

UNION ESPAÑOLA DE EXPLOSIVOS, S.A.

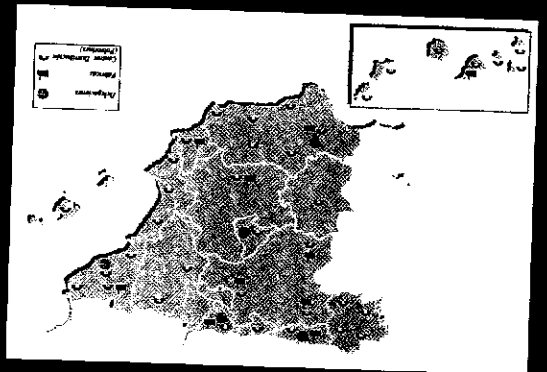


UEE

GUÍA PRÁCTICA
DE
VOLADURAS



DELEGACIONES COMERCIALES EN ESPAÑA



UNION ESPAÑOLA DE EXPLOSIVOS, S.A.
OFICINA CENTRAL

Avda. del Empecinado, 16 - 4.º. Madrid

Tel. 221.01.00 - FAX 221.01.01

Centro de las Naciones - 28.012 Madrid

DELEGACION SUR

Carretera de Cádiz - 11.001 San Pedro de Alcázar

Avda. de Andalucía - 41.013 Sevilla

Avda. de España - 41.013 Sevilla

DELEGACION NOROESTE

Carretera de León - 24.001 León

Avda. de España - 24.001 León

DELEGACION NORDESTE

Carretera de Burgos - 49.001 Burgos

Avda. de España - 49.001 Burgos

DELEGACION CANARIAS

Carretera de Tenerife - 38.001 Santa Cruz de Tenerife

Avda. de España - 38.001 Santa Cruz de Tenerife

DELEGACION NORTE

Carretera de Vizcaya - 48.001 Vizcaya

Avda. de España - 48.001 Vizcaya

DELEGACION SUR

Carretera de Murcia - 30.001 Murcia

Avda. de España - 30.001 Murcia

DELEGACION CENTRO-LEVANTE

Carretera de Valencia - 46.001 Valencia

Avda. de España - 46.001 Valencia

DELEGACION CENTRO

Carretera de Toledo - 45.001 Toledo

Avda. de España - 45.001 Toledo

DELEGACION SUR-OESTE

Carretera de Badajoz - 17.001 Badajoz

Avda. de España - 17.001 Badajoz

DELEGACION OESTE

Carretera de Salamanca - 37.001 Salamanca

Avda. de España - 37.001 Salamanca

TIPO DE EXPLOSIVO	POTENCIA RELATIVA (%)	DENSIDAD (g/cm ³)	VELOCIDAD DE DETONACIÓN (m/s)
GELATINOSOS			
Goma 1E-D	>90	1.45	6.000
Goma 2E-C	>85	1.40	5.200
PULVERULENTOS			
Amonta 24	>70	1.00	3.000
Ligamta 1	>77	1.10	3.500
ANFOS			
Magolla	>70	0.80	2.000
Alnato	>80	0.80	2.000
Naurta	>70	0.80	2.000
HIDROGELES			
Rigel	>72	1.15	3.500
Riogur R/Riogur F	>72	1.10	3.500/7.000
EMULSIONES			
Riomex E 20/24	>65/>70	1.15	5.000
Riomex V 20/24	>65/>72	1.25	5.000
Riomex V 150/154	>65/>72	1.25	5.000
ANFOS PESADOS			
Emunex 3.000	>75	1.10	3.300
Emunex 6.000/8.000	>65/>70	1.20/1.25	4.500
EXPLOSIVOS DE SEGURIDAD			
Explosivo de seguridad n.º 9	>45	1.60	4.000
Explosivo de seguridad n.º 20 SR	>37	1.15	1.800
Explosivo de seguridad n.º 30 SR	>35	1.10	1.700
Permigel	>54	1.10	2.800

