

85  
2500



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**EL USO DE LOS EXPLOSIVOS  
EN LA CONSTRUCCION**

**TESIS PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**

**I N G E N I E R O C I V I L**

**P R E S E N T A**

**EDUARDO JOSE JIMENEZ GABER**

**MEXICO, D. F.**

**1985**



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# I N D I C E

	Pag.
INTRODUCCION -----	1
I. PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS -----	6
1.1 Fuerza -----	6
1.2 Densidad -----	9
1.3 Velocidad de detonación -----	14
1.4 Energía -----	16
1.5 Sensibilidad -----	16
1.6 Resistencia al agua -----	17
1.7 Emanaciones -----	17
1.8 Inflamabilidad -----	18
1.9 Selección del explosivo -----	19
II. ACCESORIOS PARA VOLADURAS -----	21
2.1 Iniciadores -----	21
2.2 Mecha de seguridad -----	21
2.3 Ignitacord -----	23
2.4 Cordón detonante -----	25
2.5 Detonadores -----	27
2.6 Fulminantes -----	28
2.7 Estopines eléctricos -----	30
2.8 Estopines eléctricos instantáneos -----	31
2.9 Estopines eléctricos de retardo -----	32
2.10 Estopines de retardo MS. -----	36
2.11 Estopines de retardo Mark V -----	36
2.12 Corrugadoras para fulminantes -----	37

2.13	Máquinas explosoras -----	38
2.14	De generador -----	38
2.15	De descarga de condensador -----	39
2.16	Instrumentos de prueba -----	41
2.17	Galvanómetro -----	41
2.18	Multímetro -----	43
2.19	Reóstato -----	44
2.20	Mallas o redes -----	46
III. VOLADURAS -----		48
3.1	Mecanismo de la rotura -----	48
3.2	Voladura -----	54
3.3	Distribución de barrenos (plantillas)-----	58
3.4	Diseño de una voladura por el método - americano-----	61
3.5	Diseño de una voladura por el método- sueco -----	66
3.6	Ajuste de la capacidad volumétrica del- barreno -----	70
3.7	Ajuste del diseño a las condiciones del- banco -----	75
3.8	Revisión de la barrenación y corrección- de defectos -----	81
IV. VOLADURAS CONTROLADAS -----		90
4.1	Barrenación en línea, de límite o de costura -----	91
4.2	Voladuras amortiguadas -----	93
4.3	Voladuras perfiladas o de afine -----	98
4.4	Prefracturado -----	105

CONCLUSIONES	104
APENDICES	116
A. Transporte, manejo y almacenamiento de explosivos	116
B. Explosivos comerciales	120
BIBLIOGRAFIA	140

## INTRODUCCION

Los explosivos son sustancias que tienen poca estabilidad química, que son capaces de incendiarse o detonar mediante calor, golpe, impacto, fricción o una combinación de estas condiciones, liberando una gran cantidad de energía, la que producirá una explosión.

Desde la aparición de la humanidad en la tierra, hasta antes del descubrimiento de los explosivos, el hombre sólo conocía las detonaciones producidas por fenómenos naturales tales como el rayo, los movimientos telúricos, derrumbes en montañas, erupciones volcánicas, etc.; pero jamás pensaron nuestros antepasados que una sustancia aparentemente inofensiva llegara a ocasionar explosiones tan devastadoras como las que ahora son capaces de destruir hasta a la misma humanidad.

La más antigua de las sustancias explosivas es la pólvora negra, que consistía en una mezcla formada por salitre, carbón y azufre. Se cree que los descubridores de la pólvora fueron los chinos, pero su uso se limitó exclusivamente a exhibiciones pirotécnicas con las que iluminaban sus celebraciones.

La primera mención documentada del salitre o nitro, el ingrediente básico de la pólvora negra, se encuentra en escritos del siglo XIII del autor árabe Abd Allah, el cual lo llamaba "Nieve China". No fue sino después de 1242 cuando Roger Bacon publicó una fórmula para la pólvora negra e instrucciones para

su fabricación y aproximadamente en el año 1300 Berthold -- Schwarz la usa por primera vez como propulsor de armas de fuego.

Durante tres siglos la pólvora estuvo sin emplearse para trabajos realmente útiles, únicamente se usaba para fines bélicos. El primer uso útil que se le dió a la pólvora fue en la minería pues en 1627 se empleó para la voladura de rocas en -- las Minas Reales de Schemnitz en Ober-Biberstollen, Hungría. - Ya en 1689, se utilizaba la pólvora negra en los trabajos de -- las minas de estaño en Cornwell, Inglaterra.

Cuando los resultados que se obtuvieron del uso de la pólvora fueron satisfactorios, se abandonaron los viejos métodos -- mineros en los que el trabajo pesado era realizado por los mús -- culos del hombre y se generalizó el uso de barrenos. La opera -- ción de dar fuego a los barrenos se consideró siempre peligrosa ya que hasta el año de 1831, se conoció la mecha lenta.

En 1788 el químico francés Berthollet modificó la pólvora negra, sustituyendo el salitre por clorato potásico, transformándola así en un explosivo más potente. En ese mismo año -- Berthollet presentó la plata negra como una de las substancias más peligrosas. El alquimista inglés Howard (1799) obtuvo el fulminato de mercurio, el cual hace explosión por medio de llama o percusión, constituyendo un verdadero detonante.

En 1846, el italiano Ascanio Sobrero descubrió la nitro -- glicerina, compuesto principal de la fabricación de las dinami -- tas y de otros explosivos, sin embargo debido a su alta sensi --

bilidad y a que su comportamiento era impredecible, decidió - abandonar sus experimentos por considerarla peligrosa. Más o - menos por el mismo tiempo el químico Schoenbein produjo un ni - troalgodón llamado algodón pólvora. Sin embargo, el que abrió - nuevos horizontes a esta industria fue el sabio sueco Alfredo - Nobel (1833-1896) que logró hacer manejable la peligrosa nitro - glicerina, transformándola en un explosivo de trabajo que lla - mó dinamita, la cual está formada por un 75% de nitroglicerina absorbida en un 25% de tierra de infusorios (una tierra de dia - tomeas muy porosa). Otro de sus descubrimientos importantes - consistió en disolver algodón colodión en la nitroglicerina. - Esto dió como resultado una masa gelatinosa mucho más poderosa que la dinamita de su invención, ésta es la antecesora de to - das las dinamitas gelatinas. A Nobel se le debe también la in - vención del primer fulminante razonablemente seguro y eficien - te, el cual consistía en una cápsula de estaño (posteriormente de cobre) llena de explosivo de alta potencia llamado fulmina - to de mercurio y estaba diseñado para disparar con mecha de se - guridad.

Con las aportaciones científicas ya mencionadas de Sobre - ro, Schonbein y principalmente Nobel comenzó la paulatina dis - minución del consumo de la pólvora negra, pues la dinamita la - había desplazado por ser más poderosa y efectiva. Actualmente sólo se usa la pólvora negra como núcleo en las mechas de segu - ridad y en fuegos artificiales.

Los suecos Ahlsson y Norrbin usaron nitrato de amonio con nitroglicerina, la investigación fue dirigida a maximizar el uso del nitrato de amonio debido a su bajo costo, aunque era altamente higroscópico y sólo tenía aproximadamente un 70% en potencia comparado con la nitroglicerina. Turpin dió a conocer el ácido pícrico.

A semejanza de la pólvora negra, la dinamita tuvo su declinación en el mercado, debido a nuevos descubrimientos. La introducción del nitrato de amonio aceite-combustible y los hidrogeles han reemplazado a la dinamita en la mayor proporción del mercado actual de voladuras.

El proceso de explotación de roca está formado por tres etapas: extracción, carga y acarreo.

La extracción consiste en separar un fragmento de roca de un banco o corte y puede hacerse usando explosivos o escarificadores (arados). Cuando se hace con explosivos se produce una "tronada".

La explotación de roca puede ser graduada o sin graduar, en el primer caso existen requerimientos de tamaño y en el segundo no. El tamaño puede estar limitado por el uso al que se destine la roca, por ejemplo:

- Para trituración.- La limitación está dada por la abertura de la quebradora primaria.

- Para enrocamientos.- Por el proyecto, especificaciones y el equipo de carga y acarreo.

- Para cortes y pedraplenes.- Por el equipo de carga y aca

rreo o la capacidad de los tractores.

Actualmente los explosivos se usan para la construcción de diversas obras civiles como presas, sistemas de riego, redes de conducción eléctrica, gasoductos, oleoductos, sistemas de drenaje, vías de comunicación, cimentaciones de estructuras, canales, túneles y muchas más. Se puede notar que las principales finalidades de la excavación en roca para la construcción de las obras de ingeniería civil son: para alojar estructuras, eliminar obstáculos, y obtener materiales para construcción.

Ya que empresas muy poderosas se han dedicado al estudio de los explosivos y los resultados obtenidos son los máximos adelantos en la materia. Corresponde al constructor obtener el mayor partido posible de los explosivos industriales y así cooperar al constante adelanto de los procedimientos de construcción, ya que estos son una expresión objetiva de la evolución constante de la humanidad.

## I. PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS

Cada explosivo tiene características específicas definidas por sus propiedades, las cuales originalmente fueron creadas para las dinamitas y otros altos explosivos, pero han sufrido algunas modificaciones y se han adaptado a los nuevos explosivos-comerciales. El conocimiento de las propiedades de los explosivos es un factor importante para el buen diseño de voladuras, - además permiten elegir el más adecuado de ellos para algún caso específico. A continuación mencionaremos las más importantes -- propiedades de los explosivos.

### 1.1 Fuerza.

La fuerza suele considerarse como la capacidad de trabajo-útil de un explosivo. También suele llamarse potencia y se originó de los primeros métodos para clasificar los grados de las-dinamitas. Las dinamitas puras o nitroglicerinas, fueron medi--das por el porcentaje de nitroglicerina en peso que contenía ca da cartucho, por ejemplo, la dinamita nitroglicerina de 40% de-fuerza, contiene un 40% de nitroglicerina; una de 60% contiene-60% de nitroglicerina, etc. La fuerza de acción de este tipo -- de explosivo se toma como base para la comparación de todas las demás dinamitas. Así pues, la fuerza de cualquier otra dinami--ta, expresada en tanto porciento, indica que revienta con tanta

potencia como otra equivalente de dinamita nitroglicerina en --  
igualdad de peso.

Pocas son las personas entre las que usan dinamitas que -  
entienden bien la energía relativa de las dinamitas de diferen-  
tes porcentajes de fuerza. Suele creerse que la energía verda-  
dera desarrollada por estas distintas fuerzas guarda proporción  
directa con los porcentajes marcados. Se cree por ejemplo, que  
la dinamita de 40% es dos veces más fuerte que la de 20% y que  
la de 60% es tres veces más fuerte que la de 20%. Estas rela-  
ciones simples son incorrectas debido a que la nitroglicerina -  
no es el único ingrediente que da fuerza al explosivo. En con-  
secuencia la energía ganada al aumentar la nitroglicerina se --  
pierde parcialmente por la disminución necesaria de otros ingre-  
dientes.

La inexactitud de esta creencia ha sido demostrada por - -  
cuidadosas pruebas de laboratorio cuyos resultados se indican -  
en la siguiente tabla.

TABLA No. 1

UN CARTUCHO	60 %	50 %	45 %	40 %	35 %	30 %	25 %	20 %	15 %
60%	1.00	1.12	1.20	1.28	1.38	1.50	1.63	1.80	2.08
50%	0.89	1.00	1.07	1.14	1.23	1.34	1.45	1.60	1.85
45%	0.83	0.93	1.00	1.07	1.15	1.25	1.36	1.50	1.73
40%	0.78	0.87	0.94	1.00	1.08	1.17	1.27	1.40	1.53
35%	0.72	0.81	0.87	0.93	1.00	1.09	1.18	1.30	1.50
30%	0.67	0.75	0.80	0.85	0.92	1.00	1.09	1.20	1.38
25%	0.61	0.69	0.74	0.78	0.85	0.92	1.00	1.10	1.27
20%	0.55	0.62	0.67	0.71	0.77	0.83	0.90	1.00	1.15
15%	0.48	0.54	0.58	0.61	0.76	0.72	0.78	0.86	1.00

Indica el número de cartuchos de determinada fuerza necesaria para igualar un cartucho de diferentes fuerzas.

Con la aparición de otros explosivos que no podían compararse con las dinamitas nitroglicerininas debido a las condiciones de prueba, se idearon nuevos métodos para calcular su desempeño. Sin embargo, dos explosivos no pueden tener exactamente el mismo desempeño aunque sean del mismo tipo, debido a que también intervienen las características del material que es volado.

### 1.2 Densidad (de empaque).

La densidad de los explosivos se expresa como el número de cartuchos por caja de 25 kilogramos, tablas 2 y 3.

Para ambos casos hay que tener en cuenta que el número de cartuchos es aproximado y puede haber una variación del 3%.

Debido a la gran variedad de medidas comerciales de los explosivos y a que los agentes explosivos no se envasan en cartuchos sino en bolsas, la densidad también suele expresarse en gramos por centímetro cúbico.

La tabla número 4 nos proporciona las densidades de las dinamitas, los agentes explosivos y los hidrogeles más usuales.

Una guía útil para proyectar voladuras es el saber aproximadamente cuantos kilogramos de explosivos se cargarán por metro lineal de agujero perforado (barreno). La tabla No. 5 relaciona la densidad del explosivo en  $\text{g/cm}^3$  y el diámetro del barreno en cms., o en pulgadas, con los kilogramos de explosivo por metro cargado de barreno. Por ejemplo, si se tuviera un explosivo con una densidad de  $1.29 \text{ g/cm}^3$  y un diámetro del barreno -

TABLA No. 2

CLASES DE DINAMITA:	2.22 x 20.32 cms. (7/8 x 8")	2.54 x 20.32 cms. (1 x 8")	2.857 x 20.32 cms. (1 1/8x8")	3.175 x 20.32 cms. (1 1/4 x 8")	5.71 x 40.64 cms. (2 1/4 x 16")	6.35 x 40.64 cms. (2 1/2 x 16")	7.62 x 40.64 cms. (3 x 16")
Dinamita Extra 40%	242	184	151	121	20	14	10
Dinamita Extra 60%	242	184	151	121	20	14	10
Gelatina Extra 30%	193	151	123	98	15	12	8
Gelatina Extra 40%	196	153	126	99	16	12	8
Gelatina Extra 60%	207	164	135	108	16	12	9
Gelatina Extra 75%	216	171	143	112	17	12	9
Gelanex # 1	236	180	150	121	21	16	11
Gelanex # 2	261	198	165	134	20	16	11
Mexobel 2	---	248	201	165	25	20	14
Diranex G	309	248	204	---	25	20	14

Número de cartuchos por caja de 25 kgs para las dinamitas comerciales en sus diferentes medidas.

TABLA No. 3

CLASE DE HIDROGEL	DIAMETRO		LONGITUD DEL CARTUCHO		
	cms.	plgs.	20,3 cms. 8 plgs.	30,5 cms. 12plgs.	40,6 cms. 16 plgs.
Tovex 100	2,5	1	209	139	105
Tovex 100	2,9	1 1/8	165	110	83
Tovex 100	3,2	1 1/4	137	90	68
Tovex 700	4,4	1 3/4	-	-	32
Tovex 700	5,0	2	-	-	24
Tovex 700	6,4	2 1/2	-	-	17
Tovex Extra	10,2	4	-	-	4
Tovex Extra	12,7	5	-	-	3
Tovex Extra	15,2	6	-	-	2
Tovex Extra	20,3	8	-	-	1
Tovex P	12,7	5	-	-	3
Tovex P	15,2	6	-	-	2
Tovex P	20,3	8	-	-	1
Godyne	2,2	7/8	290	-	-
Godyne	2,5	1	210	-	-
Godyne	3,2	1 1/4	156	-	-
Godyne	3,7	1 1/2	45	-	-
Godyne	5,0	2	-	-	25
Godyne	6,4	2 1/2	-	-	19
Godyne	7,6	3	-	-	14
Godyne	12,7	5	-	-	3
Godyne	15,2	6	-	-	2
Godyne	20,3	8	-	-	1

Número de cartuchos por caja de 25 kgs. para los principales hidrogeles - comerciales en sus diferentes medidas.

TABLA No. 4

D I N A M I T A S			AGENTES EXPLOSIVOS			HIDROGELES	
Gelatina Extra	40%	1.57	'Mexamon" SP	SP-LD	0.81	Tovex 100	1.10
	60%	1.44					
	75%	1.39					
Dinamita Extra	40%		'Mexamon" C	C-LD	0.85	Tovex 700	1.18
	60%						
Dinamita Esp.	45%	1.23					
Gelamex	No. 1	1.28	Super "Mexamon" D		0.65	Tovex P	1.20
	No. 2	1.16					
Gelatina Alta Velocidad.							
Geomex	60%	1.47	NA - AC		0.80	Tovex Extra	1.35
Duramex	G	1.00	Anfomex "X"		0.80	Godyne	1.20
Dinamex	A	1.23	Anfomex "B"		0.65		
Toval		1.60					

Densidades de explosivos en g/cm<sup>3</sup>

TABLA No. 5

DIAMETRO PULG. M.M.	VOLUMEN		KILOGRAMOS POR METRO LINEAL PARA UNA DENSIDAD DADA																
	CM.	CM <sup>3</sup> /M.L.	65 GRS. POR CM. <sup>3</sup>	80 GRS. POR CM. <sup>3</sup>	85 GRS. POR CM. <sup>3</sup>	1.00 GRS. POR CM. <sup>3</sup>	1.10 GRS. POR CM. <sup>3</sup>	1.16 GRS. POR CM. <sup>3</sup>	1.18 GRS. POR CM. <sup>3</sup>	1.20 GRS. POR CM. <sup>3</sup>	1.23 GRS. POR CM. <sup>3</sup>	1.28 GRS. POR CM. <sup>3</sup>	1.29 GRS. POR CM. <sup>3</sup>	1.35 GRS. POR CM. <sup>3</sup>	1.39 GRS. POR CM. <sup>3</sup>	1.44 GRS. POR CM. <sup>3</sup>	1.47 GRS. POR CM. <sup>3</sup>	1.57 GRS. POR CM. <sup>3</sup>	1.60 GRS. POR CM. <sup>3</sup>
7/8	2.22	387.08	.252	.310	.329	.387	.426	.449	.457	.465	.476	.495	.499	.523	.538	.557	.569	.608	.619
1	2.54	506.71	.329	.405	.431	.507	.557	.588	.598	.608	.623	.649	.654	.684	.704	.730	.745	.796	.811
1 1/4	3.18	794.23	.516	.635	.675	.799	.874	.921	.937	.953	.977	1.017	1.025	1.072	1.104	1.144	1.168	1.247	1.271
1 1/2	3.81	1140.09	.741	.912	.969	1.140	1.254	1.323	1.345	1.368	1.402	1.459	1.471	1.539	1.585	1.642	1.676	1.790	1.824
1 3/4	4.45	1555.29	1.011	1.244	1.322	1.555	1.711	1.804	1.835	1.866	1.913	1.991	2.006	2.100	2.162	2.240	2.286	2.442	2.488
2	5.08	2026.83	1.317	1.621	1.723	2.027	2.230	2.351	2.392	2.432	2.493	2.594	2.615	2.736	2.817	2.919	2.979	3.182	3.245
2 1/2	6.35	3166.93	2.059	2.534	2.692	3.167	3.484	3.674	3.737	3.800	3.895	4.054	4.085	4.275	4.402	4.540	4.655	4.972	5.067
3	7.62	4560.38	2.964	3.648	3.876	4.560	5.016	5.290	5.381	5.472	5.609	5.837	5.883	6.157	6.339	6.567	6.704	7.140	7.297
3 1/2	8.89	6207.18	4.035	4.966	5.276	6.207	6.828	7.200	7.324	7.449	7.635	7.945	8.007	8.380	8.628	8.938	9.125	9.745	9.931
4	10.16	8107.34	5.270	6.486	6.891	8.107	8.918	9.405	9.567	9.729	9.972	10.377	10.458	10.945	11.269	11.675	11.918	12.729	12.972
4 1/2	11.43	10260.85	6.670	8.209	8.722	10.261	11.287	11.903	12.108	12.313	12.621	13.134	13.236	13.852	14.263	14.776	15.083	16.110	16.417
5	12.70	12667.72	8.234	10.134	10.768	12.668	13.935	14.695	14.948	15.201	15.581	16.215	16.341	17.101	17.608	18.242	18.622	19.888	20.208
5 1/2	13.97	15327.94	9.963	12.262	13.029	15.328	16.861	17.780	18.087	18.394	18.853	19.620	19.773	20.693	21.306	22.072	22.532	24.065	24.525
6	15.24	18241.51	11.857	14.593	15.505	18.242	20.066	21.160	21.525	21.890	22.437	23.349	23.532	24.626	25.356	26.268	26.815	28.639	29.186
6 1/2	16.51	21408.44	13.915	17.127	18.197	21.408	23.549	24.834	25.262	25.690	26.332	27.403	27.617	28.901	29.758	30.828	31.470	33.611	34.254
7	17.78	24828.72	16.139	19.863	21.104	24.829	27.312	28.801	29.296	29.794	30.539	31.781	32.079	33.519	34.512	35.753	36.498	38.981	39.726
7 1/2	19.05	28502.36	18.527	22.802	24.227	28.502	31.352	33.063	33.632	34.203	35.058	36.483	36.768	38.478	39.616	41.043	41.898	44.749	45.604
8	20.32	32429.35	21.079	25.983	27.565	32.429	35.672	37.618	38.267	38.915	39.888	41.510	41.834	43.771	45.077	46.698	47.671	50.914	51.887
8 1/2	21.59	36609.70	23.796	29.288	31.118	36.610	40.271	42.467	43.199	43.932	45.030	46.860	47.227	49.423	50.887	52.718	53.816	57.477	58.576
9	22.86	41043.40	26.678	32.835	34.887	41.043	45.148	47.610	48.431	49.252	50.482	52.535	52.946	55.409	57.050	59.102	60.334	64.438	65.669
10	25.40	50670.87	32.956	40.537	43.070	50.671	55.739	58.778	59.792	60.805	62.325	64.859	65.363	68.406	70.433	72.966	74.486	79.553	81.073
11	27.94	61311.75	39.853	49.049	52.115	61.312	67.443	71.122	72.548	72.574	75.413	78.479	79.092	82.771	85.223	88.288	90.128	96.250	98.099
12	30.48	72966.05	47.428	58.373	62.021	72.966	80.559	84.641	86.100	87.559	89.748	93.397	94.126	98.504	101.423	105.071	107.260	114.557	116.746

Densidades de carga de explosivos. Nota: columna y barrenos significan lo mismo.

de 4 pulgadas (10.16 cms) al consultar estos valores en la tabla No. 5, su intersección nos indica que será necesario 10.458 kilogramos de explosivo por cada metro lineal de barreno.

La densidad de un explosivo determina si éste se hundirá en el agua, para que esto suceda el explosivo usado deberá tener una densidad mayor a  $1 \text{ g/cm}^3$ , dado que esta es la densidad del agua.

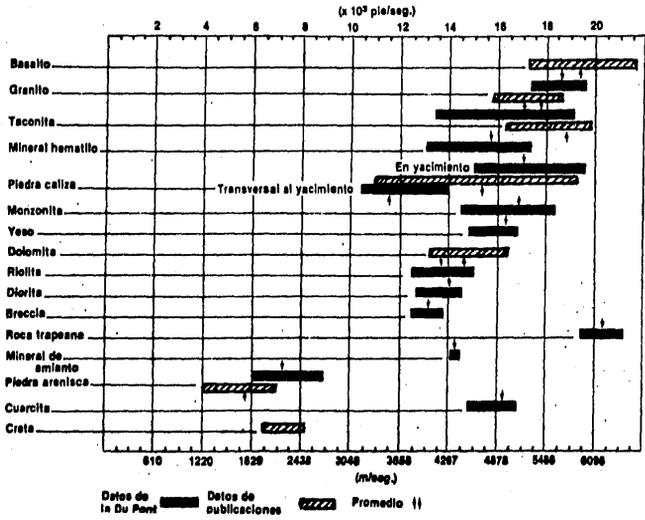
El tener explosivos de diferentes densidades permite concentrar o distribuir las cargas de acuerdo a las necesidades de cada caso particular.

### 1.3 Velocidad de detonación.

Es la velocidad expresada en metros por segundo, a la cual la onda de detonación recorre una columna de explosivo. Esta velocidad deberá ser por lo menos igual a la velocidad del sonido a través del material que se desea volar. La tabla No. 6 nos señala la velocidad sónica en diferentes rocas. La velocidad puede ser afectada por el tipo de producto, su diámetro, el confinamiento, la temperatura y el cebado.

Las velocidades de detonación de los explosivos comerciales fluctúan desde cerca de 1,525 m/seg. (5,000 pies/seg) hasta más de 6,705 m/seg (22,000 pies/seg). Pero la mayor parte de los explosivos usados tienen velocidades que varían de 3,050 a 5,040 m/seg. (de 10,000 a 18,000 pies/seg). Mientras mayor sea la rapidez de la explosión, mayor suele ser el efecto de fragmentación o quebramiento del material.

TABLA No. 6



Velocidad sónica en rocas.

#### 1.4 Energía

La energía es una medida del potencial de fragmentación o movimiento del material volado por los explosivos; esta propiedad sirve de orientación para la formulación de nuevos explosivos.

#### 1.5 Sensibilidad.

Es la medida de la facilidad de iniciación de los explosivos, es decir, el mínimo de energía, presión o potencia que es necesaria para que ocurra la iniciación. Lo ideal de un explosivo es que sea sensible a la iniciación mediante cebos para -- asegurar la detonación de toda la columna de explosivos, e insensible a la iniciación accidental durante su transporte, manejo y uso.

En la industria de los explosivos, la prueba más usada es la de la sensibilidad al fulminante, los cuales varían desde el número 4 hasta el 12. El uso del fulminante No. 8 es la prueba estándar, su contenido es de 2 gramos de una mezcla de 80% de - fulminato de mercurio y 20% de clorato de potasio, o alguna - - substancia equivalente. Con el uso de este fulminante se clasifican los productos explosivos, si estallan se les denomina explosivos, si sucede lo contrario se les llaman agentes explosivos.

Para comparar las sensibilidades entre diferentes productos se utilizan fulminantes de diferentes potencias, cuanto más alto sea el número de la cápsula mayor será la sensibilidad del

explosivo.

#### 1.6 Resistencia al agua.

En forma general se define como la capacidad del explosivo para soportar la penetración del agua. Más precisamente, la resistencia al agua es el número de horas que el explosivo puede hallarse cargado en agua y aún ser detonado.

Obviamente, en trabajos en seco esta propiedad no tiene importancia, pero si el explosivo va a estar expuesto al agua, este puede ser afectado en su eficiencia o desensibilizarse al grado de no detonar, provocando una falla en la propagación de la columna.

