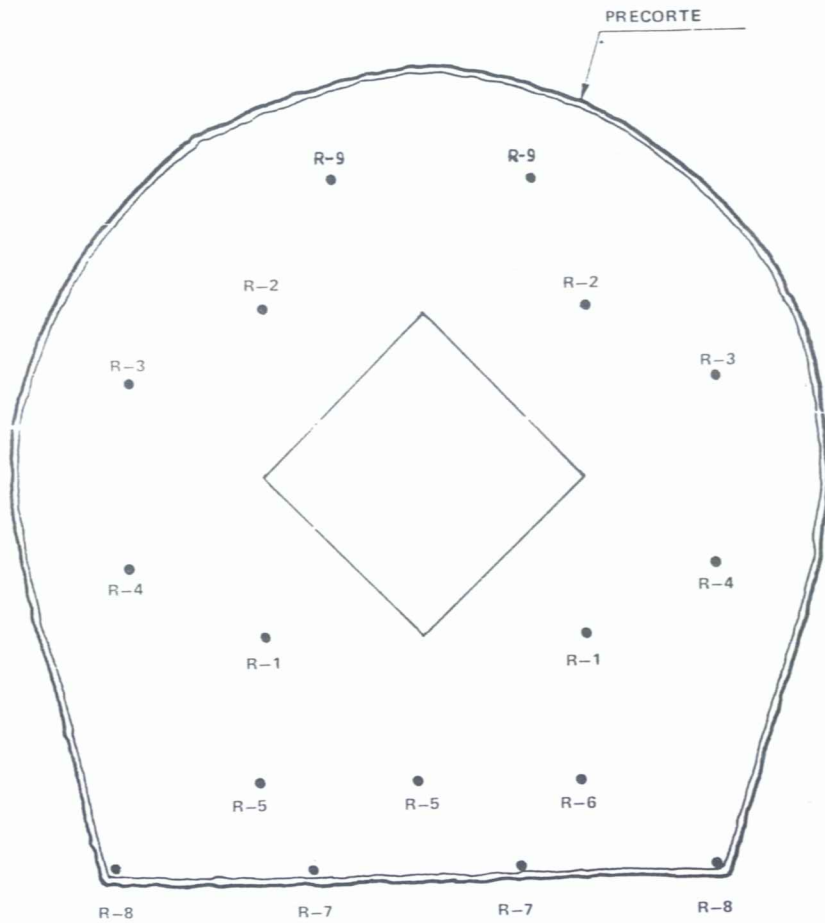


Fig. 8. Voladura tipo núm. 1 (2.ª fase)

de aire y continuar a través de la roca, se produce una disminución en el nivel de energía transmitida, por disipación de parte de la energía inicial.

La relación entre la energía incidente y la transmitida viene dada por la relación:

$$E_1 = E_0 \frac{4}{(n + 1)^2}$$

en la que

E_0 = energía incidente

E_1 = energía transmitida.

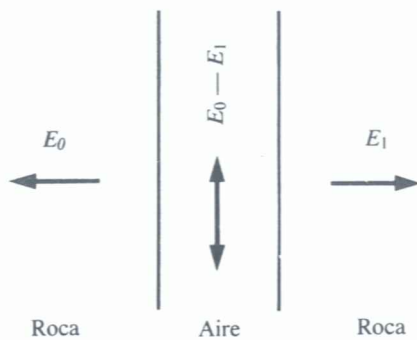


Fig. 9

$$n = \frac{\text{Dureza acústica de la roca}}{\text{Dureza acústica del aire}}$$

Dureza acústica del aire

$$\rho c = 1,093 \times 240 \text{ m/s}$$

Dureza acústica de la roca

$$\rho c = 2.500 \text{ m/s} \times 2,4$$

$$n = \frac{2.500 \times 2,4}{240 \times 1,093}$$

Según esto

$$E_1 = E_0 \frac{4 \times 22,87}{23,872} \times 0,16$$

$$E_1 = 0,16 E_0$$

Por tanto la energía transmitida es el 16 % de la incidente y la vibración se reducirá en la misma medida y por tanto podrá aumentarse en la misma proporción la cantidad de explosivo por cada número distinto de retardo.

$$\frac{E_1}{E_0} = \frac{Q_0}{Q_1} \quad ; \quad 0,16 = \frac{Q_0}{Q_1}$$

$$Q_0 = 1 \text{ kg} \quad ; \quad Q_1 = 6,25 \text{ kg}$$

Según esto, una vez ejecutado el precorte, manteniendo la misma velocidad de vibración, puede multiplicarse por 6 la carga explosiva.

Adoptando un margen de seguridad, fijamos el criterio de aumentar la carga por retardo de número distinto, en los barrenos posteriores al precorte a 2 kg.