PRINCIPALES APLICACIONES	CALOR DE EXPLOSIÓN (cal/g)	RESISTENCIA AL AGUA
EXPLOSIVOS UEE		
Rocas muy duras a cielo abierto y en interior	1.205	Excelente
Rocas duras a cielo abierto y en interior. Carga de fondo. Barrenos con agua	1.114	Excelente
ANFOS		
Rocas semiduras y blandas	802	Debil
Rocas semiduras y blandas	998	Mala
HIDROGELES		
Rocas blandas y como carga de columna	925	Mala
Rocas blandas y semiduras	1.175	Mala
Barrenos con temperaturas elevadas	1.108	Mala
EMULSIONES		
Carga de fondo. Trabajos subterráneos	713/863	Excelente
Carga de fondo. Trabajos subterráneos	694/869	Excelente
Trabajos subterráneos	655/852	Excelente
ANFOS PESADOS		
Rocas blandas y semiduras, y carga de columna	833	Mala
Barrenos de mediano y gran calibre a cielo abierto	795/744	Buena/excelente
EXPLOSIVOS DE SEGURIDAD		
Explosivo Tipo II. Voladuras en minas	767	Excelente
Explosivo Tipo III. Voladuras en minas	537	Mala
Explosivo Tipo IV. Voladuras en minas	358	Mala
Explosivo Tipo II. Voladuras en minas de carbón	705	Excelente



CARACTERÍSTICAS DE LOS EXPLOSIVOS UEE

DIAMETRO (mm)	LONGITUD (mm)	PESO APROX. (g)	TIPO DE ENCARTUCHADO
22	200	100	
26	200	150	
29	200	300	
32	200	215	
40	240	420	
45	400	850	
Goma 1E-D			
50	450	1.250	
55	390	1.250	
65	530	2.500	
75	400	2.500	
80	440	3.125	
85	520	4.166	
85	620	5.000	
Explosivos para prospecciones sísmicas Goma 2E-C			
50	1.000	1.000	Encartuchado
55	450	1.000	«Jumbo»
65	200	500	en plástico
65	365	1.000	rígido
65	620	2.000	rasgable
Amonita 2-1			
26	200	120	
32	200	175	
Explosivo de seguridad nº 9			
26	200	156	
32	200	220	
Explosivo de seguridad nº 20 SR			
26	200	130	
32	200	200	
Permigel			
26	250	152	
29	250	187	
32	250	227	
Nagolita, Alnato, Naurita			
Sacos de plástico de 25 kg			
A granel			

PESOS Y MEDIDAS DE

DIAMETRO (mm)	LONGITUD (mm)	PESO APROX. (g)	TIPO DE ENCARTUCHADO
55	526	1.000	
65	524	1.390	
75	443	1.565	
85	459	2.083	
125	509	5.000	
Riogel			
26	250	152	
32	250	227	
40	350	521	
45	500	781	
50	500	1.190	
55	500	1.389	
65	535	2.083	
75	500	2.500	
85	500	3.125	
110	500	5.000	
125	535	7.000	
140	540	10.000	
160	500	11.000	
200	380	11.667	
Riogur R			
18	500	250 (*)	Vaina rígida con manguitos de aletas
Riogur F			
17	80 m	250 (*)	
22	60 m	418 (*)	Manguera flexible
Riomex E 20/24			
26	250	155	
32	250	230	
40	350	500	
55	500	1.389	
65	535	2.083	
85	500	3.125	
Riomex V 20/24			
A granel			
Carga mecanizada			
Emunex 3.000			
Emunex 6.000/7.500/8.000			
A granel			
Sacos de plástico de 25 kg ó carga mecanizada			

(*) Pesos indicados por metro lineal de explosivo.



LOS EXPLOSIVOS UEE

GRAMAJE (g/m)	DIÁMETRO EXTERIOR (mm)	RESISTENCIA A TRACCIÓN (kg)	COLOR	LONGITUD DEL CARRETE (m)
RIOCORD 3				
3	3,0	35	Rosa	500
RIOCORD 6				
6	3,3	60	Amarillo	500
RIOCORD 12				
12	4,5	75	Azul	250
RIOCORD 20				
20	6,0	100	Bianco	200
RIOCORD 40				
40	7,4	150	Verde	100
RIOCORD 100				
100	11,5	150	Rojo	50

CORDÓN DETONANTE

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	TIPO DE DETONADOR		
	S RIODET	I RIODET	AI RIODET
Resistencia de puente	1,2-1,6	0,3-0,5	0,03-0,05
Impulso de encendido (mW·s/12)	0,8-3	8-16	1,100-2,500
Corriente de seguridad (A)	0,18	0,45	4
Corriente recomendada de encendido en serie (A)	1,2	2,5	25

DETONADORES ELÉCTRICOS

(*) Se fabrican otras longitudes de tubo bajo pedido.

