

00212

# EXPLOSIVOS: GENERALIDADES Y EXPLOSIVOS COMERCIALES

ANEXO 2

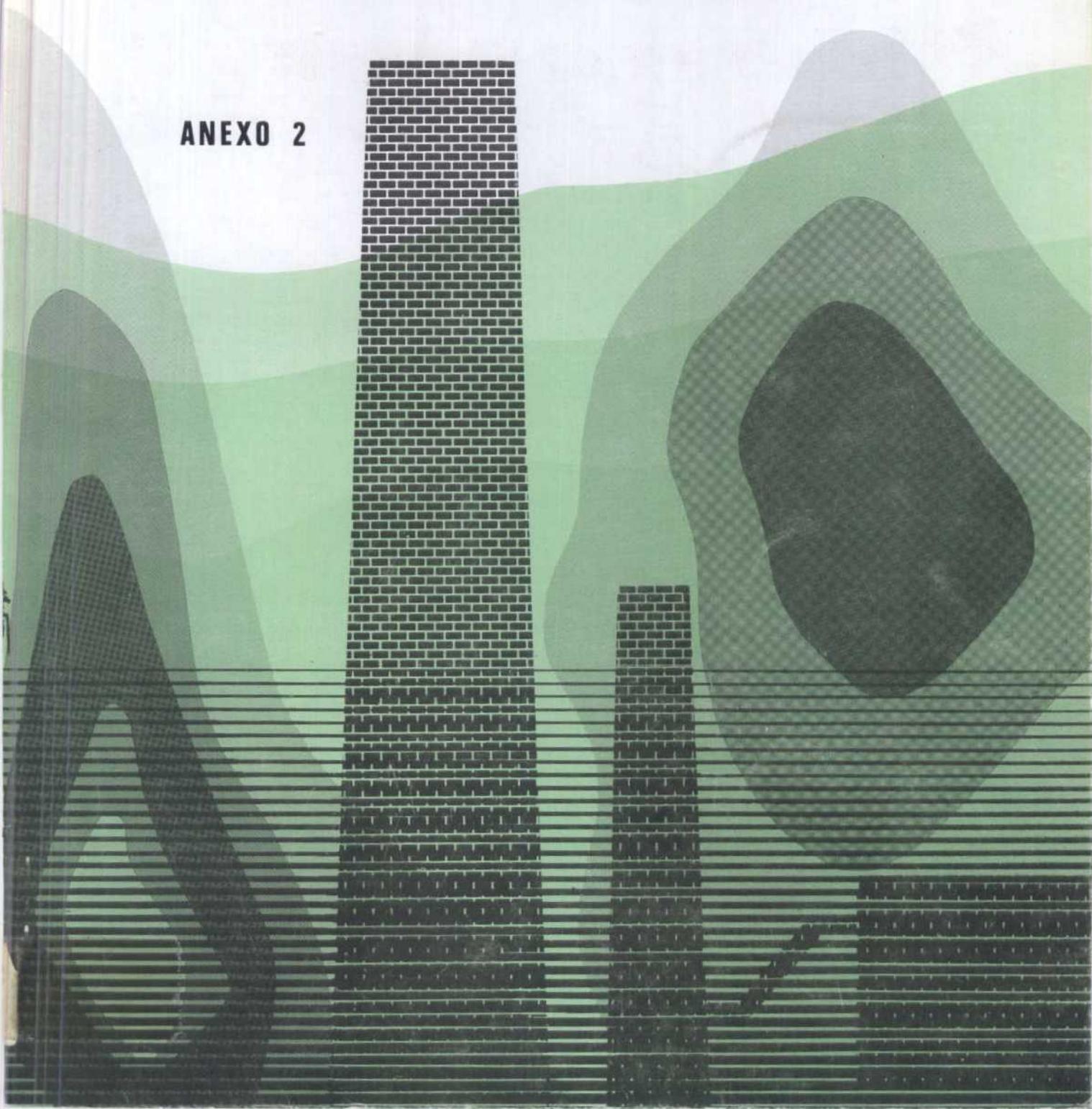


TABLE IV

## Co-volume - Specific Volume Relationships

Density $\rho$	Density Factor (1/a)	Specific Volume (v)	Co- Volume (a)	$a =$ $v - a$	$\frac{(da)}{(dv)_s}$	$\int_{v_4}^v \frac{da}{v - a}$
.7000	1.577	1.429	0.795	0.6340	0.250	0.100
0.8000	2.000	1.250	0.750	0.5000	0.300	0.200
0.9000	2.525	1.111	0.715	0.3960	0.350	0.300
1.000	3.125	1.000	0.680	0.3200	0.390	0.400
1.100	3.845	0.9091	0.649	0.2601	0.430	0.500
1.200	4.623	0.8333	0.617	0.2163	0.470	0.600
1.300	5.580	0.7692	0.590	0.1792	0.500	0.750
1.400	6.523	0.7143	0.561	0.1533	0.530	0.900
1.500	7.710	0.6667	0.537	0.1297	0.560	1.050
1.600	8.929	0.6250	0.513	0.1120	0.590	1.250
1.700	10.50	0.5882	0.493	0.0952	0.620	1.500
1.800	11.82	0.5556	0.471	0.0846	0.650	1.750
1.900	13.40	0.5263	0.450	0.0763	0.670	1.950
2.000	14.29	0.5000	0.430	0.0700	0.700	2.150
2.100	15.58	0.4762	0.412	0.0642	0.720	2.400
2.200	17.09	0.4545	0.396	0.0585	0.740	2.700

TABLE V HEATS OF FORMATION (PRODUCTS)  
(kcal/mole) at 298°K.)

(Adapted from National Bureau of Standards "Selected Values of Chemical Thermodynamic Properties" (Circular 500))

H <sub>2</sub>	_____	N	-85.09
N <sub>2</sub>	_____	O	-59.16
CO <sub>2</sub>	+94.05	HCN	-31.2
CO	+26.42	CH <sub>2</sub> O	+27.7
H <sub>2</sub> O	+57.80	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	-12.50
NH <sub>3</sub>	+11.04	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	+20.24
CH <sub>4</sub>	+17.89	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	+56.24
CH <sub>3</sub> OH	+48.08	C(s)	_____
CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	+86.67	SO <sub>2</sub>	+70.5
O <sub>2</sub>	_____	Na <sub>2</sub> O	+100.0
OH	-10.06	CaO	+155.0
NO	-21.60	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	+392.0
H	-52.09		

00212

ANEJO N° 2

EXPLOSIVOS: GENERALIDADES Y  
EXPLOSIVOS COMERCIALES.