2.6.2. Voladura tipo núm. 1 bis (Figs. 10 y 11)

Esta voladura se diferencia de la anterior en lo siguiente:

En la fase 1.^a

- 1) Se perforan dos barrenos centrales en lugar de uno, con lo que se disminuye el confinamiento de los barrenos del cuele y contracuele y por tanto la vibración que producen.
- 2) La carga detonada en los barrenos de cuele con un mínimo número de retardo se reduce a 1 kg.
- 3) La carga detonada en los barrenos de contracuele con un mismo número se reduce a 1,02 kg.

Por tanto, teniendo en cuenta el efecto de precorte previo, la voladura de la 1.^a fase tiene un coeficiente de seguridad de 2 por estar la carga limitada a 1 kg por retardo y teóricamente de 6 por efecto del precorte y que consideramos a efectos prácticos de 2, siendo el coeficiente de seguridad resultante de 4.

En la fase 2.^a

La voladura de la 2.^a fase tiene aún un coeficiente de seguridad mayor, ya que la carga máxima detonada por retardo es de 0,86 kg.

Una vez realizada la 1.^a fase con la perforación y voladura del precorte, cuele y contracuele se perfora el resto de la voladura cargando nuevamente los barrenos de las zapateras, que en la 1.^a fase sirvieron como barrenos de precorte, con la carga correspondiente para las zapateras. Si estos barrenos hubieran quedado obstruidos en la 1.^a fase, lo que no es probable siempre que el precorte se cargue con la carga adecuada, se perforarían al lado de éstos, otros barrenos de zapateras.

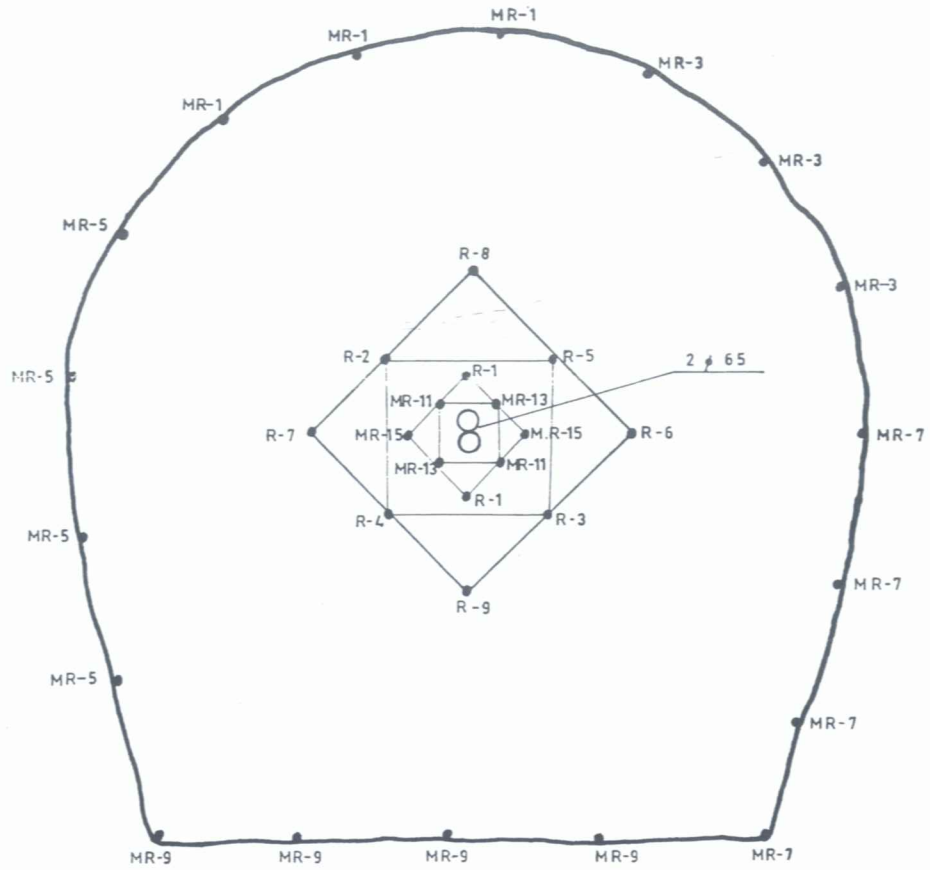


Fig. 10. Voladura tipo núm. 1 bis (1.ª fase).