La resistencia del producto no sólo depende del empaque y de la capacidad inherente del explosivo para resistir al agua. La profundidad del agua (presión) y el estado de reposo o movimiento de la misma afectan el tiempo de resistencia al agua del explosivo.

Por consiguiente, deben de considerarse las características particulares de cada acción de voladura y tener en cuenta que la resistencia al agua de los explosivos proporcionada por el fabricante, sólo son índices que sirven como guía, pero que se ven afectados por las condiciones del campo.

#### 1.7 Emanaciones.

En este medio se le denominan emanaciones a los gases tóxicos. Los gases que se originan de la detonación de explosivos-

son principalmente bióxido de carbono, nitrógeno y vapor de - - agua, los cuales no son tóxicos en el sentido general de la palabra, pero también se forman en cualquier detonación gases venenosos (emanaciones) como el monóxido de carbono y el óxido de nitrógeno.

En trabajos a cielo abierto las emanaciones se pueden dispersar rápidamente por el aire, por lo que provocan poca preocupación, pero en trabajos subterráneos deben considerarse detenidamente, ya que las emanaciones no se disipan fácilmente y en este caso la ventilación es de fundamental importancia. También hay que considerar que las emanaciones provocan mientras se disipan, tiempos de espera para poder reanudar los trabajos.

Tanto la naturaleza como la cantidad de gases venenosos va rían en los diferentes tipos y clases de explosivos.

Algunos de los factores que pueden incrementar los gases tóxicos son: fórmula pobre del producto, cebado inadecuado, falta de resistencia al agua, falta de confinamiento, reactividad del producto con la roca y reacción incompleta del producto.

### 1.8 Inflamabilidad.

Se define como la facilidad con la cual un explosivo o - - agente de voladura puede iniciarse por medio de llama o calor.

En el caso de las dinamitas, la mayoría se incendian con facilidad y se consumen violentamente. Pero hay varios explosivos que requieren que se les aplique una flama exterior en forma directa y continua para que logren incendiarse.

### 1.9 Selección del explosivo.

Para seleccionar el explosivo a usarse en una situación de terminada, es indispensable tener en cuenta su costo y sus propiedades. Deberá escogerse aquel que proporcione la mayor economía y los resultados deseados.

Como una orientación se presenta a continuación una tabla con las propiedades de los explosivos.

TABLA No. 7

TIPO	AGENTE EXPLOSIVO	FUERZA	VELOCIDAD	RESISTENCIA AL AGUA	EMANACIONES	USO
Dinamita Nitroglicerina	Nitroglicerina	---	Alta	Buena	Exceso de gases.	Trabajos a cielo abierto.
Extra	Nitroglicerina y amoníaco	20 a 60%	Alta	Regular	Exceso de gases.	Trabajos a cielo abierto.
Granulada	Amoníaco	25 a 65%	Baja	Muy Mala	Exceso de gases.	Trabajos a cielo abierto (canteras).
Gelatina	Amoníaco	30 a 75%	Muy Alta	De Buena a Excelente	De muy pocos gases a nulos.	Sismología, Trabajos submarinos y subterráneos.
ANFO	Amoníaco	---	Alta	Ninguna	Muy pocos gases.	Trabajos a cielo abierto y subterráneos.
Hidrogelos	Amoníaco	40 a 75%	Muy Alta	Excelente	Muy pocos gases.	Trabajos a cielo abierto y subterráneos.

Selección y propiedades de los explosivos más comunes en construcción.

## II. ACCESORIOS PARA VOLADURAS

Son los dispositivos o productos empleados para cebar cargas explosivas, suministrar o transmitir una llama que inicie la explosión, llevar una onda detonadora de un punto a otro o de una carga explosiva a otra y los necesarios para probar las conexiones y disparar los explosivos para que pueda llevarse a cabo una voladura.

Para obtener los mejores resultados en las voladuras, se debe seleccionar los accesorios tan cuidadosamente como los explosivos.

### 2.1 Iniciadores.

Los iniciadores son productos que dan principio o inician una explosión. Los iniciadores son: la mecha de seguridad, el ignitacord y el cordón detonante.

### 2.2 Mecha de seguridad.

La mecha de seguridad es el medio a través del cual es -- transmitida la flama a una velocidad continua y uniforme, para hacer estallar al fulminante o a una carga explosiva.

Está formada por un núcleo de pólvora negra, cubierto por varias capas de materiales textiles, asfálticos, plásticos e impermeabilizantes, los cuales le proporcionan protección contra la abrasión, el maltrato y la contaminación por humedad. -

Es obvio que cualquier manejo que destruya o dañe el recubrimiento de protección o que permita que el agua u otras sustancias lleguen a la pólvora, ocasionará que la mecha no cumpla con su objetivo y tenga un funcionamiento defectuoso.

Cuando se inicia la mecha, emerge de ella un flamazo inicial, el cual comprueba al usuario que el núcleo de pólvora ha sido encendido y que la mecha está ardiendo. El no reconocer el flamazo inicial puede provocar incertidumbre respecto a la ignición de la pólvora y ocasionar accidentes al tratar de encender una mecha que ya fue encendida.



Fig. 1 Mecha de seguridad mostrando el flamazo inicial, que es un chorro de fuego que lanza la mecha al encenderse el núcleo de pólvora.

La velocidad de combustión de una mecha generalmente es de 128 a 135 segundos por metro, sin embargo se fabrican mechas de diferentes velocidades de combustión. Los fabricantes señalan que dichas velocidades podrán tener una variación permisible del 10% en más o en menos que la determinada en la fábrica y que después de salir de ella no garantizan que se cumplan a causa de las diversas condiciones y circunstancias en

las que se puede encontrar la mecha. Ante esta situación es conveniente medir con exactitud el tiempo de combustión de una muestra de cada rollo de mecha antes de usarla.

La mecha usada en México se denomina Clover y puede conseguirse en carretes de 1000 metros o en rollos de 50 metros.

La mecha de seguridad también se conoce como mecha para minas, ambos nombres son genéricos y hay que tener en cuenta que su mal uso es peligroso.

### 2.3 Ignitacord.

El ignitacord es un cordón incendiario que arde a una velocidad uniforme con una vigorosa flama exterior. Tiene un diámetro muy pequeño, 1.5 milímetros, y consiste de un núcleo de termita en polvo (mezcla que produce elevadas temperaturas) recubierto de entorchados textiles y alambres.

Este producto permite encender una serie de mechas en un orden determinado, proporcionando a la persona que inicie el encendido el mismo tiempo para colocarse en un lugar seguro, que si estuviera encendiendo una sola mecha. Para unir las mechas con el ignitacord, se usan dispositivos llamados conectores.

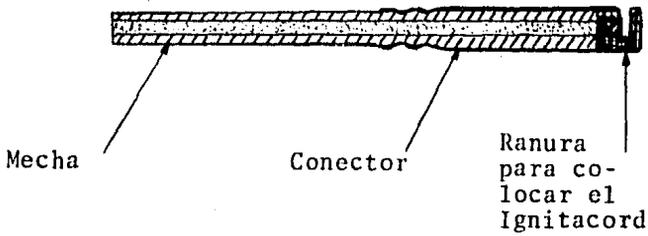


Fig. 2 Corte longitudinal de una mecha y un conector.

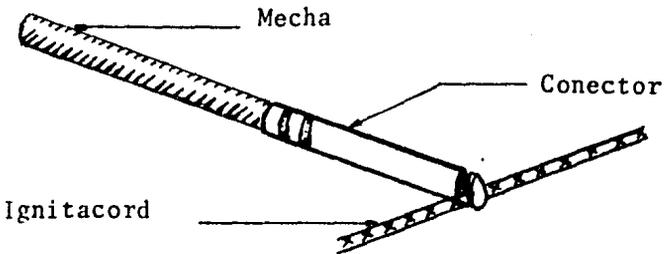


Fig.3 Unión de la mecha con el ignitacord por medio del conector.

Existen en el mercado tres tipos de ignitacord de acuerdo a su velocidad de combustión nominal e identificables por su color.

El ignitacord se puede adquirir en carretes de 30 metros (aproximadamente 100 pies) y en rollos de 10.15 metros (33 1/3 pies).

Tipo	Velocidad de combustión	Color
A	Intermedia.- (8 segundos por pie)	Verde
B	Lenta.- (18 segundos por pie)	Rojo
C	Rápida.- (4 segundos por pie)	Negro

TABLA No.8 Velocidad de combustión y color de los diferentes tipos de ignitacord.

#### 2.4 Cordón detonante.

El cordón detonante se puede describir como una cuerda -- flexible, formada por varias capas protectoras y un núcleo del explosivo conocido como pentrita (tetranitrato de pentaeritrol) que es muy difícil de encender pero tiene la sensibilidad suficiente para iniciar la explosión con detonadores (fulminantes- o estopines) o por medio de la energía detonadora de algún explosivo de alta potencia.

Su velocidad de detonación es de 6,700 metros por segundo. La fuerza con que estalla es suficiente para hacer detonar explosivos violentos continuos dentro de un barreno, de modo que si se conecta al primer cartucho que se coloque en el barreno, actúa como agente iniciador a lo largo de la carga explosiva - como lo muestra la figura 4.

El cordón detonante se usa para disparar múltiples barrenos grandes en la superficie ya sea verticales u horizontales, siendo ilimitado el número de barrenos que pueden dispararse -

de esta forma.

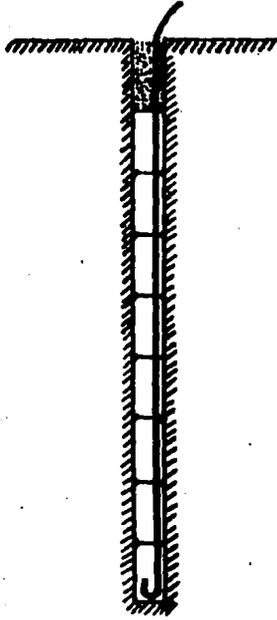


Fig.4 Cordón detonante sujetado al primer cartucho que se introduce al barreno, su función es iniciar la columna de explosivos.

En México los cordones detonantes más usados son el Prima cord y el E-cord, sus principales diferencias son los gramos de pentrita y su grado de protección.

Fig.5 E-cord.

Fig.6 Primacord.

Cordón detonante	Núcleo	Gramos por metro (Nominales)	Diámetro Exterior mm.	Resistencia en Tensión, Promedio	Peso de Embarque que 500 mts.
Primacord	Pentrita	10.6	5.15 $\pm$ 0.40	90 kgs	11.5 kgs
E-cord	Pentrita	5.3	4.0 $\pm$ 0.20	63 kgs	7.8 kgs

TABLA No.8 Características de los cordones detonantes.

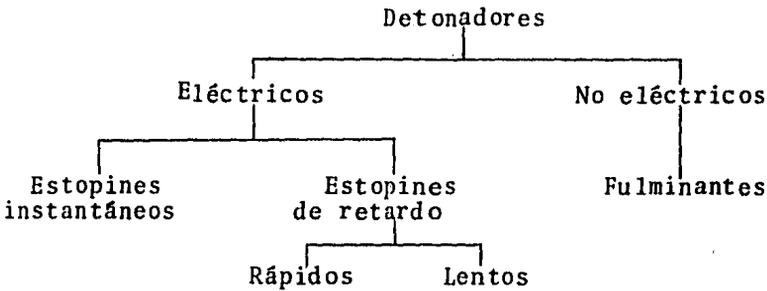
Tanto el Primacord como el E-cord se pueden adquirir en -- rollos de 500 metros.

### 2.5 Detonadores.

Los detonadores son dispositivos que sirven para disparar una carga explosiva. Pueden ser eléctricos y no eléctricos - -

(estopines y fulminantes respectivamente)

### CLASIFICACION DE DETONADORES



#### 2.6 Fulminantes.

Los fulminantes o cápsulas detonadoras son casquillos metálicos cerrados en un extremo en el cual contienen una carga explosiva de gran sensibilidad, por ejemplo fulminato de mercurio. Están hechos para detonar con las chispas del tren de fuego de la mecha de seguridad. En la figura 7 se muestra una mecha ensamblada a un fulminante.

Los fulminantes que se fabrican son del número 6 ya que estos son lo suficientemente potentes, pero si se requieren de otra potencia se conseguirán en un pedido especial.

Los fulminantes los surten por ciento o por millar.

Su empleo en construcción generalmente está limitado a pequeñas voladuras y moneo (volver a tronar rocas de tamaño mayor que el especificado).

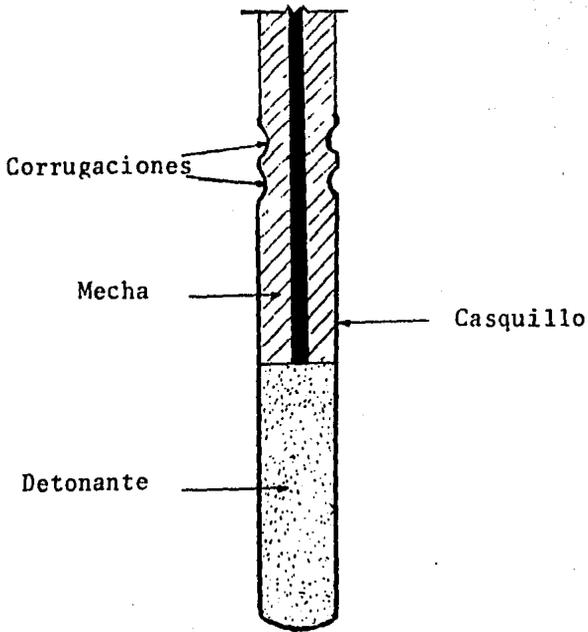


Fig. 7 Estructura de un fulminante.

## 2.7 Estopines eléctricos.

Los estopines eléctricos son fulminantes elaborados de tal manera que pueden hacerse detonar con corriente eléctrica. Con ellos pueden iniciarse al mismo tiempo varias cargas de explosivos de gran potencia.

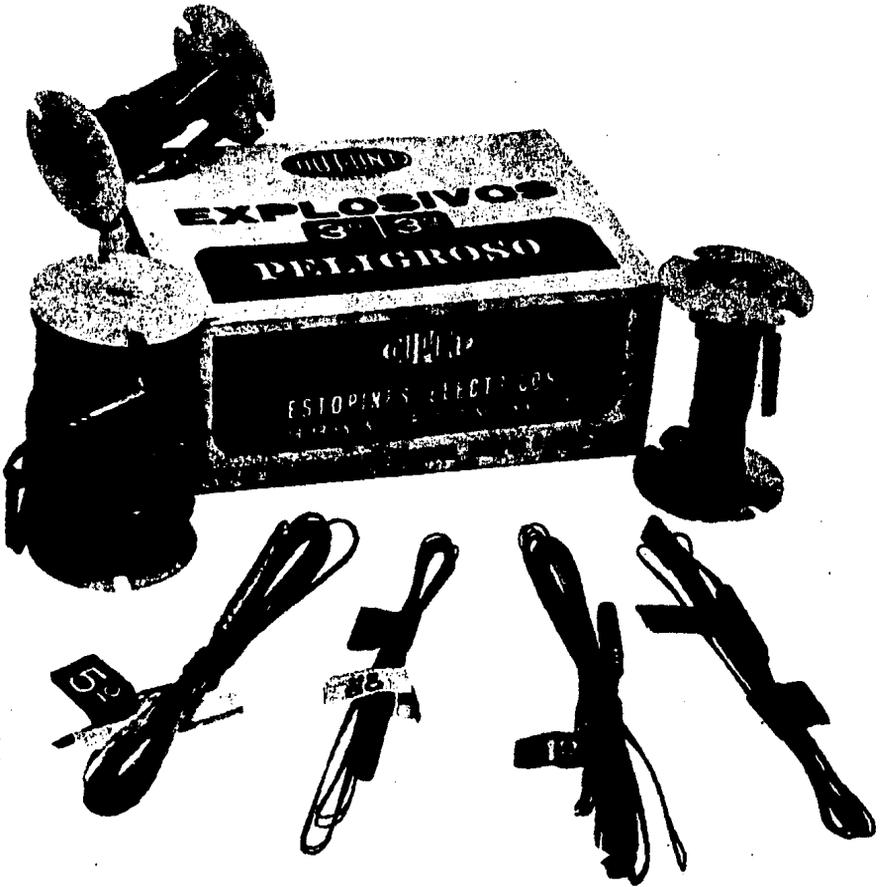


Fig.8 Estopines eléctricos.

Un estopín eléctrico está formado por un casco metálico - cilíndrico que contiene varias cargas de explosivos. La energía eléctrica es llevada hacia el estopín mediante alambres de metal con aislamiento de plástico, los cuales se introducen al estopín a través de un tapón de hule o plástico. El tapón colocado en el extremo abierto del casco del estopín forma un -- cierre hermético resistente al agua. Los extremos de los alambres son unidos dentro del fulminante por un alambre de corta-longitud y diámetro muy pequeño llamado filamento, el cual - - queda en contacto con la carga de ignición del estopín. Cuando se aplica corriente eléctrica se pone incandescente el filamento y el estopín detona.

Los estopines que tiene más alta potencia son los que - - tienen mayor cantidad de carga detonante. Generalmente los estopines usados son del No.6 o del No.8.

## 2.8 Estopines eléctricos instantáneos.

Los estopines eléctricos instantáneos tienen una carga de ignición, una carga primaria y una carga detonante.

Su casquillo es de aluminio y tienen dos alambres de cobre calibre 24, generalmente uno rojo y el otro amarillo. Estos dos colores distintos son de gran ayuda al hacer las conexiones.

Los estopines instantáneos se pueden conseguir sueltos o en cajas cuyo contenido es el siguiente:

50 piezas para alambre de 2 a 6 metros.  
 40 piezas para alambre de 7 metros y  
 30 piezas para alambre de 9 y 10 metros.

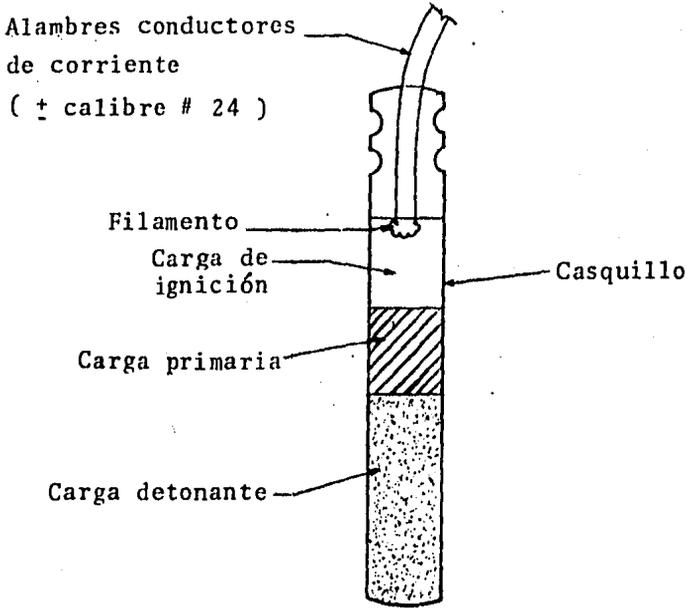


Fig. 9 Estructura de un estopín instantáneo.

## 2.9 Estopines eléctricos de retardo.

Los estopines eléctricos de retardo, también llamados de tiempo son similares a los instantáneos, con la diferencia que tienen colocados entre el filamento y la carga de detonación - un elemento de retardo el cual contiene pólvora lenta.

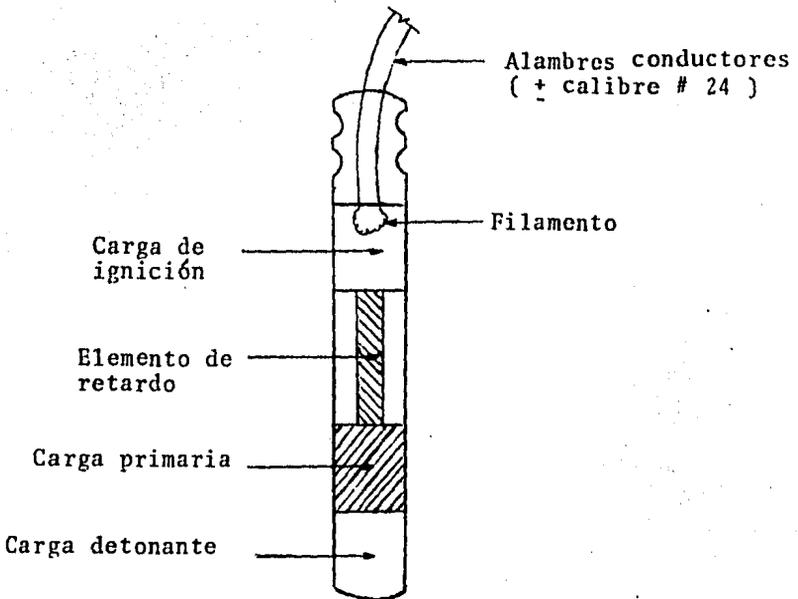


Fig.10 Estructura de un estopín de tiempo.

Estos estopines tienen una etiqueta de color que muestra el número del período de retardo y que sirve para su identificación. El disparo con estopines de retardo tiene por objeto mejorar la fragmentación y el desplazamiento de la roca, así como proporcionar mayor control de vibraciones, ruido y proyecciones. Si se usan adecuadamente se pueden reducir los costos.

Los estopines de retardo tienen alambre de cobre calibre-24 forrado cada uno de distinto color, generalmente uno azul y amarillo el otro.

En la tabla No. 10 se presenta la resistencia nominal para diversas longitudes de alambre tanto para los estopines eléctricos instantáneos (normales) como para los de retardo.

LONGITUDES DE LAS PATAS DE ALAMBRE, PIES.	RESISTENCIA, OHMS POR CAPSULA	
	NORMAL	RETARDADA
2	1.6	—
2.5	1.7	—
3.0	1.8	1.68
3.5	1.9	—
5.0	2.18	2.06
6.0	2.37	—
7.0	2.56	—
9.0	2.75	—
10.0	3.14	—

TABLA No. 10 Resistencia de cápsulas detonantes eléctricas: normales y de retardo.

Los estopines eléctricos tienen una corriente mínima y otra de diseño, la primera es aquella a partir de la cual puede ser suficiente para detonar el estopín, y la segunda la co-

riente con la que se asegura la detonación del mismo.

ESTOPINES	MINIMA	PARA DISEÑO
INSTANTANEOS:	0.3 A	2.0 A
DE TIEMPO:	0.4 A	2.0 A

TABLA No. 11 Corriente de disparo mínima y de diseño.

Los estopines de retardo pueden ser de milisegundos "MS" o los llamados Mark V, su diferencia estriba en la duración del - intervalo de retardo entre períodos consecutivos, siendo el de los primeros mucho más pequeños.



Fig. 11 Cebado de un cartucho de dinamita con estopín.

### 2.10 Estopines de retardo "MS".

Los estopines de retardo "MS" son los más ampliamente usados en canteras, trabajos a cielo abierto y proyectos de construcción. Se pueden obtener en diez períodos, cuyos números indican el tiempo en milésimas de segundo que tarda en producirse un disparo, a continuación se mencionan: MS-25, MS-50, MS-75, MS-100, MS-125, MS-150, MS-175, MS-200, MS-250, y MS-300.

### 2.11 Estopines de retardo Mark V.

Los estopines de retardo Mark V se utilizan principalmente en trabajos subterráneos como túneles, galerías, pozos, etc. Se fabrican en diez períodos regulares de retardo: 0-25MS, 1-500MS, 2-1000MS, 3-1500MS, 4-2000MS, 5-3000MS, 6-3800MS, 7-4600MS, 8-5500MS, y 9-6400MS.

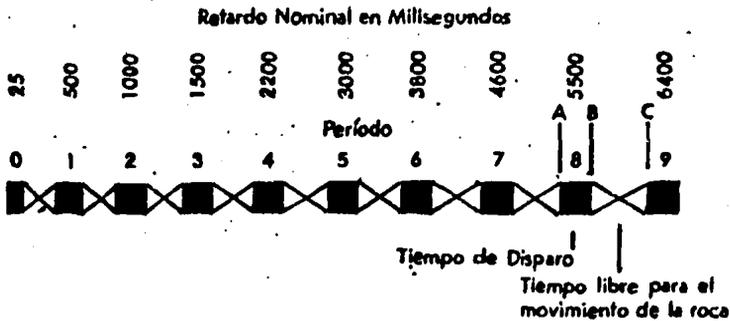


Fig. 12 Indica los tiempos de disparo y los de movimiento de la roca entre períodos consecutivos.

En la Fig. 12 se señala que todos los estopines de un mismo período de retardo disparan dentro de los límites de tiempo representados por las áreas negras correspondientes a ese período. Por ejemplo todos los estopines del 8o. período disparan en el tiempo representado entre las líneas A y B. Antes de que cualquier estopín del 9o. período se dispare, deberá transcurrir el tiempo indicado entre las líneas B y C. Este intervalo es el tiempo que queda libre entre los períodos 8o y 9o. para el movimiento de la roca.

#### 2.12 Corrugadoras para fulminantes.

Hay dos tipos de corrugadoras: las pinzas corrugadoras y las máquinas corrugadoras. Con ambas, se pueden hacer hendiduras a los casquillos del fulminante cerca del extremo abierto de éste, logrando una unión firme e impermeable entre la mecha y el fulminante.

En la Fig. No. 13 se muestra a la izquierda, la corrugadora manual para una hendidura y a la derecha una máquina cortadora y corrugadora de hendidura doble. También con la corrugadora manual se pueden hacer dos hendiduras.

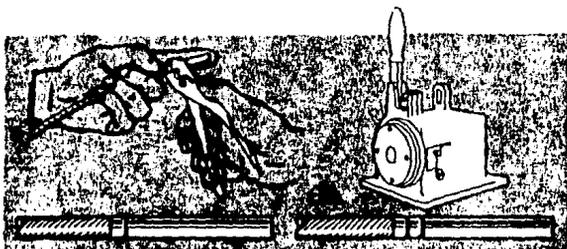


Fig. No. 13 Corrugadora manual y máquina corrugadora.

La compra de la máquina corrugadora sólo se justifica para operaciones donde diariamente se fijan una gran cantidad de fulminantes y donde hay puestos centrales para hacer este trabajo.

### 2.13 Máquinas explosoras.

Las máquinas explosoras suministran la corriente necesaria para disparar los estopines eléctricos. Estas son de dos tipos básicos: de "generador" y de "descarga de condensador". Ambos tipos son de una construcción robusta y soportan servicio duro por períodos prolongados.

