

EXPLOSIVOS MODERNOS.

Ing. Agustín Alfonso Posada¹, Tec. Alejandro Alexis Peralta Morales¹

1. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Autopista Matanzas-Varadero km 3 y 1/2, Matanzas, Cuba.

RESUMEN.

El artículo Voladuras con Explosivos está formado por varias partes, ya tratamos las maquinarias que se utilizan para demoler rocas, los principales tipos de explosivos, las cargas explosivas, los métodos y medios de explosión, voladuras en tierra y rocas y las reglas de seguridad que hay que observar en los trabajos de voladuras. Nos quedaría el tema de los explosivos modernos utilizados en Cuba y en otros países, desarrollaremos en esta monografía, los explosivos utilizados por la Unión Latinoamericana de Explosivos en Cuba y el Centra Gold, utilizado por la empresa mejicana INCASA. De esta forma se comienza a desarrollar el último tema, los explosivos modernos, que se irá enriqueciendo según se vayan desarrollando los mismos. Con esta monografía damos un paso más en la integración de los contenidos referentes a esta materia, que generalmente se encuentran dispersos en distintas fuentes, enriquecidos por la experiencia de los autores.

Palabras claves: *Rocas, voladuras; explosivos modernos; maquinarias, gel.*

INTRODUCCIÓN.

Luego de trabajar por más de 37 años la ingeniería civil y tener la oportunidad de hacerlo en obras relevantes, entre las que podemos mencionar la remodelación del Ferrocarril Central La Habana-Santiago de Cuba, en los tramos Matanzas-Limonar y Mocha-Aguacate; la construcción del Aeropuerto Internacional de Point Salines en la Isla de Granada y el Viaducto de la Bahía de Matanzas, donde se realizaron en total mas de 2 millones de m³ de excavación en roca con explosivos, hemos podido percibir que no contamos con una documentación que recoja todo lo referente a la voladura con explosivos, por lo que reestudiamos la bibliografía existente, que unida a la experiencia adquirida en años de trabajo, permite elaborar varios artículos a razón de lograr un compendio sobre esta temática, recurso tan necesitado por los ingenieros en las obras y los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil, que aún estando lejos de recopilar toda la documentación existente, mejora la documentación con que contamos.

A este respecto es entonces el objetivo de esta monografía “barrenar el cerebro” de los ingenieros y estudiantes de 4to año de Ingeniería Civil, introducir en ellos el “explosivo” de los conocimientos y lograr la “explosión” que les permita aplicarlos en las obras y contar con una documentación que les permita aclarar sus dudas cuando lo necesiten al afrontar los casos que se les presenten al respecto.

El tema general a tratar es: **EXPLOSIVOS MODERNOS.**

Antes de hablar de explosivos modernos utilizados en Cuba y en otros países, para su correcta comprensión, debemos estudiar primero lo referente a explosivos, lo cual está recogido en las monografías No 1, No 2 y No 3, que trata los temas de los equipos rompedores y barrenadores, (donde se introducen los explosivos), los explosivos utilizados anteriormente, las cargas explosivas, los métodos y medios de explosión, las técnicas de voladuras, las voladuras con explosivos, voladuras en tierra y rocas, y las reglas de seguridad que hay que observar en los trabajos de voladuras.

DESARROLLO.

EXPLOSIVOS MODERNOS

I.- Explosivos modernos utilizados actualmente en Cuba por la Unión Latinoamericana de Explosivos (ULAEX-SA).

A continuación daremos a conocer algunos aspectos fundamentales, que desarrollaremos en el siguiente orden:

1. Explosivos
2. Parámetros fundamentales de un banco.
3. Kilogramos de explosivos por metro lineal de barreno. (Tabla No 1).
4. Tipos de rocas.
5. Cálculo de consumo de material explosivo e iniciadores.
6. Cálculo de voladuras. Reglas prácticas.
7. Cebado de cargas explosivas.
8. Energía explosiva.
9. Efecto de la onda aérea.
10. Efecto de las ondas sísmicas.

Explosivos.

Entre los explosivos utilizados por la ULAEX-SA tenemos:

1. El Tectron 100.
2. El Tectron 300.
3. Los Boster multiplicadores.
4. El Anfex 100.

Propiedades de los explosivos:

Explosivos.

TECTRON – 100. (Emulsión encartuchada).

Diáme - tro (mm.)	Longi- tud (mm.)	Peso por cartucho (g)	Densi- dad (g/cm ³)	Cartu- chos por cajas (u)	Peso por caja (Kg)	Velocidad de detona- ción (m/seg)	Energía AWS (Kcal/kg)	Presión de detona- ción (Kbar)	Resisten- cia al agua	Clases de gases	Vida en meses
26	250	155	1.15	160	25	4200	740	48	Excelente	1	15
32	250	227	1.15	110	25	4400	740	52	Excelente	1	15
32	500	455	1.15	55	25	4400	740	52	Excelente	1	15
55	500	1389	1.15	18	25	5200	740	73	Excelente	1	15
65	530	2083	1.15	12	25	5400	740	79	Excelente	1	15
85	500	3125	1.15	8	25	6000	740	97	Excelente	1	15
100	460	4167	1.15	6	25	6200	740	104	Excelente	1	15
115	520	6250	1.15	4	25	6300	740	107	Excelente	1	15

TECTRON – 300. (Emulsión en bolsa).

A granel en cajas	1.20	-	25	5100 ⁽¹⁾	740	-	Excelente	1	15
-------------------	------	---	----	---------------------	-----	---	-----------	---	----

Boster-Multiplicadores.

Diámetro (mm.)	Longitud (mm.)	Peso por cartucho (g)	Densidad (g/cm ³)	Cartuchos por cajas (u)	Peso por cajas (Kg)	Velocidad de detonación (m/seg)	Energía AWS (Kcal/kg)	Presión de detonación (Kbar)	Resistencia al agua	Clases de gases	Vida en meses
36	120	150	1.60	152	23	7500	1009	178	Excelente	-	-
45	130	250	1.60	90	23	7500	1009	178	Excelente	-	-
58	120	450	1.60	56	25	7500	1009	178	Excelente	-	-

ANFEX -100. (Agente explosivo).

A granel en sacos	0.95	-	25	3200	825	25	Mala	1	15
-------------------	------	---	----	------	-----	----	------	---	----

(1) Confinado en tubos de acero, diámetro 50 mm.

Como materiales accesorios, se utilizan:

1. Detonadores no eléctricos. (TECNEL), con retardos.
2. Conectores de superficies tipo TECNEL con retardos.
3. Sistema TEC "S" Detonador con conector con retardos.
4. El cordón detonante tipo "tec Cord".
5. Detonadores Eléctricos TEC.
6. Mecha para Minas.
7. Detonador a Mecha.

A continuación detallaremos aspectos de los mismos.

Detonadores no eléctricos. (TECNEL).

Series de retardos.