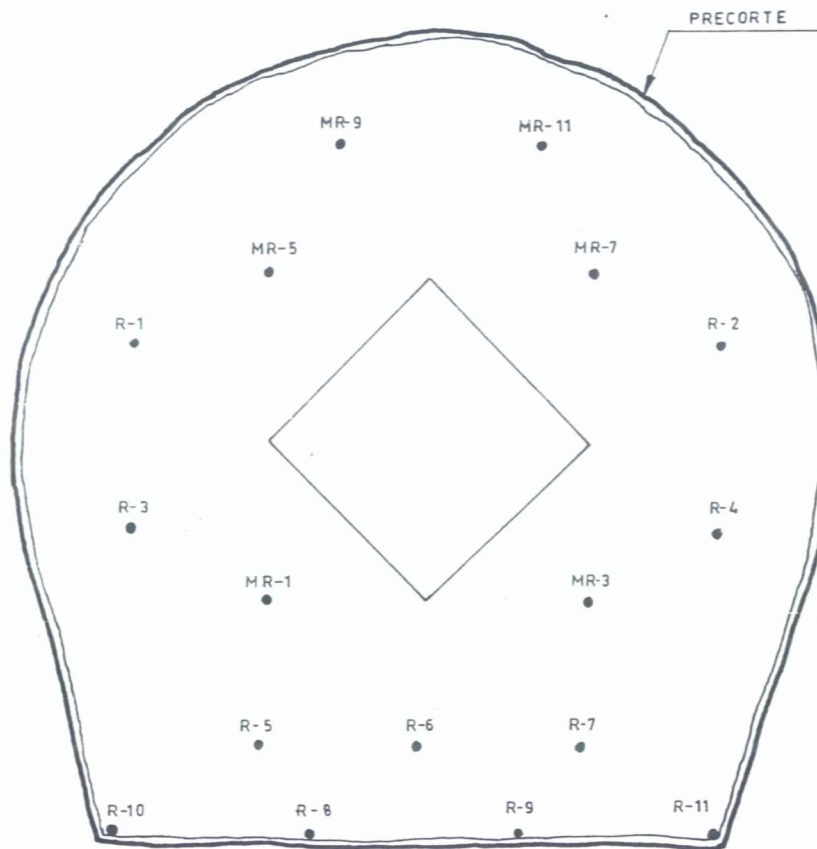


Fig. 11. Voladura tipo núm. 1 bis (2.ª fase).

2.6.4. Voladura tipo núm 2
(Figs. 12 y 13)

Esta voladura se dispara en tres fase:

1.^a fase:

Perforación de toda la pega y voladura del precorte. En el precorte se intercalan barrenos vacíos que contribuyen a dejar un perfil más recortado y una grieta aislante más perfecta, mejorando la amortiguación de la vibración.

2.^a fase. Voladura del cuele y contracuele

Antes de disparar la 2.^a fase se introducen en los barrenos de las zapateras unos atacadores para localizar posteriormente los barrenos y evitar que se taponen.

La carga por retardo del cuele es de 1 kg y la del contracuele de 2,04 kg.

3.^a fase. Voladura zapateras y destroza

El coeficiente de seguridad de esta voladura respecto a las vibraciones es de 2.

2.6.4. Voladura tipo núm. 3
(Figs. 14 y 15)

Esta voladura se perfora de una vez, y se dispara, primero el precorte y después el resto de la pega.

La carga máxima por retardo en el contracuele es de 2,2 kg.

El coeficiente de seguridad de esta voladura respecto a las vibraciones es de 1,80.

LONGITUD DE PERFORACION 2,70 m.

AVANCE POR VOLADURA 2,40 m.

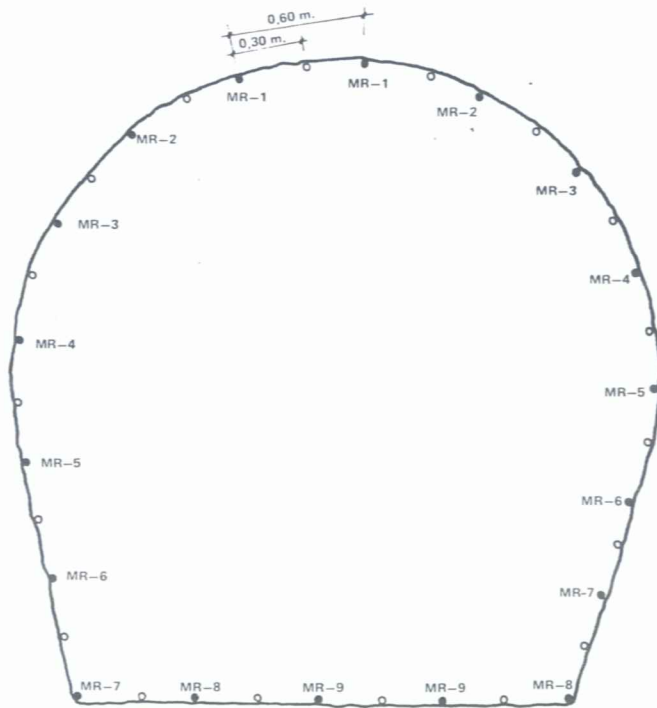


Fig. 12. Voladura tipo núm. 2 (1.^a fase).



