

29  
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

-----  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGON

"APLICACION DE EXPLOSIVOS  
EN LA INGENIERIA CIVIL"

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**INGENIERO CIVIL**

P R E S E N T A :

LUIS FRANCISCO OCAMPO RIVERA



**ENEP**  
ARAGON

Escuela Nacional de Estudios Profesionales  
Aragón

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

SAN JUAN DE ARAGON, EDO. DE MEX.

1992



## **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 .**

<b>CAPITULO I. INTRODUCCION.</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO II. GENERALIDADES.</b>	<b>2</b>
<b>CAPITULO III. EL USO DE VOLADURAS EN LA INGENIERIA CIVIL.</b>	
3.1 HISTORIA DE LOS EXPLOSIVOS	18
3.2 TUNELES Y TIROS.	22
3.2.1. METODO DE PERFORACION DE TUNELES.	24
3.2.1.1.1. METODO DE FRENTE COMPLETA	25
3.2.1.1.2. METODO DE FRENTE SUPERIOR Y BANQUEO.	25
3.2.1.1.3. METODO DE TUNEL PILOTO.	26
3.2.1.1.4. METODO DE TUNEL PIONERO.	27
3.2.2. TIROS.	28
3.3. CANTERAS Y TAJOS ABIERTOS.	30
3.3.1. PERFORACION DE BARRENOS DE DIAMETRO GRANDE.	32
3.3.2. DISPAROS ACOLCHONADOS.	33
3.3.3. BARRENACION DE DIAMETROS PEQUEÑOS.	33
3.3.4. PERFORACION POR PISTOLA NEUMATICA LIGERA.	34
3.3.5. BARRENOS ARRASTRADOS.	34
3.4. CONSTRUCCION DE CARRETERAS.	35
3.4.1. LIMPIEZA Y DESENRAICE.	35
3.4.1.1. VOLADURA DE TOCONES.	35
3.4.2. ZANJEO Y DRENAJE.	36
3.4.2.1. METODO DE CARGA.	37
3.4.2.1.1. METODO DE UNA SOLA LINEA	37
3.4.2.1.2. METODO DE LA SECCION TRNSVERSAL.	37
3.4.2.1.3. METODO DE BARRENOS DE POSTE.	38
3.4.2.1.4. METODO DE ALIVIO.	38
3.4.3. EXCAVACION	39
3.4.4. ASENTAMIENTO DE TERRAPLENES.	42
3.4.4.1. DISPARO DE LA PATA.	42
3.4.4.2. RELLENO INFERIOR.	43
3.4.4.3. ZANJEO.	43
3.4.4.3.1. ALIVIO.	44
3.5. DEMOLICION-	44
3.5.1. TECNICO.	45
3.5.2. ECONOMICO	45
3.5.3. PSICOLOGICO.	45
3.5.4. PROCEDIMIENTO.	46

#### CAPITULO IV. DINAMITAS Y AGENTES EXPLOSIVOS.

4.1. INGREDIENTES Y COMPOSICION DE LOS EXPLOSIVOS.	60
4.2. DINAMITAS.	61
4.2.1. DINAMITAS PURAS.	61
4.2.2. DINAMITAS REGULARES.	63
4.2.3. GELATINA EXTRA.	63
4.2.4. DINAMITA GELATINA.	63
4.2.5. DINAMITA GELATINA ESPECIAL.	64
4.2.6. DINAMITA GELEX	64
4.3. AGENTES EXPLOSIVOS.	64
4.3.1. ANFO.	65
4.3.2. SLURRY-HIDROGEL.	66
4.3.3. EMULSIONES.	67