Serie " MS" (Periodo corto)		Serie " LP" (Periodo largo)	
Número de retardo	Tiempo (milisegundo)	Número de retardo	Tiempo (milisegundo)
0	0	1	200
1	25	2	400
2	50	3	600
3	75	4	1000
4	100	5	1400
5	125	6	1900
6	150	7	2450
7	175	8	3100
8	200	9	3850
9	250	10	4650
10	300	11	5500
11	350	12	6450
12	400	13	7450
13	450	14	9600
14	500	15	-
15	600	-	-
16	700	-	-
17	800	-	-
18	900	-	-
19	1000	-	-
20	1100	-	-
Tubo trasmisor: Naranja		Tubo trasmisor: Amarillo	

Tabla de Tecneles por caja

Longitud del tubo	Unidades por cajas	Longitud del tubo	Unidades por cajas
2.4 m	250	7.3 m	100
3.6 m	200	10.9 m	70
4.2 m	200	12.2 m	60
4.8 m	180	15.2 m	50
6.1 m	130	30.0 m	30

Se pueden producir por la fábrica otras longitudes a pedido.

Conectores de superficies tipo TECNEL.

Tabla de retardos.

No.	Tiempo (milisegundos)	Color
1	0	Violeta
2	9	Violeta (e)
3	17	Verde
4	25	Rojo
5	35	Amarillo
6	42	Negro
7	50	Negro (e)
8	65	Naranja
9	100	Azul (e)
10	130	Azul
11	300	Verde

(e) Los conectores llevan etiquetas de retardo y pueden ser unidireccionales o bidireccionales.

Tipos de conectores

1. TECNEL Unidireccional
2. TECNEL Bidireccional

Sistema TEC "S" Detonador con conector.

Tabla de retardos.

Extremo con Tecnel		Extremo con Conector	
No de retardo	Tiempo (ms)	Retardo (ms)	Color del conector
1	25	9	Violeta
2	50	17	Verde
3	75	25	Rojo
4	100	35	Amarillo
5	125	42	Negro
6	150	50	Negro (e)
7	175	65	Naranja
8	200	100	Azul (e)
9	250	130	Azul
10	300	300	verde
11	350		
12	400		
13	450		
14	500		
15	600		
16	700		

e) Los conectores llevan etiquetas de retardo. Otros retardos se fabrican a pedido.

Cordón Detonante "TEC CORD"

Tipo normal	Color revestimiento	Diámetro aproximado (mm)	Núcleo (g/m)	Resistencia a tracción (kg/cm ²)	Velocidad de detonación (m/seg)	Cantidad por caja (m)
TEC CORD 1.5	Naranja	3.2	2.0	80	Mayor 6000	3000
TEC CORD 3	Verde F.	3.3	3.2	90	Mayor 6500	2000
TEC CORD 5	Rojo F.	4.2	5.3	95	Mayor 6500	1500
TEC CORD 8	Rojo F.	4.8	8.5	100	Mayor 6500	1200
TEC CORD 10	Celeste F.	5.2	10.6	100	Mayor 6500	1000
TEC CORD 20	Verde	6.2	20.0	100	Mayor 6500	500
TEC CORD 30	Celeste	7.0	30.0	100	Mayor 6500	500
TEC CORD 40	Rojo.	8.2	40.0	100	Mayor 6500	400

F.: Fluorescente.

También se dispone de cordón TEC CORD reforzado de 3.5 y 10 g/m.

Detonadores Eléctricos TEC.

Características			
Características eléctricas	Sensibilidad normal	insensible	Altamente insensible
Resistencia del filamento (ohm)	1.05 + 0.1	0.30 + 0.02	0.053 + 0.004
Energía mínima de inicio (mj/ohm)	1 – 3	20 – 50	1300 – 2500
Corriente máxima de no detonación (A)	0.25 (5 minutos)	0.85 (5 minutos)	3.0 (2 minutos)
Corriente mínima de detonación (A)	0.5	1.5	6.0 (300 ms)
Corriente continua	1.5	3	10
Corriente alterna	-	5	15

Especificaciones Técnicas	
Resistencia a la presión hidrostática (3.5 kg/cm ²)	4 horas
Insensibilidad al impacto (2 kg desde 90 cm)	No detona
Carga primaria PRIMTEC ^{mr}	220 mg
Carga secundaria PETN	750 mg
Resistencia a la tracción del alambre de cobre	29 kg/mm
Resistencia a la tracción del alambre de hierro	43 kg/mm
Longitud cápsula metálica	50 – 85 mm
Resistencia del alambre de cobre de 0.51 mm de diámetro (24 AWG)	0.0878 ohm/m

Tiempo de retardo entre números.

Detonador milisegundo		Detonador medio segundo	
No 1 al 8	25 ms	No 1 al 10	0.5 seg.
No 9 al 14	50 ms	No 11 al 13	1.0 seg.

Código de colores de identificación de alambres conductores en los detonadores eléctricos TEC^{mr}.

Tipo de detonador	Sensibilidad eléctrica			Tiempo de iniciación aproximado
	Normal	Insensible	Altamente insensible	
Milisegundo	Rojo-Blanco	Rojo-Amarillo	Rojo-Celeste	-
Medio segundo	Negro-Blanco	Negro-Amarillo	Negro-Celeste	-
Instantáneo	Verde-Blanco	Verde-Amarillo	Verde-Celeste	5 ms
Sísmico	Amarillo	Negro-Verde	-	Menos 1 ms

Unidades por Embalaje

Largo (metros)	Unidades/bolsa	Unidades caja interior	Unidades caja exterior	
			Bolsa	caja
0.61	250	-	2000	-
1.00	150	-	1200	-
1.50	150	-	1200	-
2.00	100	50	800	500
2.50	-	50	-	500
3.00	100	50	800	500
3.50	-	50	-	500
4.00	80	40	640	400
5.00	50	30	400	300
6.00	50	-	400	-
8.00	40	-	320	-

Detonador a Mecha.

Especificaciones técnicas	
Potencia	No 8
Longitud (mm)	45 ± 0.5
Diámetro externo (mm)	7.25 ± 0.25
Diámetro interno (mm)	6.5
Resistencia al impacto (2 kg. desde 90 cm de altura)	No detona
Carga explosiva (mg)	220 ± 20
Primaria (MFD) (mg)	750 ± 20
Secundaria (PETN) (mg)	

Unidades	Embalajes	Peso neto (g)	Peso bruto (g)
100	Interior	200	292
6000	Exterior	12000	23600

Una vez conocidos los explosivos fundamentales utilizados en Cuba por ULAEX-SA y sus accesorios, pasaremos a ver como se realizan los cálculos para proceder a una voladura adecuada.