1 CARTUCHO DE AMONITA DE Ø 26 m/m. x 200 m/m
SEPARADOS 50 cm. Y UNIDOS MEDIANTE CORDON DETONANTE

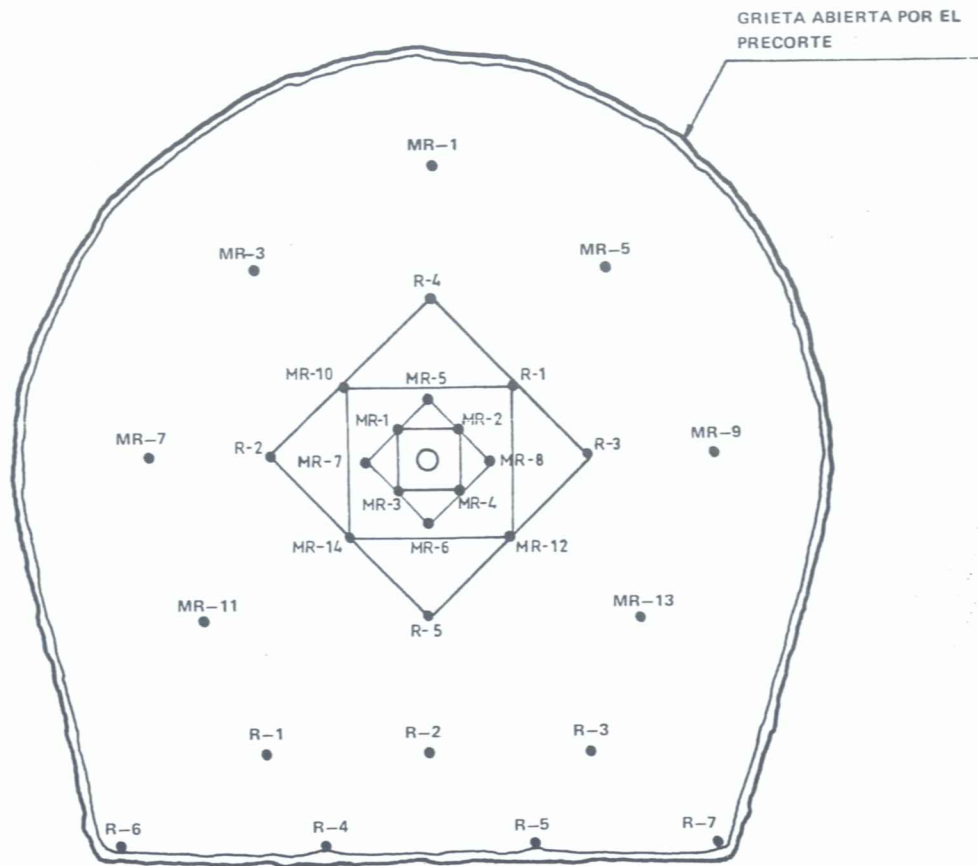


Fig. 13. Voladura tipo núm. 2 (2.^a y 3.^a fase).

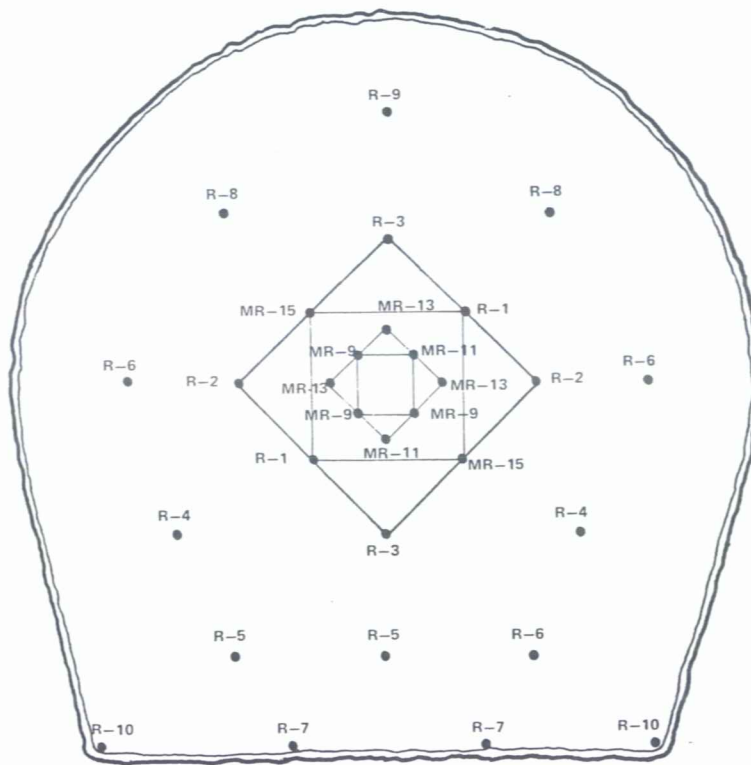


Fig. 14. Voladura tipo núm. 3.