## INDICE

	<u>Págs</u>
1.- INTRODUCCION .....	1
2.- PROPIEDADES A CONSIDERAR EN LA ELECCION DE UN EXPLO- SIVO .....	3
3.- ESTADO DE DETONACION-ECUACION DE ESTADO .....	7
4.- TERMOQUIMICA .....	8
5.- EXPLOSIVOS COMERCIALES EMPLEADOS EN DIFERENTES PAI-- SES .....	10
6.- EXPLOSIVOS COMERCIALES EMPLEADOS EN ESPAÑA .....	11
6.1.- GOMAS .....	11
6.2.- EXPLOSIVOS PULVERULENTOS .....	14
6.3.- EXPLOSIVOS DE SEGURIDAD PARA MINAS DE CARBON..	16
6.4.- NAGOLITA .....	18
6.5.- SLURRIES .....	19

## 1.- INTRODUCCION

Como ha quedado expuesto en la memoria, las propiedades de los explosivos rompedores que resultan ser importantes en el diseño de voladuras de rocas son la densidad, la velocidad de detonación, la temperatura y presión del estado de detonación y la energía disponible. La densidad del explosivo está determinada, fundamentalmente, por su composición y grado de compactación. La velocidad de detonación es la única propiedad que puede medirse con facilidad, en tanto que, las restantes, pueden determinarse a partir de las relaciones termodinámicas e hidrodinámicas.

La característica que distingue a los explosivos rompedores está en el hecho de que detonan al cebarlos adecuadamente y, entonces, iniciarse la explosión en los mismos.

Algunos explosivos rompedores típicos son el TNT, el PENTN y el T<sub>4</sub> o Hexógeno entre los empleados con fines militares, y, las dinamitas, las gelatinas, los explosivos de nitrato amónico y otros, entre los empleados comercialmente. Como es natural, pueden ser compuestos simples o mezclas que generalmente contienen combinaciones de dos o más de los elementos hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y carbono.

Por otro lado, los explosivos deflagrantes no exhiben una onda de choque en el explosivo, pero se quemán con tal rapidez que son caracterizados por el término que les dá su nom

TABLA I

SUSTANCIA	FORMULA QUIMICA	FUNCION	PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS
Nitroglicerina	$C_3H_5(NO_3)_3$	base explosiva	Sensibilidad. Potencia. Alta velocidad de detonación.
Nitrato de Glicol	$C_2H_4(NO_3)_2$	base explosiva y anticongelante	Volátil. Anticongelante. Potencia. Líquido
Nitrocelulosa	$C_{12}H_{14}O_4(ONO_2)_4$	Gelatinizante	Sensibilidad al choque. Higroscópico. Densidad: 1,65. Muy sensible cuando está seco.
Nitrato Amónico	$NO_3 NH_4$	Explosivo base portador de oxígeno.	Higroscópico. Eficacia rompedora. Económico. Insensible.
Aluminio	Al	Aditivo para algunos tipos de explosivos.	Pulverizado aumenta la temperatura de explosión.
Trinitratolueno (trilita)	$C_6H_2(NO_2)_3CH_3$	Explosivo militar Mezclado con oxisales se usa como explosivo industrial.	Punto de Fusión: 81° C. Densidad: 1,54. Inestable al aire. Inestable. No es higroscópica. Alta Potencia.
Fulminato de Mercurio	$Hg \begin{matrix} \diagup O - N - C \\ \diagdown O - N - C \end{matrix}$	Explosivo iniciador.	Densidad: 1,35 - 1,75. Velocidad de detonación = 3975 m/sg. Muy sensible al choque, roce y calor, inestable.
Nitruro de Plomo	$Pb(N_3)_2$	Explosivo iniciador.	Densidad: 1,8. Velocidad de detonación = 4,300 m/sg. Muy sensible al choque y roce. Para aumentar su sensibilidad a la llama, se le mezcla con Trinitrorescinato de plomo.
Harina de Madera		Absorbente de la nitroglicerina.	Superior al Kieselghur como absorbente.