### 2.14 De "generador".

Estas explosoras han sido las convencionales durante muchos años. Se basan en un generador modificado que suministra una corriente directa pulsativa. Son de dos tipos: de "giro o vuelta" y de "cremallera". Están diseñadas de tal manera que no producen corriente alguna hasta que el giro o el desplazamiento

hacia abajo de la cremallera lleguen al final de su recorrido; instante en que la corriente es liberada hacia las líneas de disparo en magnitud muy cercana a su máximo amperaje y voltaje.



a)



b)

Fig. 14 En el caso a se muestra la máquina explosora de cremallera y en el b la de giro o vuelta. Las flechas señalan el movimiento de la manivela.

#### 2.15 De "descarga de condensador".

Estas máquinas explosoras utilizan pilas secas para cargar un banco de condensadores que alimentan una corriente directa y de duración corta a los dispositivos de disparo eléctrico.

Para operarlas se conectan sus terminales a las líneas con ductoras provenientes del circuito de la voladura y después se oprime el interruptor de "carga", cuando el foco piloto (rojo)-encienda, se oprime el interruptor de "disparo" manteniendo - -

siempre oprimido el interruptor de "carga".

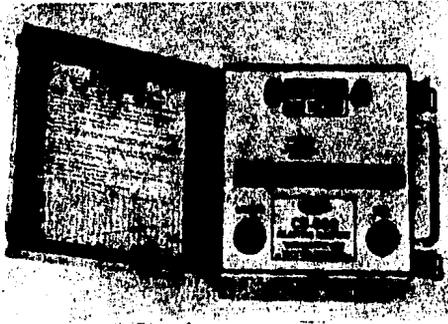


Fig. 15 La explosora de descarga de condensador no dispara a menos que ambos botones el de "carga" y el de "disparo" ("charge" y "fire" respectivamente) sean accionados conjuntamente.

Estas explosoras se consideran como las máquinas más eficientes y confiables para el encendido en voladuras. Sus principales características son:

a) Poseen una capacidad de detonación de estopines extremadamente alta.

b) Proporcionan gran seguridad ya que no disparan hasta alcanzar su voltaje de diseño, el cual es señalado por la luz del foco piloto.

c) Los botones de carga y disparo así como los condensadores quedan en "corto circuito" hasta que se necesiten.

d) La ausencia de partes dotadas de movimiento y la eliminación del factor humano que interviene en las explosoras mecá-

nicas.

Existen también máquinas explosoras de descarga de condensador capaces de dar energía a múltiples circuitos de voladura en una secuencia de tiempo programada, comunmente a estas máquinas se les denomina "explosoras secuenciales". La distribución de tiempo proporciona un mayor número de retardos de los que se pueden tener con estopines de tiempo disparados con máquinas -- explosoras convencionales.

Otra característica de las explosoras secuenciales es que permiten aumentar el tamaño total del disparo sin incrementar los efectos de ruidos y vibraciones, así como mejorar la fragmentación y el control de proyecciones de roca.

#### 2.16 Instrumentos de prueba.

Son instrumentos diseñados para medir las características eléctricas de los circuitos de voladura, así como del área circundante para asegurar que la operación sea eficiente y segura. Estos aparatos, además de ahorrar tiempo permiten incrementar grandemente la seguridad de cualquier operación de voladura, -- reduciendo la posibilidad de disparos quedados o de detonación accidental.

#### 2.17 Galvanómetro.

Este aparato tiene una pila especial de cloruro de plata -- que proporciona la corriente necesaria para mover una manecilla en una escala graduada. Las pilas y las partes mecánicas están

encerradas en una caja metálica, la cual está provista en su parte superior de dos bornes de contacto. Sirve para probar cada uno de los estopines eléctricos y también para determinar si un circuito de voladura está cerrado o no y si está en condiciones para el disparo; además sirve para localizar alambres rotos, conexiones defectuosas y cortos circuitos, así como para medir la resistencia aproximada del circuito.

Si se requiere mayor exactitud que la que proporciona un galvanómetro, se puede usar un óhmetro. Estos dos aparatos son similares sólo que el óhmetro posee dos escalas de resistencias, una baja (de 0 a 100 ohms) y otra alta (de 0 a 1000 ohms), con lo cual se amplía el alcance de medición de resistencias. Otra característica del óhmetro es que usa pilas comunes.



Fig. 16 Ohmetro para voladuras.

### 2.18 Multímetro.

El multímetro es un aparato diseñado para medir resistencias, voltajes y corrientes en operaciones de voladuras eléctricas. Su sensibilidad es muy alta, por lo que tiene un amplio al cance en sus mediciones.

Sus principales usos son:

- a) Examinar los sitios de voladura para localizar corrientes extrañas.

- b) Analizar las resistencias de los circuitos de voladura.
- c) Ejecutar pruebas de resistencia en la determinación de riesgos por electricidad estática.
- d) Probar líneas de conducción.
- e) Probar la continuidad y la resistencia de estopines y circuitos eléctricos.
- f) Medir voltajes.
- g) Como galvanómetro.



Fig. 17 Multímetro para voladuras.

### 2.19 Reóstato.

Este instrumento se utiliza para probar la eficiencia de una máquina explosora de tipo generador. Está formado por una serie de bobinas de resistencias variables. Cada resistencia tiene una placa que indica su valor en ohms y su número equiva-

lente de estopines eléctricos.

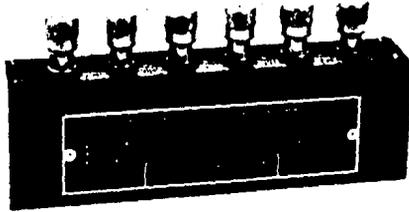


Fig. 18 Reóstato para prueba de máquinas explosoras.

Para usar el reóstato, primeramente se conectan los estopines necesarios y se introducen los alambres del circuito dentro de los postes apropiados del reóstato, a manera que se -- ajuste el número total de estopines para los que la máquina -- fue diseñada para disparar, en seguida se conecta el circuito a la máquina explosora y se dispara, si detonan todos los estopines puede concluirse que la explosora está en condiciones -- adecuadas para la operación de voladuras, si algún estopín falla la explosora debe repararse.

La ventaja del uso del reóstato es que puede probarse la explosora detonando unicamente unos cuantos estopines en cada prueba.

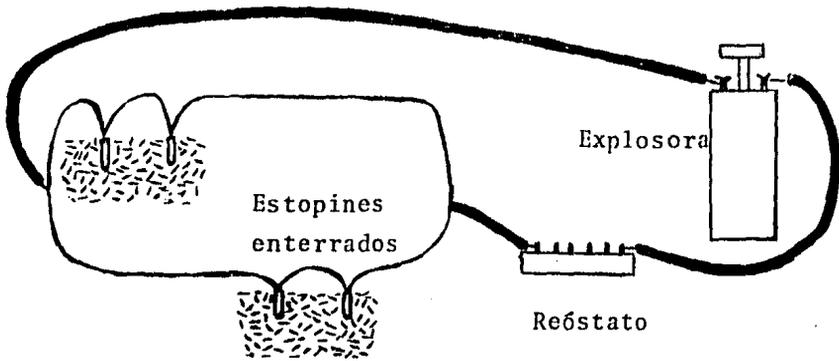


Fig. 19 Uso del reóstato.

## 2.20 Mallas o redes.

Las mallas pueden ser de alambre o alambrón y se utilizan para cubrir la voladura antes de efectuar el disparo, para captar los fragmentos de roca procedente de la voladura e impedir que vuelen al aire con grandes proyecciones. Debe tenerse cuidado al colocar las mallas, porque pueden hacerse cortos circuitos si hay conexiones descubiertas del circuito de disparo que estén en contacto con la malla.



Fig. 20 Uso de las mallas para voladuras.

## III. VOLADURAS

## 3.1 Mecanismo de la rotura.

Debido a que el conocimiento del mecanismo de la rotura -- de las rocas permitirá una mejor comprensión del fenómeno, se ha considerado necesaria su explicación.

Después de algunas milésimas de segundo de haberse iniciado la explosión de un barreno se libera la energía química del explosivo, transformándose este sólido en un gas caliente a --- enorme presión, que al estar encerrado en el barreno, puede alcanzar y aún sobrepasar los 100,000 Bars ( $100,000 \text{ kg/cm}^2$ ). Como la roca es menos resistente a la tensión que a la compresión las primeras grietas se forman principalmente bajo la influencia de los esfuerzos de tensión, dando como resultado grietas - radiales.

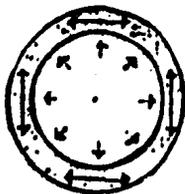


Fig. 21 Las paredes de un tubo de acero sometido a presión interna están sometidas a tensión, de manera similar ocurre en un barreno.

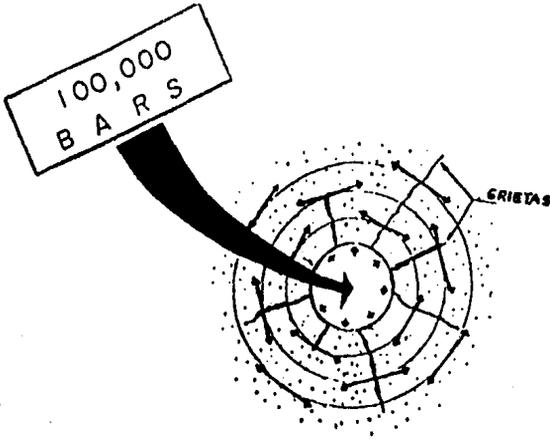


Fig. 22 La roca alrededor de un barreno con gases a presión -- (del explosivo) está sometida a tensión. Si la presión es suficientemente grande también lo será la tensión - y habrá grietas.

Durante este primer período de agrietamiento no hay prácticamente rotura. El barreno ha sido ligeramente ensanchado a poco menos que el doble de su diámetro, por quebrantamiento y deformación plástica.

En una voladura, generalmente se tiene en el frente una cara libre de roca paralela a los barrenos.

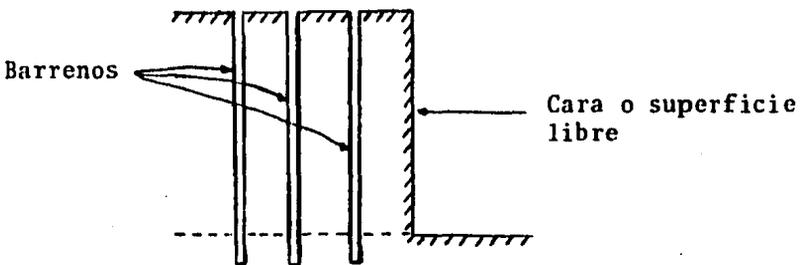


Fig. 23 Cara libre en una voladura de roca. (Elevación).

Cuando las ondas de compresión se reflejan contra ella, se originan fuerzas de tensión que pueden producir un descostramiento de parte de la roca próxima a la superficie.

El proceso es el mismo que cuando se golpea en un extremo una fila de bolas de billar: el golpe se transmite de bola a bola hasta que la última sale disparada con toda la fuerza, esto también ocurriría si las bolas estuvieran cementadas. El descostramiento tiene una importancia secundaria en las voladuras.

Estas dos primeras etapas del proceso de desprendimiento de la roca, agrietamiento radial y descostramiento son originadas por la onda de choque, sin embargo, la onda de choque no es la que provoca el desprendimiento de la roca, pues la energía que proporciona es mínima en comparación con la necesaria para que esto ocurra.

En la tercera y última etapa, bajo la influencia de la presión de los gases del explosivo se extienden las primeras grietas radiales y la superficie libre de la roca cede y es lanzada hacia adelante. Cuando la superficie frontal se mueve hacia adelante se descarga la presión y aumenta la tensión en las grietas primarias que se inclinan oblicuas hacia afuera. Si la pata o berma no es demasiado grande, muchas de estas grietas se extienden hasta la superficie libre y tiene lugar el desprendimiento completo de la roca. Para lograr el máximo efecto por barrenos y cantidad de carga, el ángulo de fractura del material deberá ser igual o mayor a  $135^\circ$  ya que así, se consigue una salida natural, pero si el ángulo es menor, el material queda con

finado y se producen problemas en su salida.

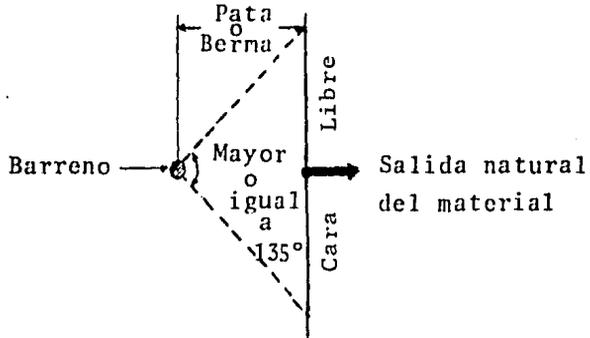


Fig. 24 Ángulo de fractura ideal para la salida del material.- (Planta).

La configuración completa de las grietas puede estudiarse si se hacen explosiones en modelos experimentales a escala en plexiglás (placa transparente). Experimento de Langerfors.

Con carga insuficiente fig. 25a. las grietas no se desarrollan totalmente, pero puede verse como algunas a un ángulo de  $90^\circ$  y  $120^\circ$  tendrían capacidad para originar la fractura total si la presión estática aumentase. En la fig. 25b. se ha obtenido una fractura completa con un ángulo de  $110^\circ$ . De lo anterior se concluye que la magnitud de la carga explosiva influye en el tamaño de las grietas, es decir a mayor carga mayores serán las grietas, sin embargo es importante evitar sobrecargas para obtener la menor tensión posible en la roca residual. Ver figura -- 25.

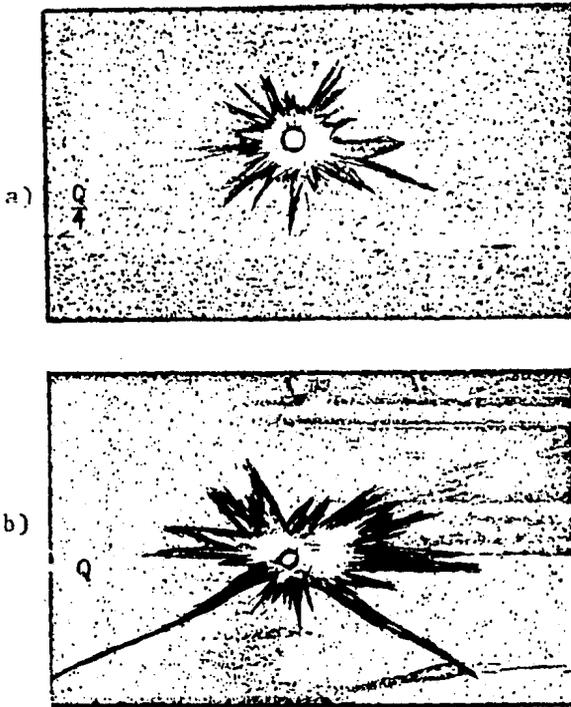


Fig. 25 Influencia de la cantidad de explosivo en la formación de grietas. En la figura superior la carga es cuatro veces menor que en la inferior. En ambos casos la bermas es la misma.

Un barreno lleno de explosivo origina grandes grietas al detonar, pero éstas pueden ser casi suprimidas si con la misma carga se reduce la presión ejercida sobre las paredes del barreno, incrementando su diámetro. De esta manera, sólo se forman unas pocas grietas de longitud muy semejante como se muestra en la figura 26.

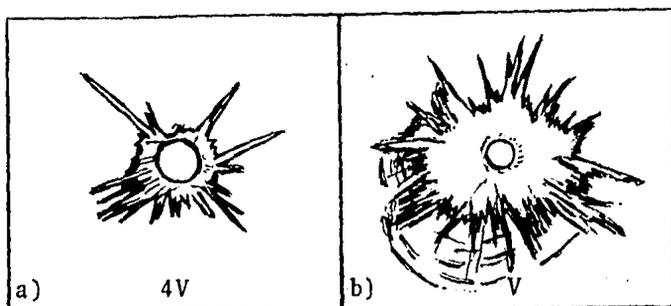


Fig. 26 Con una misma carga se obtienen muchas más grietas - - cuando ésta llena totalmente el barreno. En a) el volumen del barreno es cuatro veces mayor que en b), pero las cargas fueron las mismas. Nótese la cantidad y el tamaño de las grietas en ambos casos.

En voladuras se debe tener en cuenta, la gran importancia que tiene la relación espaciamento-pata con respecto a la fragmentación de la roca. Experimentalmente se obtuvieron las ilustraciones de la figura 27, en el caso a) se muestra una distribución de barrenos cuya relación espaciamento-pata es  $E/V=0.5$  y en b) una en la cual  $E/V=2$ ; en ambos casos se tiene el mismo valor  $ExV$  por barreno, es decir la misma carga y longitud de perforación por volumen de roca a volar. También se muestra la diferencia en la fragmentación del material, conseguida de una forma tan simple como modificar la distribución de los barrenos. Si observamos detenidamente la figura 27, llegaremos a la conclusión de que al aumentar la relación  $E/V$  aumenta la fragmentación.

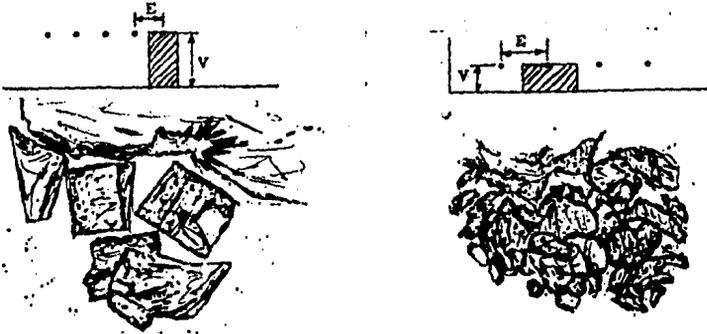


Fig. 27 Influencia de la distribución de los barrenos en la fragmentación de la roca.

### 3.2 Voladura.

Para una buena voladura no basta seleccionar correctamente el explosivo, ya que es necesario conocer también el método de aplicación más indicado para cada clase de trabajo, obteniéndose con ello una máxima eficiencia, la cual se traduce en menor costo de obra. Generalmente los resultados óptimos en voladuras se adquieren a través de la experiencia.

Los objetivos de una voladura se deben tener en cuenta desde su diseño. Los principales "objetivos" son:

- La roca debe tener la granulometría deseada. Esto se refiere a los tamaños de los fragmentos de roca, muchas veces es--

tán limitados por ciertos factores tales como la clase y tamaño del equipo de excavación y acarreo, la abertura o boca de la -- trituradora primaria o simplemente por el uso al que se va a -- destinar el material.

- Consumo mínimo de explosivos para fracturar la roca. El tipo de explosivo a usar deberá ser aquel que tenga un menor -- costo por m<sup>3</sup> de roca volada. Ya elegido el explosivo, se procurará usar el mínimo de explosivos en la carga de los barrenos -- que produzca los resultados requeridos, esto redundará en el -- aspecto económico de la voladura.

- Mínima barrenación posible. Se debe perseguir hacer una distribución adecuada de los barrenos procurando tener una longitud de barrenación mínima, lo que conducirá a ahorrar tiempo y recursos influyendo también en la economía de la voladura.

- Mínimas proyecciones de la roca. Se entiende como proyección al lanzamiento de fragmentos de roca al aire, procedentes de la voladura. Es conveniente que las proyecciones de roca sean mínimas, pues son producto de un uso inútil de la energía del explosivo y además pueden ocasionar daños.

- Fracturación mínima de la roca no volada. Debe evitarse lo más posible las fracturaciones de roca atrás de la línea de corte o proyecto.

Cuando un explosivo se usa apropiadamente, consume mayor parte de su energía en forma útil, ya sea fracturando la roca -- o moviéndola de lugar para evitar trabazones entre sus fragmentos. Sin embargo, el resto de la energía se consume inutilmente,

proyectando rocas, lo cual es muy peligroso. El control de la energía se puede llevar a cabo mediante el tamaño de los agujeros de perforación, las separaciones entre los mismos y por el tipo de explosivo.

Es importante hacer notar que todas las cifras anotadas, en voladuras son aproximadas, se intentan sólo como una guía general y como una base para comenzar a hacer pruebas en cada caso particular.

Para abrir un banco se hacen pequeñas voladuras hasta formar el frente del banco (vertical o inclinado).

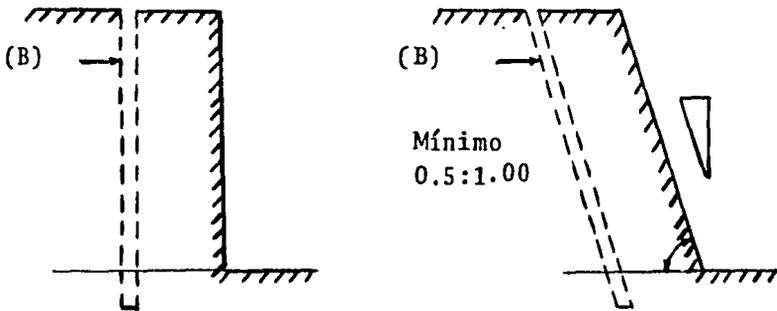


Fig. 28 Muestra esquemática de un frente de banco vertical y uno inclinado.

Luego se perforan los barrenos (B) paralelos al frente, éstos se llenan con explosivos dejando una parte vacía para formar un tapón (taco) que confine los gases de la explosión. El taco no debe ser de papel, cartón o cualquier substancia combustible, generalmente se forma con suelos arcillo-arenosos o limo

-arenosos compactados. Finalmente se hace la conexión y el disparo eléctrico de la voladura.

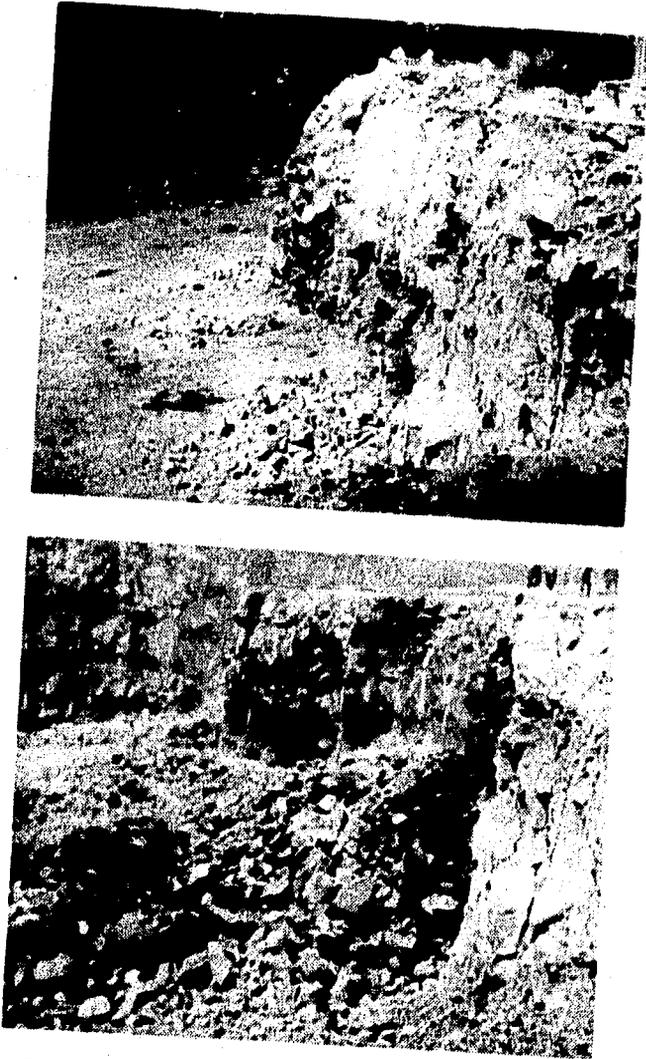


Fig. 29 La figura superior muestra el inicio de la voladura, - la inferior momentos después de ésta, así como su resultado.

### 3.3 Distribución de barrenos (plantillas).

Existen diversos tipos de plantillas para voladuras de varias hileras lateralmente limitadas, la más sencilla es la que se muestra en la figura 30.

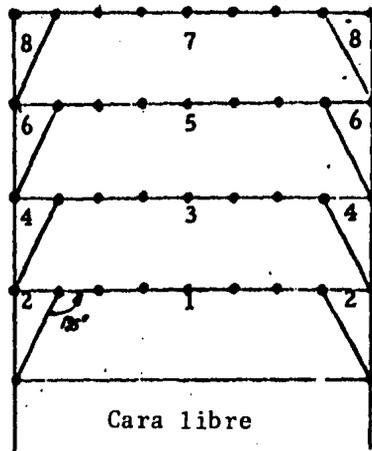


Fig. 30 Plantilla con dos retardos por hilera.

Todos los barrenos por hilera excepto los de las esquinas, se inician con un mismo número de retardo, propiciando que en el momento de la detonación la roca de cada barreno tenga una salida libre. Esto no sería posible si los barrenos de la esquina se iniciaran al mismo tiempo, ya que se tendría una probabilidad muy grande de que éstos se encendieran antes de los inmediatamente próximos, quedando en condiciones de rotura desfavorables. Este tipo de encendido exige el doble de intervalos de retardo que de hileras, lo cual es una restricción cuando se --

trata de grandes voladuras con varias hileras, ya que los intervalos disponibles no son suficientes para la aplicación de una secuencia de encendido como la mencionada.

La plantilla anterior, se puede modificar como se muestra en la figura 31 en la cual todos los barrenos de la hilera, a excepción de los de la esquina, se encienden con el mismo intervalo que los barrenos de la hilera anterior. Con este arreglo se usa un menor número de intervalos en los estopines.

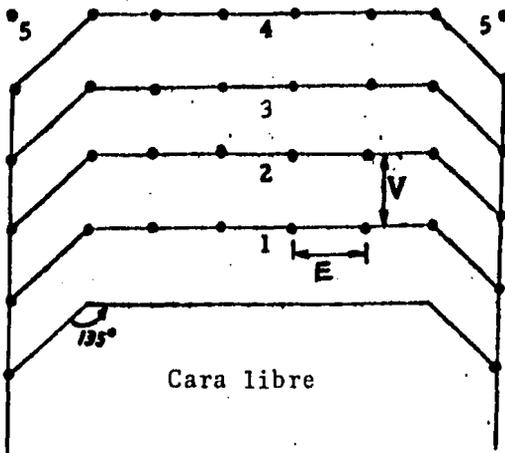


Fig. 31 Plantilla similar a la anterior, su diferencia estriba en que en este caso se usan menos intervalos de retardo y la cara libre del banco ya no es recta.

Otro tipo de plantilla sería la mostrada en la figura 32, la cual es adecuada para una mejor fragmentación, un mejor acabado en las paredes y una rezaga más concentrada, aunque presenta malas condiciones para el desprendimiento de la parte cen-

tral, pues después del encendido del retardo número 1 que tiene la rotura libre, encienden los dos barrenos de ambos lados y de la misma hilera con el retardo número 2, así como el que está -- atrás del volado en primer lugar, lo que da como resultado que -- el barreno de la segunda hilera se pueda adelantar a los de -- enfrente, quedándose encerrado en el momento del encendido y -- efectuando una voladura defectuosa.