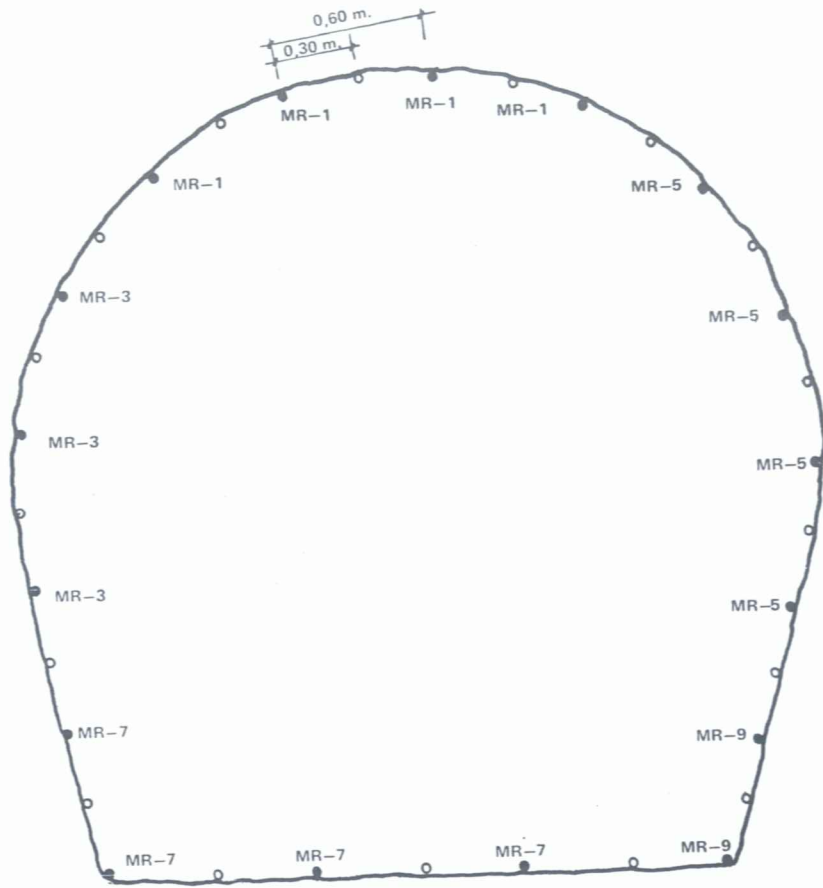


Fig. 15. Voladura tipo núm. 3.