**TABLA II**  
Some Single Chemical Explosive Substances

Common name	Symbol	Composition	Mol. weight	$\rho_{max}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$D_t$ (km/sec) (1g/cm <sup>3</sup> )( $\rho_{max}$ )	$\frac{\Delta D_t^a}{\Delta p}$	$p_i$ (kbar)	$Q_t$ (kJ/g)	$V_{gas}$ (cm <sup>3</sup> /g)
<i>Primary explosives</i>									
— Cupric azide		Cu(N <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	147.6						
— Hydrazoic acid		HN <sub>3</sub>	43.0						
— Mercury fulminate		HgC <sub>2</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	284.7	4.42	5.05	5.4	0.89	1.79	315
— Lead styphnate		PbC <sub>6</sub> H <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	468.3	3.10		5.2		1.54	407
— Lead azide		PbN <sub>6</sub>	291.3	4.71	5.1	5.6	0.56	1.53	308
— Silver azide		AgN <sub>3</sub>	149.9						
— Tetrazene (guanylnitrosoamino-guanyltetrazene)		C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> N <sub>10</sub> O	188.2						
— Diazodinitrophenol	DDNP	C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> N <sub>2</sub> O(NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	210.1						
<i>Secondary explosives</i>									
<i>Liquids</i>									
— Methylnitrate		CH <sub>3</sub> NO <sub>3</sub>	77.0						
— Nitroglycerine (glyceroltrinitrate)	NG	C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	227.1	1.60		7.58	~270	6.30	715
— Ethyleneglycol dinitrate	EGDN	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	152.1	1.48				6.83	737
— Tetranitromethane	TNM	C(NO <sub>2</sub> ) <sub>4</sub>	196.0	1.65		6.36	159		686
— Nitroform (trinitromethane)		CH(NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	151.0	1.60					
— Dinitromethane		CH <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	106.1						
— Nitromethane	NM	CH <sub>3</sub> NO <sub>2</sub>	61.0	1.13		6.29	141	6.4	723
— Ethylenedinitramine	EDNA	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> N <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	150.1	1.5		7.61			
— Isopropyle nitrate	IPN	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>3</sub>	105.1	1.04		5.4	85		
<i>Solids</i>									
— Manitolhexanitrate (Nitromannit)	MHN	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub>	452.2						
— Trinitroazidobenzene		C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> N <sub>3</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	254.1						
— Nitrocellulose	NC	C <sub>24</sub> H <sub>40-2x</sub> O <sub>20-2x</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>x</sub>	1188.6 <sup>b</sup>	1.66				10.60	
— Pentaerythritol tetranitrate	PETN	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	316.2	1.67	5.55	7.98	3.95	300	6.12
— Dinitroethylurea	DiTeU	C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> N <sub>2</sub> O(NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	386.2	1.79					
<hr/>									
Common name	Symbol	Composition	Mol. weight	$\rho_{max}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$D_t$ (km/sec) (1g/cm <sup>3</sup> )( $\rho_{max}$ )	$\frac{\Delta D_t^a}{\Delta p}$	$p_i$ (kbar)	$Q_t$ (kJ/g)	$V_{gas}$ (cm <sup>3</sup> /g)
<i>Solids (continued)</i>									
— 1,3,5-trinitrophenylmethylnitramine (Tetryl)		C <sub>7</sub> H <sub>5</sub> N(NO <sub>2</sub> ) <sub>4</sub>	287.2	1.70	5.60	7.56	3.22		
— Nitro starch (penta)		C <sub>12</sub> H <sub>15</sub> O <sub>3</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>5</sub>	549.2						
— Hydrazinennitrate		H <sub>2</sub> N <sub>2</sub> NO <sub>3</sub>	95.1	1.63		8.69			
— Cyclotrimethylenetrinitramine (Hexogen)	RDX	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> N <sub>6</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	222.1	1.80	6.08	8.75	3.59	347	5.46
— Cyclotetramethylenetetranitramine (Octogen)	HMX	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> N <sub>8</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>4</sub>	296.2	1.90		9.10		393	5.46
— Diaminotrinitrobenzene	DATB	C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> N <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	243.2	1.79		7.52	259		
— Trinitrotrinitrobenzene	TATB	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> N <sub>3</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	258.2	1.90		7.9			
— Hexanitrosobenzene (Hexyl)	HNB	C <sub>6</sub> N <sub>6</sub> O <sub>6</sub>	252.1						
— Trinitrotriazidobenzene	TNTAB	C <sub>6</sub> N <sub>6</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	336.2	1.74		8.58			
— Diaminodinitrobenzene		C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> N <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>							
— Picric acid (trinitrophenol)		C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> O(NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	229	1.80	5.26		3.05	4.40	675
— Ammonium picrate		C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> NO(NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	246		4.99		3.44		
— Nitroguanidine	NQ	CH <sub>3</sub> N <sub>3</sub> NO <sub>2</sub>	105	1.70	5.46	8.20	4.02		
— Trinitrobenzene	TNB	C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	213						
— Trinitrotoluene (Tetryl)	TNT	C <sub>7</sub> H <sub>5</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	227	1.64	5.01	6.95	3.23	190	4.10
— Dinitrotoluene	DNT	C <sub>9</sub> H <sub>7</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	182						
<i>Tertiary explosives</i>									
— Mononitrotoluene	MNT	C <sub>7</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub>	137.1	1.16					
— Ammonium perchlorate	AP	NH <sub>4</sub> ClO <sub>4</sub>	117.5	1.95					
— Ammonium nitrate	AN	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	80.1	1.73					

<sup>a</sup> Between  $p = 1$  g/cm<sup>3</sup> and  $p_{max}$   
<sup>b</sup> (x = 12)

TABLE III Heats of Formation of Explosives and Explosive Ingredients

Name	M.Wt.	Formulae	Composition gram atoms/100 gm.				Heat of Formation	
			C	H	N	O	Kg. cal./ mole	Kg.Cal/Kg.
Nitroglycerin	227.09	$C_3H_5(ONO_2)_3$	1.321	2.202	1.321	3.963	82.66	364.0
Ethylene glycol dinitrate	152.97	$C_2H_4(NO_3)_2$	1.315	2.630	1.315	3.946	56.00	367.0
Nitrocellulose								
11.05%N <sub>2</sub>			2.390	3.190	0.790	3.570		754.0
11.64%N <sub>2</sub>			2.320	3.030	0.830	3.590		699.0
12.20%N <sub>2</sub>			2.250	2.870	0.870	3.620		664.0
12.81%N <sub>2</sub>			2.180	2.720	0.910	3.650		605.0
13.45%N <sub>2</sub>			2.100	2.540	0.960	3.670		558.0
14.12%N <sub>2</sub>			2.020	2.360	1.010	3.700		500.0
Trinitrotoluene (2-4-6)	227.13	$C_6H_2CH_3(NO_2)_3$	3.082	2.201	1.321	2.642	13.40	59.00
Dinitrotoluene	182.13	$C_7H_7O_4H_6$	3.843	3.294	1.098	2.196	6.900	38.00
Lead Azide	291.3	$Pb(N_3)_2$	Pb=0.3430		2.060		-107.0 to	-112.0 to -364.0 to -366.0
				Hg=0.3513				
Mercury fulminate	284.65	$Hg(CNO)_2$	0.7026		0.7026	0.7026	-65.46	-230.0
S:G. Pulp			4.170	6.300	----	2.740		1050.
X Pulp			4.050	5.850	----	2.800		1000.
Paraffin			7.100	14.800	----	----		500.
Cellulose			3.710	6.180	----	3.090	2270	1400
Ammonium nitrate	80.05	$NH_4NO_3$	----	4.997	2.498	3.748	90.709	1101
Sodium nitrate	85.01	$NaNO_3$	----	Na=1.176	1.176	3.530	114.179	1309
Calcium Carbonate	100.09	$CaCO_3$	0.9999	Ca = 0.9999		3.000	246.6	2465

bre. La polvora negra es uno de los explosivos típicos de este tipo.