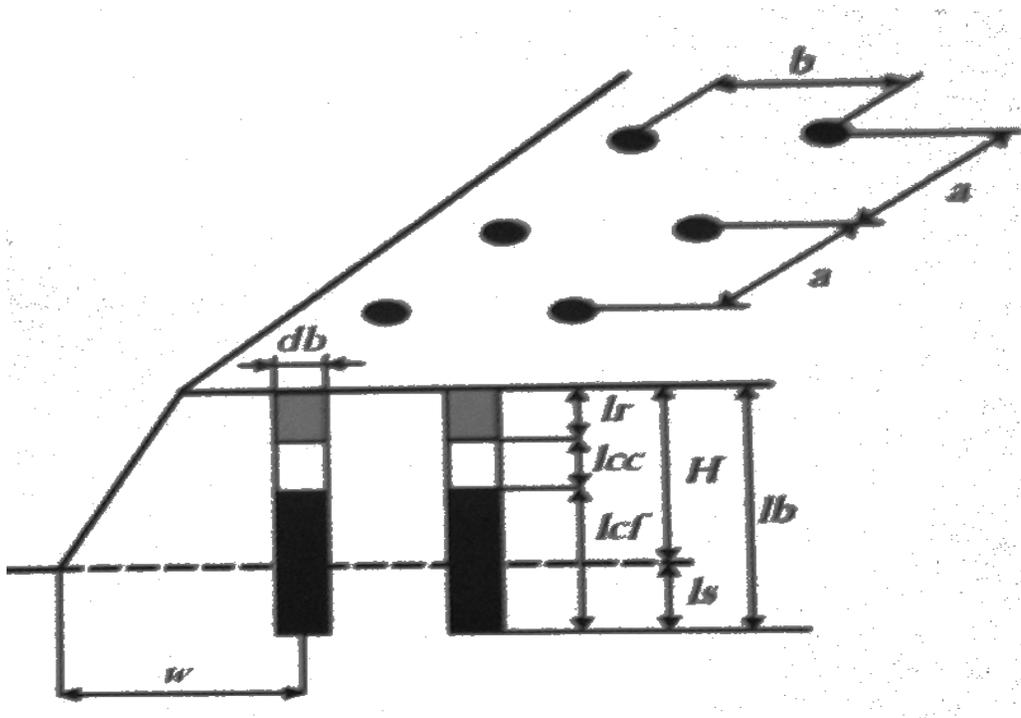


Figura 1. Parámetros Fundamentales de un Banco

db. Diámetro del barreno

w: Línea de menor resistencia (bordo)

a: Espaciamiento

b: Distancia entre filas de barrenos

lr: Longitud de atraque (taco)

H: altura del banco

lb: longitud del barreno

ls: Longitud de sobreperforación (sub barrenado)

lcc: Longitud de la carga de columna

lcf: longitud de carga de fondo

Tabla No 1

Kilogramos de Explosivos por metro lineal de barreno.

<u>Diámetro.</u> <u>Barrenos.</u> <u>(mm).</u>	Densidades (g/cm ²).													
	0.50	0.80	0.85	0.90	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.40	1.50	1.60
26	0.27	0.42	0.45	0.48	0.53	0.56	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.74	0.80	0.85
30	0.35	0.57	0.60	0.64	0.71	0.74	0.78	0.81	0.85	0.88	0.92	0.99	1.06	1.13
32	0.40	0.64	0.68	0.72	0.80	0.84	0.88	0.92	0.97	1.01	1.05	1.13	1.21	1.29
36	0.51	0.81	0.87	0.92	1.02	1.07	1.12	1.17	1.22	1.27	1.32	1.43	1.53	1.63
38	0.57	0.91	0.96	1.02	1.13	1.19	1.25	1.30	1.36	1.42	1.47	1.59	1.70	1.81
40	0.63	1.01	1.07	1.13	1.26	1.32	1.38	1.45	1.51	1.57	1.63	1.76	1.88	2.01
42	0.69	1.11	1.18	1.25	1.39	1.45	1.52	1.59	1.66	1.73	1.80	1.94	2.08	2.22
50	0.98	1.57	1.67	1.77	1.96	2.06	2.16	2.26	2.36	2.45	2.55	2.75	2.95	3.14

<u>Diámetro. Barrenos.</u> (mm).	Densidades (g/cm ²).													
55	1.19	1.90	2.02	2.14	2.38	2.49	2.61	2.73	2.85	2.97	3.09	3.33	3.56	3.80
60	1.41	2.26	2.40	2.54	2.83	2.97	3.11	3.25	3.39	3.53	3.68	3.96	4.24	4.52
65	1.66	2.65	2.82	2.99	3.32	3.48	3.65	3.82	3.98	4.15	4.31	4.65	4.98	5.31
70	1.92	3.08	3.27	3.46	3.85	4.04	4.23	4.43	4.62	4.81	5.00	5.39	5.77	6.16
75	2.21	3.53	3.76	3.98	4.42	4.64	4.86	5.08	5.30	5.52	5.74	6.19	6.63	7.07
80	2.51	4.02	4.27	4.52	5.03	5.28	5.53	5.78	6.03	6.28	6.53	7.04	7.54	8.04
85	2.84	4.54	4.82	5.11	5.67	5.96	6.24	6.53	6.81	7.09	7.38	7.94	8.51	9.08
90	3.18	5.09	5.41	5.73	6.36	6.68	7.00	7.32	7.63	7.95	8.27	8.91	9.54	10.18
95	3.54	5.67	6.02	6.38	7.09	7.44	7.80	8.15	8.51	8.86	9.21	9.92	10.63	11.34
100	3.93	6.28	6.68	7.07	7.85	8.25	8.64	9.03	9.42	9.82	10.21	11.00	11.78	12.57
105	4.33	6.93	7.36	7.79	8.66	9.09	9.52	9.96	10.39	10.82	11.26	12.12	12.99	13.85

<u>Diámetro. Barrenos.</u> (mm).	Densidades (g/cm ²).													
110	4.85	7.60	8.08	8.55	9.50	9.98	10.45	10.93	11.40	11.88	12.35	13.30	14.26	15.21
115	5.19	8.31	8.83	9.35	10.39	10.91	11.43	11.94	12.46	12.98	13.50	14.54	15.58	16.62
120	5.65	9.05	9.61	10.18	11.31	11.88	12.44	13.01	13.57	14.14	14.70	15.83	16.96	18.10
130	6.64	10.6 2	11.28	11.95	13.27	13.94	14.60	15.26	15.93	16.59	17.26	18.58	19.91	21.24
140	7.70	12.3 2	13.08	13.85	15.39	16.16	16.93	17.70	18.47	19.24	20.01	21.55	23.09	24.63
150	8.84	14.1 4	15.02	15.90	17.67	18.56	19.44	20.32	21.21	22.09	22.97	24.74	26.51	28.27
200	15.71	25.1 3	26.70	28.27	31.42	32.99	34.56	36.13	37.70	39.27	40.84	43.98	47.12	50.27
250	24.54	39.27	41.72	44.18	49.09	51.54	54.00	56.45	58.91	61.36	63.81	68.72	73.63	78.54
300	35.34	56.55	60.08	63.62	70.69	74.22	77.75	81.29	84.82	88.36	91.89	98.96	106.03	113.10

Tabla No 2

Metros Cúbicos de Roca por metro lineal de barrenos.