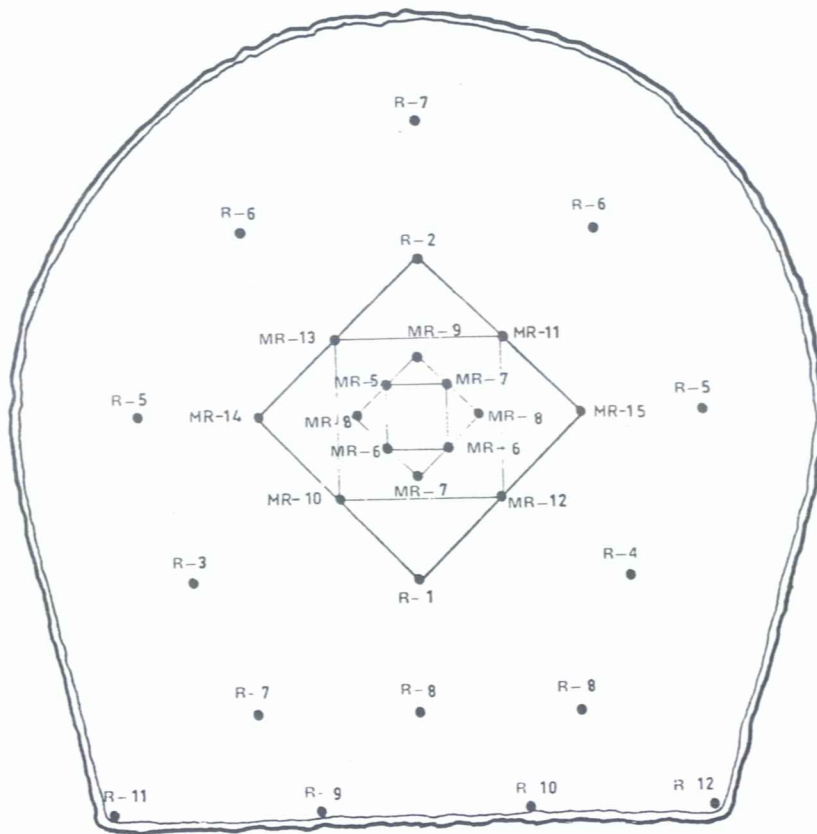


Fig. 16. Voladura tipo núm. 3 bis.

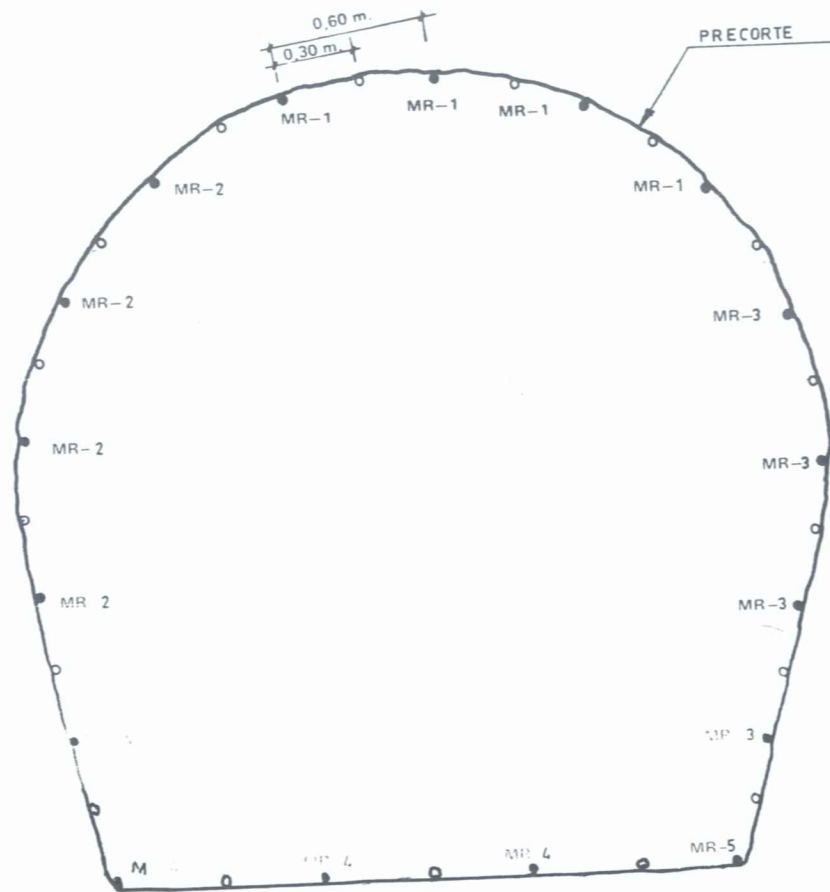


Fig. 17. Voladura tipo núm. 3 bis.

2.6.5 Voladura tipo núm. 3 bis (Figs. 16 y 17)

Esta voladura se perfora de una vez y se dispara, primero el precorte y después el resto de la pega.

La carga máxima por retardo del cuele es de 1.092 kg.

La carga máxima por retardo del contracuele es de 1.1 kg.

Los barrenos de destroza con el mismo número no cooperan en la vibración, ya que tienen una dispersión mayor de 100%.

El coeficiente de seguridad de esta voladura respecto a las vibraciones es de 3.63.

Dicha ley se obtiene determinando los parámetros K y x de la expresión:

$$V = K \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-x} \quad [1]$$

Aplicando logaritmos tenemos:

$$\log V = \log K - x \log \frac{D}{\sqrt{Q}} \quad [2]$$

Haciendo el cambio de variables

$$\begin{aligned} \log V &= Y & ; & & x &= a \\ \log K &= b & ; & & \log \frac{D}{\sqrt{Q}} &= X \end{aligned}$$

obtenemos la ecuación de la recta:

$$Y = b - aX \quad [3]$$

3. PLANIFICACION DE LOS TRABAJOS

3.1. Voladuras de ensayo

Los primeros trabajos consisten en dar unas voladuras de ensayo con objeto de determinar la frecuencia de las vibraciones y la Ley de Propagación de dicha roca.

De cada voladura de ensayo obtenemos un valor de x_i , y_i .