En la fabricación de explosivos comerciales impera generalmente el criterio de aportar un balance de oxígeno nulo y, de este modo, se dice que está balanceado de oxígeno, si existe suficiente oxígeno en el explosivo como para formar agua y dióxido de carbono, en tanto que, si hay deficiencia, se dice que tiene un balance de oxígeno negativo y, si existe un exceso de oxígeno, que tiene un balance de oxígeno positivo. La diferencia se traducirá en la formación de monóxido de carbono - mientras que, un exceso, dará lugar a la formación de óxidos - nitrosos. De cualquier forma, ambas situaciones proporcionarán siempre un menor calor en la explosión que si la composición - estuviera balanceada.

Una vez hecha esta breve introducción, pasaremos a exponer algunos puntos claves que servirán de ayuda cuando quiera hacerse un análisis de los elementos que entran en juego en la elección de un explosivo con vistas a su empleo en la voladura de rocas. Estos puntos vamos a exponerlos en forma de tablas, ya que así nos permitirá cotejar con más rapidez las diferencias existentes entre los distintos explosivos. Así, las sustancias comunmente empleadas en la fabricación de explosivos - vienen dadas en las tablas I y II, esta última expuesta según su referencia original, en tanto que los calores de formación de esas sustancias vienen expresados en la tabla III, asimismo expuesta según su referencia original.

## 2.- PROPIEDADES A CONSIDERAR EN LA ELECCION DE UN EXPLOSIVO

De las propiedades generalmente conocidas en los explosivos nacionales, la elección del mismo deberá atenerse a las siguientes:

Velocidad de detonación  
Propagación  
Potencia  
Densidad  
Resistencia a los humos  
Estabilidad  
Humos

### Velocidad de detonación

Es la mayor o menor rapidez con que la onda de detonación pasa a través del explosivo. La velocidad de detonación de los explosivos comerciales es superior a los 2.500 m/seg con una buena iniciación.

### Propagación

Es la propiedad que determina la posibilidad de transmitir la detonación de un cartucho a otro, en contacto con el primero o bien a través de un medio interpuesto entre los dos.

Para medir la aptitud de propagación se coloca un cartucho cebado con un detonador n° 8, a continuación se coloca otro cartucho sin cebar a una cierta distancia. La distancia -

máxima expresada en centímetros en que el 1<sup>er</sup> cartucho hace explotar al segundo nos mide la aptitud de propagación.

### Potencia

Es la característica mas importante de un explosivo y se define como la capacidad de trabajo de los gases de la explosión.

Para efectuar la prueba de potencia hay dos procedimientos, el péndulo balístico y el bloque de plomo (Traulz)

En el péndulo balístico se toma como unidad patrón la goma pura y se le asigna un valor 100. El procedimiento consiste en hacer explotar en una masa de acero suspendida su peso de explosión, medir la desviación del péndulo y compararla con la desviación que produce la explosión de igual peso de goma pura.

El procedimiento Traulz consiste en emplear un cilindro de plomo refinado de 200 m/m de altura y 200 m/m de diámetro, con un orificio axial de 125 m/m de profundidad y 25 m/m de diámetro. En este orificio se colocan 10 grs de explosivo con un detonador, rellenando el resto con arena silíceo bien seca, la detonación determina un aumento de volumen del cilindro, este volumen se rellena con agua y la diferencia de volumen final e inicial nos da el volumen producido por el explosivo.

### Densidad

Es una característica que depende del tipo de materias primas empleadas en su fabricación. En función de la densidad de encartuchado puede obtenerse el tipo de explosivo necesario para cada trabajo, por ejemplo en la carga selectiva de

barrenos es necesario un explosivo de gran densidad como carga de fondo y otro de baja densidad como carga de columna.

Los explosivos de más densidad son las gomas y gelatinas y los de menos los pulverulentos.

#### Resistencia al agua

A medida que aumenta la proporción de sales oxidantes - disminuye la resistencia al agua y conforme aumenta la proporción de nitroglicerina, aumenta la resistencia a la humedad, no obstante la resistencia a la humedad puede aumentarse con la adición de aditivos especiales.

#### Estabilidad

Es la propiedad que tiene una sustancia de permanecer químicamente inalterada en las condiciones de almacenaje.

#### Resistencia a las bajas temperaturas

Como la nitroglicerina congela a  $+ 8^{\circ}\text{C}$  el uso de explosivos que la contengan se hace peligroso a partir de temperaturas inferiores a esta, por lo tanto en lugares fríos se tendrá buen cuidado con todo tipo de cartuchos que contengan nitroglicerina.

#### Humos

Es el conjunto de productos gaseosos que se producen en una explosión. El problema que presentan estos productos es el contener óxido de carbono ó vapores nitrosos, que en las

labores subterráneas mal ventiladas pueden producirse intoxicaciones.

Por lo tanto en labores subterráneas el explosivo utilizado deberá tener la suficiente proporción de oxígeno que evite la formación de monóxido de carbono, sin embargo un exceso de oxígeno favorece la formación de vapores nitrosos.

Según los humos se dividen en tres clases:

Tipo A o n° 1 - Pueden emplearse en todo tipo de trabajos exteriores o interiores incluso con ventilación deficiente.

Tipo B o n° 2 - Solo en trabajos exteriores o interiores con buena ventilación.

Tipo C o n° 3 - Peligroso en lugares cerrados con escasa ventilación, deben emplearse sólo en el exterior.

### 3.- ESTADO DE DETONACION - ECUACION DE ESTADO

La presión, temperatura y densidad de los gases en la onda de choque así como su velocidad, cuyos parámetros son una expresión del mecanismo físico de la detonación de los explosivos rompedores, pueden calcularse por medio de la teoría hidrodinámica y a partir de las ecuaciones fundamentales de la termoquímica y termodinámica.

No vamos a entrar aquí en el camino o proceso a seguir para alcanzar tales objetivos, ya que el lector interesado puede acudir a tratados especializados (Ref 1 ) en donde encontrará todo lo concerniente a estos aspectos. No obstante, si queremos exponer, como elemento de ayuda en problemas prácticos, algunos de los parámetros que entran en juego en las relaciones empleadas por Cook al aplicar la ecuación de estado de Abel.-  $p(v-x) = nRT$ .-siendo  $x$  el covolumen- (Tabla IV), ya que la ecuación de estado para gases ideales resulta inaplicable a gases a elevada temperatura y presión.