#### CAPITULO V. EQUIPOS PARA LA INICIACION.

5.1. CAPSULAS DE DETONACION Y ESTOPINES.	73
5.1.1. ESTOPINES ELECTRICOS INSTANTANEOS CON ALAMBRE DE COBRE.	76
5.1.2. ESTOPINES ELECTRICOS CON ALAMBRE DE HIERRO	76
5.1.3. ESTOPINES ELECTRICOS SISMOGRAFICOS.	76
5.1.4. ESTOPINES ELECTRICOS DE RETARDO.	77
5.1.5. ESTOPINES ELECTRICOS MS.	77
5.2. FULMINANTES.	78
5.3. RETARDOS.	78
5.3.1. RETARDOS MS PARA CORDON DETONANTE.	78
5.3.2. RETARDOS MS PARA CORDON DETONANTE DE BAJA ENERGIA.	79
5.4. REFORZADORES.	81
5.5. CORDON DETONANTE.	81
5.5.1. CORDON DETONANTE DE BAJA ENERGIA.	84
5.5.2. CORDON DETONANTE NON-ELECTRIC (NONEL).	85

#### CAPITULO VI. CRITERIOS DE SELECCION DE UN EXPLOSIVO.

6.1. LAS PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS.	89
6.1.1. VELOCIDAD DE LOS EXPLOSIVOS.	89
6.1.2. DIAMETRO DE CARGA.	90
6.1.3. EFECTO DE CONFINAMIENTO.	92
6.1.4. EFECTO DE TAMAÑO DE LA PARTICULA.	92
6.1.5. EFECTO DE LA DENSIDAD.	92
6.1.6. TEMPERATURA INICIAL.	95
6.1.7. RESISTENCIA AL AGUA.	99
6.1.8. PRESION DE DETONACION.	99
6.1.9. GASES.	99
6.1.10. ENERGIA DEL EXPLOSIVO.	101
6.1.11. LA VIDA DEL EXPLOSIVO EN ALMACENAJE.	102
6.1.12. PRESION DE INSENSIBILIDAD.	102
6.2. PROPIEDADES DE LAS DINAMITAS.	102
6.3. PROPIEDADES DEL ANFO.	104
6.4. SLURRY-HIDROGEL.	105
6.5. EMULSION.	107

**CAPITULO VII. TRANSPORTE, MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE EXPLOSIVOS.**

7.1.	TRANSPORTE DE EXPLOSIVOS.	112
7.1.1.	MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA EL TRANSPORTE DE EXPLOSIVOS.	113
7.2.	MANEJO DE EXPLOSIVOS.	114
7.2.1.	ASIGNACION DE RESPONSABILIDADES EN EL MANEJO DE EXPLOSIVOS.	114
7.2.1.1.	SUPERINTENDENTE O RESPONSABLE DE LA OBRA.	114
7.2.1.2.	POBLADOR O EL ASISTENTE DEL SUPERINTENDENTE.	115
7.2.1.3.	ALMACENISTA.	116
7.2.2.	ASPECTOS RECOMENDABLES EN EL MANEJO DE EXPLOSIVOS.	116
7.2.3.	QUEMA DE DESPERDICIOS (DESTRUCCION).	117
7.2.4.	SEGURIDAD DE VOLADURAS.	117
7.2.4.1.	PERSONAL.	117
7.2.4.2.	ANTES Y DESPUES DE LA VOLADURA.	118
7.2.4.3.	EN LA VOLADURA.	119
	7.2.4.3.1. OBJETIVO.	119
	7.2.4.3.2. GENERALIDADES.	119
	7.2.4.3.3. PREPARACION DEL AREA DE LA VOLADURA.	120
7.3.	ALMACENAJE.	128
7.3.1.	CONSTRUCCION DE POLVORINES.	129
7.3.1.1.	UBICACION.	129
7.3.1.2.	CONSTRUCCION.	129
7.3.1.3.	ILUMINACION.	129
7.3.1.4.	ILUMINACION NATURAL.	130
7.3.1.5.	DIMENCIONES.	130
7.3.1.6.	SEGURIDAD.	130

**CAPITULO VIII. REGLAMENTACION SOBRE VOLADURAS.**

8.1.	LEY FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL.	136
8.2.	REGLAMENTO PARA LA COMPRA-VENTA, FABRICACION, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE EXPLOSIVOS, ARMAS Y MUNICIONES.	144