Distancia / Barrenos (metros)	Distancia entre filas (metros)																		
	1.00	1.20	1.40	1.50	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40	2.50	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.50	3.60	3.80	4.00
1.00	1.00	1.20	1.40	1.50	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40	2.50	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.50	3.60	3.80	4.00
1.20	1.20	1.44	1.68	1.80	1.92	2.16	2.40	2.64	2.88	3.00	3.12	3.36	3.60	3.84	4.08	4.20	4.32	4.56	4.80
1.30	1.30	1.56	1.82	1.95	2.08	2.34	2.60	2.86	3.12	3.25	3.38	3.64	3.90	4.16	4.42	4.55	4.68	4.94	5.20
1.40	1.00	1.68	1.96	2.10	2.24	2.52	2.80	3.08	3.36	3.50	3.64	3.92	4.20	4.48	4.76	4.90	5.04	5.32	5.60
1.50	1.50	1.80	2.10	2.25	2.40	2.70	3.00	3.30	3.60	3.75	3.90	4.20	4.50	4.80	5.10	5.25	5.40	5.70	6.00
1.60	1.60	1.92	2.24	2.40	2.56	2.88	3.20	3.52	3.84	4.00	4.16	4.48	4.80	5.12	5.44	5.60	5.76	6.08	6.40
1.70	1.70	2.04	2.38	2.55	2.72	3.06	3.40	3.74	4.08	4.25	4.42	4.76	5.10	5.44	5.78	5.95	6.12	6.46	6.80
1.80	1.80	2.16	2.52	2.70	2.88	3.24	3.60	3.96	4.32	4.50	4.68	5.04	5.40	5.76	6.12	6.30	6.48	6.84	7.20

Distancia / Barrenos (metros)	Distancia entre filas (metros)																		
	1.00	1.20	1.40	1.50	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40	2.50	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.50	3.60	3.80	4.00
1.90	1.90	2.28	2.66	2.85	3.04	3.42	3.80	4.18	4.56	4.75	4.94	5.32	5.70	6.08	6.46	6.65	6.84	7.22	7.60
2.00	2.00	2.40	2.80	3.00	3.20	3.60	4.00	4.40	4.80	5.00	5.20	5.60	6.00	6.40	6.80	7.00	7.20	7.60	8.00
2.10	2.10	2.52	2.94	3.15	3.36	3.78	4.20	4.62	5.04	5.25	5.46	5.88	6.30	6.72	7.14	7.35	7.56	7.98	8.40
2.20	2.20	2.64	3.08	3.30	3.52	3.96	4.40	4.84	5.28	5.50	5.72	6.16	6.60	7.04	7.48	7.701	7.92	8.36	8.80
2.30	2.30	2.76	3.22	3.45	3.68	4.14	4.60	5.06	5.52	5.75	5.98	6.44	6.90	7.36	7.82	8.05	8.28	8.74	9.20
2.40	2.40	2.88	3.36	3.60	3.84	4.32	4.80	5.28	5.76	6.00	6.24	6.72	7.20	7.68	8.16	8.40	8.64	9.12	9.60
2.50	2.50	3.00	3.50	3.75	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.25	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	8.75	9.00	9.50	10.00
2.60	2.60	3.12	3.64	3.90	4.16	4.68	5.20	5.72	6.24	6.50	6.76	7.28	7.80	8.32	8.84	9.10	9.36	9.88	10.40
2.70	2.70	3.24	3.78	4.05	4.32	4.86	5.40	5.94	6.48	6.75	7.02	7.56	8.10	8.64	9.18	9.45	9.72	10.26	10.80

Distancia / Barrenos (metros)	Distancia entre filas (metros)																		
	1.00	1.20	1.40	1.50	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40	2.50	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.50	3.60	3.80	4.00
2.80	2.80	3.36	3.92	4.20	4.48	5.04	5.60	6.16	6.72	7.00	7.28	7.84	8.40	8.96	9.52	9.80	10.08	10.34	11.20
2.90.	2.90.	3.48	4.06	4.35	4.64	5.22	5.80	6.38	6.96	7.25	7.54	8.12	8.70	9.28	9.86	10.15	10.44	11.02	11.60
3.00	3.00	3.60	4.20	4.50	4.80	5.40	6.00	6.60	7.20	7.50	7.80	8.40	9.00	9.60	10.20	10.50	10.80	11.40	12.00
3.10	3.10	3.72	4.34	4.65	4.96	5.58	6.20	6.82	7.44	7.75	8.06	8.68	9.30	9.92	10.54	10.85	11.16	11.78	12.40
3.20	3.20	3.84	4.48	4.80	5.12	5.76	6.40	7.04	7.68	8.00	8.32	8.96	9.60	10.24	10.88	11.20	11.52	12.16	12.80
3.30	3.30	3.96	4.62	4.95	5.28	5.94	6.60	7.26	7.92	8.25	8.58	9.24	9.90	10.56	11.22	11.55	11.88	12.54	13.20
3.40	3.40	4.08	4.76	5.10	5.44	6.12	6.80	7.48	8.16	8.50	8.84	9.52	10.20	10.88	11.56	11.90	12.24	12.92	13.60

Distancia / Barrenos (metros)	Distancia entre filas (metros)																		
	1.00	1.20	1.40	1.50	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40	2.50	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.50	3.60	3.80	4.00
3.50	3.50	4.20	4.90	5.25	5.60	6.30	7.00	7.70	8.40	8.75	9.10	9.80	10.50	11.20	11.90	12.25	12.60	13.30	14.00
3.60	3.60	4.32	5.04	5.40	5.76	6.48	7.20	7.92	8.64	9.00	9.36	10.08	10.80	11.52	12.24	12.60	12.96	13.68	14.40
3.70	3.70	4.44	5.18	5.55	5.92	6.66	7.40	8.14	8.88	9.25	9.62	10.36	11.10	11.84	12.58	12.95	13.32	14.06	14.80
3.80	3.80	4.56	5.32	5.70	6.08	6.84	7.60	8.36	9.12	9.50	9.88	10.64	11.40	12.16	12.92	13.30	13.68	14.44	15.20
3.90	3.90	4.68	5.46	5.85	6.24	7.02	7.80	8.58	9.36	9.75	10.14	10.92	11.70	12.48	13.26	13.65	14.04	14.82	15.60
4.00	4.00	4.80	5.60	6.00	6.40	7.20	8.00	8.80	9.60	10.00	10.40	11.20	12.00	12.80	13.60	14.00	14.40	15.20	16.00

Tipos de Rocas.