#### 4.- TERMOQUIMICA

El calor generado en la explosión, Q puede determinarse con facilidad a partir de la relación básica.

$$Q = \text{calor de formación de los productos} - \text{calor de formación de los reactantes.}$$

En la tabla V exponemos el calor de formación de los productos que podemos encontrarnos con mayor frecuencia en la utilización de explosivos.

Esta relación es considerando un proceso adiabático, mientras que la aplicación de las leyes termodinámicas de la ecuación de estado de Abel conduce a la siguiente ecuación:

$$T_2 = \frac{[Q_2 + T_1 \sum n_i \bar{c}_v] \beta}{\beta n_i \sum \bar{c}_v - \sum 1/2 R n_i}$$

Donde

$Q_2$  = calor generado en la explosión de la onda de detonación.

$$T_1 = 298^\circ\text{K}$$

$n_i$  = gases y productos sólidos de la detonación

$\bar{c}_v$  = calor medio (capacidad) de los gases y sólidos

$R$  = Constante de los gases = 0,00198

cuando  $Q_2$  se expresa en Kcal/kg. y  $n_i$  en moles/kg

En la table VI exponemos los valores de  $\bar{c}_v$  (medio) y  $C_v$

(ideal) para diferentes T y sustancias.

TABLE VI  
Average and Ideal Molar Heat Capacities  
cal/mol/°K

T°K	Average $C_v$				Ideal $C_v$	
	$N_2$	$CO_2$	$H_2O$	$N_2$	$CO_2$	$H_2O$
300	5.323	9.395	6.867	4.974	6.907	6.039
1000	5.653	10.302	7.564	5.829	11.008	7.674
1500	5.900	10.884	8.168	6.615	12.515	10.021
2000	6.082	11.293	8.656	6.772	12.830	10.567
2500	6.219	11.600	9.045	6.874	13.056	10.926
3000	6.328	11.841	9.359	6.947	13.229	11.160
3500	6.415	12.039	9.614	7.002	13.368	11.321
4000	6.488	12.204	9.824	7.048	13.468	11.437
4500	6.550	12.347	10.001	7.089	13.599	11.534
5000	6.603	12.472	10.153	(7.127)	(13.681)	(11.608)
5500	6.651	12.586	10.286	(7.154)	(13.752)	(11.667)
6000						

#### 5.- EXPLOSIVOS COMERCIALES EMPLEADOS EN DIFERENTES PAISES

Exponemos en este epígrafe los diferentes tipos de explosivos que son generalmente empleados en países como Francia Alemania, Gran Bretaña y USA (Tabla VII). Suecia (Tabla VIII) y Sudáfrica (Tabla IX). Asimismo exponemos la composición de dos explosivos militares (Tabla X).

TABLE VII

Typical Composition and Properties of Commercial Explosives, France, Germany, Great Britain, and the U.S.A.  
 $\rho_0$  is initial density,  $Q_e$  explosion energy,  $V_{gas}$  volume in litres per kg of reaction products at NPT and  $D$  detonation velocity

Explosive	Composition	$\rho_0$ (g/cm <sup>3</sup> )	$Q_e$ (kJ/kg)	$V_{gas}$ (l/kg)	$D$ (m/sec)	Consistency
<b>FRANCE</b>						
Gomme A	92 NG/8 NC	1.59	6500	752	7800	Rubber like gel.
Gomme B. Am	60 NG/3 NC/34 AN/3 F	1.65	5500	795	7000	Rubber like plastic
Nobelite	20 NG/1.6 NC/60 SN/ 14 NCp/4.4 F	1.32	4200	459	6200	Plastic
Stabilite	21 NG/0.5 NC/68 AN/ 8 NCp/2.5 F	1.26	4300	883	6300	Powder
Nitrate No. 30	11 TNT/80 AN/9 Al	1.00	5500	791	4300	Powder
Nitrate No. 0	21 TNT/79 AN	1.10	4400	893	4900	Powder
<b>GERMANY</b>						
Sprengelatine	93 NG/7 NC	1.60	6500	712	7800	Rubber like gel.
Dynamit 1	62 NG/3 NC/27 SN/8 F	1.52	5300	600	6500	Rubber like plastic
Ammon-Gelit 1	38 NG/2 NC/4 NCp/52 AN/4 F	1.50	4900	850	6500	Plastic
Ammon-Gelit 2	29 NG/1 NC/60 AN/8 NCp/2 F	1.55	4700	860	6000	Plastic
Ammon-Gelit 3	22 NG/1 NC/55 AN/10 SN/11 NCp	1.55	4300	800	5500	Plastic
Donarit 1	6 NG/78 AN/12 NCp/4 F	1.00	4000	900	4500	Powder
Ammonit 1	16 NCp/82 AN/2 F	1.05	4000	900	4000	Powder

NCp = Aromatic nitro compounds

Explosive	Composition	$\rho_0$ (g/cm <sup>3</sup> )	$Q_e$ (kJ/kg)	$V_{gas}$ (l/kg)	$D$ (m/sec)	Consistency
<b>GREAT BRITAIN</b>						
War Blasting gelatine	92 NG/8 NC	1.55	6500	715	7900	Rubber like gel
War Ammon gelatine dynamite	50 NG/2.5 NC/42.5 AN/5 F	1.50	5100	825	6850	Rubber like plastic
War Ammon gelignite	26 NG/1 NC/52 AN/12 SN/9 F	1.45	4000	825	6400	Plastic
War Rockite	10 NG/80 AN/10 F	1.0	3800	930	4250	Powder
Cellonol	15 NG/0.3 NC/78.7 AN/6 F	1.2	3800	930	5150	Crumbly cohesive plastic
Ammonal	12 TNT/83 AN/5 Al	1.1	4600	850	4900	Powder
TNT powder	18 TNT/82 AN	1.1	4000	905	4850	Powder
<b>U.S.A.</b>						
See-It Dynamite	50 NG/0.2 NC/34 SN/15.8 C <sup>a</sup>	1.40	5044	5829		Powder
Ammonia Dynamite	16 NG/0.1 NC/60 AN/ 15 SN/8.9 C	1.33	3985	4770		Powder
Semi-Gelatin	18 NG/0.3 NC/66 AN/ 7 SN/8.7 C	1.28	3700	5215		Semi-gel.
Sensitive Gelatin 69%	50 NG/1.3 NC/39 SN/9.7 C	1.33	5031	5467		Gelatin
Ammonia Gelatin 69%	26 NG/0.65 NC/34 AN/ 28 SN/11.3 C	1.46	3813	5457		Gelatin
Formable Dynamite	9 NG/67 AN.5 SN/10 Salt/9 C	1.18	2821	4982		Powder
ANFO-Prills	94.0 Prills/6 Oil	0.85	3717	4757		Granular
Dynal ANFO-Packaged	87.0 Prills/7.5 FeP/4.0 Oil	1.02	3713	4777		Granular
Water Gel. Explosive	25.0 TNT/18.0 SN/ 39.2 AN/17.8 H <sub>2</sub> O	1.40	3064	6048		Gelatin or Pourable Gel.