**CAPITULO IX. DISEÑO DE VOLADURAS.**

9.1.	VOLADURA DE BANQUEO.	161
9.1.1.	BORDO.	164
9.1.2.	PROFUNDIDAD DE BARRENACION.	164
9.1.3.	SUBARRENACION.	165
9.1.4.	ESPACIAMIENTO DE BARRENOS.	166
9.1.5.	TACO.	168
9.1.6.	CALCULO DE UN SOLO BARRENO.	169

9.2.	PERFORACION DE TUNELES.	183
9.2.1.	CUÑAS INICIALES.	184
9.2.1.1.	CUÑA DE BARRENOS PARALELOS O CUÑA QUEMADA.	185
9.2.1.2.	CUÑA EN V.	191
9.3.	BARRENACION QUE NO PERTENECE A LA CUÑA.	193
9.3.2.	RESUMEN DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS BARRENOS QUE NO PERTENECEN A LA CUÑA.	203
9.3.3.	CUÑAS DE BARRENOS PARALELOS.	205
9.3.4.	CUÑA EN V.	208
9.4.	POSTCORTE PERIMETRAL.	210
9.5.	PRECORTE.	212
9.6.	CALCULO DE VOLADURA DE TUNELES.	214
<b>CAPITULO X. CONCLUSIONES.</b>		<b>223</b>
<b>BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS.</b>		<b>227</b>

## CAPITULO I

### 1. INTRODUCCION.

El trabajo de voladuras en México ha recaído en los últimos años en personas cuya experiencia en el uso de explosivos los ha hecho capaces de encauzar una energía muy potente al desarrollo de obras civiles, dígase tuneles, explotación de canteras, construcción de carreteras, por mencionar solo una pequeña parte del amplio campo de voladuras. Los resultados obtenidos han sido adecuados para la construcción de obras públicas y privadas.

En los tiempos modernos se requiere de un estudio más detallado de estos trabajos. Una mejor técnica, basada en una teoría adecuada y perfeccionada con voladuras de prueba, será capaz de mejorar en mucho el desarrollo ya alcanzado en estos procesos.

La elaboración de una guía general del uso de voladuras en la Ingeniería Civil que plantee un panorama real de la aplicación correcta del explosivo en obra civil, dará como resultado la inquietud por desarrollar nuevos procesos constructivos y nuevas expectativas en el diseño de éstos y proporcionará a las nuevas generaciones una herramienta potente y segura de manejar aún el corazón de las grandes ciudades.

Por este motivo en esta tesis se desarrolla una guía muy general para la aplicación de sustancias explosivas a la construcción, tomando en cuenta los diversos factores que intervienen durante el cálculo de un trabajo constructivo o destructivo, por medio de explosivos.

En el capítulo II, "generalidades", se hace notar que el proceso de fragmentación de la roca por medio de explosivos conlleva una serie de pasos específicos que deben realizarse de una manera sistematizada para definir como cederá la roca ante las ondas de choque producidas por la reacción física y química del explosivo.



Los explosivos se emplean en las obras de Ingeniería Civil desde hace muchos años, sin embargo se han ido perfeccionando con el paso del tiempo, para hacerlos más potentes y más seguros en su manejo. En el capítulo III se presenta una breve historia del desarrollo de estos elementos.

Ese desarrollo ha permitido que actualmente existan en el mercado una gran diversidad de agentes explosivos disponibles para el Ingeniero Civil, por lo que en el capítulo IV se presentan los explosivos más comunes, y se discute para qué casos son más adecuados, de acuerdo con sus características.

Todos los explosivos requieren que su reacción se inicie mediante un impulso o cebo, por medio de una mecha o electricidad. Existe una gran variedad de dispositivos para la instalación por lo que en el capítulo V se presentan los más comunes en el mercado y se incluyen sus condiciones de uso.

Una de las mayores responsabilidades que debe asumir el Ingeniero que dirija una voladura, es la selección correcta del explosivo que se va a emplear.

En el capítulo VI se fijan los criterios que deben aplicarse en esa selección y se destaca la necesidad de conocer - las características de cada explosivo para escoger el que tendrá el comportamiento más adecuado según el tiempo de voladura.