PRODUCTO	TIEMPO DE RETARDO (ms)	COLOR			LONGITUDES DE TUBO (m)
		SD 450	SD 500	SD 500	
Detonador RIONEL SD	450	500	500	---	4-5-7-15-18-24 (*)
	---	---	---	---	
Conector RIONEL SC	SC 0	0	Bianco	3-5-7 (*)	
	SC 17	17	Rojo		
	SC 25	25	Verde		
	SC 42	42	Amarillo		

DETONADOR	Nº DE PERÍODO	TIEMPO DE RETARDO (ms)	INTERVALO (ms)	LONGITUDES DE TUBO (m)	RIONEL R		
					2-10	50-250	300-750
RIONEL MR	11-20	0	50	25	9-15	1-8	5-7 (*)
					1-8	250-2.000	250
RIONEL R	9-15	0	50	25	9-15	1-8	5-7 (*)
					1-8	250-2.000	250

DETONADORES NO ELÉCTRICOS RIONEL

Retardo (ms)	Color de identificación	Tipo de cordón (g/m)
25	Rojo	12 y 20
15	Rojo	12 y 20
15	Amarillo	12 y 20

RELES DE MICRORETARDO

GRAMAJE (g/m)	DIÁMETRO EXTERIOR (mm)	RESISTENCIA A TRACCIÓN (kg)	COLOR	LONGITUD DEL CARRETE (m)
10	5	100	Bianco con dos hilos verdes	250
6	4	90	Amarillo con un hilo rojo	400
3,6	3,5	90	Rojo con un hilo azul	500

CORDÓN DETONANTE REFORZADO

Resistencia	Muy baja Baja Moderada Media Alta Muy alta
MPa	< 5 5 - 25 25 - 50 50 - 100 100 - 220 > 220

CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS

RESISTENCIA A COMPRESIÓN = 10 - 13 RESISTENCIA A TRACCIÓN

TIPO DE ROCA	DENSIDAD (t/m ³)	EN BANCO (t/m ³)	DENSIDAD SUELTA (t/m ³)	VELOCIDAD SISMICA (m/s)	COMPRESIÓN A RESISTENCIA (MPa)
IGNEAS					
Basalto	2,8 - 3,0	1,87 - 1,69	2,400 - 4,000	35 - 175	
Diabasa	2,6 - 3,0	1,73 - 2,00	5,800 - 7,100	120 - 500	
Diorita	2,8 - 3,0	1,87 - 2,00	4,000 - 5,000	70 - 120	
Gabro	2,8 - 3,0	1,75 - 1,71	6,700 - 7,300	100 - 210	
Granito sano	2,6 - 2,7	1,62 - 1,69	3,000 - 6,000	100 - 275	
METAMÓRFICAS					
Cuarcita	2,6 - 2,8	1,68 - 1,80	5,000 - 6,000	145 - 600	
Gneis sano	2,6 - 2,9	1,73 - 1,93	3,000 - 6,000	70 - 140	
Mármol	2,4 - 2,7	1,50 - 1,69	3,500 - 6,000	80 - 210	
Pizarra metamórfica	2,7 - 2,8	1,80 - 1,87	1,800 - 3,000	70 - 140	
SEDIMENTARIAS					
Anhidrita	2,5 - 2,6	1,47 - 1,53	3,000 - 6,000	30 - 50	
Arcilla	1,8 - 2,1	1,35 - 1,58	1,000 - 2,000	2 - 20	
Caliza	2,3 - 2,7	1,43 - 1,69	1,500 - 6,000	45 - 310	
Carbon	1,1 - 1,6	0,81 - 1,18	900 - 1,500	20 - 50	
Conglomerado	2,5 - 2,6	1,67 - 1,73	1,200 - 4,500	25 - 110	
Dolomita	2,8 - 2,9	1,75 - 1,81	5,000 - 6,000	55 - 310	
Marga	2,4 - 2,6	1,65 - 1,80	1,800 - 3,500	3 - 190	
Pizarra sedimentaria	2,0 - 2,7	1,48 - 2,00	1,200 - 2,100	1 - 35	
Yeso	2,3 - 2,8	1,31 - 1,60	3,000 - 4,000	15 - 45	

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES ROCOSOS

TIPO	COLOR DE HILOS	RESISTENCIA DE PUENTE (t)	IMPULSO DE ENCENDIDO (mWs/D)	CORRIENTE DE SEGURIDAD (A)	RECO-MENDADA INTENSIDAD (A)
Sismico Sensible (SS)	Bianco	1,2 - 1,6	0,8 - 3	0,18	2
Sismico Insensible (SI)	Azul	0,4 - 0,5	8 - 16	0,45	5

DETONADORES SÍSMICOS

Capacidad máxima autorizada	Tipo anclaje	MINIPOLV A	MINIPOLV B	MINIPOLV D
50 kg	Desmontable o fijo	500 deton.	500 deton.	500 deton.
500 kg	Desmontable o fijo	500 deton.	500 deton.	500 deton.