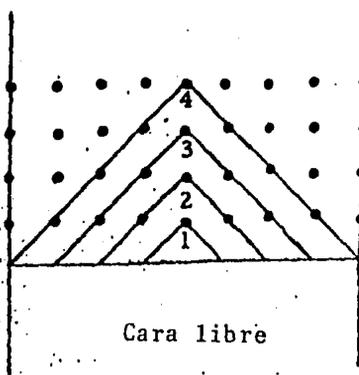


Fig. 32 El inconveniente de esta plantilla es que puede suceder que algún barreno central en el momento de estallar, no tenga salida libre, efectuándose una voladura defectuosa.

Para evitar lo anterior, se utiliza una plantilla como la mostrada en la figura 33. Los dos barrenos que están al centro se han dispuesto en la hilera de modo que tengan salida libre -- aunque sean los primeros en estallar y de esta manera no se -- afecta el resultado final de la voladura.

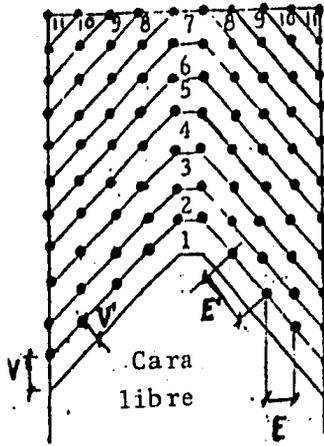


Fig. 33 Plantilla que mejora las condiciones de desprendimiento de la roca en la parte central.

También se debe tener en cuenta la gran importancia que tiene la relación espaciamento-berma para la fragmentación. En las figuras 32 y 33 se puede observar que  $E'$  es mayor que  $E$  y  $E'$  es menor que  $V$ , estas condiciones, el aumento del espaciamento entre barrenos, y la disminución de la berma, permiten que la relación  $E/V$  sea mayor y por consiguiente la fragmentación de la roca aumente; además el material se acumula al centro facilitándose su carga.

#### 4.4 Diseño de una voladura por el método americano.

El método americano creado por Du Pont parte de las siguientes reglas:

1) La carga específica o sea la carga por metro cúbico de roca fragmentada, será la misma independientemente del tamaño de la voladura.

2) La carga específica necesaria para una voladura puede variar de 0.2 a 0.6 kg de explosivo por  $m^3$  de roca.

3) La berma o pata es igual a 40 veces el diámetro del barrenado,  $A=40 \varnothing$

4) La separación entre barrenos es aproximadamente 1.3 veces la berma,  $S = 1.3 A$

5) La altura del banco es igual a 100 veces el diámetro,  $h = 100 \varnothing$ .

6) La sobrebarrenación es 0.3 del bordo, o sea  $0.3 A$ .

7) La carga total del barrenado es igual a la suma de la carga de columna y la carga de fondo,  $C_T = C_F + C_C$  y se distribuirán de acuerdo con la figura 34.

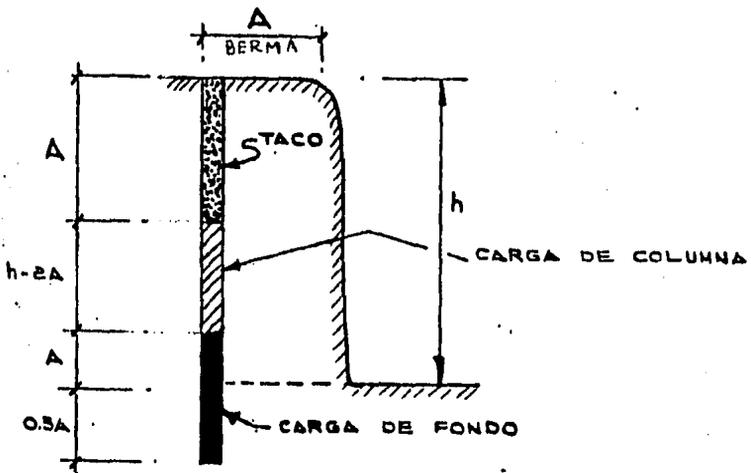
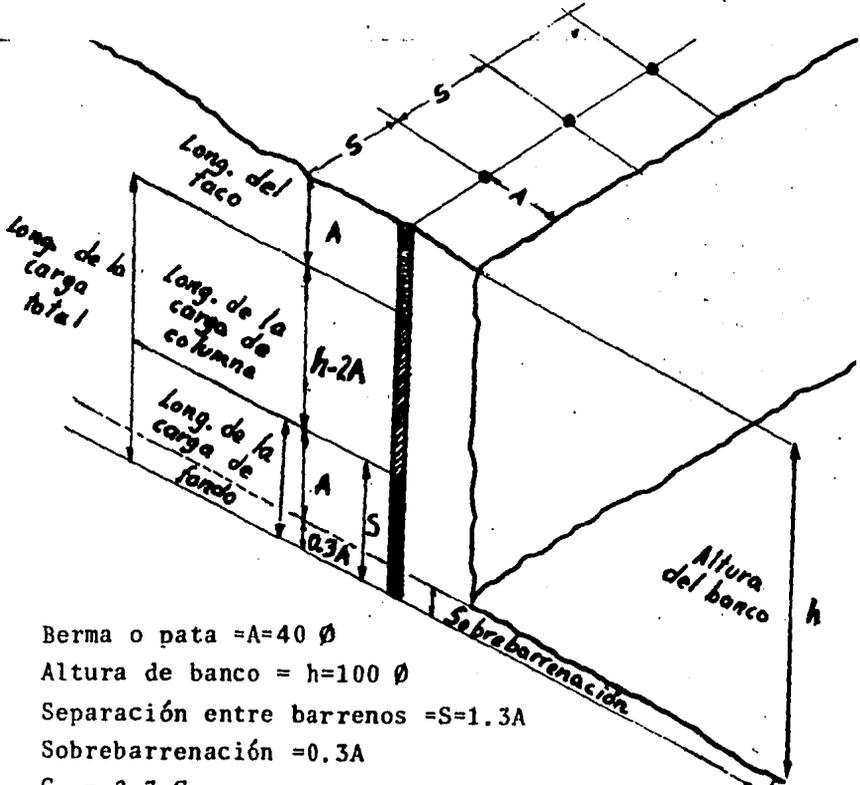


Fig. 34 Distribución de cargas en el barrenado.

8) La carga de fondo del barreno debe ser 2.7 veces mayor que la carga de columna.

9) La longitud de carga ya sea de fondo o de columna, se obtiene dividiendo la carga respectiva entre los kilogramos de explosivo por metro lineal de columna para una densidad dada -- (Tabla 5).

10) Para voladuras de varias hileras, conviene reducir la distancia entre barrenos después del frontal según  $A_1 = A - 0.05h$



Berma o pata  $= A = 40 \phi$

Altura de banco  $= h = 100 \phi$

Separación entre barrenos  $= S = 1.3A$

Sobrerbarrenación  $= 0.3A$

$C_F = 2.7 C_C$

Carga específica  $= 0.2$  a  $0.6$  kg. de explosivos/ $m^3$  de roca

Fig. 35 Método americano de voladuras.

En la figura 35 se presentan esquemáticamente las reglas de este método para diseño de voladuras con la finalidad de que quede más claro.

Cabe aclarar que la altura del banco en este método es -- calculada, lo cual es irracional ya que en la realidad generalmente es un dato. Esto no ocurre en el método sueco que se tratará más adelante.

**PROBLEMA:**

a) Datos.

- Diámetro del barreno =  $\phi = 4'' = 0.10 \text{ m}$
- Carga específica =  $0.35 \text{ kg/m}^3$
- Explosivo Tovex Extra con densidad de  $1.35 \text{ g/cm}^3$

b) Solución:

$$A = 40 \phi = 40 \times 0.10 = 4.00 \text{ m}$$

$$S = 1.3A = 1.3 \times 4.00 = 5.20 \text{ m}$$

$$h = 100 \times 0.10 = 10.00 \text{ m}$$

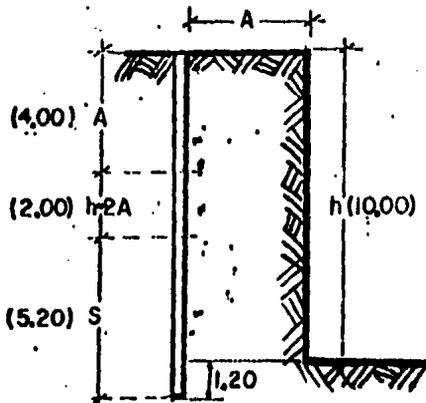


Fig. 36 Geometría del barreno (método americano).

Volumen de roca por barreno:

$$V = A \times S \times h = 4.00 \times 5.20 \times 10.00 = 208 \text{ m}^3$$

Carga total de explosivo por barreno:

$$= \text{Volumen} \times \text{Carga específica}$$

$$= 208 \times 0.35 = 72.8 \text{ kg de explosivos}$$

$$\text{Como } C_T = C_F + C_C$$

$$\text{y } C_F = 2.7 C_C$$

$$C_T = 2.7 C_C + C_C$$

$$C_T = 3.7 C_C$$

$$C_C = \frac{C_T}{3.7}$$

$$\text{Carga de Columna} = C_C = \frac{72.8}{3.7} = 19.67 \text{ kg}$$

$$\text{Carga de Fondo} = C_F = 2.7 \times 19.67 = 53.12 \text{ kg}$$

$$\text{Carga Total} = C_T = C_C + C_F = 19.67 + 53.12 = 72.80 \text{ kg}$$

Calcularemos a continuación las longitudes de la carga de columna y la de la carga de fondo.

Para ello se necesita conocer los kilogramos de explosivo por metro lineal de columna lo que se obtiene así:

$$= \frac{\pi d^2}{4} \times \text{densidad} \times 1000$$

d: en metros

densidad: en g/cm<sup>3</sup>

$$= \frac{3.14 \times 0.10^2}{4} \times 1.35 \times 1000$$

$$= 10.59 \text{ kg/m}$$

Longitud necesaria de la carga de fondo:

$$L_{CF} = \frac{C_F}{\text{kgs de explosivo por metro lineal}} = \frac{53.12}{10.59} = 5.02 < 5.20$$

Longitud necesaria de la carga de columna:

$$L_{CC} = \frac{C_C}{\text{kgs de explosivo por metro lineal}} = \frac{19.67}{10.59} = 1.86 < 2.00$$

Lo que indica que las longitudes necesarias de carga de fondo y de columna son ligeramente menores que las disponibles (ver figura del problema) y se está desaprovechando sólo una mínima longitud de barrenación; cuando suceda lo contrario se tendrá que hacer un ajuste de la capacidad volumétrica del barreno, lo cual se tratará en la sección 4.6

Barrenación Específica:

$$B_E = \frac{\text{Longitud del barreno}}{\text{Volumen de roca por barreno}} = \frac{11.20}{208} = 0.054 \text{ m/m}^3$$

3.5 Diseño de una voladura por el método sueco (overburden).

Este método se basa en las siguientes fórmulas:

Pata o berma teórica:  $V_T = 45d$

Pata o berma real:  $V_R = V_T - 0.05 - 0.03 h$

donde:

d: es el diámetro del barreno

h: es la altura del banco

La berma teórica es reducida de 0.05 a 0.10 m debido a la aproximación en la posición de la perforadora y en 0.03 de la altura del banco por la desviación angular del barreno, de esta manera se obtiene la berma real, que es la que se usará para el diseño de la voladura.

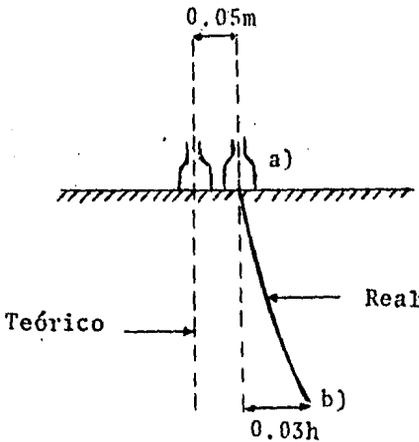


Fig. 37 Correcciones a la berma teórica:  
 a) A causa del emboquillado de la perforadora.  
 b) Por la desviación en la dirección de barrenación.

La geometría del barreno se obtiene en este método de manera semejante al método americano.

El cálculo de la carga de fondo y la carga de columna - - (por metro lineal de barreno) se calcula de la siguiente forma:

$$q_F = 0.001 d^2 \quad \text{kg/m} \quad \text{usando } d \text{ en mm.}$$

$$q_C = 0.4 q_F \quad \text{kg/m}$$



$$q_C = 0.4 \quad q_F = 0.4 \times 10 = 4 \text{ kg/m}$$

$$C_C = 1.80 \text{ m} \times 4 \text{ kg/m} = 7.2 \text{ kg}$$

Si se usa explosivo Tovex Extra cuya densidad es de  $1.35\text{-g/cm}^3$  se obtiene 10.59 kg de explosivo por metro lineal de barrenado como se vió en el problema anterior usando el método americano.

Longitud necesaria de carga de fondo:

$$L_{CF} = \frac{C_F}{\text{kgs de explosivo por metro lineal}} = \frac{53 \text{ kg}}{10.59 \text{ kg/ml}} = 5.00 \text{ m} < 5.30 \text{ m}$$

Longitud necesaria de la carga de columna:

$$L_{CC} = \frac{C_C}{\text{kgs de explosivo por metro lineal}} = \frac{7.2 \text{ kg}}{10.59 \text{ kg/ml}} = 0.68 \text{ m} < 1.80 \text{ m}$$

Lo que indica que las longitudes de carga de fondo y de columna necesarias son menores que las disponibles (ver figura del problema). Como se está desaprovechando barrenación se requerirá hacer un ajuste de la capacidad volumétrica del barrenado lo cual se tratará en la sección 4.6.

Carga específica:

$$C_E = \frac{\text{Carga del barrenado}}{\text{Volumen de roca por barrenado}} = \frac{C_F + C_C}{V} = \frac{53 + 7.2}{217.3} = 0.28 \text{ kg/m}^3$$

Barrenación específica:

$$B_E = \frac{\text{Longitud del barrenado}}{\text{Volumen de roca por barrenado}} = \frac{11.20}{217.3} = 0.052 \text{ m/m}^3$$

### 3.6 Ajuste de la capacidad volumétrica del barreno.

Una de las formas de economizar en voladuras es reduciendo al mínimo la barrenación, para ello los barrenos deben estar totalmente llenos de explosivo, con excepción del taco.

Ejemplo:

Supongamos que llegamos al siguiente resultado:

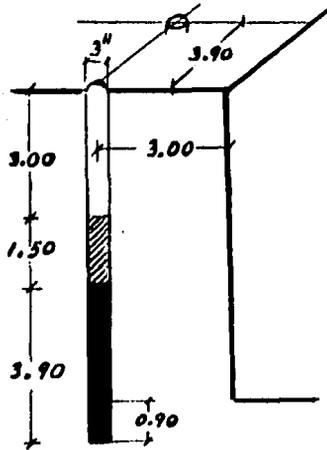


Fig. 39 Geometría del barreno usada en este ejemplo.

Volumen de roca por barreno:

$$V = A \times S \times h$$

$$V = 3.00 \times 3.90 \times 7.50 = 87.75 \text{ m}^3$$

Si la carga específica es  $0.35 \text{ kg/m}^3$ , la carga total de barreno sería:

$$C_T = 0.35 \text{ kg/m}^3 \times 87.75 \text{ m}^3 = 30.71 \text{ kg}$$

$$C_C = \frac{C_T}{3.7} = \frac{30.71}{3.7} = 8.3 \text{ kg}$$

$$C_F = 2.7 C_C = 2.7 \times 8.3 = 22.41 \text{ kg}$$

La densidad del explosivo considerada en este caso es - -  
1.39 g/cm<sup>3</sup>

Con esta densidad y para el diámetro del barreno de 3" --  
(0.0762 m) se obtienen los kilogramos de explosivo por metro --  
lineal de la siguiente manera:

$$\frac{\pi d^2}{4} \times \text{densidad} \times 1000$$

d: en metros

densidad: en g/cm<sup>3</sup>

$$\frac{3.14 \times 0.0762^2}{4} \times 1.39 \times 1000 = 6.33 \text{ kg/m}^3$$

También se puede obtener de la tabla No. 5 entrando con 3" y --  
1.39 g/cm<sup>3</sup>.

$$L_{CF} = \frac{22.41 \text{ kg}}{6.33 \text{ kg/m}} = 3.54 \text{ m} < 3.90 \text{ m}$$

$$L_{CC} = \frac{8.3 \text{ kg}}{6.33 \text{ kg/m}} = 1.30 \text{ m} < 1.50 \text{ m}$$

La capacidad de explosivo del barreno es:

$$C_F = 3.90 \text{ m} \times 6.32 \text{ kg/m} = 24.65 \text{ kg}$$

$$C_C = 1.50 \text{ m} \times 6.32 \text{ kg/m} = 9.48 \text{ kg}$$

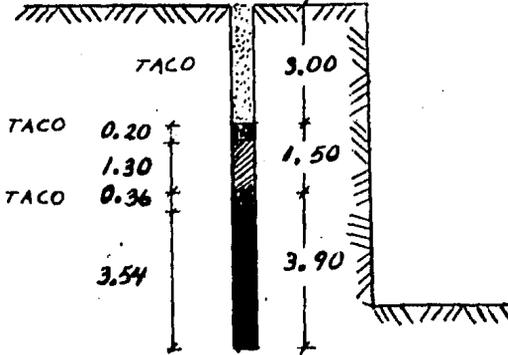
$$C_T = 24.65 \text{ kg} + 9.48 \text{ kg} = 34.13 \text{ kg}$$

CARGAS				
CALCULADA		CAPACIDAD DEL BARRENO		
	PESO	LONGITUD	PESO	LONGITUD
C <sub>F</sub>	22.41 kg	3.54 m	24.65 kg	3.90 m
C <sub>C</sub>	8.3 kg	1.30 m	9.48 kg	1.50 m
C <sub>T</sub>	30.71 kg	4.48 m	34.13 kg	5.40 m

TABLA No. 12 Resume los valores obtenidos hasta este momento.

Por lo tanto sobra espacio en el barreno, lo que no podemos permitir ya que tendríamos que dejar un espacio entre las cargas, relleno con taco, lo que equivale a poner dos cebos y a desperdiciar barrenación.

Si quisieramos dejar así el barreno quedaría como se muestra enseguida:



- Fig. 40 a) Disponemos de 1.50 m para carga de columna y sólo necesitamos 1.30 m, sobra 0.20 m de barreno, es decir se está desperdiciando el 15% ( $1.50 \div 1.30 = 1.15$ ).
- b) Disponemos de 3.90 m para carga de fondo y sólo necesitamos 3.54 m, sobra 0.36 m de barreno, es decir se está desperdiciando el 10% ( $3.90 \div 3.54 = 1.10$ ).

Para mejorar ésto tenemos que aumentar la separación de barrenos, para que al aumentar el volumen de roca por barreno ( $V = A \times S \times h$ ) con el mismo consumo específico, aumente la cantidad de explosivo y se llene el barreno. Este aumento de volumen debe ser en la misma proporción que haya entre la longitud de las cargas por capacidad del barreno y la longitud de la carga calculada (Fig. 40).

Tenemos dos proporciones 1.15 y 1.10 usaremos 1.10 ya que la carga de fondo no la podemos aumentar 1.15 veces.

Si quiero aumentar el volumen en la proporción K

Entonces:

$$V_2 = KV_1$$

$$C_{T2} = KC_{T1}$$

$$\text{donde: } K = \frac{\text{Capacidad del barreno}}{\text{carga calculada}}$$

$$A' \times S' \times h' = K \times A \times S \times h$$

$$A' \times S' = K \times A \times S$$

$$\text{Pero: } T = \frac{A}{S} = \text{constante (para no variar la granulometría)}$$

$$A = T \times S$$

$$A' = T \times S'$$

$$T(S')^2 = K T S^2$$

$S' = \sqrt{K} S$
y también
$A' = \sqrt{K} A$

-----> (1)

Lo que se entiende si multiplicamos ambas expresiones:

$$A'S' = K A S$$

Aplicando las ecuaciones (1) a nuestro caso:

$$A' = \sqrt{1.10} \times 3.00 = 3.14 \text{ m}$$

$$S' = \sqrt{1.10} \times 3.90 = 4.09 \text{ m}$$

Con estas nuevas separaciones el volumen queda:

$$V = 3.14 \times 4.09 \times 7.50 = 96.31 \text{ m}^3$$

y la carga total del barreno:

$$C_T = 0.35 \text{ kg/m}^3 \times 96.31 \text{ m}^3 = 33.70 \text{ kg}$$

$$C_C = 9.1 \text{ kg} \quad L_{CC} = 1.42 \text{ m}$$

$$C_F = 24.6 \text{ kg} \quad L_{CF} = 3.90 \text{ m}$$

Con lo que el barreno ajustado quedaría:

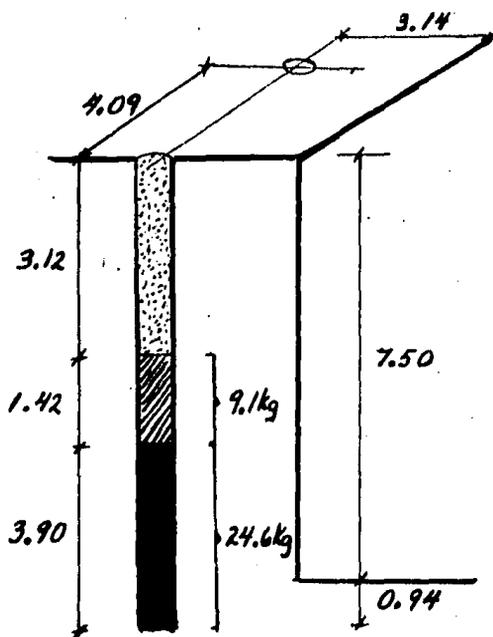


Fig. 41 Geometría del barreno ajustado por capacidad volumétrica y distribución de cargas.

### 3.7 Ajuste del diseño a las condiciones del banco.

Ahora nos queda el problema de ajustar el barreno al banco, y tomar en cuenta la granulometría requerida de la roca y sus características en el banco, que hasta este momento no se

han considerado.

Para ello recordaremos (sección 3.1, fig. 27) que al aumentar la relación  $S/A$ , también llamada  $E/V$ , disminuye el tamaño de la roca y viceversa; y que para el diseño del barreno usamos  $S/A = 1.3$ , por ello, para ajustar el barreno al banco debo saber si quiero roca grande o chica.

En el segundo ejemplo, supondremos que se requiere roca chica de 0.50 m para lo que necesitamos aumentar  $S/A$  a partir de 1.3, se sugiere:

En la prueba 1:  $S/A = 1.3$

En la prueba 2:  $S/A = 1.5$

En la prueba 3:  $S/A = 1.7$

En la prueba 4:  $S/A = 1.9$

En la prueba 5:  $S/A = 2.1$

Que son pruebas que se hacen físicamente en el banco, observando las proyecciones, el tamaño de la roca y el ángulo del montón de roca después de la voladura.

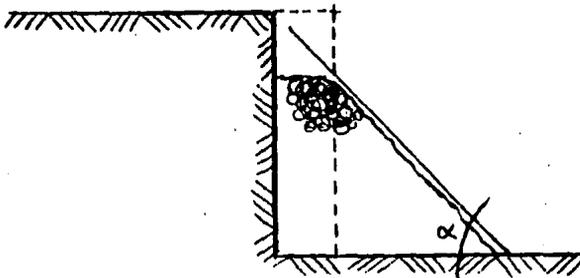


Fig. 42 El ángulo  $\alpha$  debe ser  $45^\circ$ , si es mayor falta explosivo y si es menor sobran explosivos; muchas proyecciones - también indican exceso de explosivos.

Resumen de la observación:

R = S'/A'	TAMAÑO DE LA ROCA	$\alpha$	PROYECCIONES
1.3	1.00 m	30°	Muchas
1.5	0.80	32°	"
1.7	0.60	35°	"
1.9	0.50	37°	Regular
2.1	0.40	40°	Pocas

TABLA No. 13 Resultados de las pruebas variando la relación S/A.

Lo que indica que debemos usar una relación S'/A' = 1.9 - y que tenemos exceso de explosivos.

1° Ajustaremos la relación S/A.

En nuestro ejemplo sabemos que:

$$A' \times S' = A \times S = 3.14 \times 4.09 = 12.84 \text{ m}^2 \text{ (Ver fig. 41)}$$

$$\text{Como } \frac{S'}{A'} = 1.9$$

$$S' = 1.9 A'$$

$$A' \times S' = A' \times 1.9A' = 12.84$$

$$1.9(A')^2 = 12.84$$

$$A' = \sqrt{\frac{12.84}{1.9}} = 2.60 \text{ m}$$

$$S' = 1.9 \times 2.60 = 4.94 \text{ m}$$

Y la nueva separación entre barrenos será:

$$2.60 \times 4.94$$

Las fórmulas generales son:

$$A' = \sqrt{\frac{A \times S}{R}}$$

$$S' = A'R$$

2° Ajustaremos la cantidad de explosivos.

Como hay exceso, tenemos que separar los barrenos para disminuir el consumo de explosivos, pero conservando la relación  $S/A$  para no variar la granulometría.

Haremos pruebas nuevamente en el banco con consumos específicos 95%, 90% y 85% del consumo original, para ello aplicaremos las fórmulas:

$$A' = \frac{A}{\sqrt{C}}$$

donde: C = porcentaje -  
de consumo con respecto  
al original.

$$S' = \frac{S}{\sqrt{C}}$$

Para: C = 95%

$$A_1 = \frac{A}{\sqrt{0.95}} = \frac{2.60}{\sqrt{0.95}} = 2.67 \text{ m}$$

$$S_1 = \frac{S}{\sqrt{0.95}} = \frac{4.94}{\sqrt{0.95}} = 5.07 \text{ m}$$

Comprobación:

$$\frac{A \times S}{A_1 \times S_1} = \frac{2.60 \times 4.94}{2.67 \times 5.07} = 0.95$$

$$\frac{S_1}{A_1} = \frac{5.07}{2.67} = 1.90$$

Para C = 90%

$$A_2 = \frac{2.60}{\sqrt{0.90}} = 2.74 \text{ m}$$

$$S_2 = \frac{4.94}{\sqrt{0.90}} = 5.21 \text{ m}$$

Para C = 85%

$$A_3 = \frac{2.60}{\sqrt{0.85}} = 2.82 \text{ m}$$

$$S_3 = \frac{4.94}{\sqrt{0.85}} = 5.36 \text{ m}$$

Con estas separaciones, y el mismo diseño de barreno se realizan nuevamente pruebas en el banco observando el ángulo  $\alpha$  y las proyecciones.