Establecemos un sistema de ecuaciones para determinar los parámetros a y b de modo que la recta quede ajustada por el método de los

mínimos cuadrados, para lo cual tendrá que cumplirse:

$$\sum y_i = Nb - a \sum x_i$$

$$\sum x_i y_i = b \sum x_i - a \sum x_i^2$$

Para los distintos valores de x_i , y_i obtenemos los valores

$$\sum x_i, \sum y_i, \sum x_i y_i, \sum x_i^2$$

y resolviendo el sistema de ecuaciones determinamos los valores de a y b .

Una vez conocidos dichos valores, conocemos los de K y x y por tanto la ley que relaciona la velocidad de vibración con la carga explosiva y la distancia para el caso concreto de la roca ensayada.

Para cada voladura de ensayo el valor de V se deduce del registro del sismógrafo.

El sismógrafo y el geófono a él conectado se colocan dentro del túnel de ferrocarril.

El geófono se coloca adosado a la pared del túnel lo mejor posible y preferentemente dentro de un taladro de 700 mm de diámetro.

Seguidamente se calcula la distancia entre la carga explosiva y el geófono.

El geófono nos detecta la vibración según tres direcciones ortogonales; de todas ellas se elegirá la que dé un mayor valor para la velocidad de vibración.

Para las voladuras de ensayo se perforan cinco barrenos de 1,50 m de longitud, próximos a la zona de emboquillado del túnel de enlace.

ESTADILLO DE LAS VOLADURAS DE ENSAYO			
Explosivo Goma 2E-C Ø 26 × 400			
Número voladura	Distancia D (m)	Carga Q (kg)	Velocidad de vibración V (mm/seg)
1	16	0,143	2,427
2	16	0,287	4,764
3	16	0,430	7,031
4	16	0,573	9,268
5	16	0,716	11,324

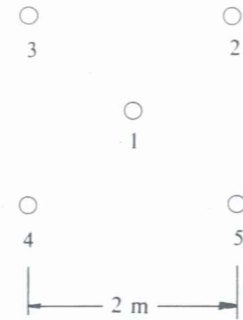


Fig. 18. Disposición de los barrenos de ensayo.

Orden de disparo	Carga	Detonador	Explosivo
1	1/2 cartucho	Instantáneo	Goma 2 E-C Ø 26 × 400
2	1 cartucho	Instantáneo	Goma 2 E-C Ø 26 × 400
3	1 1/2 cartuchos	Instantáneo	Goma 2 E-C Ø 26 × 400
4	2 cartuchos	Instantáneo	Goma 2 E-C Ø 26 × 400
5	2 1/2 cartuchos	Instantáneo	Goma 2 E-C Ø 26 × 400

3.2. Determinación de la Ley de Propagación

$x_i = \log D/Q$	$y_i = \log V$	$x_i y_i$	x_i^2	Núm. voladura
1,626	0,385	0,626	2,644	1
1,475	0,678	1,000	2,176	2
1,387	0,847	1,175	1,924	3
1,325	0,967	1,281	1,756	4
1,277	1,054	1,346	1,631	5
$\sum x_i = 7,091$	$\sum y_i = 3,931$	$\sum x_i y_i = 5,428$	$\sum x_i^2 = 10,131$	Sumatorios

Sustituyendo en las ecuaciones de condición de mínimos cuadrados los valores de la tabla, obtenemos:

$$3,931 = 5b - 7,09a \quad [1] \quad y = \log V$$

$$5,428 = 7,09b - 10,131a \quad [2]$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} a &= 1,896 & ; & & x &= 1,896 \\ b &= 3,474 & ; & & \log K &= 3,474 \\ K &= 2.978,513 \end{aligned}$$

La recta de regresión vendrá dada por la ecuación:

$$Y = 3,474 - 1,896 X$$

Determinemos ahora el coeficiente de correlación lineal entre las variables.

$$r = \frac{\sum x_i y_i}{\sqrt{\sum x_i^2 \sum y_i^2}}$$

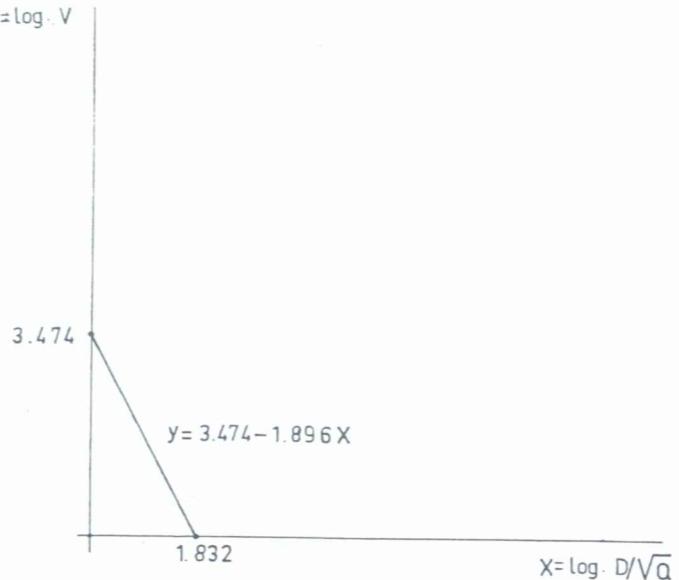


Fig. 19. Recta de regresión.