<sup>a</sup> Includes combustibles and chalk.

TABLE VIII

Composition and Properties of Typical Commercial Explosives, Sweden  
 $\rho_0$  is initial density,  $Q_e$  explosion energy,  
 $V_{\text{gas}}$  volume of reaction products in litres per kg, and  $D$  detonation velocity

Explosive	Composition Major ingredients	$\rho_0$ (g/cm <sup>3</sup> )	$Q_e$ (kJ/kg)	$V_{\text{gas}}$ (l/kg)	$D$ (m/sec)	Strength acc. to eqn. 6.9.1	Projectile impact (m/sec)	Consistency
SWEDEN								
Gumuldynamit	94.5 NG/5.5 NC	1.40	6500	732	7400	100	79	Rubber like gel
LF60 Dynamit	57 NG/2.9 NC/2 XNT/36 AN/2.1 F	1.45	5300	810	6600	85	67	Plastic
LFIV Dynamit	45 NG/1.6 NC/2 XNT/48 AN/3.4 F	1.45	5200	836	6500	81	67	Plastic
LPB Dynamit	35 NG/1.5 NC/4 XNT/58 AN/1.5 F	1.45	5000	848	6100	79	71	Plastic
Dikesdynamit	51 NG 0.9 NC 38 AN/10 F						<50	
Berolit	25 NG/1 NC/9 XNT/53 AN/11 SN/1 F	1.47	4525	890	5700	75	130	Plastic
Nitrofit	12 TNT/6 NG/76 AN/2 Al/4 F	1.15	4480	866	5200	71	175	Powder
Nesol	6 NG/86 AN/3 Al/5 F	1.12	4420	904	4500	70	210	Powder
Polio	94.4 AN/5.6 FO	0.9	3920			66	>1300	Powder
Ammonit	92 AN/4 C/1 FO 3 Silicon iron	0.90	3950	890	2500	66	>1300	powder
Swil P	25 TNT/35 AN/25 SN/14 W/1 F	1.55	3560	760	5000	63	>1300	Slurry
Frönl Al	23 TNT/23 AN/25 SN/7.5 Al/ 15W/1.5 F	1.60			4900	79	>1300	Slurry

NT = Nitrotoluene mixture; F = Solid fuel; FO = Fuel oil; W = Water.

MINING ENGINEERING - CLASS I

The following classification is intended as a comparative study of some commercial high explosives used in the South African mining industry. The figures are accurate to the first decimal, and allowance should be made for further developments in explosives manufacture.

EXPLOSIVE	GRADE %	NITRO-GLYCERINE %	NITRO-COTTON %	SODIUM NITRATE %	AMMONIUM NITRATE %	SODIUM CHLORIDE %	DOPE %	OTHER MATERIALS
Gelignite	60	57	3.0	31	-	-	9.0	
	40	38	2.0	43	-	-	17.0	
Dynamite	60	60	-	-	-	-	40	
	40	40	-	-	-	-	60	
Gelignite-Dynamite	-	70	4.0	19.0	-	-	7.0	
Ammon-Gelignite	60	33.0	1.0	-	60.0	-	6.0	
	40	28.0	0.5	-	55.0	14.0	2.5	
Ajax	-	32.0	0.5	-	37.0	25.0	5.5	
Saxonite	-	28.5	0.5	-	35.0	33.0	3.0	
Lynagel	60	18.0	0.5	-	75.0	-	6.5	
Ammon-Dynamite	60	12.0	-	-	81.0	-	7.0	
	40	8.5	-	-	82.5	-	9.0	
Coalex	-	11.8	-	-	72.0	7.2	9.0	
Monobel	-	8.5	-	-	68.0	15.0	8.5	
<u>NITRO-NITRO-GLYCERINE EXPLOSIVES</u>								
Ammon	-	-	-	-	85.0	-	-	15% T.N.T.
Ammonal	-	-	-	-	83.0	-	-	12% T.N.T. 5% Al.

DECOMPOSITION OF HIGH EXPLOSIVES

Nitro-Glycerine .....  $C_3H_5(NO_3)_3$  }  
 Nitro-cotton .....  $C_6H_7(NO_3)_3$  } Basic constituents of Nitroglycerine explosives (high explosives)

Blasting Gelatine ..... 92% Nitroglycerine + 8% Nitro-cotton. 100% strength Blasting Gelatine is the standard base strength of high explosive strength comparisons. V.O.D. 2,500 m/sec - 7,

VELOCITY OF DETONATION	% OF B.G. STRENGTH		A.D.C. TEST	HEAT TEST (minutes)	REMARKS
	WEIGHT STRENGTH %	BULK STRENGTH %			
2,000 m/sec	77	89	+ 6"	+ 10	Historical interest only
2,300 m/sec	65	75	+ 4"	+ 10	
4,000 m/sec	83	98	+ 6"	+ 4	
3,000 m/sec	82	89	+ 4"	+ 4	
3,000 m/sec	8 1/2	9 1/4	+ 4"	+ 10	
2,300 m/sec	88	96	+ 4"	+ 10	Gelatinous
2,000 m/sec	70	77	+ 4"	+ 10	
2,400 m/sec	57	-	+ 4"	+ 10	Gelatinous - coal mines
2,000 m/sec	40	-	+ 4"	+ 10	
2,400 m/sec	87	96	+ 4"	+ 10	Semi-gelatinous
1,400 m/sec	8 1/4	97	+ 4"	+ 10	Powder explosives
2,200 m/sec	82	80	+ 4"	+ 10	
2,200 m/sec	77	78	+ 3"	+ 10	Powder explosives - coal mines
1,900 m/sec	61	-	+ 2"	+ 10	
1,600 m/sec	80	-	-	-	Powder explosives
1,500 m/sec	83	-	-	-	