Resumen de la observación:

C	A	S	$\alpha$	PROYECCIONES
0.95	2.67	5.07	40°	Regular
0.90	2.74	5.21	45°	Pocas
0.85	2.82	5.36	48°	Pocas

TABLA No. 14 Resultado de las pruebas para diferentes consumos específicos.

El valor adecuado es el segundo, y nuestro diseño final será:

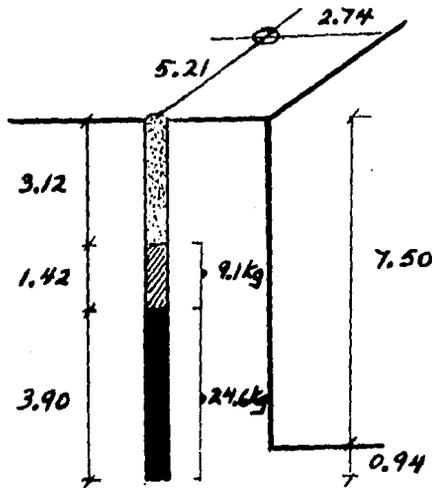


Fig. 43 Distribución de cargas y geometría definitiva

Con esto hemos asegurado las características de una buena voladura:

- Granulometría requerida.
- Consumo mínimo de explosivos.
- Mínima barrenación.
- Mínimas proyecciones.
- Mínimo daño a la roca detrás de la voladura.

### 3.8 Revisión de la barrenación y corrección de defectos.

Antes de realizar la carga de explosivos debe revisarse - las condiciones en que se encuentran los barrenos (Fig. 44); si presentan obstrucciones, huecos o agua pueden ocasionar que el resultado de la voladura sea defectuoso. Para evitar esto, - cualquier obstrucción del barreno deberá ser retirada ya sea -- con el atacador o por algún otro medio, si contiene agua o humedad se deberán usar explosivos resistentes a esas condiciones y si se tienen huecos estos deberán corregirse.

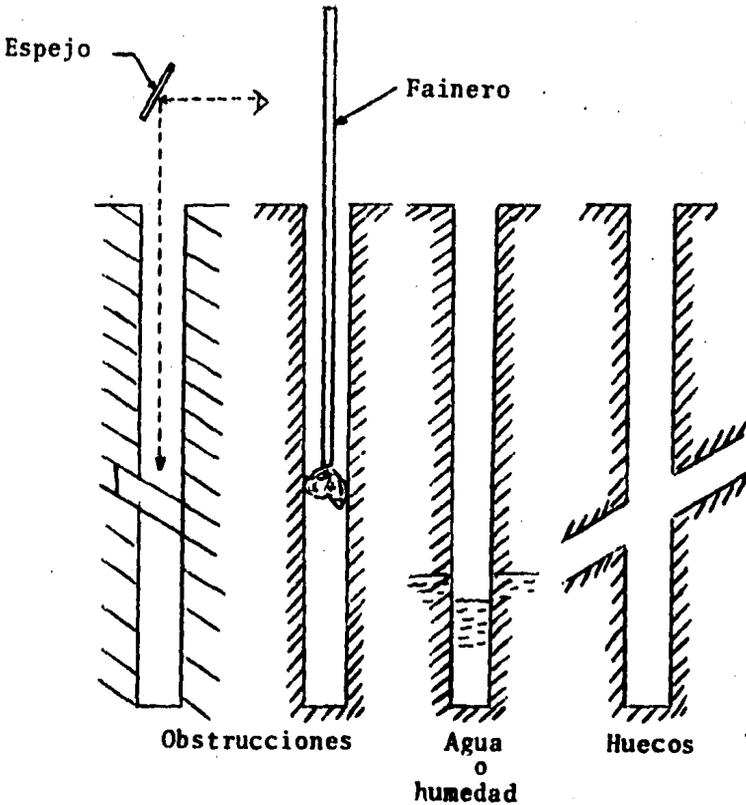
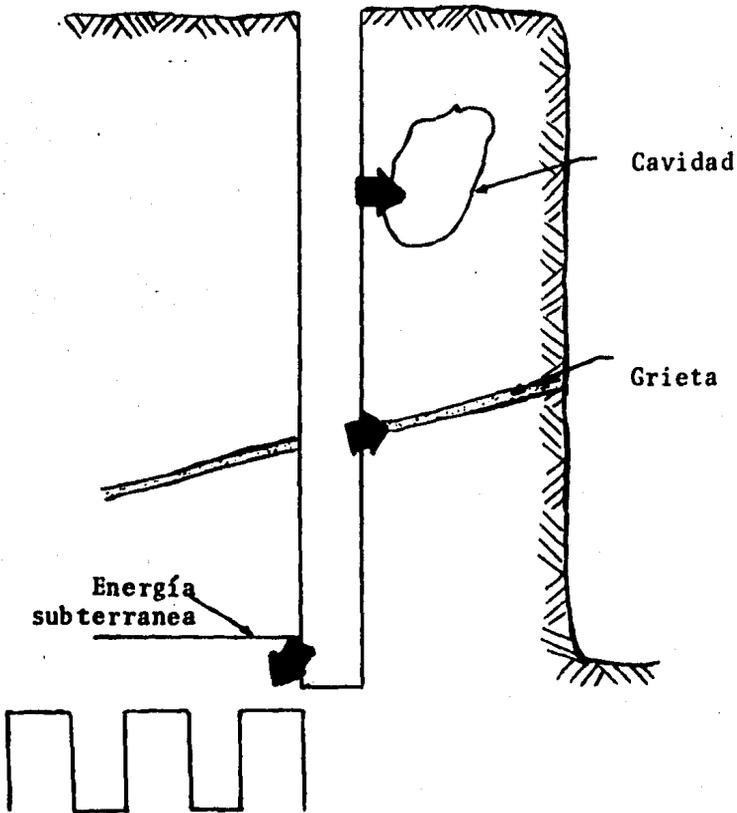


Fig. 44 Revisión de un barreno.

La corrección de los huecos es necesaria ya que ocasionan pérdida de energía del explosivo y por consiguiente que su desempeño sea defectuoso. También la energía subterránea ocasiona los ya mencionados problemas.



. Fig. 45 Pérdida en la energía del explosivo en zonas débiles.

Cuando el hueco se encuentra en la parte inferior del barrero, se puede rellenar con material inerte como arena o tierra y posteriormente depositar el explosivo; también se puede colocar un tapón en la boca del hueco evitando así el paso del explosivo.

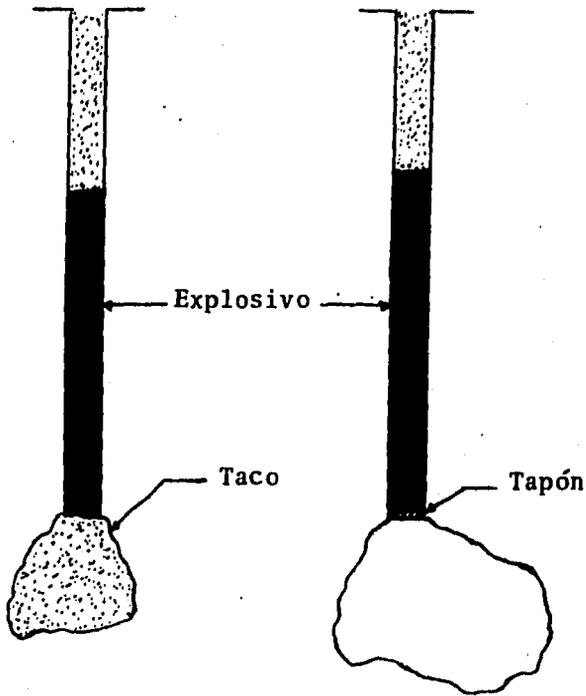


Fig. 46 Corrección de un hueco en la parte inferior del barrero.

Si el hueco no se encuentra en la parte inferior del barrenado, se depositará el explosivo hasta donde empieza el hueco - rellenándose éste de material inerte formándose así un taco y - después se depositará la carga explosiva faltante. Es importante notar que se necesitarán dos cebos para iniciar las cargas - ya que quedaron separadas por el taco.

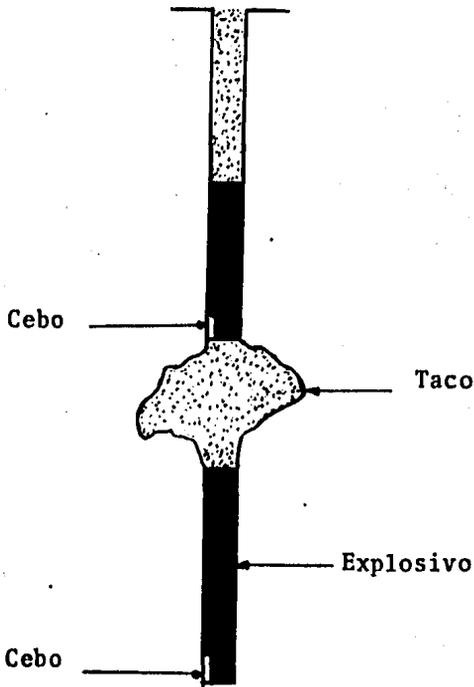


Fig. 47 Corrección de un hueco intermedio del barrenado.

Cuando el problema es una grieta y ésta se detectó durante la barrenación, se rellenará con mortero de arcilla o cemento y se volverá a barrenar, (Fig. 48).

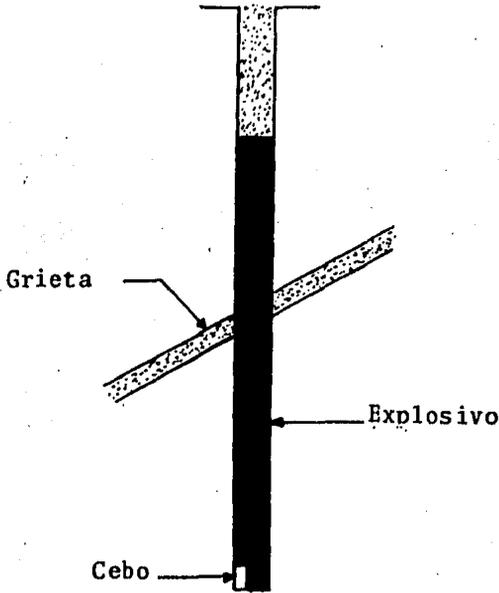


Fig. 48 Corrección de una grieta.

Puede darse el caso que un mismo barreno presente varios problemas: huecos, grietas, capas de material débil, etc., para solucionar esto pueden usarse varios tacos intermedios. Un ejemplo es el de la Fig. 49.

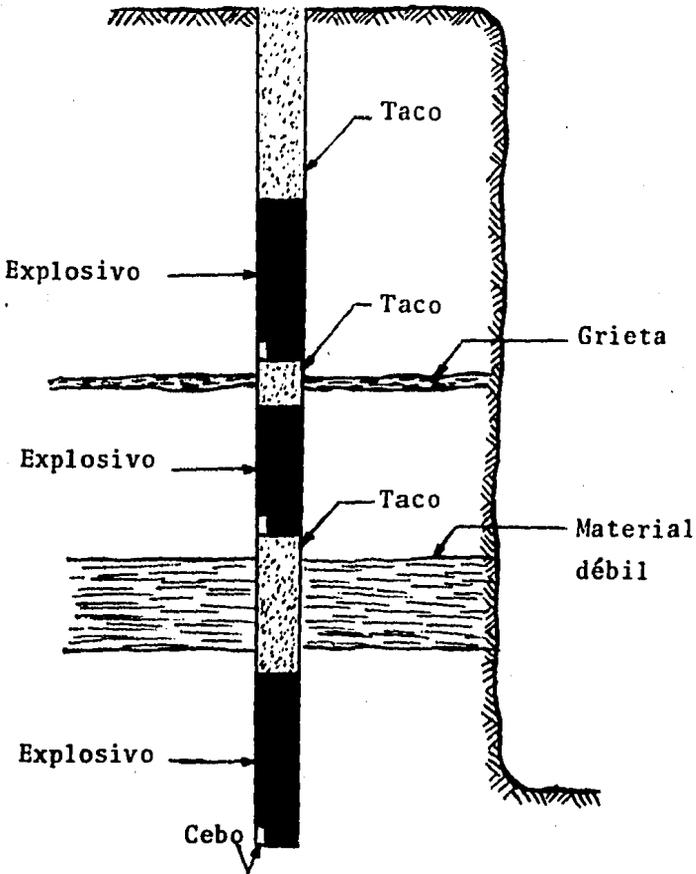


Fig. 49 Corrección de diversos problemas en un barreno usando tacos.

Cuando se tienen capas muy resistentes en la parte alta del banco, se pueden formar dos tacos a manera de aumentar el explosivo precisamente en la parte alta. Otra forma es hacien-

do barrenos auxiliares en la zona del taco para que ayuden en el momento de la explosión a la rotura de la capa resistente. - (Fig. 50).

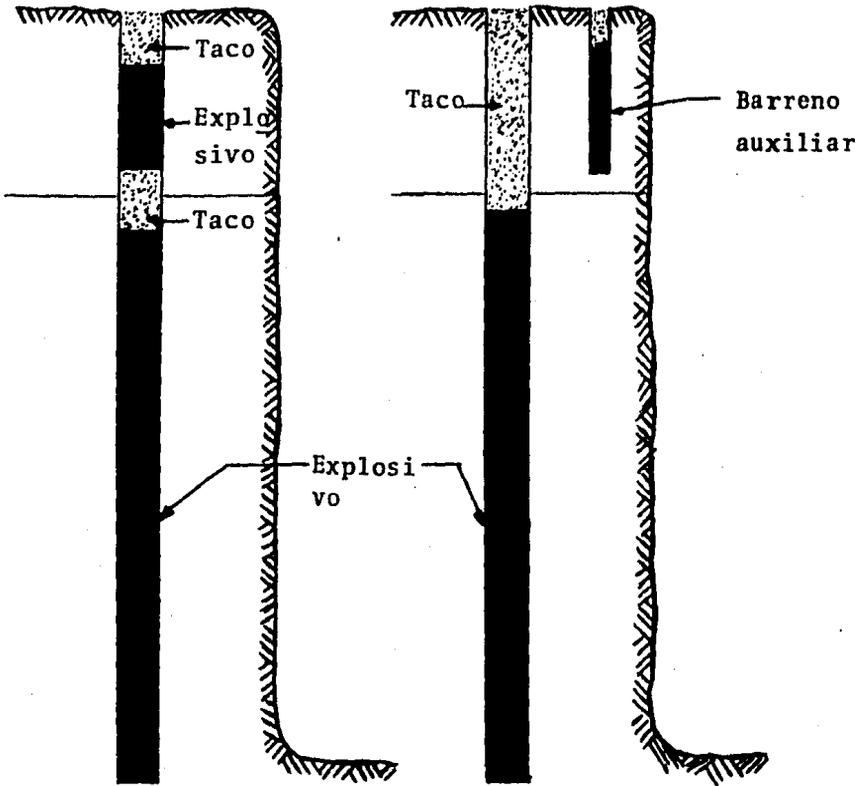


Fig. 50 Métodos para romper capas muy resistentes en la parte alta.

En rocas fisuradas se debe tener muy en cuenta la dirección de la estratificación para no crear casos de inestabili-

dad que pueden ocasionar desprendimiento de bloques de roca, -  
barrenos cortados, etc., que resultan peligrosos y además perju-  
dican los resultados que se persiguen. Las figuras siguientes-  
muestran algunos ejemplos de lo mencionado.

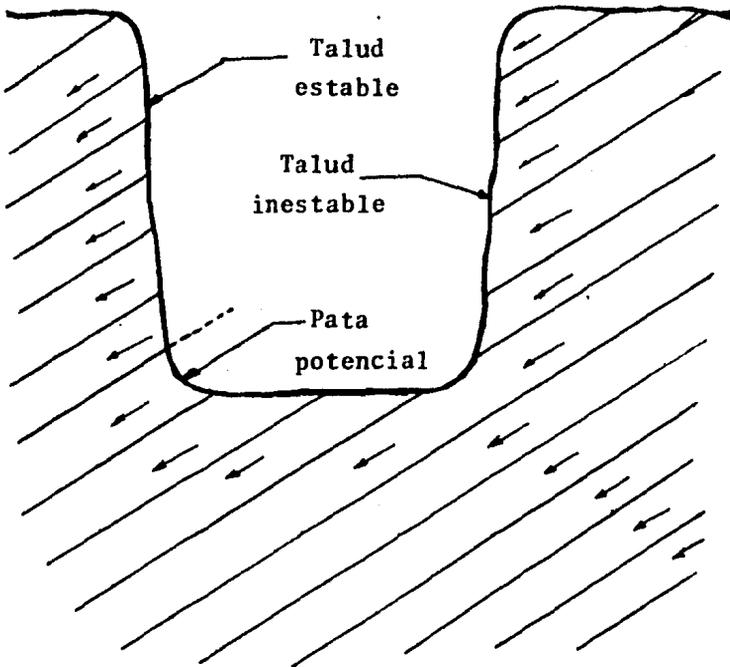


Fig. 51 Efecto del echado de la roca en la estabilidad de talu-  
des y en la formación de patas.

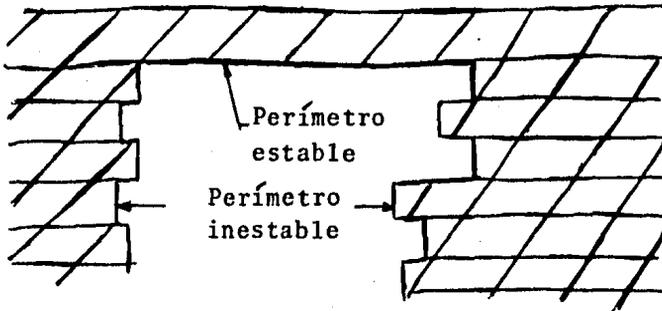


Fig. 52 Efecto de la estratificación en la estabilidad de la excavación, (Planta).

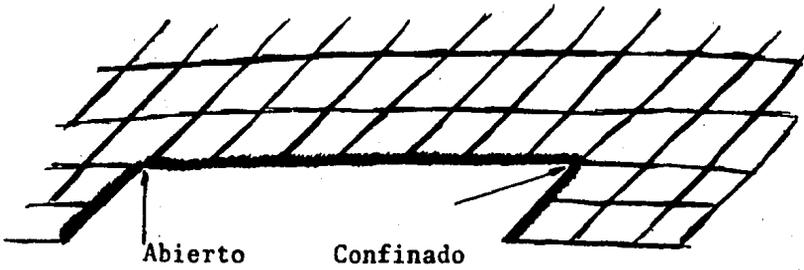


Fig. 53 Rincones abiertos y confinados, causados por la estratificación, (Planta).

#### IV. VOLADURAS CONTROLADAS

Los consumidores de explosivos han buscado y ensayado muchas maneras para reducir el exceso de rompimiento o sobreexcavación de las voladuras. Por razones de seguridad, el rompimiento excesivo es inconveniente tratándose de taludes, bancos, frentes o pendientes inestables y es también económicamente inconveniente cuando la excavación excede la "línea de pago" (implica concreto extra y los taludes fracturados requieren un mantenimiento costoso).

En voladuras controladas se utilizan varios métodos para reducir el exceso de rompimiento; sin embargo, todos tienen un objetivo común; disminuir y distribuir mejor las cargas explosivas para reducir al mínimo los esfuerzos y la fractura de la roca más allá de la línea misma de excavación.

Por muchos años la Barrenación en Línea fue el único procedimiento utilizado para controlar el rompimiento excesivo. La Barrenación en Línea o de límite simplemente consiste de una serie de barrenos en línea, vacíos, a corta distancia unos de otros y a lo largo de la línea misma de excavación, proporcionando así un plano de debilidad que la voladura puede romper con facilidad.

Estos procedimientos difieren del principio de la Barrenación en Línea, esencialmente, en que algunos o todos los barrenos se disparan con cargas explosivas relativamente pequeñas y

debidamente distribuidas. La detonación de estas pequeñas cargas tiende a fracturar la roca entre los barrenos y permite mayores espaciamientos que en el caso de la Barrenación en Línea. Por lo tanto, los costos de barrenación se reducen y en muchos casos se logra un mejor control del exceso de rompimiento.

#### 4.1 Barrenación en línea, de límite o de costura.

##### Principio:

La voladura con Barrenación en Línea involucra una sola hilera de barrenos de diámetro pequeño, poco espaciados, sin carga y a lo largo de la línea misma de excavación o de proyecto. Esto provoca un plano de menor resistencia, que la voladura primaria pueda romper con mayor facilidad. También origina que parte de las ondas de choque creadas por la voladura sean reflejadas, lo que reduce la fracturación y las tensiones en la pared terminada.

##### Aplicación:

Las perforaciones de la Barrenación en Línea generalmente son de 1 1/2" a 3" de diámetro y se separan de 2 a 4 veces su diámetro a lo largo de la línea de excavación. Los barrenos mayores de 3" se usan poco en este sistema pues los altos costos de barrenación no pueden compensarse suficientemente con mayores espaciamientos.

La profundidad de los barrenos dependen de su buena alineación. Para obtener buenos resultados, los barrenos deben quedar en el mismo plano. Cualquier desviación en ellos, al tratar de

barrenar más profundamente, tendrá un efecto desfavorable en los resultados.

Para barrenos de 1 1/2" a 3" de diámetro las profundidades mayores a 9 metros son raramente satisfactorias.

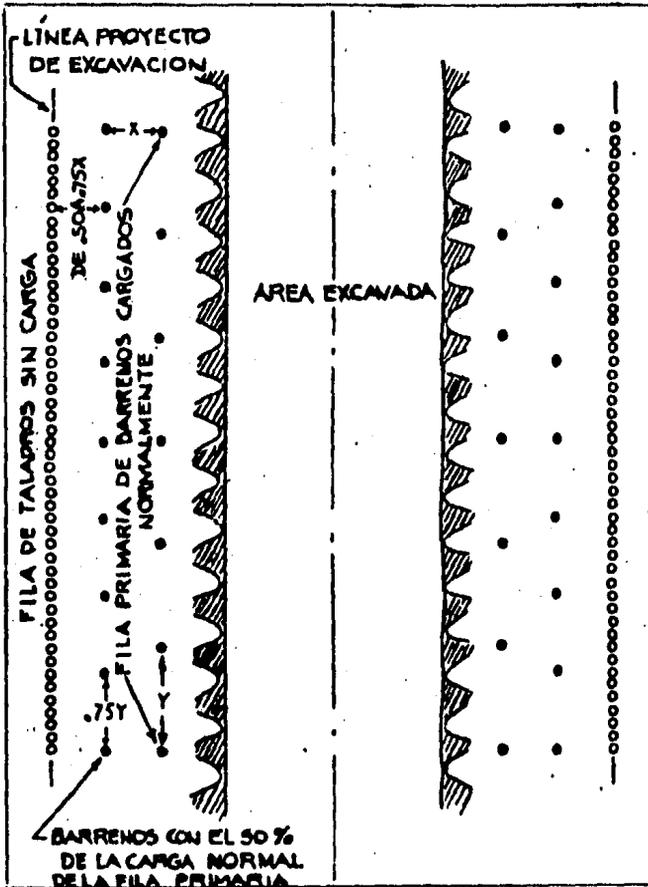


Fig. 54 Plantilla típica del procedimiento de Barrenación en Línea.

Los barrenos de la voladura directamente adyacentes a los de la Barrenación en Línea, se cargan generalmente con menos ex plosivos y también a menor espaciamiento que los otros barrenos. La distancia entre las perforaciones de la Barrenación en Línea y los más próximos, cargados, es usualmente del 50 al 75% de la pata usual (Fig. 54).

Los mejores resultados con la Barrenación en Línea se obtienen en formaciones homogéneas en donde los planos de estratificación, juntas, fallas y hendeduras son mínimas.

Trabajos subterráneos.- La aplicación de la teoría básica del sistema de Barrenado en Línea, esto es, utilizando solamente barrenos vacíos, es muy limitada en trabajos subterráneos. Generalmente se usan barrenaciones cerradas, pero siempre car gadas aunque ligeramente. A este procedimiento hemos preferido llamarle Voladura Perfilada y será descrito posteriormente.

#### 4.2 Voladuras amortiguadas.

##### Principio:

La Voladuras Amortiguadas a veces denominada como voladura para recortar, lajear o desbistar, se introdujo en el Canadá hace varios años. Al igual que la Barrenación en Línea, la Voladura Amortiguada implica una sola fila de barrenos a lo largo de la línea proyecto de excavación.

Las cargas para las voladuras amortiguadas deben ser pequeñas, bien distribuidas, perfectamente retacadas y se harán ex plotar después de que la excavación principal ha sido despejada.

Al ser volada la pata, el taco amortigua la vibración dirigida hacia la pared terminada, reduciendo así al mínimo la fractura y las tensiones en esta pared. Disparando los barrenos de amortiguamiento a pequeños intervalos, la detonación tiende a cortar la roca entre ellos dejando una superficie uniforme y con un mínimo de sobreexcavación.

Obviamente, a mayor diámetro de barreno, se obtiene mayor amortiguamiento.

TABLA No. 15

DIAMETRO DEL BARRENO EN PULGADAS	ESPACIAMIENTO EN PIES (1)	BERMA EN PIES (1)	CARGA EXPLOSIVA EN LIBRAS/PIE (1) Y (2)
2 - 2 1/2	3	4	0.08 - 0.25
3 - 3 1/2	4	5	0.13 - 0.50
4 - 4 1/2	5	6	0.25 - 0.75
5 - 5 1/2	6	7	0.75 - 1.00
6 - 6 1/2	7	9	1.00 - 1.50

Cargas y plantillas propuestas para Voladuras Amortiguadas. El número (1) indica que dependen de la naturaleza de la roca, las cifras anotadas son promedios. El número (2) indica que el diámetro del cartucho deberá ser igual o menor que la mitad del diámetro del barreno.

### Aplicación:

Trabajos a cielo abierto.- La pata o berma y el espacio - miento variarán de acuerdo con el diámetro de los barrenos que se hagan. La Tabla No. 15 muestra una guía de patrones y cargas para diferentes diámetros de barrenos. Nótese que los números - mostrados cubren un campo promedio debido a las variaciones que resultan del tipo de formación de roca por volarse. Con este -- procedimiento los barrenos se cargan con cartuchos enteros o -- fraccionados atados a líneas de Primacord a manera de rosario, - usándose generalmente cartuchos de 1 1/2" de diámetro por 8" de largo y colocándose a 1 o 2 pies de separación centro a centro.

Para efectos de un amortiguamiento máximo las cargas deben colocarse dentro del barreno tan próximas como sea posible a la pared correspondiente al lado de la excavación (Ver Figura 55).

El retardo mínimo entre la explosión de los barrenos amortiguadores proporciona la mejor acción de corte entre barreno y barreno; por lo tanto, normalmente se emplean líneas troncales de Primacord. En donde el ruido y la vibración resulten críticos, se pueden obtener buenos resultados con estopines de retardo MS.