En el capítulo VII se presentan recomendaciones para el transporte, manejo y almacenamiento del explosivo, destacando la importancia que estas etapas tienen en la seguridad del personal y del público y la necesidad de concientizar a toda persona que maneje explosivos sobre la enorme responsabilidad que adquiere con su trabajo.

Los explosivos son elementos tan peligrosos que su uso y manejo debe estar reglamentado en todos los países. En México sus Secretarías de la Defensa Nacional y de Marina regulan la adquisición, el uso y el manejo de explosivos. En el capítulo VIII se presentan los artículos de estos reglamentos que tienen mayor importancia en los trabajos de Ingeniería Civil.

Cada voladura debe ser objeto de un diseño específico para conseguir los resultados deseados de una manera eficiente y segura. Cada diseño se adecuará a las características físicas del masivo rocoso por fragmentar, a los propósitos del proyecto y a las condiciones del entrono. Estará limitado además por los recursos disponibles (costo, explosivos en el mercado, personal capacitado).

En el capítulo IX se dan lineamientos generales para el diseño y se presentan a manera de ejemplo dos diseños: El primero para una voladura a cielo abierto y el segundo para una subterránea.

Finaliza esta tesis con el capítulo X en el cual el autor presenta como conclusiones algunas de las experiencias personales que obtuvo por la ejecución de este trabajo.

## **CAPITULO II**

### **2. GENERALIDADES.**

En el proceso de fragmentación de una roca por medio de explosivos, existe una serie de pasos específicos que deben realizarse en un orden adecuado, que garanticen un trabajo correcto - durante toda la obra; se deben considerar los siguientes:

- 1) Propiedades de los explosivos
  - a) Físicas
  - b) Químicas
  - c) Reacciones
- 2) Propiedades de las rocas
  - a) Físicas
- 3) Mecanismos de Fragmentación
- 4) Diseños de voladuras
  - a) A cielo abierto

- b) Subterránea
  - c) Granulometrías
- 5) Efectos adversos de las voladuras
- a) Vibraciones
  - b) Presión de Aire

Estos pasos harán de una voladura un proceso de construcción o destrucción seguro, incluso en el corazón de las grandes ciudades.

La roca desde tiempos inmemoriales, ha causado al hombre una limitante en el desarrollo de sus actividades, ya los antiguos mexicanos, rompían este elemento para ellos de gran dureza, utilizando un procedimiento de calentamiento y enfriamiento; sometían el material a fuego directo, calentándolo a altas temperaturas, - para inmediatamente después enfriarla utilizando agua; por sencillo que parezca este método proporcionó al hombre cierto dominio de la roca, dando pie al desarrollo de su habitat.

En la actualidad el diseño de explosivos cada vez más seguros y eficientes, nos ha dado un completo dominio sobre la roca - por dura que pueda ser ésta.

Pero como es que el explosivo rompe la roca, que fuerzas y que procesos físicos intervienen en la destrucción de un macizo - rocoso; empecemos por conocer el poder del explosivo como elemento de destrucción.

Este poder radica en una reacción química, en la cual ocurre oxidación o reducción de un combustible a alta presión, que alcanza temperaturas de 5000°C y gases a presiones de hasta - - 150,000 kg/cm<sup>2</sup>, convirtiéndose en una onda de choque con velocidad de 7000 m/s, en un tiempo realmente muy corto.

Mientras tanto la roca por sí sola presenta propiedades geométricas como son;

### 1. Estructurales

- a) Masiva (Granito, caliza)
- b) Estratificada (Caliza)
- c) Plegada (Lutita, esquisto)
- d) Fracturada (Enfriamiento)
- e) Discontinua (Basalto vesicular)
- f) Cavernosa (Caliza cárstica)

### 2. Actitud

- a) Rumbo
- b) Echado

### 3. Calidad

- a) Sana
- b) Alterada
- c) Resistencia
- d) Densidad
- e) Porosidad

Como es conocido la roca no tiene muy buena resistencia al esfuerzo tensionante, y es en este fenómeno que basaremos el proceso de rompimiento de la roca.