DEPÓSITOS AUXILIARES BLINDADOS

TIPO	PESO APROXIMADO (g)	DIÁMETRO EXTERIOR (mm)	LONGITUD (mm)
450	450	58	120
400	400	58	108
250	250	46	114
150	150	36	114
150P	150	36	114

MULTIPLICADORES DE PENTOLITA

Presentación Rollos de 100 m
 Iniciación Inflamador o centilla
 Tiempo de combustión 120 s/m ± 10%

MECHA LENTA

Textura Granular
 Presentación Bolsas de papel de 2,5 kg
 Iniciación Mecha lenta o inflamador eléctrico

PÓLVORA NEGRA

CONCENTRACIONES LINEALES DE CARGA (kg/m)

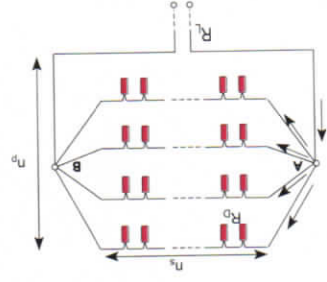
DIAMETRO DEL BARRENO	DENSIDAD DEL EXPLOSIVO (g/cm ³)
PULGADAS	mm

1.5	1.45	1.4	1.35	1.3	1.25	1.2	1.15	1.1	1.05	1	0.95	0.9	0.85	0.82	0.8
7/8	22.2	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.4	0.41	0.42	0.43	0.44
1	25.4	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49	0.5	0.51	0.52	0.53	0.54
1 1/4	31.8	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.81	0.83	0.85	0.87	0.89
1 1/2	38.1	0.91	0.93	0.95	0.97	0.99	1.01	1.03	1.05	1.07	1.09	1.11	1.13	1.15	1.17
1 3/4	44.5	1.24	1.27	1.3	1.33	1.36	1.39	1.42	1.45	1.48	1.51	1.54	1.57	1.6	1.63
2	50.8	1.62	1.66	1.7	1.74	1.78	1.82	1.86	1.9	1.94	1.98	2.02	2.06	2.1	2.14
2 1/2	63.5	2.53	2.6	2.67	2.74	2.81	2.88	2.95	3.02	3.09	3.16	3.23	3.3	3.37	3.44
2 3/4	69.9	3.07	3.14	3.21	3.28	3.35	3.42	3.49	3.56	3.63	3.7	3.77	3.84	3.91	3.98
3	76.2	3.65	3.74	3.83	3.92	4.01	4.1	4.19	4.28	4.37	4.46	4.55	4.64	4.73	4.82
3 1/2	88.9	4.97	5.09	5.22	5.35	5.48	5.61	5.74	5.87	6.0	6.13	6.26	6.39	6.52	6.65
4	101.6	6.49	6.65	6.81	6.97	7.13	7.29	7.45	7.61	7.77	7.93	8.09	8.25	8.41	8.57
4 1/2	114.3	8.21	8.41	8.61	8.81	9.01	9.21	9.41	9.61	9.81	10.01	10.21	10.41	10.61	10.81
4 3/4	120.7	9.15	9.37	9.59	9.81	10.03	10.25	10.47	10.69	10.91	11.13	11.35	11.57	11.79	12.01
5	127.0	10.13	10.39	10.65	10.91	11.17	11.43	11.69	11.95	12.21	12.47	12.73	12.99	13.25	13.51
5 1/2	139.7	12.26	12.57	12.88	13.19	13.5	13.81	14.12	14.43	14.74	15.05	15.36	15.67	15.98	16.29
5 3/4	146.1	13.40	13.74	14.08	14.42	14.76	15.1	15.44	15.78	16.12	16.46	16.8	17.14	17.48	17.82
6	152.4	14.59	14.96	15.33	15.7	16.07	16.44	16.81	17.18	17.55	17.92	18.29	18.66	19.03	19.4
6 1/2	165.1	17.13	17.55	18.0	18.45	18.9	19.35	19.8	20.25	20.7	21.15	21.6	22.05	22.5	23.0
6 3/4	171.5	18.47	18.93	19.4	19.85	20.3	20.75	21.2	21.65	22.1	22.55	23.0	23.45	23.9	24.35
7	177.8	19.86	20.37	20.88	21.4	21.9	22.4	22.9	23.4	23.9	24.4	24.9	25.4	25.9	26.4
7 1/2	190.5	22.80	23.37	23.94	24.51	25.08	25.65	26.22	26.79	27.36	27.93	28.5	29.07	29.64	30.21