La profundidad máxima que puede volarse con éxito por este método, depende de la precisión del alineamiento de los barrenos. Con barrenos de diámetros mayores puede mantenerse un mejor alineamiento a mayor profundidad. Las desviaciones de más - de 6" del plano de los barrenos dan generalmente malos resultados. Se han hecho voladuras con éxito usando barrenos de amorti

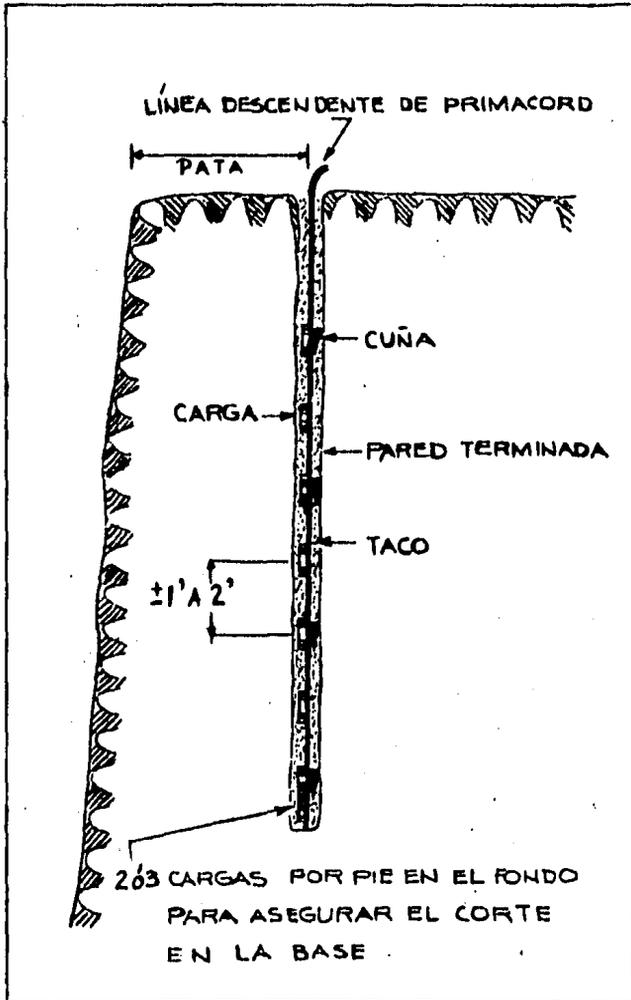


Fig. 55 Colocación de las cargas de explosivos para Voladuras-Amortiguadas.

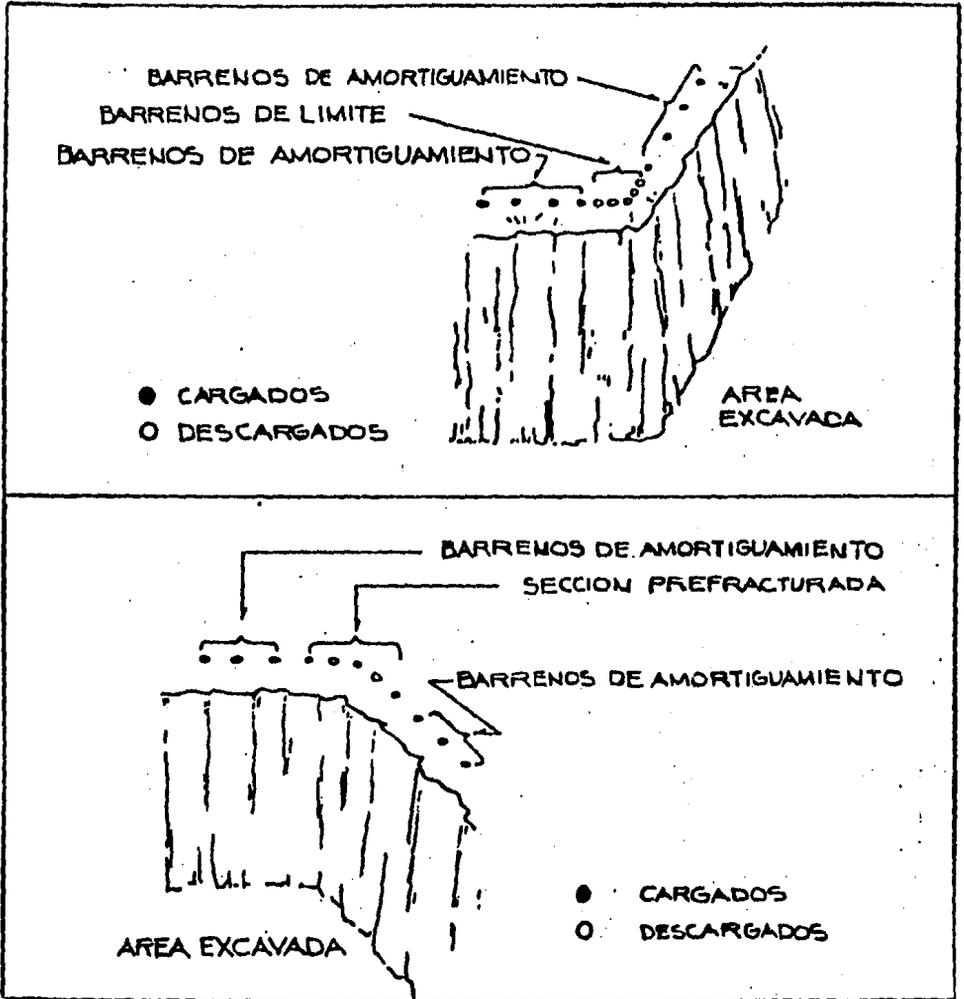


Fig. 56 Voladuras Amortiguadas en frentes en esquina o en rincón combinada con otro método de Voladura Controlada.

guamiento hasta de 90 pies de profundidad.

Cuando se realizan voladuras por amortiguamiento en áreas curvas o en esquinas, se requiere menores espaciamientos que cuando se vuela una sección recta. Pueden también utilizarse ventajosamente taladros-guía cuando se vuelan caras no lineales. En esquinas de  $90^\circ$ , una combinación de varios procedimientos para voladuras controladas (barrenación en línea, precorte, etc), dará mejores resultados que la voladura amortiguada simple (Fig. 56).

#### Ventajas:

La Voladura Amortiguada ofrece ciertas ventajas, tales como: Mayores espaciamientos entre barrenos para reducir los costos de perforación.

Mejores resultados en formaciones no consolidadas.

El mejor alineamiento obtenido con barrenos de gran diámetro permite perforar barrenos más profundos.

### 4.3 Voladuras Perfiladas o de Afine.

#### Principio:

Puesto que el uso de este método en trabajos al descubierto es prácticamente idéntico a los de la Voladura Amortiguada, se tratará sobre su aplicación solamente en trabajos subterráneos.

El principio básico de la Voladura de Afine es el mismo -- que el de la Voladura Amortiguada: se hacen barrenos a lo largo de los límites de la excavación y se cargan con poco explosivo para eliminar el banco final. Disparando con un mínimo de retar

do entre los barrenos, se obtiene un efecto cortante que proporciona paredes lisas con un mínimo de sobreexcavación.

Aplicación:

Trabajos subterráneos.- En frentes subterráneos, en donde la roca del techo y de los contrafuertes se derrumba y desmorona por la falta de consolidación del material, el exceso de rompimiento es común debido a la acción trituyente y al sacudimiento de las voladuras.

Empleando el método de la Voladura Perfilada o de Afine -- con cargas ligeras y bien distribuidas en los barrenos perimetrales, se requieren menos soportes y resulta una menor sobreexcavación. Aún en formaciones homogéneas más duras, este método proporciona techos y paredes más lisos y más firmes.

La Voladura Perfilada en trabajos subterráneos utiliza barrenos perimetrales en una relación de aproximadamente  $1 \frac{1}{2}$  a 1, entre el ancho de la berma (Y) y el espaciamiento (X) usando cargas ligeras, bien distribuidas y disparadas en el último período de retardo de la voladura (Fig. 57). Estos barrenos son los últimos en dispararse para asegurar que la roca fragmentada se desplace lo suficiente para ofrecer el máximo desahogo a los barrenos de la Voladura Perfilada. Este franqueo permite la libre remoción del banco final y produce menos fractura más allá del límite de la excavación.

Las cargas pequeñas bien distribuidas en los barrenos perimetrales usando plantillas y retardos convencionales, han producido regularmente resultados satisfactorios. La Tabla 16 propor

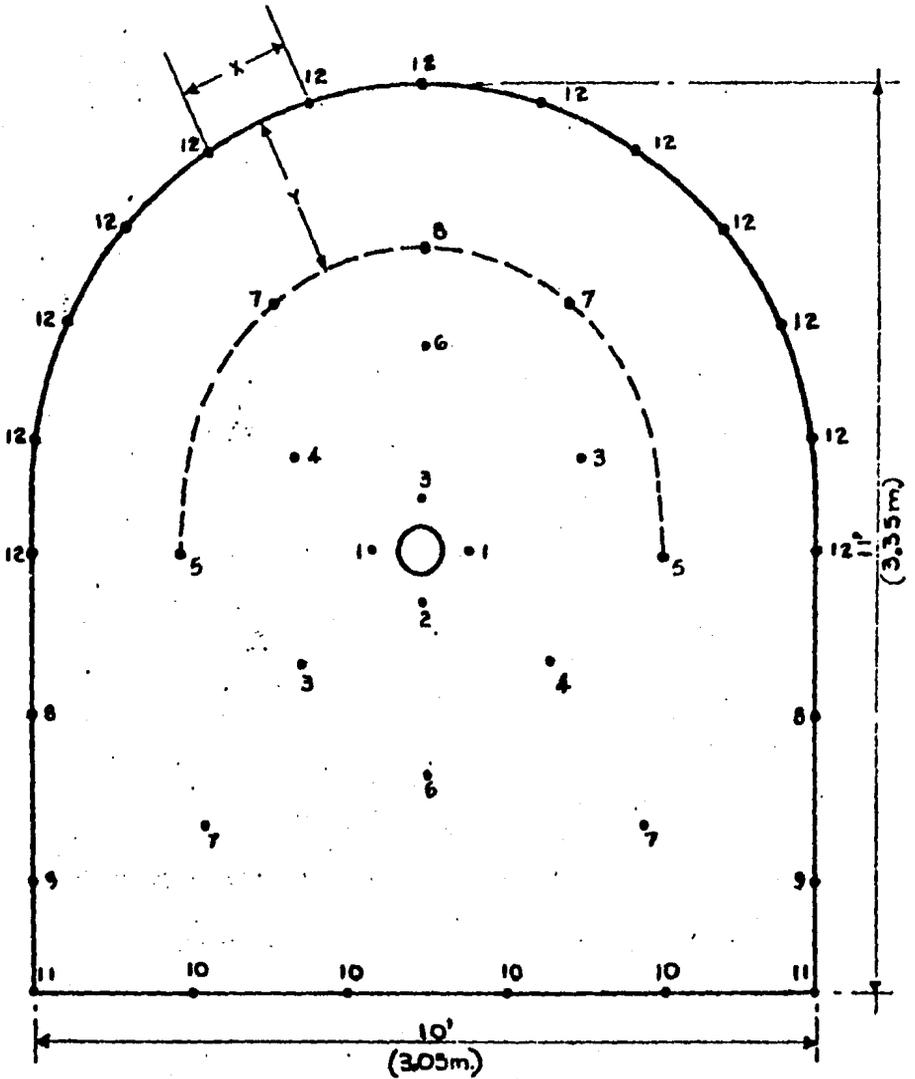


Fig. 57 Plantilla típica para explosiones retardadas en galerías de avance.

ciona las plantillas recomendadas y las cargas en libras por pie, para la Voladura Perfilada.

Puesto que no es conveniente ni práctico atar cargas a las línea de Primacord en barrenos horizontales, la Voladura Perfilada se realiza cargando a carril cartuchos de explosivos de baja densidad de pequeños diámetros para obtener, tanto cargas pequeñas, como su buena distribución a lo largo del barreno.

TABLA No. 16

DIAMETRO DEL BARRENO EN PULGADAS	ESPACIAMIENTO EN PIES (1)	BERMA EN PIES (1)	CARGA EXPLOSIVA LIBRAS/PIE (1)
1 1/2 - 1 3/4	2	3	0.12 - 0.25
2	2 1/2	3 1/2	0.12 - 0.25

Cargas y espaciamento para Voladuras Perfiladas. El número (1) indica que dependen de la naturaleza de la roca. Las cifras anotadas son promedios.

A diferencia de las voladuras a cielo abierto, las voladuras subterráneas tienen una sola cara libre para el desplazamiento de la roca, por lo que será necesario facilitarle su salida; por ello los primeros barrenos en detonar tienden a crear un vacío hacia el cual se vuela sucesivamente la roca. Esta - -

abertura llamada cuña o cuele es la llave de la voladura pues abre la roca aproximadamente en forma cilíndrica hasta la profundidad de barrenación. La cuña es la parte más importante de la voladura ya que el resto de los barrenos no pueden romper eficientemente a menos que la cuña haya sido removida.

Existen diversos tipos de cuñas, siendo las más usadas por su menor dificultad en la barrenación la cuña quemada. Esta cuña consiste en un grupo de barrenos cercanos entre sí, paralelos a la dirección de avance y ubicados generalmente al centro del frente de excavación. Los barrenos que rodean el área de la cuña dispararán algunos milisegundos después según un plan previamente determinado (plantilla de detonación, Ver Figura 57 y 58).

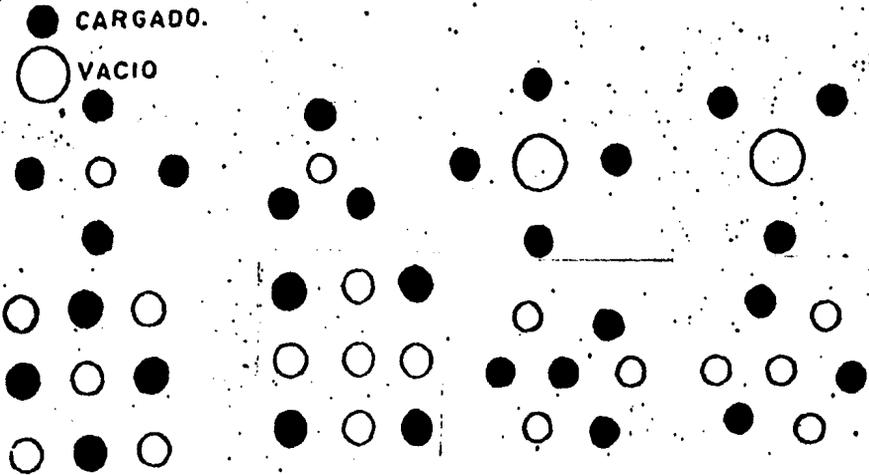


Fig. 58 Algunos tipos de cuñas quemadas.

Como puede observarse los barrenos vacíos de las cuñas que madas pueden ser de igual o de mayor diámetro que los barrenos cargados; el que sean de mayor diámetro sólo se justifica cuando se dispone del equipo de barrenación necesario y que éste permita tener una mayor eficiencia en la barrenación.

El resultado de una voladura puede ser muy variable, de acuerdo a la relación entre centros y el diámetro de los barrenos vacíos. Cuando la distancia es mayor que el doble del diámetro del barreno vacío, la rotura puede no llegar a realizarse ya que la concentración de la carga necesaria es tan grande que hay una deformación plástica de la roca entre los dos barrenos.

Si se aproximan los dos barrenos y la carga se ajusta, el propósito de la verdadera rotura de la roca entre ambos está asegurado. Sin embargo, la rotura no es la única condición necesaria, ya que al mismo tiempo los gases de la explosión deben lanzar a través de la abertura la mayor cantidad posible de roca arrancada.

En la Fig. 59 se ve la variación de las condiciones de rotura con las diferentes distancias entre el barreno cargado y el barreno vacío. Pueden también observarse las variaciones de los resultados al aumentar la distancia entre barrenos. Para una distancia entre centros menor que 1.5 veces el diámetro del barreno vacío, la abertura es una voladura limpia. Entre 1.5 y 2 veces el diámetro del barreno vacío solamente hay rotura y para distancias mayores como ya se dijo, deformación plástica.

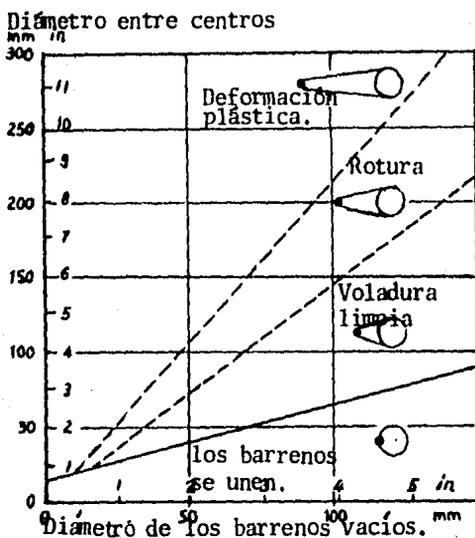


Fig. 59 Resultado cuando se detona hacia un barreno vacío con distintas distancias y diámetros del mismo.

**Ventajas:**

La Voladura Perfilada o de Afine ofrece dos ventajas principales:

Reduce el rompimiento excesivo que produce los métodos convencionales.

Requiere menos ademe.

#### 4.4 Prefracturado.

##### Principio:

El Prefracturado, también llamado Precorte o Pre-ranurado, comprende una fila de barrenos a lo largo de la línea de excavación. Los barrenos son generalmente del mismo diámetro (2" a 4") y en la mayoría de los casos, todos cargados. El Prefracturado difiere de la Barrenación en Línea, de la Voladura Amortiguada y de la Voladura Perfilada, en que sus barrenos se disparan antes que cualquier barreno de los de alguna sección de la excavación principal inmediata.

La teoría del prefracturado consiste en que cuando dos cargas se disparan simultáneamente en barrenos adyacentes, la suma de esfuerzos de tensión procedentes de los barrenos rompe la pared de roca intermedia y origina grietas entre los barrenos (Fig. 60). Con cargas y espaciamientos adecuados, la zona fracturada entre los barrenos se constituirá en una angosta franja que la voladura principal puede romper con facilidad. El resultado es una pared lisa que casi no produce sobreexcavación.

El plano prefracturado refleja parte de las ondas de choque procedentes de las voladuras principales inmediatamente posteriores, impidiendo que sean transmitidas a la pared terminada, reduciendo al mínimo la fracturación y la sobreexcavación. Esta reflexión de las ondas de choque de las voladuras principales también tiende a reducir la vibración.

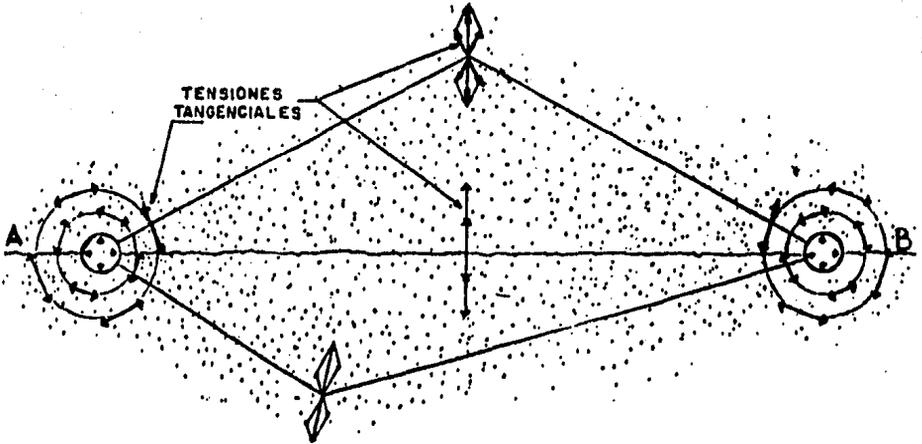


Fig. 60 Si pensamos en una roca de extensión infinita, dos barrenos como los de la Fig. 22, tronados simultáneamente, sumarán las tensiones a la roca, especialmente en el plano que los une (A-B) ya que, además de ser el plano de menor resistencia, es el lugar geométrico de la máxima suma de las tensiones, por lo que la roca tiende a romperse por dicho plano.

#### Aplicación:

Trabajos a cielo abierto.- Los barrenos para prefracturar se cargan de manera similar a los barrenos para voladuras amortiguadas, esto es, se forman cargas "en rosario" de cartuchos enteros o partes de cartucho, de 1" o 1 1/2" de diámetro, por 8" de largo, espaciados de 1 a 2 pies centro a centro.

Como en las Voladuras Amortiguadas, los barrenos se disparan generalmente en forma simultánea, usando una línea troncal de Primacord. Si se disparan líneas demasiado largas se pueden retardar algunos tramos con estopines MS o Conectores Primacord MS.

En roca sin consolidación alguna, los resultados se mejoran utilizando barrenos-guía o de alivio (sin carga), entre los barrenos cargados, provocando así el corte a lo largo del plano deseado. Aún en formaciones más consistentes, los barrenos-guía colocados entre los cargados, dan mejor resultado que aumentando la carga explosiva por barreno.

Los espaciamientos promedio y las cargas por pie de barreno se dan en la Tabla 17. Estas cargas anotadas son para las condiciones de rocas normales y pueden obtenerse utilizando cartuchos de explosivos convencionales, fraccionados o enteros, espaciados y ligados a líneas de Primacord, ("rosario").

La profundidad que puede prefracturarse de una sola vez, nuevamente dependen de la habilidad para mantener un buen alineamiento de los barrenos. Las desviaciones mayores a 6" del plano de corte deseado, darán resultados negativos. Generalmente la máxima profundidad que puede utilizarse para barrenos de 2" a 3 1/2" de diámetro sin una desviación considerable en el alineamiento es de 50 pies.

Teóricamente, la longitud de una voladura para Prefracturar es ilimitada. En la práctica, sin embargo, el disparar muy adelante de la excavación primaria puede traer problemas pues -

las características de la roca pueden cambiar y la carga ser - causa de un exceso de fractura en las zonas más débiles. Llevando el Prefracturado adelante únicamente a la mitad de la voladura principal siguiente (Fig. 61), los conocimientos que se van - obteniendo con las voladuras principales respecto a la roca, -- pueden aplicarse a los disparos de prefracturado subsecuentes. - En otras palabras, las cargas pueden modificarse si es necesario y se corre un menor riesgo que si se dispara el total de la -- línea de excavación antes de avanzar con las voladuras principales.

El Prefracturado puede realizarse simultáneamente a la voladura principal retrasando sus barrenos con retardadores MS, - de manera que los barrenos de Prefracturado estallen primero -- que los de la voladura principal (Fig. 62).

Ventajas:

El Prefracturado ofrece las siguientes ventajas:

Aumento en el espaciamiento de los barrenos-reducción de - costos de barrenación.

No es necesario regresar a volar taludes o paredes después de la excavación principal.

TABLA No. 17

DIAMETRO DEL BARRENO EN PULGADAS.	ESPACIAMIENTO EN PIES (1)	CARGA EXPLOSIVA EN LBS/PIE (1) (2)
1 1/2 - 1 3/4	1 - 1 1/2	0.08 - 0.25
2 - 2 1/2	1 1/2 - 2	0.08 - 0.25
3 - 3 1/2	1 1/2 - 3	0.13 - 0.50
4	2 - 4	0.25 - 0.75

Cargas y espaciamentos propuestos para el Prefracturado. El número (1) indica que dependen de la naturaleza de la roca y el (2) - que el diámetro del cartucho debe ser igual o menor a la mitad -- del diámetro del barreno.

Nota: Principio del Prefracturado. Si los barrenos están sobrecargados, la zona de fractura se extenderá más allá de la zona de tensión.

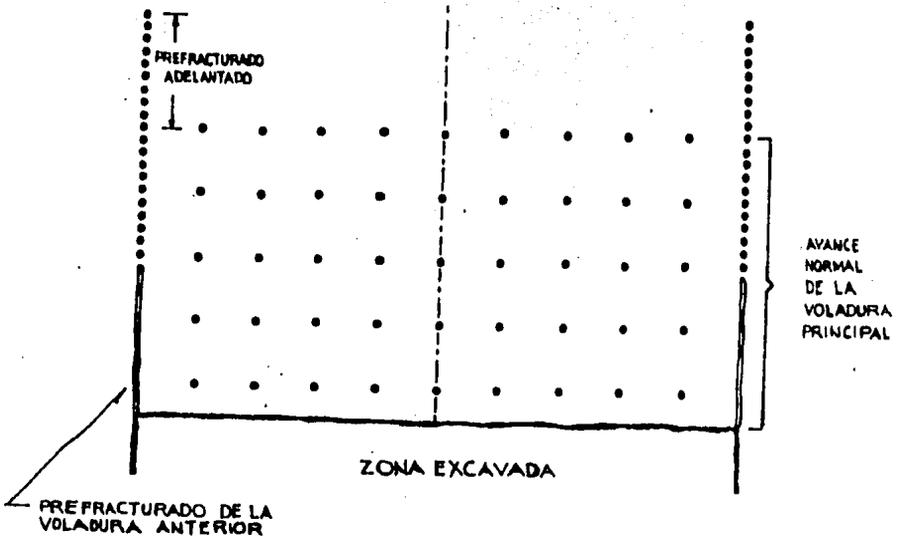


Fig. 61 Procedimiento empleado para el prefabricado.

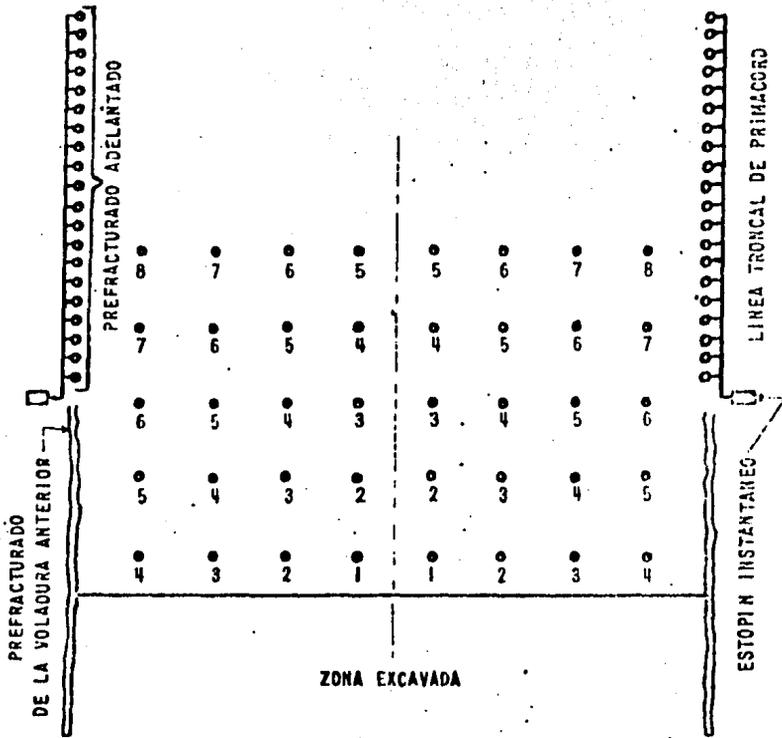


Fig. 62 Procedimiento de explosiones retrasadas durante la voladura principal en el Prefracturado.