Imaginemos un banco de material que va a ser explotado en forma de cantera, y concentremos nuestra atención en uno sólo de los tantos barrenos que pueden formar parte de la plantilla de barrenación.

Idealicemos la roca como una viga empotrada en el fondo del banco de material y la parte superior como un apoyo simple que permite un desplazamiento angular de la misma. Tomemos ahora la fuerza del explosivo y representémosla como una carga uniformemente repartida a lo largo de toda la zona de carga del barreno, esto es, sin considerar la longitud ocupada por el taco, ya que ésta representa el apoyo simple de nuestro modelo. (Fig. A)

La iniciación de la carga explosiva librerá la reacción química del elemento y producirá fuerza suficiente para expulsar la roca fuera del banco, semejando la flexión que ocurre en una viga de concreto al ser cargada por una fuerza de gran magnitud -- que la llevará a la falla. (Fig. B)

Hemos representado el fenómeno de manera lateral, ahora explicaremos lo que sucede visto en planta:

El barreno cargado con el explosivo, presenta un diámetro -

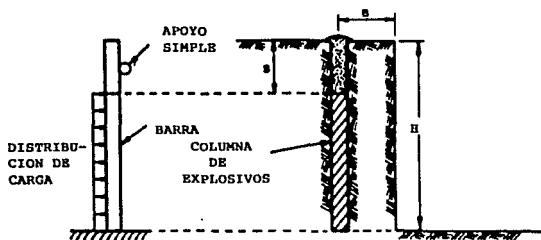


FIG. A.- MODELO DE BARRA ANTES DE LA DETONACION.

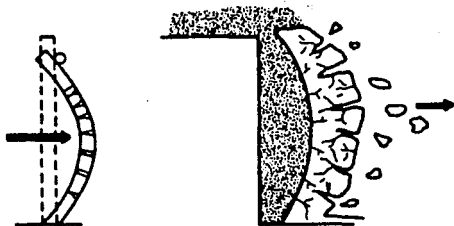


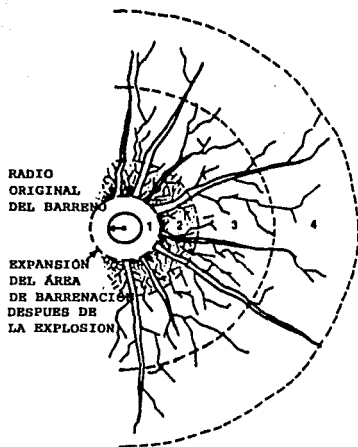
FIG. B.- MODELO DE BARRA DESPUES DE LA DETONACION.



de diseño, al iniciar la reacción explosiva este barreno cediendo a la enorme presión, incrementa su diámetro original considerablemente, dando con esto inicio a la reacción física de la roca, que a partir de este momento definirá cinco zonas de reacción en su estructura: La primera, será una zona completamente triturada por la explosión, en donde el material se encontrará reducido a diminutos pedazos de roca; la segunda, presentará severos daños en forma de fracturas de considerable espesor; la tercera, dará como resultado de la detonación fracturas de menor espesor consideradas como moderadas; la cuarta indicará un menor daño a la roca con sólo algunas grietas; la quinta, será una zona de rocas dañadas por la explosión sin que haya afectado mucho al material de esta zona. Estas zonas son conocidas como radios de ruptura del material. (Fig. C)

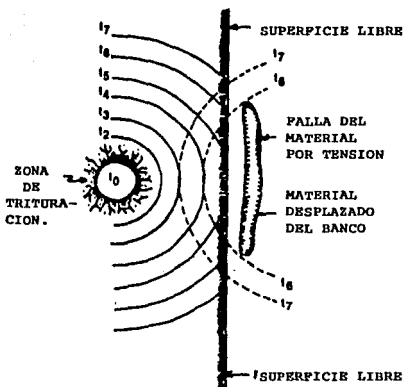
Todo este proceso, lleva tiempos muy definidos, que nos llevan a la delimitación de las zonas antes mencionadas; es importante conocer la secuencia de tiempos de una detonación, esta se presenta muy claramente en la Fig. D.