Table X  
Military Composite High Explosive

Military composite high explosives	$\rho_{max}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$D_i$ km/sec (lg/cm <sup>3</sup> ) ( $\rho_{max}$ )	$\frac{\Delta D^a}{\Delta \rho}$	$p_i$ (kbar)
Composition A-3	91 RDX/9 wax	1.59	8.1	4.00
Composition B	64 RDX/36 TNT	1.7	8.0	3.08
Composition B-3	60 RDX/40 TNT	1.72		287
Composition B-3	64 RDX/36 TNT	1.71	8.03	294
Composition C-3	77 RDX <sup>b</sup>	1.60	7.60	
Haytol	60 RDX/40 TNT	1.69	7.90	282
Cyclotol	77 RDX/23 TNT	1.74	8.25	313
Ortol	76 HMX/24 TNT	1.81	8.48	343
PBX-9404	94 HMX/3 NC/3 CEF <sup>c</sup>	1.84	8.80	370
PBX-9310	90 RDX/10 KEL-F	1.78	8.37	328
Pentalite	10-50 PETN/90-50 TNT	1.67 <sup>d</sup>	5.48 <sup>d</sup>	7.47 <sup>d</sup>
PTX-2	27 PETN/43 RDX/30 TNT	1.70	8.06	3.10 <sup>d</sup>
HBX	40 RDX/38 TNT/17 Al/5 wax			
Bartol	60 Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> /40 TNT	2.6	5.20	140
Tetrex	41 RDX/41 TNT/18 Al	1.81	7.49	
Tetonal	80 TNT/20 Al	1.72	6.70	
Amatol	60-20 TNT/40-80 AN	1.50 <sup>e</sup>	5.10 <sup>e</sup>	5.76 <sup>e</sup>
Hollex	40 NC/36 NG/20 PETN/4 <sup>f</sup>			4.15 <sup>e</sup>
Hexanit	10-70 PETN/90-30 NG			
DBX	21 RDX/40 TNT/21 AN/18 Al			

<sup>a</sup> Between  $\rho = 1$  g/cm<sup>3</sup> and  $\rho_{max}$

<sup>b</sup> Comp C-3: 77 RDX, 3 Tetryl, 4 TNT/10 DNT/5 MNT/1 NC

<sup>c</sup> 2,4,6-trinitroethylphosphate

<sup>d</sup> 50 PETN/50 TNT

<sup>e</sup> 50 TNT/50 AN

<sup>f</sup> Plasticizer

L. J. ...

## 6.- EXPLOSIVOS COMERCIALES EMPLEADOS EN ESPAÑA

Dado el especial interés que para nosotros representan los explosivos nacionales, consideramos apropiado dedicarles epígrafe aparte. Así pues, vamos a exponer a continuación los diferentes explosivos comerciales empleados en nuestro país.

### 6.1.- GOMAS

Son explosivos gelatinosos constituido principalmente por nitroglicerina y nitrocelulosa, pudiendo llevar en su composición sales oxidantes, con el fin de obtener un balance de oxígeno positivo.

Las características principales de estos explosivos son: Gran densidad de carga, consistencia plástica, elevada resistencia al agua, gran potencia, sensibilidad elevada, aptitud de propagación y velocidad de detonación. Recomendables en rocas duras.

Los tipos son:

	Densidad	Energía Específica, kgm	Potencia relativa	Velocidad m/sg Detonación	Resistencia al agua	Humos
Goma pura	1,50	12710	100	7500 m/s	Excelente	B
Goma GV	1,60	100500	85	7500 "	Excelente	u
Submarino.						
Goma 1	1,50	95000	75	6500 "	Muy buena	A
Goma 2	1,50	84380	65	5000	Muy buena	u

### Gomas especiales

Se diferencian de los anteriores en que el oxidante empleado es el nitrato amónico, que actúa como oxidante con el fin de obtener el balance de oxígeno adecuado y además, siendo este compuesto un explosivo, contribuye en la energía de la explosión, permitiendo bajar la proporción de nitroglicerina, - siendo su precio más económico.

Poseen una elevada potencia, velocidad de detonación, - densidad y su consistencia es plástica. El inconveniente que presentan estos explosivos es que al ser el nitrato amónico - muy higroscópico su resistencia al agua es menor que las gomas normales, sin embargo pueden utilizarse en los casos mas desfa- vorables incluso en barrenos llenos de agua.

	Densidad	Potencia Relativa	Velocidad detonación m/s	Resistencia al agua	Humos	Energía Especifica kgm
Goma 1-E	1,50	95	6500	Muy buena	A	112300
Goma 1E-A	1,40	90	6000	Muy buena	A	109850
Goma 1E-u	1,40	87	6050	Muy buena	U	107310
Goma 1E-C	1,40	85	5625	buena	A	103770
Goma 2E-u	1,40	83	5300	buena	C	103130
Goma 2E-C	1,40	85	5200	buena	A	100410
Goma 1E-A GV	1,55	80	7000	Muy buena	A	96800
Goma 2E	1,35	65	5000	Buena	A	86430
Goma E- Rompedora	1,60	60	7000	Buena	A	63440

Aplicaciones Son adecuadas para rocas de consistencia media o muy duras.

Goma 1E-AGU

Se usa en prospección sísmica en tiros bajo el agua donde debido a la presión produciría un envejecimiento prematuro de cualquier otra clase de goma.

Goma E-Rompedora

Adecuada para el taqueo de piedras gruesas.

Gomas B y C

Son los especiales para carga neumática no pudiendo emplearse la goma B en labores subterráneos debido a su balance de oxígeno negativo.

## 6.2.- EXPLOSIVOS PULVERULENTOS

En este tipo de explosivos debemos distinguir:

- 1°) Un componente fijo: Nitrato Amónico
- 2°) Componentes variables: Nitroglicerina, Trilita o ambas cosas a la vez.

Lleva además una serie de componentes tales como un combustible para ajustar el balance de oxígeno, así como estabilizadores, impermeabilizantes, etc.