**Fig. 63** Uso del precorte para la excavación de un canal parte-  
de un proyecto de Planta Hidroeléctrica. Nótese la --  
línea de corte bien definida en las paredes.

## CONCLUSIONES

1.- Los explosivos son una fuente de energía concentrada que el ingenio del hombre puede permitir aprovecharlos de diferentes maneras para su propio beneficio.

2.- En la mayoría de las excavaciones en roca, los explosivos constituyen el medio más económico, pues ayudan a realizar el trabajo con mayor rapidez, facilidad y eficacia que cualquier medio mecánico.

3.- El uso de los explosivos en la construcción es muy amplio y cada vez ha ido en aumento, lo cual es fundamental para el desarrollo de la civilización actual.

4.- Las dos únicas compañías fabricantes de explosivos en nuestro país son: Du Pont y Atlas de México, las cuales tienen distribuidores en diversos lugares del territorio nacional.

5.- La adquisición y uso de los explosivos están regidos en nuestro país por disposiciones y reglamentos de la Secretaría de la Defensa Nacional.

6.- Como resultado de la constante evolución en la tecnología de los explosivos se tienen nuevos productos, accesorios y técnicas de voladura.

7.- Para el éxito de una voladura es necesario seleccionar correctamente el explosivo tomando en cuenta sus propiedades, así como los dispositivos de iniciación, los accesorios y

técnicas existentes.

8.- En los explosivos encartuchados a menor diámetro se tiene una mayor sensibilidad y velocidad de detonación.

9.- Antes de usar cualquier explosivo o accesorio es conveniente hacer pruebas, ya que las características que proporcionan los fabricantes pueden verse afectados por la diversidad de factores externos a los que están sometidos.

10.- Se debe procurar hacer una buena distribución en la plantilla de detonación; con esto se consigue una salida libre de la roca, una mejor fragmentación, una rezaga concentrada y menores proyecciones, vibraciones y ruido.

11.- En una voladura es imprescindible conocer la roca y el estado en que se encuentre, es decir el grado de agrietamiento, fallas, intemperismo, etc., ya que evidentemente pueden variar los resultados.

12.- La granulometría de la roca está íntimamente ligada al uso al que se le va a destinar. No siempre lo más recomendable es la fragmentación más pequeña como suele creerse.

13.- La voladura de rocas no es un arte sino una técnica basada en principios lógicos y razonables.

14.- La base teórica para el cálculo de la carga en el diseño de voladuras se fundamenta en valores empíricos proporcionados por las pruebas y los resultados prácticos que se han ido acumulando, sin embargo estas cifras son sólo el punto de parti

da debiéndose hacer las pruebas correspondientes a cada caso específico.

15.- El método sueco para diseño de voladuras es más acorde con la realidad que el método americano pues toma como dato e inicio del diseño la altura del banco en vez de calcularla.

16. En las pruebas para ajustar el diseño de la voladura al banco deberá observarse el tamaño de la roca obtenida, las proyecciones, el ángulo del montón, etc.

17.- Debido a que la barrenación es un factor muy importante desde el punto de vista económico deberá procurarse desde el diseño utilizar al máximo el volumen del barreno para la carga de explosivos.

18.- Existen varias técnicas de voladuras controladas, todas ellas tienen como finalidad reducir el sobrerrompimiento y fracturación de la roca residual o sea atrás de la línea de proyecto de excavación.

19.- Todos los explosivos son peligrosos si se hace mal uso de ellos, por eso deberán ser manejados por personas experimentadas y que conozcan las normas y medidas de seguridad establecidas.

## APENDICE A

## TRANSPORTES, MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE EXPLOSIVOS

## Transporte de Explosivos.

1. Cualquier vehículo que esté transportando explosivos deberá estar marcado o pintado o tener un letrero en la parte delantera, a ambos lados y en la parte trasera con la palabra "Explosivos" en letras de no menos de 4 pulgadas de altura en colores que hagan contraste, con los del fondo; o el vehículo deberá llevar en un lugar visible una bandera roja de no menos de 24 pulgadas de lado con la palabra "Explosivos" en letras rojas de cuando menos 3 pulgadas de altura o la palabra "Peligro" en letras de 6 pulgadas de altura.
2. Los vehículos no deberán llevar cápsulas detonadoras fulminantes cuando estén transportando otros explosivos; ni metales, herramientas metálicas, aceite, cerillos, armas de fuego, ácidos, sustancias inflamables, o materiales semejantes.
3. Los vehículos que transportan explosivos no deberán estar sobrecargados y en ningún caso se apilarán las cajas o latas de explosivos a una altura mayor que la de la carrocería. Cualquier vehículo de caja abierta deberá llevar una lona para cubrir las cajas o latas de explosivos.
4. Todos los vehículos, cuando estén transportando explosivos-

deberán inspeccionarse para determinar si: los frenos y el mecanismo de la dirección están en buenas condiciones; si los alambres eléctricos están en buenas condiciones; si los alambres eléctricos están bien aislados y firmemente asegurados; si la carrocería y el chasis están limpios y libres de acumulaciones de aceite y grasas; si el tanque de combustible y la línea de alimentación están seguros, y sin fugas; si se han proporcionado dos extinguidores de incendio, localizados cerca del asiento del chofer; y, en general, si el vehículo está en condiciones adecuadas para el transporte de explosivos.

5. El piso de los vehículos deberá estar perfectamente empalmado y ajustado. Cualquier pieza metálica que esté expuesta en el interior del vehículo y que pueda entrar en contacto con algún paquete de explosivos deberá ser cubierta o protegida con madera o algún material no metálico.
6. Los explosivos no deben de transportarse en remolques. Asimismo, a los vehículos que transporten explosivos no deberá enganchárseles ningún tipo de remolque.
7. Los vehículos que transportan explosivos no deben llevar pasajeros ni personas no autorizadas para viajar en ellos. No debe permitirse fumar ni llevar cerillos.
8. Los paquetes o cajas de explosivos no deben aventarse o dejarse caer al estarlos cargando, descargando o acarreando, sino que deben depositarse cuidadosamente y almacenarse o -

colocarse de tal manera que no se deslicen, caigan o muevan.

9. Los motores de los vehículos que transportan explosivos deberán estar parados antes de cargar o descargar los explosivos.

Las recomendaciones para el manejo de explosivos son las siguientes:

#### Manejo de Explosivos.

1. Las cajas o barriles que contengan explosivos deben levantarse y bajarse cuidadosamente sin deslizarlos unos sobre otros, o dejarlos caer de un nivel al siguiente, ni manejarse bruscamente.
2. Las cajas, latas, o paquetes de explosivos no deben abrirse dentro de un almacén de explosivos o arsenal, ni siquiera en un radio de 50 pies del almacén o arsenal.
3. Deben emplearse herramientas fabricadas con madera o con algún otro material no metálico para abrir las cajas o barriles o cualesquiera otra vasija en que se encuentre contenido un explosivo. Nunca deben emplearse herramientas metálicas.
4. Los explosivos y detonantes que se les den a los obreros deberán colocarse en receptáculos aislados independientes, equipados con tapas construidas y sujetas de tal manera que no se puedan abrir accidentalmente durante el transporte.

5. No deberá permitirse a ninguna persona, excepto al operario, viajar con los explosivos o detonantes cuando estén siendo transportados en un tiro, túnel, o cualquier otra obra subterránea.

#### Almacenamiento de Explosivos.

Los explosivos y los detonantes deben depositarse separadamente en almacenes independientes, secos, ventilados, a prueba de balas, y resistentes al fuego, alejados de otros edificios, vías de ferrocarril, y carreteras. La Tabla Americana de Distancias, proporciona las distancias de seguridad entre otros edificios, vías de ferrocarril y carreteras, para cantidades variables de explosivos y detonantes.

Una bodega para el almacenamiento de explosivos debe estar construida de tal manera que se evite el congelamiento del explosivo durante largos períodos de tiempo en climas fríos. Si el explosivo se congela, deberá descongelarse antes de utilizarlo, ya que el peligro de que explote prematuramente es mucho mayor cuando está congelada.

APENDICE B  
EXPLOSIVOS COMERCIALES

120



### propiedades y especificaciones

**Tovex 100** es un hidrogel (explosivo licuado) de diámetro pequeño, sensible al fulminante, diseñado para usos tanto subterráneo (excepto minas de carbón) como a cielo abierto en barrenos desde 25 mm (1") hasta 50 mm (2") de diámetro. Excelente para plasteos y moneos.

**COMPORTAMIENTO:** Adecuada densidad, velocidad y alta energía.  
**CUENTA DE CARTUCHOS:** Los cartuchos son de 203 mm (8") de longitud. Optativamente pueden ordenarse también en 305 y 406 mm (12" y 16"). Se empacan en cajas de cartón de alta resistencia con 25 kgs. netos.



Cebando un cartucho de TOVEX



Cargando en una operación subterránea

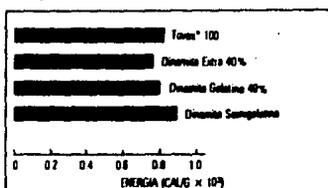
### Gases tóxicos: mínimos, clase 1

#### Requisitos de cebado:

Un fulminante ordinario No. 6. Por las características de ruptura del material de la envoltura, para introducir el detonador dentro del cartucho, se recomienda hacer la perforación en un extremo frontal junto al cierre metálico. No se recomienda perforar lateralmente el cartucho. Es indispensable asegurar que en el manejo del cartucho cebado, el detonador no se salga del cartucho.

Densidad: 1.10 gms/cc.

#### Energía



#### Velocidad

DIAMETRO	M/SEG	PIES/SEG
32 mm (1 1/4")	4050	13300

Resistencia al agua: Excelente. Sin envoltura, sumergido en agua, mantiene sus óptimas velocidad y energía.

### ventajas:

1. **Cargado: TOVEX 100** es sensible a la cápsula. Se ceba y se carga de manera similar a las dinamitas. Su habilidad de compactación proporciona el máximo acoplamiento al barreno y la máxima densidad de carga. Basta un leve empuje del atacador para llenar el barreno.
2. **Plasteo y Moneo:** Superiormente efectivo para ambas operaciones. Excelentes plasticidad y adherencia.
3. **Gases Tóxicos y Humos:** Mínimos, clase 1.
4. **Propagación Entre Barrenos:** Los hidrogeles TOVEX están diseñados para minimizar la propagación entre barrenos. Todo sistema de retardo para aumentar la fragmentación y para reducir la vibración funcionará apropiadamente.

Los datos técnicos y especificaciones están basadas en la experiencia de Du Pont, S.A. de C.V. y se fundamentan en el uso del sistema de medición de la velocidad. Se presupone que los procedimientos de uso serán los usuales para explosivos en el campo de la minería. No se debe usar para propósitos que no sean los que se indican. La compañía Du Pont no se responsabiliza por los resultados de sus productos. Esta información no debe ser utilizada para usar o volver a utilizar patentes existentes.

DU PONT, S.A. DE C.V. DEPARTAMENTO DE EXPLOSIVOS  
HOMERO No. 206 MEXICO 5, D.F. TEL. 250-90-33



# TOVEX® 700

(HIDROGEL ENCARTUCHADO)

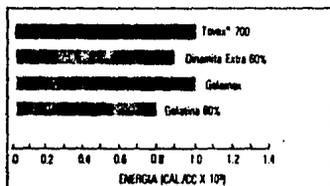
**TOVEX 700** es un hidrogel (explosivo licuado) sensible al fulminante. Su diseño está particularmente dirigido para los diámetros de barrenación intermedios desde 50 mm (2") hasta 150 mm (6"). De gran versatilidad, tiene las características y propiedades

requeridas para todo tipo de voladuras de roca y mineral de dura a mediana dureza en minas subterráneas, tajos abiertos, canteras y construcción en general. Muy eficaz en plasteos, con superior plasticidad, consistencia y adherencia.

## propiedades y especificaciones

Densidad: 1.18 gms./c.c.

Energía



Velocidad: 4800 m/seg (15750 p/seg)

Gases Tóxicos: Mínimos (Clase I)

Resistencia al Agua: Excelente

Cuenta de Cartuchos:

Diám. del Cartucho mm.	plgs.	Núm de Cartuchos por caja de 25 Kgs.
44	1 3/4	32
50	2	24
64	2 1/2	17
76	3	11

La longitud de los cartuchos es de 406 mm (16 plgs.)

## requisitos de cebado:

Un fulminante ordinario No. 6 (Una vuelta y un nudo de Primocord® Reforzado de 50 granos, equivalen para el caso con este producto a un fulminante No. 6)

## almacenamiento y transporte:

TOVEX® 700 es compatible con los altos explosivos (dinamitas y agentes explosivos). Es incompatible con los accesorios detonadores (fulminantes, estopines, etc.) En condiciones adecuadas de almacenamiento, polvorines secos, frescos y bien ventilados, puede conservarse durante 1 año.

## USO:

TOVEX® 700 es sensible al fulminante. Para iniciarse no necesita ser cebado. Es un extraordinario producto como carga de fondo, carga de columna, como cebo iniciador de otros explosivos o agentes explosivos y como explosivo para plasteos.

## ventajas:

1. **Sensible al fulminante.** No requiere cebo suplementario.
2. **Versatilidad.** Adecuado para uso en barrenaciones de diámetro intermedio (desde 50 mm hasta 150 mm) en operaciones subterráneas y de superficie. Excelente para plasteo.
3. **Carga.** La variedad de diámetro en que es obtenible permite gran flexibilidad al diseño de voladuras y al cargado de barrenos.
4. **Gases tóxicos.** - Mínima producción de gases tóxicos y humo.
5. **Seguridad incrementada.** Menos sensibilidad al impacto, al golpe y al fuego.
6. **Resistencia al Agua.** Excelente. Superior a la de los explosivos tradicionales.
7. **Propagación entre Barrenos.** Está diseñado para minimizar la propagación entre barrenos en plantillas normales; por lo tanto, todo diseño de retardos con el fin de mejorar la fragmentación y de reducir la vibración, funcionará más apropiadamente.

---

Estas informaciones y sugerencias están basadas en la experiencia de Du Pont, S.A. de C.V. y se ofrecen como parte de servicio a sus consumidores. Se presuponer que los productos explosivos serán usados por personas con el suficiente conocimiento técnico para poder apreciar el riesgo que acompaña su uso. La compañía Du Pont no garantiza resultados favorables ni asume responsabilidad alguna por cuanto a la interpretación de sus sugerencias. Esta información no se ofrece como autorización para usar o violar cualquier patente existente.

DU PONT, S.A. DE C.V. DEPARTAMENTO DE EXPLOSIVOS  
HOMERO 206 MEXICO 5, D.F. TEL: 250-90-33



# Tovex\*P

**Tovex\*P** es un hidrogel sensible al fulminante y al cordón detonante.

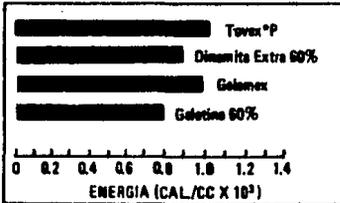
Está diseñado para utilizarse en barrenos mayores de 5". De gran versatilidad tiene las características

y propiedades requeridas para todo tipo de voladuras de roca y mineral de dura a mediana dureza en minas a cielo abierto y canteras. Ideal para plasteo por su consistencia y gran adherencia.

## propiedades y especificaciones

Densidad: 1.20 g./c.c.

Energía:



Velocidad: 4800 m/seg (15750 p/seg)

Gases Tóxicos: Mínimos (Clase 1)

Resistencia al Agua: Excelente

Cuenta de Cartuchos:

Diám. del Cartucho mm.	Diám. plg.	Núm. de Cartuchos por caja de 25 Kgs.
127	5	3
152	6	2
203	8	1

## cebado:

Un fulminante ordinario No. 6 o cordón detonante unido a la salchicha por un nudo.

## almacenamiento y transporte:

TOVEX\*P, es compatible con cualquier tipo de explosivo. Es incompatible con los accesorios iniciadores (fulminantes, estopines eléctricos, etc.).

## USO:

TOVEX\*P. Es ideal como carga de fondo, carga de columna o como iniciador de agentes explosivos como Super Mexamon D o ANFO, ideal para plasteo.

\* MARCA REGISTRADA

## ventajas:

1. **Sensible al fulminante.** No requiere ningún iniciador especial para detonar.
2. **Versatilidad.** Ideal para minas a cielo abierto, canteras y para plasteo en cualquier tipo de operación.
3. **Gases tóxicos.** Mínima producción de gases tóxicos y humo.
4. **Seguridad.** Comparado con otro tipo de explosivos presenta grandes ventajas al impacto, golpes y fuego.
5. **Resistencia al agua.** Excelente.
6. **Propagación entre barrenos.** Está diseñado para minimizar la propagación entre barrenos en plantillas de operación a cielo abierto; por lo tanto todo diseño de retardos para mejorar fragmentación y reducir vibraciones funcionará apropiadamente.

---

Estas informaciones y sugerencias están basadas en la experiencia de Du Pont, S.A. de C.V. y se ofrecen como parte del servicio a sus clientes. Se presupone que los productos explosivos serán usados por los usuarios con el suficiente conocimiento técnico para poder apreciar el riesgo que acompaña su uso. La compañía Du Pont no garantiza resultados favorables ni asume responsabilidad alguna por cuanto a la interpretación de sus sugerencias. Esta información no se ofrece como autorización para usar o violar cualquier patente existente.

**DU PONT, S.A. DE C.V. DEPARTAMENTO DE EXPLOSIVOS**  
**HOMERO 206 9o. PISO C.P. 11570 MEXICO, D.F.**  
**TEL. 250-90-33**



# Tovex Extra®

(HIDROGEL PARA DIAMETRO GRANDE)

126

**Tovex Extra**, precursor de los explosivos licuados (hidrogeles) de la línea TOVEX®, ha establecido normas especiales en la ejecución de voladuras. Está diseñado principalmente para uso en barrenaciones de diámetro grande. Sin su envoltura, TOVEX® EXTRA se asienta convenientemente, aumentando la densidad de carga del barreno y además, manteniendo su excelente

resistencia al agua. Proporciona óptimos rendimiento, eficiencia y seguridad. Es idealmente adecuado para volar roca o mineral duro, sólido y masivo en canteras, tajos a cielo abierto y en la construcción. Se usa con frecuencia como carga de fondo en voladuras difíciles y para ampliar las plantillas de barrenación, optimizando los costos unitarios de perforación.

## ventajas

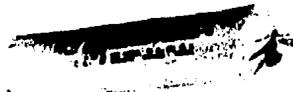
- Seguridad – TOVEX® EXTRA ofrece al usuario una máxima seguridad por su menor sensibilidad al impacto, al golpe y al fuego.
- Resistencia al Agua – Aún sin la envoltura, satisface plenamente el requisito de una carga de fondo. Puede usarse en todas condiciones de humedad.
- Congelacion – Diseñado para soportar los cambios de temperaturas extremas, sin afectar su comportamiento, ni sus características de seguridad.
- Reducción de Costos de Barrenación – El incremento de kilos de explosivos por metro lineal de barreno, permite la ampliación de las plantillas de barrenación con resultados de menores costos de voladura.
- Eliminación de Patas – TOVEX® EXTRA usado como carga de fondo, desarrolla máximas presiones y esfuerzos en la roca, suficientes para los trabajos más difíciles.

## propiedades y especificaciones

Densidad: 1.35 g/c.c. Velocidad: 5.500 m/seg. Resistencia al agua: excelente, aun sin envoltura	Diam. de Cartucho		Núm. de Cartuchos por caja de 25 kgs.
	Cms.	Pigs.	
	10.2	4	4
	12.5	5	3
	15.0	6	2
20.0	8	1	

## empaquete

TOVEX® EXTRA se empaque en bolsas de tubo flexible de polietileno y Mylar en las medidas arriba indicadas y dentro de cajas de cartón con 25 kgs. netos.



## cebado

- Para cebar el hidrogel (explosivo licuado) TOVEX<sup>®</sup> EXTRA, se recomienda usar cebos detonantes Du Pont de alta presión, Detomex<sup>®</sup>. En barrenos de 12.5 cm (5") o mayores debe usarse el Detomex<sup>®</sup> 1, y para barrenos menores el Detomex<sup>®</sup> 3.
- Se recomienda colocar un cebo a cada 6 metros y utilizar un mínimo de 2 cebos por barreno. Según los problemas del cargado, podrán requerirse cebos adicionales.
- La preparación del cebo para una columna de TOVEX<sup>®</sup> EXTRA debe hacerse colocando un Detomex<sup>®</sup> (con el dispositivo iniciador) hundido dentro del hidrogel (explosivo licuado) para un cebado al fondo.
- La unidad cebada colocada al fondo del barreno, debe asegurarse que quede en contacto con la carga principal. Para un cebado múltiple, la colocación de los cebos adicionales se hace simplemente deslizando los cebos Detomex<sup>®</sup> por el cordón detonante y seguidos de un cartucho de TOVEX<sup>®</sup> EXTRA.

## cargado

- Los mejores resultados se obtienen cuando el TOVEX<sup>®</sup> EXTRA llena totalmente la sección transversal del barreno. Esto se logra cortando a lo largo su cubierta de polietileno y Mylar antes de dejarlo caer dentro del barreno.
- Dependiendo de la relación entre los diámetros del cartucho y del barreno, una larga caída del explosivo hasta el nivel del agua puede ocasionar un taponamiento. Una mayor diferencia entre los diámetros y una mayor distancia de la caída tienden a empeorar ésta condición. En casos extremos se recomienda bajar los cartuchos hasta el nivel del agua o bien rasgar la envoltura, sacar el producto y cortarlo en trozos menores.
- El cargado dentro de agua debe hacerse lento y uniformemente para permitir que las bolsas se sumerjan y pasen a través del agua sin la interferencia de otra bolsa. En barrenos secos, la carga puede hacerse con la rapidez que las condiciones permitan.

## almacenamiento

Los hidrogeles (explosivos licuados) deben almacenarse en polvorines conforme a los Reglamentos Oficiales.

La información y experiencia anteriores están basadas en la experiencia de Du Pont en el uso de explosivos. La información de Du Pont en el uso de explosivos. Esta información es para fines de referencia y no debe prepararse y utilizarse sin la experiencia y el conocimiento de Du Pont. No se garantiza que esta información sea aplicable en todas las situaciones de uso de explosivos.

DU PONT, S.A. DE C.V. DEPARTAMENTO DE EXPLOSIVOS  
HOMERO 206 MEXICO 5, D.F. TEL: 250-90-33



# DETOMEX

128



DETOMEX<sup>1</sup> cebo de alta presión detonante, conjunta en el explosivo que lo compone, la alta densidad y velocidad necesarias para desarrollar dentro del barrenado la presión máxima requerida para un cebado óptimo.

DETOMEX<sup>1</sup> está diseñado para proporcionar la máxima acción cebante en la iniciación de productos insensibles a los fulminantes.

### CARACTERISTICAS

Tipo	Velocidad Detonación m/seg.    pies/seg.	Resistencia al Agua y Aceite	Dimensiones diám. y long. mms.	Empaque Núm. piezas por caja de 22 lbs. netos
Detomex 1	7,300    24,000	Absoluta	64 × 84	50
Detomex 2	7,300    24,000	Absoluta	50 × 100	75
Detomex 3	7,300    24,000	Absoluta	38 × 105	150

## USO

DETOMEX\* es recomendable para cebar agentes explosivos a base de nitrato y agentes explosivos licuados envasados y a granel.

## ventajas

1. **Máxima eficiencia de cebado:** DETOMEX\*, cebo de alta presión detonante, ofrece la mayor seguridad para que los productos insensibles a los fulminantes desarrollen su máxima energía.
2. **Seguridad:** DETOMEX\* es menos sensible a la concusión y a la fricción que los cebos a base de dinamita.
3. **Diseño:** De forma cilíndrica, su mayor peso y longitud facilitan la labor de carga, especialmente en barrenos con agua. Su diseño proporciona mayores presiones en los extremos para obtener máxima eficiencia en el cebado.

4. **Comodidad:** Fácil acoplamiento del DETOMEX\* a la línea del "Primacord" mediante el agujero longitudinal de cada cebo.

5. **No provoca molestias físicas:** DETOMEX\* no contiene ingrediente que cause jaquecas u otros malestares físicos. Esta cualidad es especialmente atractiva para las cuadrillas de pobladores.

6. **Largo almacenamiento:** DETOMEX\* está exento de ingredientes líquidos y por ello puede soportar largos periodos de almacenamiento sin deterioro.

## almacenaje

Aunque DETOMEX\* es muy insensible a la percusión y a la fricción, es un explosivo. Debe por lo tanto almacenarse como tal conforme a los Reglamentos Oficiales en polvorines limpios, secos, bien ventilados, frescos, adecuadamente construidos, a prueba de bala e incendio, bien protegidos y asegurados cuando no estén en uso.

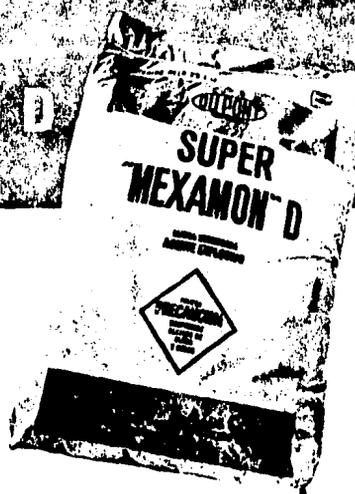
---

Estas informaciones y sugerencias están basadas en la experiencia de Du Pont, S.A. de C.V. y se ofrecen como parte del servicio a sus consumidores. Se presupone que los productos explosivos serán usados por personas con el suficiente conocimiento técnico para poder apreciar el riesgo que acompaña su uso. La compañía Du Pont no garantiza resultados favorables ni asume responsabilidad alguna por cuanto a la interpretación de sus sugerencias. Esta información no se ofrece como autorización para usar o violar cualquier patente existente.