Comprendido el proceso que desplaza el material es muy interesante el visualizar en la realidad, el efecto de varias combinaciones de cargas explosivas relacionadas con el desplazamiento de la roca y los tiempos en que esto ocurre. A continuación se presenta una secuencia de disparos filmados en cámara rápida y graficados por computadora. Fig. E1, E2, E3 y E4.

DONDE:

1. ZONA TRITURADA
2. ZONA DE SEVERAS FRACTURAS
3. ZONA DE MODERADAS FRACTURAS
4. ZONA DE MENOR FRAGMENTACION
5. ZONA DE ROCAS DAÑADAS

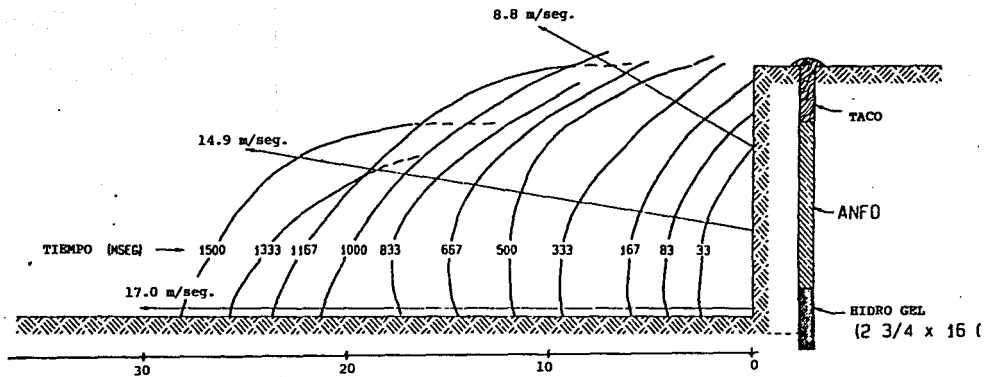
FIG. C.- RADIOS DE RUPTURA POR ZONAS.



- $t_0$  - DETONACION
- $t_1$  - EXPANSION DEL BARRENO Y TRITURACION DEL AREA CIRCUNVECINA.
- $t_2-t_4$  - ESPUERZOS DE COMPRESION QUE SE PROPAGAN EN TODAS DIRECCIONES.
- $t_5$  - PARTE DEL ESFUERZO DE COMPRESION CHOCA CON LA SUPERFICIE LIBRE.
- $t_5-t_6$  - PARTE DE LOS IMPULSOS CONTINUAN ATRAVES DE LA SUPERFICIE LIBRE Y PARTE SON REPLEJADOS.
- $t_7$  - LOS SIGUIENTES ESFUERZOS REPITEN EL PROCESO DE ROMPIMIENTO EN FORMA DE ONDAS REPLEJANTES.

FIG. D.- TEORIA DE LA PRACTURACION POR TENSION DEL MATERIAL DEBIDO A UNA FUERZA DE COMPRESION QUE PRODUCE LA RELAJACION DE LA ROCA.

FIG E1.- HIDRO GEL-ANFO



ESC. EN METROS.