Materiales	Densidad (g/cm ³)	Esponjamiento (%)	Velocidad Sísmica (m/s)	Consumo Explosivo (kg/m ³)	de
Ígneas					
Granito	2.6 - 2.9	50 - 80	3000 - 6000	0.50 - 0.80	
Gabros	2.8 - 3.0	50	6700 - 7300	0.60 - 0.85	
Diabasa	2.6 - 3.0	50	5800 - 7100	0.60 - 0.85	
Diorita	2.8 - 3.0	50	-	0.50 - 0.80	
Basalto	2.8 - 3.0	50	2400 - 4000	0.60 - 0.85	
Porfírita	2.5 - 2.6	50	-	0.80 - 0.85	
Metamórficas					
Gneis	2.6 - 2.9	-	3000 - 6000	0.50 - 0.70	
Cuarcitas	2.0 - 2.8	-	5000 - 6000	0.70 - 0.75	
Pizarras	2.7 - 2.8	30	1800 - 3000	0.30 - 0.50	
Mármol	2.1 - 2.9	67 - 75	5800	0.45 - 0.80	
Esquistos	2.4 - 2.8	-	4500	0.40 - 0.70	
Sedimentarias					

Materiales	Densidad (g/cm ³)	Esponjamiento (%)	Velocidad Sísmica (m/s)	Consumo Explosivo (kg/m ³)	de
Arena	1.5 – 2.2	12 - 13	250 - 1200	-	
Tierra	1.5 – 2.1	23 - 26	150 - 2000	0.35 – 0.40	
Arcilla	1.6 – 1.8	22 - 33	1000 – 2000	0.35 – 0.45	
Marga	1.5 – 1.7	20	1800 - 3500	0.30 – 0.40	
Arenisca	1.5 – 2.5	40 - 60	1400 - 4500	0.45 – 0.80	
Conglomerado	1.9 – 2.1	35	1200 - 7000	0.35 – 0.70	
Pizarra	2.4 – 2.8	33	1200 - 2100	0.40 – 0.60	
Caliza	2.4 – 2.9	67 - 75	1500 - 6000	0.35 – 0.80	
Dolomita	2.8 – 2.9	-	5000 - 6000	0.30 – 0.60	
Limonita	3.6 – 4.4	18	5800	0.45 – 0.70	
Otros					
Concreto	2.7 – 3.0	-	3570	-	
Agua	1.0	-	1500	-	
Hielo	0.9	-	3000 - 3700	-	
aire	-	-	340	-	

Estos consumos de explosivos sólo ofrecen una idea aproximada de la energía requerida para cada roca, pues éste depende del estado de la roca en el macizo, altura del banco, diámetro de barrenación, etc.

Cálculo de consumo de material explosivo e iniciadores.

El control de los índices de consumo de materiales explosivos es de vital importancia en la búsqueda de la mayor eficiencia de las voladuras. Se definen como la cantidad de cada uno de los materiales (explosivos, detonadores, cordón, etc.) utilizados por cada metro cúbico o tonelada de roca volada.

Entre estos índices se destaca el Consumo Específico de Explosivos (q), conocido también como Factor de Carga. En la industria minera se expresa en kilogramos por tonelada y en la construcción en kilogramos por metro cúbico.

- La cantidad de explosivo por barreno (Q_b) se obtiene multiplicando la longitud de la carga por la cantidad de explosivo por metro lineal de barreno (Tabla No 1), conociendo el diámetro del barreno y la densidad del explosivo.
- Para el volumen de roca por barreno (V_b), se multiplica la altura del banco o capa de roca, por los metros cúbicos de roca por metro lineal de barreno (Tabla No 2), conociendo la plantilla o red de barrenación (distancia entre barrenos y filas).
- El volumen de roca por su densidad nos da su peso.

$$q = Q_b/V_b; \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$q = Q_b/V_b \times \text{densidad; (kg/ton)}$$

Ejemplo:

Se tiene un banco de 6.00 m de altura con una plantilla de 2.00 x 3.50 m; el diámetro de barrenación es de 85 mm, sobreperforación de 0.50 m; longitud de carga 3.90 m. El explosivo utilizado es Tectron-100 de 65 mm de diámetro y la carga se realizó de manera que el explosivo ocupa toda la sección transversal del barreno.

- De la tabla Explosivos se tiene;

$$\text{Densidad del Tectron} = 1.15 \text{ g/cm}^3$$

- De la tabla No 1, donde se cruza la fila (85 mm) con la columna (1.15 g/cm³), obtenemos: 6.53 kg/m.

$$Q_b = 6.53 \text{ kg/m} \times 3.90 \text{ m}$$

$$Q_b = 25.47 \text{ kg/barreno}$$

- De la tabla No 2, donde la fila (2.00 m) se cruza con la columna (3.50 m) obtenemos: 7.00 m³/m

$$Vb = 7.00 \text{ m}^3/\text{m} \times 6.00 \text{ m}$$

$$Vb = 42.00 \text{ m}^3/\text{barreno}$$

- El consumo específico de explosivo (Factor de Carga) será:

$$q = Qb/Vb = 0.60 \text{ kg/m}^3 = 600 \text{ g/m}^3$$

Y si en cada barreno se utilizó un detonador Tecnel tenemos:

$$1/Vb = 0.024 \text{ detonadores/m}^3$$

Cálculo de Voladuras. Reglas Prácticas.

Estos cálculos solo son una guía para una primera aproximación, los cuales se irán ajustando en las primeras voladuras de prueba.

- Línea de menor resistencia o Bordo(w)

$$W = (20 \text{ a } 40) \text{ db; (m)}$$

Donde:

$$Db = \text{Diámetro de la carga en el barreno (en metros)}$$

- Espaciamiento(a)

$$(a) = (1.0 \text{ a } 1.8)w$$

- Longitud de sobreperforación (ls)

Para garantizar la fragmentación de la roca hasta la profundidad deseada, el fondo de los barrenos debe quedar por debajo de este nivel a una distancia (ls)

$$(ls) = (0.2 \text{ a } 0.5) w$$

- Longitud de carga de fondo (lcf)

$$(lcf) = (0.3 \text{ a } 1.0) w + ls$$

El valor máximo de carga de fondo se obtiene en barrenos donde la altura $H = 2w$. En alturas mayores se utiliza una carga de columna adicional.

- Longitud de atraque o taco(lr)

$$lr = (0.7 \text{ a } 1.3) w$$

Si (lr menor de 0.7w) aumenta el vuelo de los fragmentos de roca y puede no lograrse el fondo deseado en escalones bajos, teniendo que disminuirse los valores de (a) y/o (w).

- Altura final de agua en barrenos cargados con explosivo encartuchado.

$$H_f = \frac{H_o \times D_b^2}{D_b^2 - D_c^2}$$

Hf: Altura final de agua (m).

Db: Diámetro de barreno (mm).

Ho: Altura inicial de agua (m).

Dc; Diámetro del cartucho de explosivo (mm).

Cebado de cargas explosivas.