**DU PONT, S.A. DE C.V. DEPARTAMENTO DE EXPLOSIVOS**  
**HOMERO 206 MEXICO 5, D.F. TEL. 250-90-33**



# SUPER MEXAMON D



130

**Super Mexamon\* D reúne las características principales de los Agentes Explosivos: seguridad, economía y la eliminación de los malestares físicos producidos por las Dinamitas. Conjunta las propiedades principales de trabajo de las Dinamitas: potencia y velocidad, pero con dos ventajas: baja densidad, que permite ahorros substanciales y resultados superiores, al hacer posible la mejor distribución de la carga explosiva en el barreno. Además, un mínimo de gases tóxicos que lo hace indicado para uso subterráneo.**

## PROPIEDADES

Potencia: equivalente a Dinamita Extra 65%  
 Densidad vaciado en el barreno: 0.65 gms./c.c.  
 Densidad saplado neumáticamente: 0.75 gms./c.c. (o 4.20 Kg./cm<sup>2</sup> ó 60 lbs./pulg.<sup>2</sup>)  
 Velocidad: 3,800 mts./seg. (12,500 pies/seg.) aprox.

## USOS

Super Mexamon\* D proporciona buena fragmentación en roca de mediana dureza.  
 Super Mexamon\* D está diseñado para uso en minas bajo tierra. Fluye perfectamente con cargadores neumáticos y se compacta perfectamente aún en barrenaciones de contra-pazo.  
 Super Mexamon\* D es del todo recomendable para ser empleado a cielo abierto. Fluye con toda facilidad en barrenos inclinados.

## VENTAJAS

1 Versatilidad: Super Mexamon\* D puede usarse tanto en minas bajo tierra como en operaciones a cielo abierto.

2 Potencia: La velocidad de Super Mexamon\* D y la energía que desarrolla por su gran volumen de gases de expansión lo equiparan en potencia a la Dinamita Extra 65%.

3 Distribución de la carga: Super Mexamon\* D por su baja densidad permite la mejor distribución del explosivo en el barreno y en consecuencia, una mejor fragmentación.

4 No requiere mezclas adicionales. Super Mexamon\* D es un Agente Explosivo cuidadosamente formulado e integralmente elaborado, listo para cargarse directamente de la bolsa, tal como se empaco. Resultado: economía, no hay desperdicio.

5 Sensibilidad: Super Mexamon\* D ha demostrado ser más sensible a la onda de detonación que cualquier mezcla de Nitrato de Amonio y Aceite Diesel o combustible.

6 No es aceitosa: Super Mexamon\* D por su elaboración integral, ofrece las máximas comodidades al usuario. Está libre de migraciones y evaporaciones.

7 Resultados reproducibles: Con Super Mexamon\* D los resultados obtenibles, voladura tras voladura, son constantes y reproducibles siempre y cuando se cebe apropiadamente. Los resultados constantes no son posibles en las mezclas de Nitrato de Amonio o fertilizantes con combustibles, debido a las tantas variantes que intervienen en su preparación.

8 Seguridad: Super Mexamon\* D no contiene nitroglicerina.

9 Economías: Super Mexamon\* D puede en muchos casos sustituir ventajosamente a las Dinamitas, más altas en precio.

## INICIACION

El iniciador o cebo recomendado para detonar el Super Mexamon\* D debe ser un explosivo potente y violento, tal como: 1) Gelatina Extra 60% ; 2) Gelamex No. 1; 3) Dinamita Extra 60% . El cebo de iniciación debe constituir un 15% aproximadamente, en peso, del total de la carga explosiva en el barreno. En barrenos largos es recomendable usar más de 1 cebo de iniciación y cordón detonante "Primacord" o "E-Cord" a lo largo del barreno, distribuyendo los cebos a intervalos máximos de 5 metros; es decir, debe distribuirse el cebo total a intervalos a lo largo del barreno dejando siempre en el fondo la mayor cantidad del cebo iniciador.

## ALMACENAMIENTO

Super Mexamon\* D debe almacenarse considerándolo para el caso, como una Dinamita. Es aconsejable dar rotación a las existencias almacenadas, usando siempre primero el material más antiguo.

## CARGA

En operaciones a cielo abierto, Super Mexamon\* D puede cargarse por gravedad, vaciado. La tabla a continuación muestra aproximadamente los kilos por metro lineal de barrenos de varios diámetros.

Diámetro Barreno cms. (pulgs.)	Kg. por Metro Lineal de Barreno
2.54 (1)	0.329
5.08 (2)	1.318
7.62 (3)	2.964
10.16 (4)	5.270
12.70 (5)	8.234
15.24 (6)	11.857

## EMPAQUE

Super Mexamon\* D se envasa en bolsas de papel multicapas con forro interior de polietileno. Cada saco contiene 25 Kgs. netos.

---

Estas informaciones y sugerencias están basadas en la experiencia de Dupont, S.A. de C.V. y se ofrecen como parte del servicio a sus consumidores. Se presupone que los productos explosivos serán usados por personas con el suficiente conocimiento técnico para poder apreciar el riesgo que acompaña su uso. La compañía Du Pont no garantiza resultados favorables ni asume responsabilidad alguna por cuanto a la interpretación de sus sugerencias. Esta información no se ofrece como autorización para usar o violar cualquier patente existente.

**DU PONT, S.A. DE C.V. DEPARTAMENTO DE EXPLOSIVOS**  
**HOMERO 206 MEXICO 5, D.F. TEL: 250-90-33**

**ATLAS DE MEXICO, S:A: DE C.V.**

SAN LORENZO 1009 -3ER. PISO.  
MEXICO 12, D.F.

688-53-44 - CONMUTADOR  
688-57-91 - PEDIDOS

132

**EXPLOSIVOS**

INFORMACION No. 101  
EXPLOSIVOS COMERCIALES

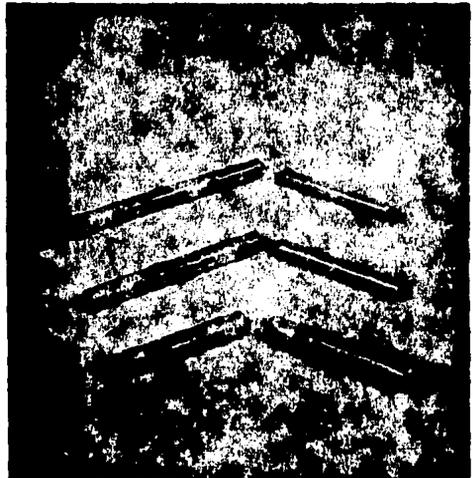
**ATLAS DE MEXICO, S.A. DE C.V.**  
**GRUPO ICI**

**EL HIDROGEL DE MAS ALTA POTENCIA Y MAS ALTA SENSIBILIDAD  
EN SU CLASE POR SU FORMULACION Y USO MAS VERSATIL POR  
SUS ENVASES.**

GODYNE DIAMETRO  
CHICO DE 2.22 CM  
(7/8") HASTA 3.8 CM  
(1 1/2")

DAN MEJORES RE-  
SULTADOS Y MAYO-  
RES BENEFICIOS  
PARA LAS INDUS-  
TRIAS MINERAS Y  
CONSTRUCCION.

GODYNE DIAMETRO  
CHICO VIENE EN  
FORMULACION 500  
SU PRESENTACION  
ES EN SALCHICHAS  
DE POLIETILENO.



**POTENCIA**

GODYNE ES UN  
EXPLOSIVO DE  
ALTA POTENCIA  
COMPARABLE CON  
LA DINAMITA 75%

**CARGADO**

LOS CARTUCHOS  
DE GODYNE SON  
DE CARGADO FA-  
CIL AL BARRENO

**NO CAUSA  
MALESTAR**

COMO GODYNE ES  
UN EXPLOSIVO  
ALUMINIZADO.

NO CAUSA MALES-  
TAR FISICO (DOLO-  
RES DE CABEZA)  
EN SU MANEJO.

**CARGADO-** EL EXPLOSIVO GODYNE ES DE FACIL CARGADO POR SU PLASTICIDAD Y CONFORMACION.

**NO CAUSA MALESTAR-** EL EXPLOSIVO GODYNE POR SU FORMULACION NO CAUSA MALESTAR FISICO EN LA DETONACION NI EN SU MANEJO.

**CEBADO-** EL EXPLOSIVO GODYNE ES DE FACIL CEBADO POR SU SENSIBILIDAD A LOS INICIADORES CONVENCIONALES (CAPSULAS Y CORDONES DETONANTES).

**APLICACION-** EL EXPLOSIVO GODYNE ES DE FACIL APLICACION EN MINERIA, CONSTRUCCION, CANTERAS, POR SU MANEJO Y ADAPTACION A CUALQUIERA DE LOS METODOS CONVENCIONALES CONOCIDOS.

**RESISTENCIA AL AGUA-** EL EXPLOSIVO GODYNE POR SU ALTA RESISTENCIA AL AGUA SE RECOMIENDA AMPLIAMENTE SU USO EN BARRENOS AHOGADOS.

**FRAGMENTACION-** EL EXPLOSIVO GODYNE POR SU FORMULACION A BASE DE POLVOS METALICOS GENERA ALTAS TEMPERATURAS DE DETONACION DANDO EXCELENTES RESULTADOS EN LA FRAGMENTACION.

**MANEJO-** EL EXPLOSIVO GODYNE ES DE FACIL MANEJO POR LA SEGURIDAD QUE ENCIERRA EN SU FORMULACION NO DETONANDO CON IMPACTOS, COMPRESIONES, FUEGO Y AL IMPACTO DE BALA CALIBRE 30.06.

#### **DATOS TECNICOS - GODYNE DIAMETRO CHICO**

FORMULACION	DENSIDAD	VELOCIDAD	RWS	RBS	RESISTENCIA AL AGUA	GASES
300	1.20 g/cm <sup>3</sup>	13,000 Pies/Seg.	110	158	EXCELENTE	CLASE 1

FORMULACION 400 PARA USO BAJO PRESION MECANICA O HIDRAULICA, COMO EN TUNELES.

DIAMETRO POR LONGITUD	No. CARTUCHOS CASA	ENVASE
7/8" x 8"	— 290 ± 5 CARTUCHOS	SALCHICHA
1" x 8"	— 210 ± 5 CARTUCHOS	SALCHICHA.
1 1/4" x 8"	— 136 ± 3 CARTUCHOS	SALCHICHA.
1 1/2" x 8"	— 45 ± 2	SALCHICHA.

(OTRAS MEDIDAS SEGUN PEDIDO)

#### **ENVASES:**

SALCHICHA - PARA CARGA DE COLUMNA.

#### **NOTA:**

RWS - POTENCIA RELATIVA DEL PRODUCTO CONTRA ANFO 100% A PESO IGUAL  
RBS - POTENCIA RELATIVA DEL PRODUCTO CONTRA ANFO 100% A VOLUMEN IGUAL

**ATLAS DE MEXICO, S.A. DE C.V.**

SAN LORENZO 1009 -3ER. PISO,  
MEXICO 12, D.F.

688-53-44 - CONMUTADOR

688-57-91 - PEDIDOS

134

**EXPLOSIVOS**

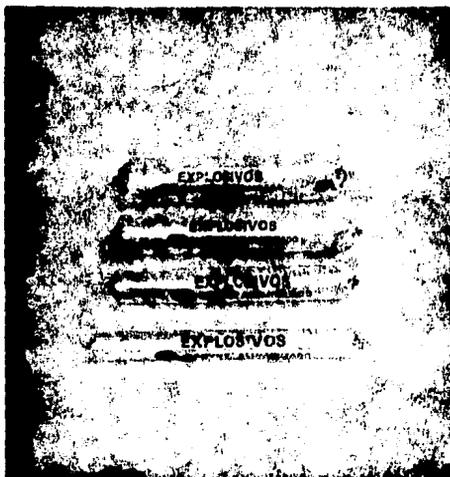
INFORMACION No. 102  
EXPLOSIVOS COMERCIALES

**ATLAS DE MEXICO, S.A. DE C.V.  
GRUPO ICI**

**EL HYDROGEL DE MAS ALTA POTENCIA Y MAS ALTA SENSIBILIDAD  
EN SU CLASE POR SU FORMULACION Y USO MAS VERSATIL POR  
SUS ENVASES**

GODYNE DIAMETRO  
INTERMEDIO DE 5.02  
CM. (2") HASTA 7.62  
CM. (3").

GODYNE DIAMETRO  
INTERMEDIO ES EL  
EXPLOSIVO DE ALTA  
POTENCIA, DE ALTO  
RENDIMIENTO, QUE  
REPRESENTAN MA-  
YORES BENEFICIOS  
PARA LAS INDUS-  
TRIAS MINERAS,  
CONSTRUCCION,  
CANTERAS Y EX-  
PLORACION SISMO-  
GRAFICA.



**LOS CARTUCHOS DE GODYNE VIENEN EMPACADOS  
EN PELICULAS PLASTICAS, MISMAS QUE OFRECEN  
UNA MAXIMA FACILIDAD EN SU CARGADO.**

**OTRAS VENTAJAS**

135

**CARGADO.** EL EXPLOSIVO GODYNE ES DE FACIL CARGADO POR SU PLASTICIDAD Y CONFORMACION.

**NO CAUSA MALESTAR.** EL EXPLOSIVO GODYNE POR SU FORMULACION NO CAUSA MALESTAR FISICO EN LA DETONACION NI EN SU MANEJO.

**CEBADO.** EL EXPLOSIVO GODYNE ES DE FACIL CEBADO POR SU SENSIBILIDAD A LOS INICIADORES CONVENCIONALES (CAPSULAS Y CORDONES DETONANTES).

**APLICACION.** EL EXPLOSIVO GODYNE ES DE FACIL APLICACION EN MINERIA, CONSTRUCCION, CANTERAS, POR SU MANEJO Y ADAPTACION A CUALQUIERA DE LOS METODOS CONVENCIONALES CONOCIDOS.

**RESISTENCIA AL AGUA.** EL EXPLOSIVO GODYNE POR SU ALTA RESISTENCIA AL AGUA SE RECOMIENDA AMPLIAMENTE SU USO EN BARRENOS AHOGADOS.

**FRAGMENTACION.** EL EXPLOSIVO GODYNE POR SU FORMULACION A BASE DE POLVOS METALICOS GENERA ALTAS TEMPERATURAS DE DETONACION DANDO EXCELENTES RESULTADOS EN LA FRAGMENTACION.

**MANEJO.** EL EXPLOSIVO GODYNE ES DE FACIL MANEJO POR LA SEGURIDAD QUE ENCIERRA EN SU FORMULACION NO DETONANDO CON IMPACTOS, COMPRESIONES, FUEGO Y AL IMPACTO DE BALA CALIBRE 30.06.

<b>DATOS TECNICOS</b>		<b>GODYNE DIAMETRO INTERMEDIO</b>				<b>GASES AL AGUA</b>
<b>FORMULACION</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>VELOCIDAD</b>	<b>RWS</b>	<b>RBS</b>	<b>RESISTENCIA</b>	
500	1.20 g/cm <sup>3</sup>	13,000 Pies/Seg	103	147	EXCELENTE	CLASE 1 MINIMO

<b>DIAMETRO POR LONGITUD</b>			<b>CARTUCHOS</b>	<b>ENVASE</b>
2"	x	16"	25	SALCHICHA
2 1/2"	x	16"	19	SALCHICHA
3"	x	16"	14	SALCHICHA

**NOTA:**

**RWS:** POTENCIA RELATIVA DEL PRODUCTO CONTRA ANFO 100% A PESO IGUAL

**RBS:** POTENCIA RELATIVA DEL PRODUCTO CONTRA ANFO 100% A VOLUMEN IGUAL.



**ATLAS DE MEXICO, S:A: DE C.V.**

SAN LORENZO 1009 -3ER. PISO.  
MEXICO 12, D.F.

688-53-44 - CONMUTADOR  
688-57-91 - PEDIDOS

136

**EXPLOSIVOS**  
INFORMACION No. 103  
EXPLOSIVOS COMERCIALES

**ATLAS DE MEXICO, S.A. DE C.V.**  
**GRUPO ICI**

**GODYNE DIAMETRO GRANDE DE 12.70 CM. (5") HASTA 20.32 CM. (8").**

**DAN MEJORES RESULTADOS Y MAYORES BENEFICIOS PARA LAS INDUSTRIAS MINERAS, A TAJO ABIERTO, CONSTRUCCION Y CANTERAS CEMENTERAS.**

**GODYNE DIAMETRO GRANDE VIENE EN TRES DIFERENTES FORMULACIONES QUE SON: GODYNE EXTRA, GODYNE NS (NO SENSITIVO) Y GODYNE C.C.F. (CARGA DE FONDO)**

**SU PRESENTACION ES EN SALCHICHAS DE POLIETILENO.**



### **POTENCIA**

**GODYNE DIAMETRO GRANDE EN SUS TRES FORMULACIONES ES EL ALTO EXPLOSIVO DE MAS ALTA POTENCIA EN EL MERCADO. SU USO COMO CEBOS Y CARGA DE FONDO EN EL CASO DEL "C.C.F." Y "EXTRA" DA EXCELENTES RESULTADOS EN EL CAMPO. EL GODYNE NS NO ES SENSIBLE AL FULMINANTE Y SE UTILIZA COMO CARGA DE FONDO DANDO MEJOR FRAGMENTACION POR SU POTENCIA.**

**CARGADO** - EL EXPLOSIVO GODYNE ES DE FACIL CARGADO POR SU PLASTICIDAD Y CONFORMACION.

**NO CAUSA MALESTAR** - EL EXPLOSIVO GODYNE POR SU FORMULACION NO CAUSA MALESTAR FISICO EN LA DETONACION NI EN SU MANEJO.

**CEBADO** - EL EXPLOSIVO GODYNE ES DE FACIL CEBADO POR SU SENSIBILIDAD A LOS INICIADORES CONVENCIONALES (CAPSULAS Y CORDONES DETONANTES). EN EL CASO DE GODYNE NS ES NECESARIO INICIARLO CON CEBO DE GODYNE SENSIBLE (EXTRA-0'CCF).

**APLICACION** - EL EXPLOSIVO GODYNE ES DE FACIL APLICACION EN MINERIA, CONSTRUCCION, CANTERAS, POR SU MANEJO Y ADAPTACION A CUALQUIERA DE LOS METODOS CONVENCIONALES CONOCIDOS.

**RESISTENCIA AL AGUA** - EL EXPLOSIVO GODYNE POR SU ALTA RESISTENCIA AL AGUA SE RECOMIENDA AMPLIAMENTE SU USO EN BARRENOS AHOGADOS.

**FRAGMENTACION** - EL EXPLOSIVO GODYNE POR SU FORMULACION A BASE DE POLVOS METALICOS GENERA ALTAS TEMPERATURAS DE DETONACION DANDO EXCELENTE RESULTADOS EN LA FRAGMENTACION.

**MANEJO** - EL EXPLOSIVO GODYNE ES DE FACIL MANEJO POR LA SEGURIDAD QUE ENCIERRA EN SU FORMULACION NO DETONANDO CON IMPACTOS, COMPRESIONES, FUEGO Y AL IMPACTO DE BALA CALIBRE 30.06.

**DATOS TECNICOS                      GODYNE DIAMETRO GRANDE**

<b>FORMULACION</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>VELOCIDAD</b>	<b>RWS</b>	<b>RBS</b>
SN	1.20	12000 Pies/Seg.	95	136
Extra	1.20	13000 Pies/Seg.	97	139
CCF	1.20	14000 Pies/Seg.	110	158

NOTA:

**RWS: POTENCIA RELATIVA DEL PRODUCTO CONTRA ANFO 100% A PESO IGUAL.**

**RBS: POTENCIA RELATIVA DEL PRODUCTO CONTRA ANFO 100% A VOLUMEN IGUAL.**



**ATLAS DE MEXICO, S.A.**

SAN LORRENZO 1009 - RR. PICO  
MEXICO 12, D.F.

**ATLAS DE MEXICO, S.A. DE C.V.**

SAN LORENZO 1009 -3ER. PISO.  
MEXICO 12, D.F.

688-53-44 - CONMUTADOR  
688-57-91 - PEDIDOS

138

**EXPLOSIVOS**

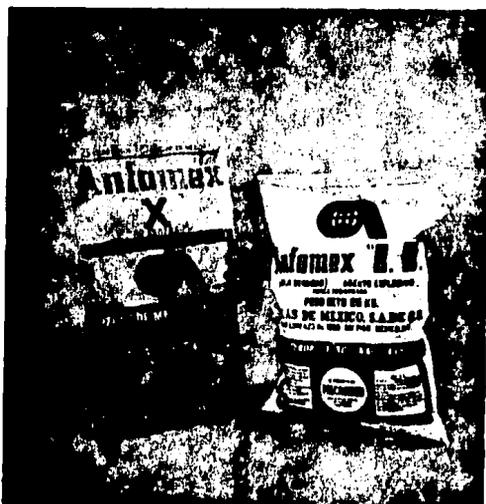
INFORMACION No. 104  
EXPLOSIVOS COMERCIALES

**ATLAS DE MEXICO, S.A. DE C.V.**  
**GRUPO ICI**

ANFOMEX X Y ANFOMEX "B.D." O (BAJA DENSIDAD) SON AGENTES EXPLOSIVOS DESARROLLADOS TECNICAMENTE QUE REPRESENTAN ECONOMIA, OBTENIENDO MAS SEGURIDAD EN SU MANEJO.

ANFOMEX X Y ANFOMEX "B.D." TIENEN LA POTENCIA Y VELOCIDAD PARA SER UTILIZADOS CON EXITO EN BARRENOS SECOS Y DAN EXCELENTES RESULTADOS EN LAS INDUSTRIAS MINERAS (TAJO ABIERTO Y SUBTERRANEAS), CONSTRUCCION, Y CANTERAS CEMENTERAS.

ANFOMEX X Y ANFOMEX "B.D." VIENEN EN BOLSAS DE POLIETILENO O PAPEL DE 25 KGS NETOS CADA UNO.



**POTENCIA**

ESTOS AGENTES EXPLOSIVOS SON DE MEDIANA POTENCIA UTILIZADOS COMO CARGA DE COLUMNA.

**CARGADO**

ESTE AGENTE EXPLOSIVO SIMPLEMENTE SE VACIA AL BARRENO EN OPERACIONES A CIELO ABIERTO Y POR CARGADOR NEUMATICO EN SUBTERRANEA O TUNEL.

**OTRAS VENTAJAS:**

159

**NO CAUSA MALESTAR** - ESTE AGENTE EXPLOSIVO NO CONTIENE NINGUN PRODUCTO QUE PUEDA CAUSAR MALESTAR FISICO COMO DOLORES DE CABEZA.

**CEBADO** - ESTE AGENTE EXPLOSIVO NO ES SENSIBLE A LAS CAPSULAS NOS. 6 Y 8 POR LO TANTO NECESITA UN CEBEO COMO EL GODYNE PARA QUE DETONE, ESTE ES OTRO FACTOR QUE REUNE MAS SEGURIDAD EN SU MANEJO.

**APLICACION** - ANFOMEX "X" SE UTILIZA COMO CARGA DE COLUMNA OBTENIENDO ECONOMIA Y MEJOR DISTRIBUCION EN EL BARRENO.

ANFOMEX B.D. SE UTILIZA TAMBIEN COMO CARGA DE COLUMNA Y SE OBTIENE POR SU MAS BAJA DENSIDAD MAS ECONOMIA Y DISTRIBUCION DE EXPLOSIVO EN EL BARRENO.

**GASES NO TOXICOS** - TANTO ANFOMEX X Y ANFOMEX B.D. SE PUEDEN UTILIZAR A CIELO ABIERTO COMO EN MINAS SUBTERRANEAS.

**FRAGMENTACION** - CON EL AGENTE EXPLOSIVO SE OBTIENE LA FRAGMENTACION ADECUADA Y POR CONSIGUIENTE BAJOS COSTOS.

**DATOS TECNICOS**

**ANFOMEX X Y ANFOMEX B.D.**

<b>AGENTE EXPLOSIVO</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>VELOCIDAD</b>	<b>RWS</b>	<b>RBS</b>	<b>RESISTENCIA DEL AGUA</b>	<b>GASES</b>
ANFOMEX X	0.80 a 0.85 g/cm <sup>3</sup> VACIADO	8,000 pies/seg	92	86	POBRE	CLASE I
ANFOMEX B.D.	0.60 a 0.65 g/cm <sup>3</sup> VACIADO	8,000 Pies/seg	90	80	POBRE	CLASE I.

**NOTA:**

**RWS** - POTENCIA RELATIVA DEL PRODUCTO CONTRA ANFO 100% A PESO IGUAL

**RBS** - POTENCIA RELATIVA DEL PRODUCTO CONTRA ANFO 100% A VOLUMEN IGUAL.



**ATLAS DE MEXICO, S.A.**

SAN LORENZO 1009 -3ER. PISO.  
MEXICO 12, D.F.

## BIBLIOGRAFIA

Alcaraz Lozano, Federico. EXPLOTACION DE ROCAS. Apuntes de la División de Educación Continua, Facultad de Ingeniería, UNAM. - México 1984.

E.I. DuPont de Nemours Co. MANUAL PARA EL USO DE EXPLOSIVOS. - Editorial Litografía Regina de los Angeles. México, 1983.

Langerfors y Kihlström. TECNICA MODERNA DE VOLADURA DE ROCAS.- Editorial Urmo. España, 1971.

Gustafsson, Rune. TECNICA SUECA DE VOLADURAS. Editorial Nora. Suecia, 1977.

Crimins, Samuels y Monahan. TRABAJOS DE CONSTRUCCION EN ROCA.- Editorial Limusa. México, 1978.

Peurifoy, R. L. METODOS PLANEAMIENTO Y EQUIPOS DE CONSTRUCCION. Editorial Diana. México, 1979.

Nichols, Herbert Hijo. MOVIMIENTO DE TIERRAS. Editorial CECSA. México, 1980.

Compañía Mexicana de Explosivos. MANUAL PARA EL USO DE EXPLOSI  
VOS. México, 1958.

Compañía Mexicana de mechas para minas. CONTROL DE LA ROTACION  
DE BARRENOS SIN RECORTAR, USANDO IGNITACORD. México, 1977.

Compañía Mexicana de mechas para minas. LA MECHA PARA MINAS, -  
QUE ES Y COMO SE USA. México.

Compañía Mexicana de mechas para minas. EL CORDON DETONANTE --  
PRIMACORD, QUE ES Y COMO SE USA. México.

Harris, Don. LA PROYECCION DE VOLADURAS: FASE ESENCIAL DE LA -  
PLANIFICACION DE PREPRODUCCION. Revista No. 3 Desarrollo Nacio  
nal. Editorial Intercontinental Publications. USA, Abril de - -  
1979.

Lippincot, Stanley Hijo. ADELANTOS EN LA TECNOLOGIA DE EXPLOSI  
VOS. Revista No. 8. Desarrollo Nacional. Editorial Interconti  
nental Publications. USA, Octubre de 1979.

Hernández Laris, Francisco. EXCAVACION EN ROCA CON EXPLOSIVOS.  
Tesis. Facultad de Ingeniería, UNAM. México, 1980.

Lizárraga Ruiz, Rigoberto. VOLADURA DE ROCAS. Tesis Facultad-  
de Ingeniería, UNAM. México, 1979.

Du Pont S.A. INFORMES TECNICOS.

Atlas de México. S.A. BOLETINES TECNICOS.