7 3/4	196.9	24.35	24.96	25.57	26.18	26.79	27.4	28.0	28.6	29.2	29.8	30.4	31.0	31.6	32.2
8	203.2	25.94	26.59	27.2	27.85	28.5	29.15	29.8	30.45	31.1	31.75	32.4	33.05	33.7	34.35
8 1/2	215.9	29.29	30.02	30.75	31.48	32.2	32.95	33.7	34.45	35.2	35.95	36.7	37.45	38.2	38.95
8 3/4	228.6	32.83	33.66	34.49	35.32	36.15	36.98	37.81	38.64	39.47	40.3	41.15	42.0	42.85	43.7
9	228.6	32.83	33.66	34.49	35.32	36.15	36.98	37.81	38.64	39.47	40.3	41.15	42.0	42.85	43.7
9 1/2	241.3	36.58	37.5	38.4	39.3	40.2	41.1	42.0	42.9	43.8	44.7	45.6	46.5	47.4	48.3
9 3/4	247.7	38.54	39.5	40.5	41.5	42.5	43.5	44.5	45.5	46.5	47.5	48.5	49.5	50.5	51.5
10	254.0	40.54	41.55	42.56	43.57	44.58	45.59	46.6	47.61	48.62	49.63	50.64	51.65	52.66	53.67
10 1/2	266.7	44.69	45.81	46.92	48.03	49.14	50.25	51.36	52.47	53.58	54.69	55.8	56.91	58.02	59.13
10 3/4	273.1	46.85	48.02	49.17	50.32	51.47	52.62	53.77	54.92	56.07	57.22	58.37	59.52	60.67	61.82
11	279.4	49.05	50.28	51.51	52.74	53.97	55.2	56.43	57.66	58.89	60.12	61.35	62.58	63.81	65.04
11 1/2	292.1	53.61	54.95	56.29	57.62	58.95	60.28	61.61	62.94	64.27	65.6	66.93	68.26	69.59	70.92
11 3/4	304.8	58.37	59.83	61.28	62.73	64.18	65.63	67.08	68.53	69.98	71.43	72.88	74.33	75.78	77.23
12	304.8	58.37	59.83	61.28	62.73	64.18	65.63	67.08	68.53	69.98	71.43	72.88	74.33	75.78	77.23
12 1/2	317.5	63.34	64.92	66.49	68.07	69.64	71.22	72.79	74.37	75.94	77.52	79.09	80.67	82.24	83.82
13	330.2	68.51	70.22	71.93	73.64	75.35	77.06	78.77	80.48	82.19	83.9	85.61	87.32	89.03	90.74
14	355.6	79.45	81.44	83.43	85.42	87.41	89.4	91.43	93.42	95.41	97.4	99.39	101.38	103.37	105.36
15	381.0	91.21	93.49	95.77	98.05	100.33	102.61	104.89	107.17	109.45	111.73	114.01	116.29	118.57	120.85
16	406.4	103.77	106.37	108.97	111.57	114.17	116.77	119.37	121.97	124.57	127.17	129.77	132.37	134.97	137.57

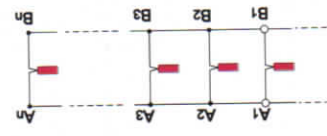
n_s = Número de detonadores en serie.
 n_p = Número de series en paralelo.

donde:

En serie-paralelo
 $R_t = R_L + \frac{R_p}{n}$



En paralelo
 $R_t = R_L + R_p$

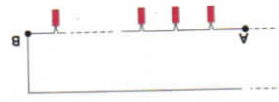


R_L = Resistencia de la línea de tiro (Ω).
 R_p = Resistencia del puente del detonador (Ω).
 n = Número de detonadores.
 m = Metraje de los hilos del detonador (m).
 r = Resistencia por metro lineal de hilo. Para cobre de 0,6 mm de diámetro el valor es 0,065 Ω/m .
 R_D = Resistencia total del detonador (Ω).

donde:

$$R_t = R_L + n(R_p + 2 m \times r) = R_L + n \times R_D$$

La resistencia total del circuito «R_t» es:



En serie

Los detonadores eléctricos se conectan entre sí formando un circuito que se une a la fuente de energía por medio de la línea de tiro. Los tipos de conexión que son posibles realizar son:

RESISTENCIA DE UN CIRCUITO ELÉCTRICO

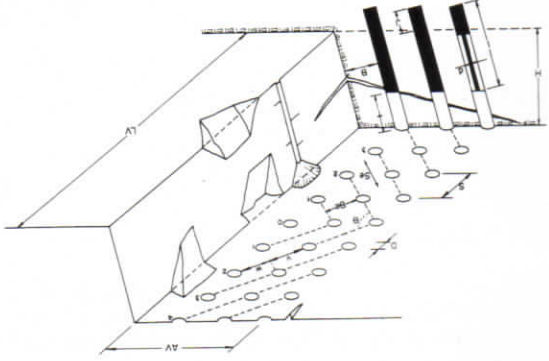
DISEÑO DE VOLADURAS DE CONTORNO

● **ESPACIAMIENTO ENTRE BARENOS**
 Recorte
 $S = 8 \text{ a } 12 D$
 $S = 13 \text{ a } 16 D$

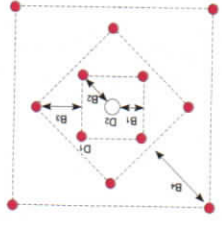
● **CONCENTRACIÓN LINEAL DE CARGA**
 $q_l \text{ (g/m)} = \frac{D_z \text{ (mm)}}{120}$

- PIEDRA = 30 a 40 D
- ESPACIAMIENTO = 1 a 1,6 B
- ALTURA MINIMA DE BANCO = 2 B
- SOBREPERFORACIÓN = 10 a 12 D
- LONGITUD CARGA DE FONDO = 30 a 40 D
- RETACADO = 25 a 35 D
- RETACADOS INTERMEDIOS = 6 D Barenos secos
- 12 D Barenos con agua

- | | | | |
|------|-------------------------|------------------|------------------------|
| H = | Altura de banco | B ₁ | Piedra efectiva |
| D = | Diámetro del barreno | S ₁ | Espaciamiento efectivo |
| L = | Longitud del barreno | T = | Retacado |
| d = | Diámetro de la carga | J = | Sobrerperforación |
| B = | Piedra nominal | I = | Longitud de carga |
| S = | Espaciamiento nominal | θ = | Angulo de salida |
| LV = | Longitud de la voladura | v/w = | Grado de equilibrio |
| AV = | Anchura de la voladura | t _r = | Tiempo de retardo |



DISEÑO DE VOLADURAS EN BANCO



- **CUELE DE BARENOS PARALELOS, TIPO CUATRO SECCIONES**
 1 - 2 m² Barenos de pequeño diámetro
 2 - 4 m² Barenos de gran diámetro
- **SUPERFICIE DEL AREA DE CUELE**
 CE (kg/m³) = 7,85 • A^{0,45} Barenos de pequeño diámetro
 CE (kg/m³) = 8 • A^{0,45} Barenos de gran diámetro
- **CONSUMO ESPECIFICO DE EXPLOSIVO**
 N = 13 • A^{0,5} Barenos de pequeño diámetro
 N = 10 • A^{0,47} Barenos de gran diámetro
- **NÚMERO DE BARENOS**
 < 10 27 - 40
 10 - 30 35 - 45
 38 - 51 38 - 51
 > 30 > 30
- **DIÁMETROS PERFORACIÓN (mm) - SECCIÓN A (m²)**



DISEÑO DE VOLADURAS EN TÚNELES

● **ZONAS DE UNA VOLADURA EN TÚNEL**

B = Piedra.
 S = Espaciamiento.
 l_i = Longitud de la carga de fondo.
 q_f = Concentración de carga de fondo.
 q_c = Concentración de carga de columna.
 T = Retacado.

ZONA	B	S	l _i	q _f	q _c	T
Piso	B	1,1 B	L/3	q _f	q _f	0,2 B
Hastales	0,9 B	1,1 B	L/6	q _f	0,4 q _f	0,5 B
Techo	0,9 B	1,1 B	L/6	q _f	0,36 q _f	0,5 B
Destroza	B	1,1 B	L/3	q _f	0,5 q _f	0,5 B
Hacia arriba	B	1,1 B	L/3	q _f	0,5 q _f	0,5 B
Horizontal	B	1,1 B	L/3	q _f	0,5 q _f	0,5 B
Hacia abajo	B	1,2 B	L/3	q _f	0,5 q _f	0,5 B