1. El cebo debe tener una presión de detonación superior a la del explosivo que se va a detonar.
2. Un cebo con mayor presión de detonación provoca un aumento de dicha presión en el explosivo cebado.
3. El diámetro del cebo deberá ser como mínimo 2/3 del diámetro del barreno para aprovechar la transferencia de onda de choque.
4. La longitud del cebo debe ser suficiente para asegurar se alcance rápidamente la velocidad de régimen estable del explosivo cebado.
5. Los cebos se deben colocar a la profundidad donde se requieran mayores tensiones.
6. Con un cebado deficiente se puede llegar a perder hasta el 40 % de la eficiencia explosiva.

Presión de detonación.

$$P_d = \frac{4.49 \times 10^{-6} \times d_e \times V_d^2}{1 + (0.8 \times d_c)}$$

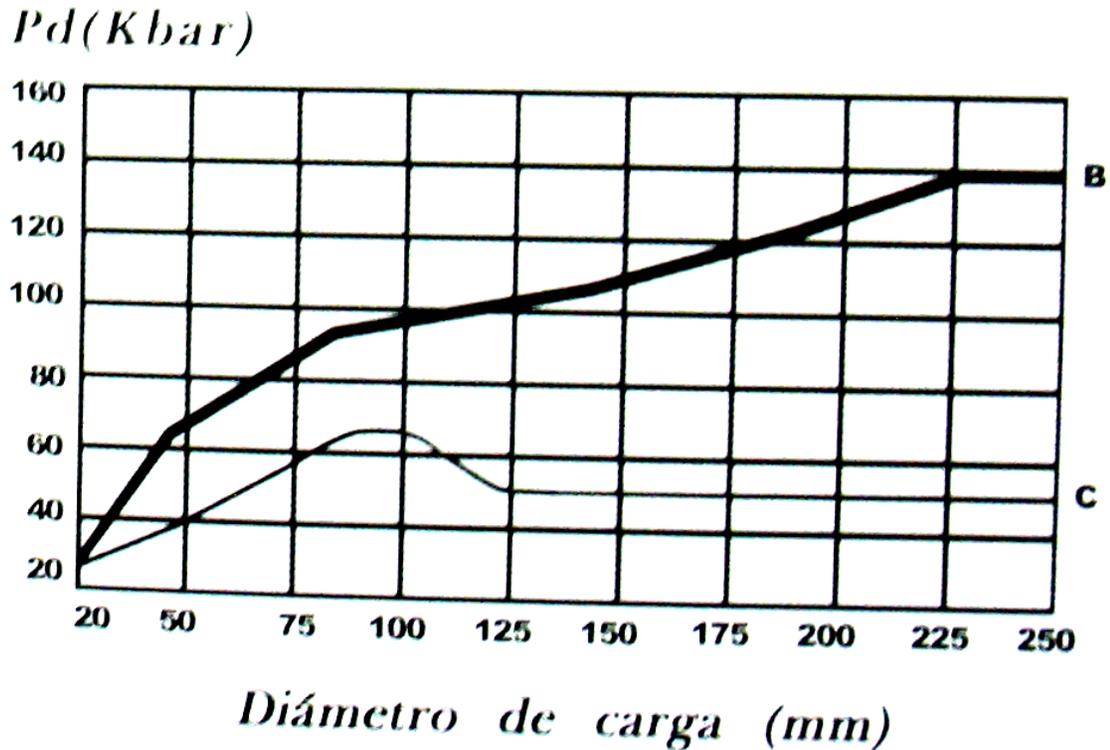
Donde:

Pd: Presión de detonación (Kbar)

de: Densidad del explosivo (g/cm³)

Vd: Velocidad de detonación (m/s)

Presión de Detonación / Diámetro de Carga



Las curvas C y B pertenecen a un mismo explosivo pero con diferente cebado, donde la presión de detonación del cebado en (B) es mayor que la presión del cebo en (C).

Energía Explosiva.

Aún en presencia de consumos específicos de explosivos iguales, los resultados de las voladuras pueden ser diferentes si se cambia el tipo de explosivo, debido a la energía que proporcionan estos.

- Relación lineal de Energía (RLE)

Es la energía aportada por el explosivo por cada metro lineal cargado.

$$RLE = P \times AWS; \text{ (kcal/m)}$$

Donde:

P: Kilogramos de explosivos por metro de barren (Tabla No 1)

AWS: Energía del explosivo (kcal/kg)

- Energía por Barreno (Eb)

$$Eb = RLE \times Lc; \text{ (kcal/barr.)}$$

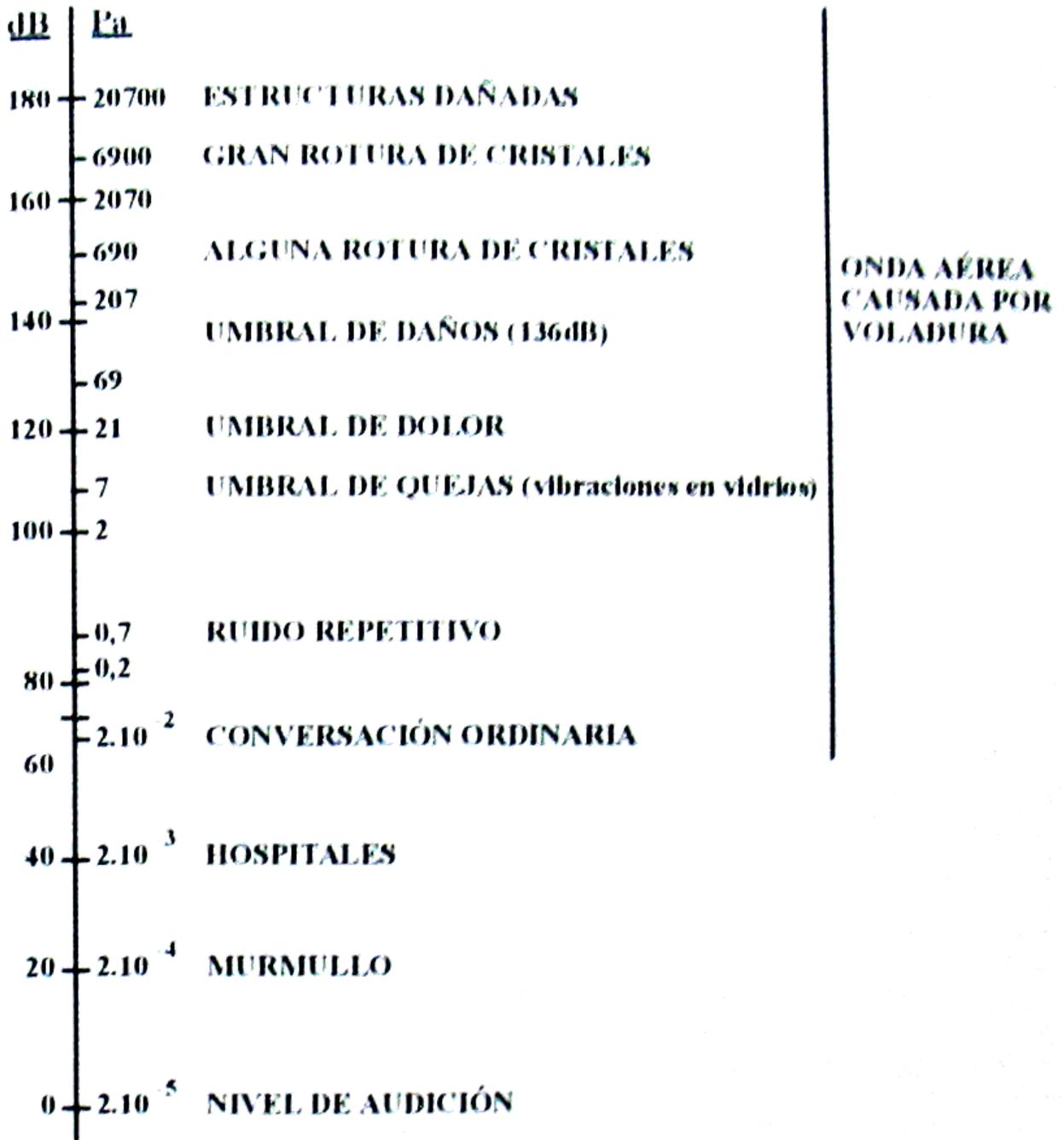
Lc: longitud de carga (m)