x_i	y_i	x_i^2	$x_i y_i$	y_i^2	
1.568	0.5	2.459	0.784	0.25	
1.410	0.8	1.988	1.590	0.65	
1.304	1.0	1.700	1.304	1.00	
1.200	1.2	1.440	1.440	1.44	
1.094	1.4	1.197	1.532	1.96	
0.988	1.6	0.976	1.581	2.56	
0.883	1.8	0.780	1.589	3.24	
0.777	2.0	0.604	1.554	4.00	
		$\sum x_i^2 = 11,144$	$\sum x_i y_i = 11,374$	$\sum y_i^2 = 15,09$	Sumatorios

$$r = \frac{11,374}{11,44 \times 15,09} = 0,877$$

Esto indica que la correlación lineal entre las dos variables es muy alta, siendo la recta la forma ideal de ajuste.

Si el coeficiente de correlación hubiese sido inferior a 0,3 sería necesario ajustar otra curva en lugar de una recta.

Según esto la ley de propagación vendrá representada por la ecuación:

$$V = 2.978,513 (D/\sqrt{Q})^{-1,896} \quad [3]$$

de la que para $V = 50$ mm/s.

$$D = 16 \text{ mm}$$

Se obtiene el valor de $Q = 3,435$ kg.

Esto quiere decir que por cada número distinto de microretardo se puede detonar un máximo de carga explosiva de 3,435 kg una vez comprobado que no se produce acoplamiento de efectos en los primeros números de los microretardos, lo cual sucede cuando se cumple que

$$\tau \geq 2,5 T$$

τ = intervalo de microretardo en ms (milisegundos).

T = período de la vibración.

RECOMENDACIONES PARA EFECTUAR LAS VOLADURAS

- 1) Dimensionar las voladuras de acuerdo con la limitación de la carga explosiva determinada en la ley de propagación.
- 2) Para evitar accidentes debido a las líneas de transporte de la Renfe, utilizar detonadores eléctricos de alta insensibilidad (AI).
- 3) Con objeto de que los distintos barrenos de la voladura no cooperen en la vibración, utilizar toda clase de microrretardos ($\tau = 30$ ms) del 1-15 y de retardos (0,5 s) del 1-12; este punto es muy importante.
- 4) Antes de dar la voladura ponerse en contacto con la estación más próxima para que nos comunique el momento exacto de dar la voladura con objeto de que en ese momento no pase ningún tren.

Con ésto, aunque no se produzcan interrupciones en la vía como consecuencia de las voladuras, se evita así el efecto

sorpresivo y desagradable de la vibración a los viajeros.

- 5) Con el fin de evitar litigios, será muy conveniente registrar todas las voladuras empleando un sismógrafo de registro continuo y un geófono conectado al mismo.

BIBLIOGRAFIA

- Técnica moderna de voladuras de rocas.* U. Langefors y B. Kihlström.
Técnica sueca de voladuras. Rune Gustafsson.
Les vibrations produites par les tirs d'explosifs. M. Panet y J. Caracilli.
Bull. Liaison Labo. Routiers P. et Ch. n.º 38. Mai-Juin 1969. Ref. 671.
Nota sobre a influencia nas construções das vibrações dos terrenos provocadas por explosões. Joaquin Moura Esteves.
II Jornadas de Engenharia e Arquitectura do Ultramar. Luanda. Maio e Junho de 1969. *Técnica*, núm. 390.
Specifications for controlled blasting in civil engineering projects. A. J. Hendron, Jr. and T. L. Oriard. *Retc. Proceedings*, volume 2.

OBRAS SUBTERRANEAS, S. A.



Contratista de obras públicas y mineras

Especializada en:

- PROFUNDIZACION DE POZOS.
- TUNELES Y GALERIAS.
- CHIMENEAS Y COLADEROS.
- CENTRALES SUBTERRANEAS.
- PREPARACION Y PUESTA EN EXPLOTACION DE YACIMIENTOS MINEROS.
- EDIFICACION INDUSTRIAL.

López de Hoyos, 13 - MADRID - 6
Teléfono: 262 45 12