● **DISEÑO DEL ESQUEMA DE VOLADURA**

SECCIÓN DEL CUELE	VALOR DE LA PIEDRA	LADO DE LA SECCIÓN
Primera	$B_1 = 1,5 \times D_2$	$B_1 \times \sqrt{2}$
Segunda	$B_2 = B_1 \times \sqrt{2}$	$1,5 B_2 \times \sqrt{2}$
Tercera	$B_3 = B_2 \times \sqrt{2}$	$1,5 B_3 \times \sqrt{2}$
Cuarta	$B_4 = B_3 \times \sqrt{2}$	$1,5 B_4 \times \sqrt{2}$

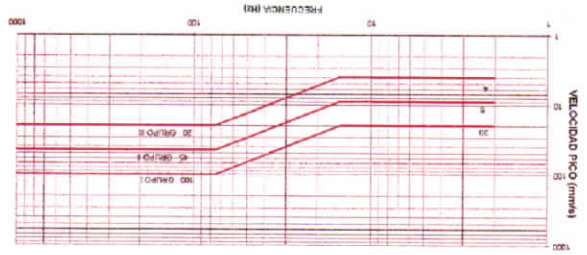
$D_2 = D_1 \times \sqrt{NB}$

D_2 = Diámetro del barreno vacío. En cueles con varios taladros sin cargar, NB, de diámetro D_2 se cumple:

Cuando el nivel está dado en desplazamientos, se puede calcular la velocidad equivalente conociendo la frecuencia principal, considerando un movimiento ondulatorio ideal de tipo sinusoidal:

$$v = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot d$$

Criterios de prevención de daños.



TIPO DE ESTRUCTURA	FRECUENCIAS PRINCIPALES (Hz)		
	2-15	15-75	> 75
I	20	0,212	100
II	9	0,095	45
III	4	0,042	20
	Velocidad (mm/s)	Desplazamiento (mm)	Velocidad (mm/s)

En la norma UNE 22-381-93 se distinguen los siguientes tipos de estructuras:

Grupo I. Edificios y naves industriales ligeras con estructuras de hormigón armado o metálicas.

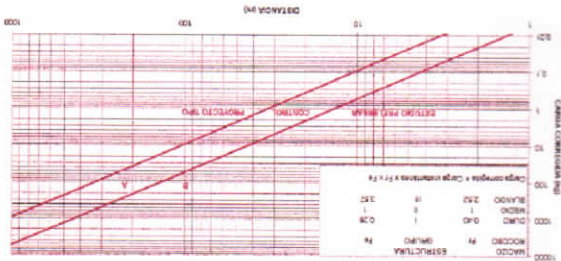
Grupo II. Edificios de viviendas, oficinas, centros comerciales y de recreo, cumpliendo la normativa legal vigente. Edificios y estructuras de valor arqueológico, arquitectónico o histórico que por su fortaleza no presenten especial sensibilidad a las vibraciones.

Grupo III. Estructuras de valor arqueológico, arquitectónico o histórico que presenten una especial sensibilidad a las vibraciones por ellas mismas o por elementos que pudieran contener.

Los umbrales de perturbación se establecen en función de la frecuencia principal de vibración y tipo de estructura a proteger. En ambos casos se refiere al valor pico de la mayor componente de la velocidad de vibración medida en el terreno.

NORMA UNE DE VIBRACIONES

Selección del tipo de estudio.



Con el valor de Q_c y la distancia existente entre la voladura y la estructura a proteger se entra en la figura siguiente, determinando se el tipo de estudio.

TIPO DE ESTRUCTURA	FACTOR F_p
I	0,28
II	1
III	3,57

$$Q_c = F_p \cdot F_s \cdot Q$$

A continuación se determina la carga máxima operante de explosivos que se prevé detonar, es decir, la suma de todas las cargas detonadas con el mismo número de detonador o retardo, entre números inferiores a 8 ms. El valor obtenido se corrige con el Factor de Macizo Rocoso « F_p », y el Factor de Estructura « F_s »:

CLASE DE FORMACION	VELOCIDAD SISMICA (m/s)	FACTOR F_p
DURA	> 4.000	0,40
MEDIA	2.000 - 4.000	1
BLANDA	< 2.000	2,52

En el tipo de estudio a realizar hay que considerar las características del macizo rocoso sobre el cual está cimentada la estructura a proteger.

donde:

v = Velocidad de partícula equivalente (mm/s).

f = Frecuencia principal (Hz).

d = Desplazamiento admisible indicado en la tabla (mm).