- Factor de Energía (FE).

$$FE = Eb/Vb; \text{ (kcal/m}^3\text{)}$$

Vb: Volumen de roca por barreno (m³/barr.)

Sobrepresión



Efecto de la Onda Aérea

El nivel de ruido (NR) se mide comúnmente en (dB) y el decibelio se define en términos de sobrepresión como:

$$NR = 20 \times \text{Log} (P/P_0); \text{ (dB)}$$

P: Sobrepresión (Pa)

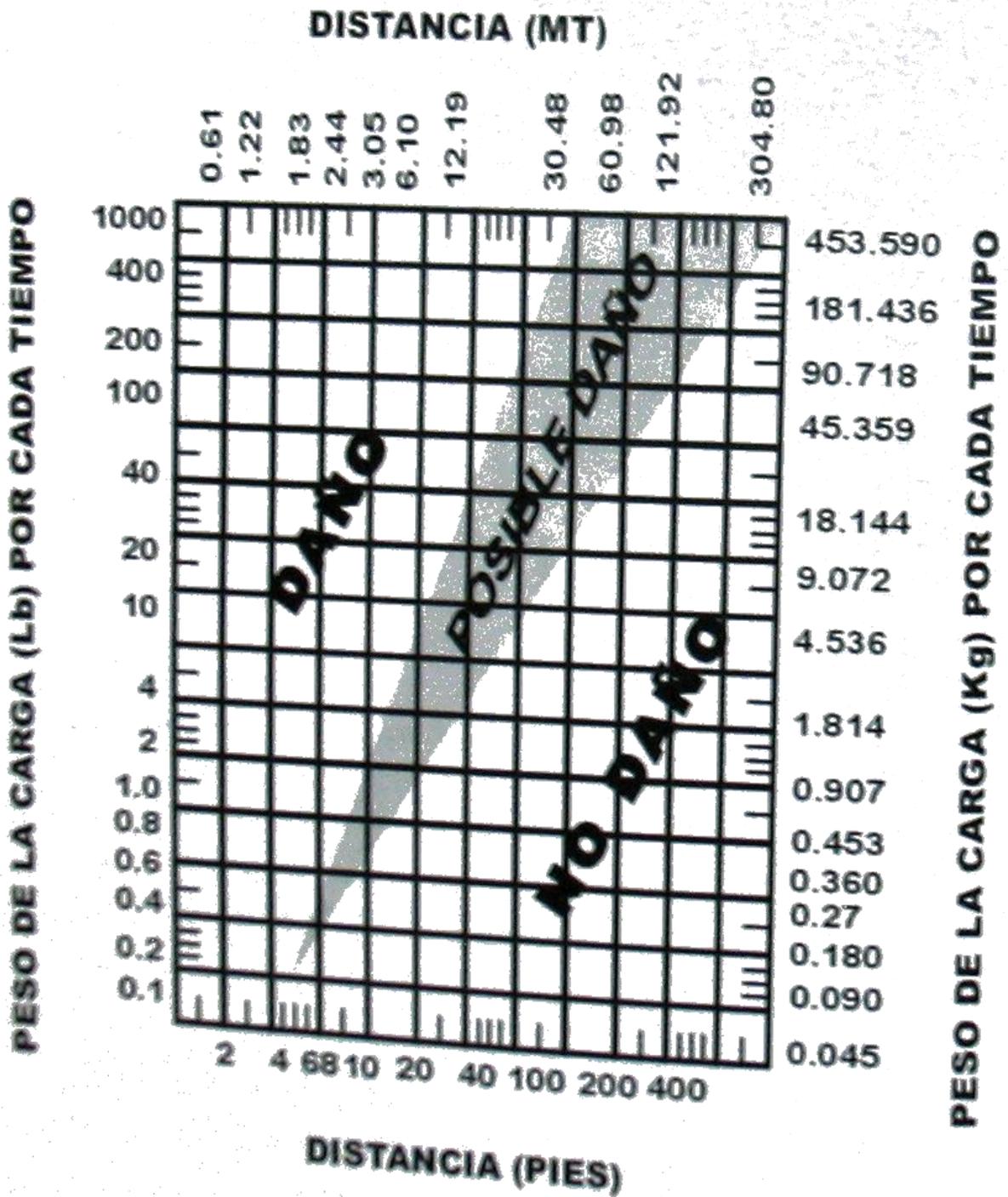
Po; Presión del menor sonido que puede ser escuchado (presión de referencia)

Po = 0.00002; (Pa)

A través del siguiente nomograma se puede determinar la carga de explosivos máxima a detonar por cada tiempo de retardo utilizado (conocida la distancia de la voladura al objeto a proteger) para no ocasionar daños a la mayoría de las estructuras.

Estos valores se deben considerar solo como una guía aproximada.

Nomograma.



Efecto de las Ondas Sísmicas.

En el diseño de voladuras controladas es necesario tener en cuenta la relación existente entre la distancia, la carga y la velocidad de vibración.

$$V = K Q^{\alpha}/R^{\beta}$$

Donde:

V: Velocidad de vibración de las partículas (mm/s).

Q: Cantidad de carga explosiva detonada en un mismo tiempo de retardo (kg).

R: Distancia entre el lugar de la voladura y el objeto a proteger (m)

Se deben hacer estudios sísmicos en el lugar de voladura para la determinación de las constantes α , β y K.