Son bastante insensibles a los choques, golpes, o fricciones, pero tienen el inconveniente de que su densidad, velocidad y resistencia al agua son menores que en las gomas.

### EXPLOSIVOS SENSIBILIZADOS CON NITROGLICERINA

	Densidad	Pot Relat	V. Detona	Resis. Hume	Humos	Energfa Especffica kgm
Amonita 1-l	0,90	75	3000	Buena	B	88000
Amonita 2-l	0,95	70	3000	Buena	A	87500

### EXPLOSIVOS SENSIBILIZADOS CON TRILITA

	Densidad	Pot Relat	V. Detona	Resis. Hume	Humos	Energfa Especffica kgm
Sabulita 0	1,2	72	4500	Mala	C	76400
Sabulita 01	1,2	75	3800	Mala	C	78800

EXPLOSIVOS SENSIBILIZADOS CON NITROGLICERINA  
Y TRILITA.

	Densidad	Pot Relat	V. Deton.	Res. Hume.	Humos	Energía Específica kgm
Ligamita-1	1,1	77	3300	Mala	A	84600

Aplicaciones

Por sus características son en general adecuados para rocas semiduras y de dureza media. Aunque en los tipos impermeables su resistencia a la humedad es buena, no es conveniente usarlos en barrenos llenos de agua ya que por su poca densidad tienden a flotar. Se utilizan principalmente como carga de columna en los barrenos como complemento de la goma que constituye la carga de fondo.

### 6.3.- EXPLOSIVOS DE SEGURIDAD PARA MINAS DE CARBON

Estos explosivos necesitan reunir una serie de condiciones tales como evitar la inflamación del grisú y polvo de carbón; así como poseer una buena aptitud de propagación de la detonación.

Se clasifican en tres grupos: Roca, capa y capa de seguridad reforzada, según las condiciones de empleo y contenido en grisú y polvo de carbón de las labores.

#### Explosivos Roca

Su seguridad en atmósferas grisuosas y polvorientas es escasa por lo tanto su uso, queda limitado a las minas sin grisú según el Reglamento de Policía Minera.

El único explosivo de este grupo actualmente fabricado en España es el Expl. Seg. 2 Bis constituido por Nitroglicerina nitrato amónico y cloruro potásico, su consistencia es gelatinosa.

Potencia Relativa: 68%

Densidad: 4.000 m/s

Resistencia al agua: Buena

Humos: C

Energía Específica: 72.170

#### Explosivos Capa

Estos explosivos son seguros ante el grisú y el polvo de carbón, por lo tanto pueden ser utilizados en capa, pero con las

limitaciones impuestas en el Reglamento de Policía Minera.

Estan constituidos por Nitroglicerinas, nitrato amónico cloruro sódico y otros aditivos.

La adicción de cloruro-sódico finamente dividido tiene como fin hacer de inhibidor, como este producto es inerte la potencia de estos explosivos es inferior a la de los normales.

	Densidad	Pot. Rel	V. Det	Res.Hum	Humos	Energia especifica kgm
Ex Seg 7	1,10	55	2500	Malta	C	61140
Ex Seg 8	1,16	44	2500	Buena	A	46310
Ex Seg 9	1,70	45	4500	Excel	A	49150
Ex Seg 12	1,01	55	2500	Malta	A	58310
EBA 1	1,6	45	5000	Excel	A	48730

Forma de estos explosivos:

Pulverulentos: 7 y 12

Semigelatinosos: 9 y 10

Gelatinosos: E.B.A.

### Aplicaciones

El 7 y 12 sólo deben emplearse en labores secas y el segundo de ellos en sitios bien ventilados. Los demás pueden emplearse en agua.

### Explosivos de Seguridad Reforzada

Son pulverulentos y al llevar mayor cantidad de material inerte su seguridad ante el grisú y el polvo de carbón es mayor

que los anteriores pero su potencia es menor.

	Densidad	Pot Rel	V. Det	Res.Hum	Humos	Energia especifica
Ex Seg 14-SR-1	1,16	33	2500	Media	A	28680
Ex Seg 15 SR	1,20	35	2500	Mala	A	33900
Ex Seg 20 SR	1,21	37	2500	Mala	A	36650

#### Aplicaciones

Estas explosivos pueden utilizarse en las condiciones peores de grisú y polvo de carlean.

#### 6.4.- NAGOLITA

Está constituido por nitrato amónico granulado y gas-oil en la proporción adecuada para ajustar el balance de oxígeno. Aunque puede detonar en cartuchos de pequeño diámetro, se recomienda su empleo en grandes voladuras, es decir, a partir de 45 m. Es un explosivo bastante insensible por lo tanto necesita una iniciación muy enérgica empleando en la carga de columna adosado a mecha detonante y siendo la carga de fondo goma u otro explosivo de elevada potencia.

Densidad: 0,8

Pot. Relat: 65

V. Det. : 2000 m/s

Resisten. Hum: Mala

Humos: C

Energia especifica: 94400

### 6.5.- SLURRIES

Son explosivos formados por Nitrato amónico, nitrato sódico, agua y trilita, a veces se le añade aluminio en polvo. Tienen la ventaja de una densidad alta. Como inconvenientes son:

- 1°) No detonan en barrenos menores de 60 m/m, aconsejado su empleo a partir de 80 m/m.
- 2°) Dada su condición pastosa la roca deberá ser suficientemente sana para evitar fugas.

	Potencia	Densidad	Velocidad	Energía	Resistencia al agua
Hidrogel 1	65	1,5	4500	72025	Excelente
Hidralex 1	70	1,5	4700	84500	Excelente
Hidralex 2	75	1,5	5000	90000	Excelente

Estos explosivos dada su insensibilidad deberán ser iniciados con mecha detonante y un multiplicador de pentolita.

00212

BIBLIOGRAFIA

1.- Cook, M.A. An Equation of State for Gases at Extremely High Temperatures and Pressures from the Hydrodynamic Theory of Detonation. (The Science of High Explosives, Libr. Díaz de Santos).

---

2.- Munroe, Ch. E. and Tiffany, J.E.: Physical Testing of Explosives. U.S. Bureau of Mines, Bull. 346, 1931.

---

3.- Explosivos y Accesorios. Unión Española de Explosivos, S.A.

---