FÓRMULAS DE INTERÉS

• **CONCENTRACIÓN LINEAL DE CARGA**

$$q \text{ (g/m)} = 78,54 \cdot p_a \cdot D^2$$

$p_a \text{ (g/cm}^3\text{)} = \text{Densidad del explosivo}$
 $D \text{ (mm)} = \text{Diámetro del barreno}$

• **PRESIÓN DE DETONACIÓN**

$$PD \text{ (kPa)} = 0,25 \cdot p_a \cdot VD^2$$

$VD \text{ (m/s)} = \text{Velocidad de detonación}$

• **PRESIÓN DE BARENNO EFECTIVA**

$$PB_e = 0,5 \cdot PD \cdot \left(\sqrt{\frac{D}{d}} \right)^{2,4}$$

$d = \text{Diámetro de la carga}$
 $D = \text{Diámetro del barreno}$
 $C = \text{Cociente de longitud de carga y barreno}$

$PB_e \text{ (MPa)} = \text{Resistencia a la tracción de barreno efectiva}$

• **ESPACIAMIENTO ENTRE BARENOS EN VOLADURAS DE CONTORNO**

$$S \leq \frac{RT}{D \cdot (PB_e + RT)}$$

$RT \text{ (MPa)} = \text{Resistencia a la tracción de barreno efectiva}$

• **TIEMPOS DE RETARDO ENTRE BARENOS, CIELO ABIERTO**

$$TRB = 4 - 8 \text{ ms/m PIEDRA}$$

• **TIEMPOS DE RETARDO ENTRE FILAS, CIELO ABIERTO**

$$TRF = 2 - 3 \text{ TRB}$$

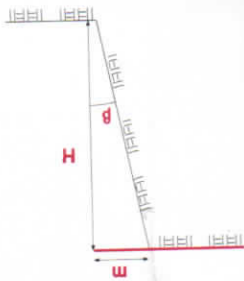
• **VELOCIDAD CRÍTICA DE VIBRACIÓN DE LAS ROCAS**

$$V_{crit} \text{ (m/m/s)} = \frac{RT}{p_r \cdot VC}$$

$RT = \text{Resistencia a la tracción (Pa)}$
 $p_r = \text{Densidad de la roca (t/m}^3\text{)}$
 $VC = \text{Velocidad de propagación de las ondas longitudinales (m/s)}$

ÁNGULO DE CARA DE BANCO

$H = \text{Altura de banco (m)}$
 $\beta = \text{Ángulo de cara de banco (}^\circ\text{)}$
 $m = \text{Longitud de pértiga en voladizo (m)}$



$$\beta = \arctan \frac{H}{m}$$

$$m = H \cdot \tan \beta$$

$$H = \frac{m}{\tan \beta}$$

β	H	5°	10°	15°	20°	25°	30°	34°	40°	45°
5,0	4,2	3,5	2,8	2,2	1,8	1,3	0,9	0,4	0,5	0,6
6,0	5,0	4,2	3,5	2,8	2,2	1,6	1,1	0,7	0,8	1,0
8,0	6,7	5,6	4,7	3,7	2,9	2,1	1,4	0,9	1,0	1,2
10,0	8,4	7,0	5,8	4,4	3,6	2,7	1,8	1,1	1,2	1,4
12,0	10,1	8,4	6,9	5,1	4,4	3,2	2,1	1,3	1,4	1,6
14,0	11,8	10,1	8,4	6,5	5,1	3,7	2,5	1,5	1,6	1,8
15,0	12,6	10,5	8,7	7,0	5,5	4,0	2,6	1,6	1,7	1,9
16,0	13,4	11,2	9,2	7,5	5,8	4,3	2,8	1,7	1,8	2,0
18,0	15,1	12,6	10,4	8,4	6,6	4,8	3,2	1,9	2,0	2,2
20,0	16,8	14,0	11,6	9,3	7,3	5,4	3,5	2,1	2,2	2,4
22,0	18,5	15,4	12,7	10,3	8,0	5,9	3,9	2,3	2,4	2,6
24,0	20,1	16,8	13,9	11,2	8,7	6,4	4,2	2,5	2,6	2,8
25,0	21,0	17,5	14,4	11,7	9,1	6,7	4,4	2,6	2,7	2,9
27,0	22,7	18,9	15,6	12,6	9,8	7,2	4,8	2,8	2,9	3,0
30,0	25,2	21,0	17,3	14,0	10,9	8,0	5,3	3,0	3,1	3,2