Valores de (V) admisibles (mm/s)	
Ruinas y edificios de gran valor histórico.	2
Edificios con grietas visibles.	5
Edificios no dañados estructuralmente sólo con grietas de yeso	10
Edificios industriales fuertes.	10 - 40

El Bufete Minero de Estados Unidos de Norteamérica propone algunos criterios de seguridad (Reporte RI 8507 de Noviembre de 1980) como lo expuesto en la siguiente tabla:

Distancia actual de la voladura		Máxima carga explosiva por retardo mayor a 8 ms	
pies	metros	libras	kilogramos
50	15	1.0	0.4
75	22	2.3	1.0

Distancia actual de la voladura		Máxima carga explosiva por retardo mayor a 8 ms	
100	30	4.0	1.8
150	45	9	4
200	61	16	7
250	76	25	11
300	91	36	16
350	106	40	18
400	122	53	24
500	152	83	37
600	183	119	54
700	213	162	73
800	244	212	96
900	274	268	121
1000	305	331	150

II.- Otros explosivos modernos utilizados en Méjico.

Nombre: Centra Gold ó Emulsión Bulk

Productor: Incasa. Méjico

Descripción.

La emulsión explosiva a granel Centra Gold es un explosivo bombeable sensible a un iniciador, que tiene la apariencia de un fluido opaco similar en viscosidad a grasa liviana o aceite pesado. Centra Gold tiene excelente resistencia al agua como característica inherente a estructura de emulsión.

Aplicación.

Centra Gold ó Emulsión Bulk es manufacturado en el sitio de la voladura, desde una unidad de bombeo diseñada para trabajos en canteras. Esto combina una emulsión no explosiva con un sensibilizador para entregar el producto resistente al agua dentro del barreno. La densidad del producto final puede variar para ajustarse a las condiciones del terreno o diseño de la voladura.

Beneficios claves.

1. La densidad final del producto Centra Gold ó Emulsión Bulk puede ser modificada para ajustarse a los criterios deseados del producto.
2. La emulsión bombeable Centra Gold ó Emulsión Bulk reduce el derrame y con una excelente resistencia al agua, minimiza el percolamiento del nitrato y el consiguiente impacto medio ambiental.
3. Centra Gold ó Emulsión Bulk entrega cargas totalmente acopladas para maximizar el resultado de la voladura.
4. La alta velocidad de carga y los reducidos gases post voladura al usar Centra Gold ó Emulsión Bulk mejoran dramáticamente el tiempo de retorno.
5. Centra Gold ó Emulsión Bulk reduce potencialmente explosiones de polvo sulfatado.
6. Se elimina la preocupación relacionada con la salud ocupacional por manipulación o almacenamiento

Desempeño.

Producto	Centra Gold
Densidad (gr/cm ³)	106 - 130
Tiempo de espera	7 días

Recomendaciones para su uso.

Diámetro del barreno.

El diámetro mínimo de barreno recomendado depende de la densidad seleccionada.

Primado o iniciación.

Centra Gold puede ser iniciado de manera confiable utilizando un boster Pentex^{IV} o un cartucho de explosivo Senatel^{IV} junto con un detonador Exel. El diámetro del cartucho de explosivo Senatel^{IV} debe ser apropiado para el diámetro del barreno. No se recomienda el uso de cordón detonante con Centra Gold.

Cargue.

El cargue es llevado a cabo utilizando el equipo especializado de bombeo para operaciones en canteras.

Tiempo de permanencia en el barreno de voladura.

El tiempo máximo de espera recomendado es de 7 días. El tiempo de espera depende de factores tales como el diámetro del barreno, la densidad, condiciones de agua del terreno y el sistema de iniciación.

Gasificación.

La tasa de gasificado depende de la temperatura, el tiempo típico de gasificado es de 30 minutos a 30°C. Se debe permitir 60 minutos entre el cargue y el disparo del barreno a una temperatura de 25°C.

Terrenos calientes.

Este producto está disponible para uso en terrenos con una temperatura entre 0°C y un máximo de 55°C.

El equipo de transporte tiene una capacidad del sistema de bombeo de emulsión de 4 toneladas y el equipo de bombeo utiliza una manguera de 1 pulgada de diámetro.

CONCLUSIONES.

Esta monografía complementa las tres anteriores sobre maquinarias que se utilizan para demoler rocas, los principales tipos de explosivos, las cargas explosivas, los métodos y medios de explosión, voladuras en tierra y rocas y las reglas de seguridad que hay que observar en los trabajos de voladuras, ya que en la actualidad estos explosivos modernos son los que se están utilizando. De esta forma logramos que los alumnos estén actualizados en los materiales y en las técnicas modernas del uso de explosivos y logramos abarcar toda la temática de esta materia, la cual se irá enriqueciendo según se vayan conociendo nuevos materiales y técnicas de explotación.

También, la misma será de uso y actualización de los profesores e ingenieros civiles que la necesite, tanto desde el punto de vista docente, como en la producción.

Esta monografía nos brinda los métodos de cálculo de los explosivos y nos ilustra con fotos los mismos y los materiales y equipos complementarios.

Concluimos que será de gran utilidad para los alumnos, profesores e ingenieros que la necesiten.

Bibliografía utilizada:

- 1) Estado Mayor de las Fuerzas Armadas Revolucionarias. (Sin fecha de edición. Militar). "Voladuras. Instrucción para las tropas de ingenieros". Segunda edición corregida y aumentada. La Habana, Cuba. "
- 2) Galabru P. 1968. "Maquinaria General de Obras y Movimiento de Tierra". Edición Revolucionaria. Instituto del Libro. La Habana, Cuba.
- 3) Nodal y Stephenson. (Folletos, sin fecha). "Técnicas de voladuras y Voladuras especiales". Departamento de Voladuras Especiales ENIA. MICONS, La Habana, Cuba.
- 4) Unión Latinoamericana de Explosivos. 1999. "Manual de explosivos". La Habana, Cuba.
- 5) INCASA. 2010. "Ficha Técnica Centra Gold". Monterrey, México.

ANEXO NO 1. Fotos.

A continuación mostramos algunas fotos que ilustran aspectos aquí tratados y ayudan a la comprensión de estos aspectos.



Producto Centra Gold elaborado (emulsión explosiva, iniciada por un sensibilizador).



Camión especial que mezcla los productos que forman la emulsión Centra Gold. Al fondo se observa un equipo barrenador.



Banco del frente de cantera con los barrenos cargados, el conductor eléctrico con el microrretardo y la boquilla plástica del barreno.



AUG 5 2009



Cajas de boster explosivos Pentex utilizados como explosivos iniciadores para sensibilizar y hacer explotar la emulsión de Centra Gold.



Banco del frente de cantera donde se muestra al operador cargando, con la emulsión de Centra Gold, los barrenos con una manguera que sirve para llevar por bombeo el producto desde la pipa mezcladora hasta el barreno. También se observan los mochos de tubos plásticos utilizados como boquillas de los barrenos y las cajas de los boster de Pentex.



Banco a explotar en el frente de cantera, donde se muestran a los operadores, materiales y el equipo necesario.

PRODUCTOS ULAEX S.A.