FIG. E2.- POWERMAX 460-ANFO

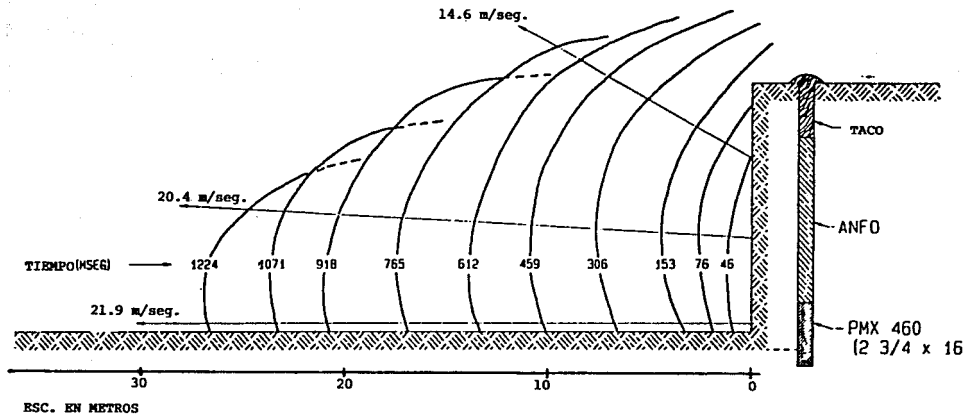


FIG. E3.- CARGADO ALTERNATIVO CON CARTUCHOS POWERMAX 460-ANFO

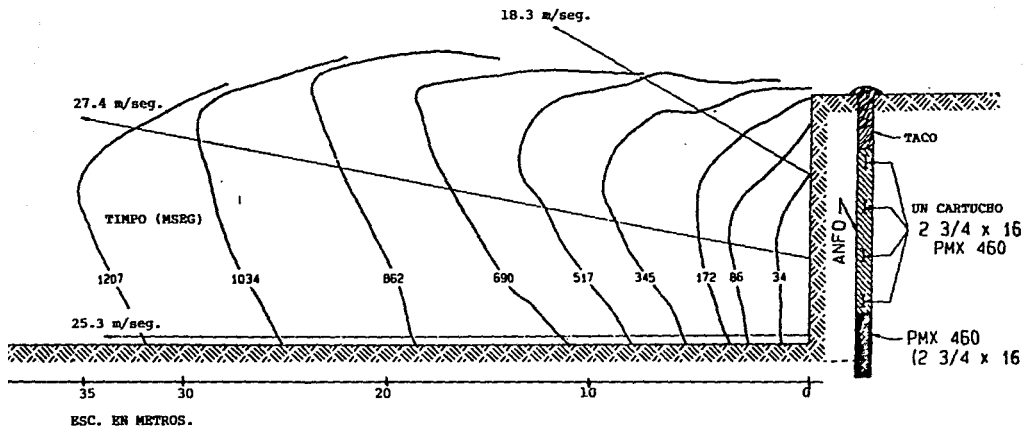
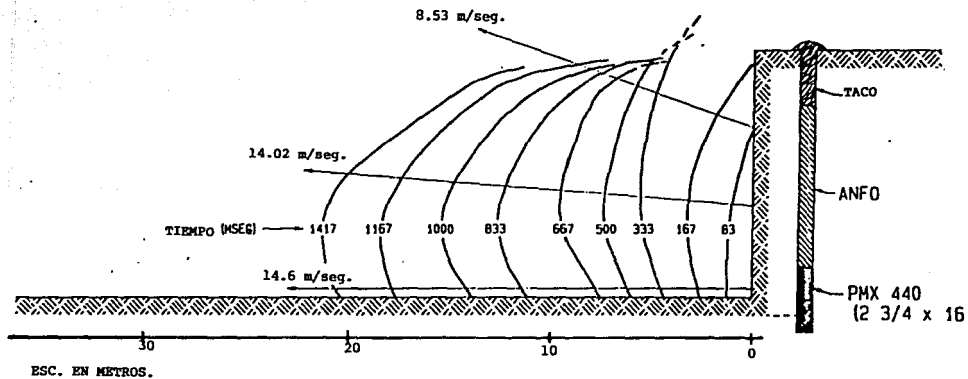


FIG. B4.- POWERMAX 440-ANFO



## CAPITULO III

### 3. EL USO DE VOLADURAS EN LA INGENIERIA CIVIL.

#### 3.1. HISTORIA DE LOS EXPLOSIVOS.

Gran trascendencia han tenido los explosivos en la historia del mundo. Durante miles de años no conocieron los hombres otras detonaciones que las originadas por los rayos y por otros fenómenos telúricos. Aparentemente, que una sustancia inofensiva hiciera explosión con terrible fuerza destructora, por el efecto - de una ligera presión o de una chispa, hubiera parecido a los antiguos egipcios o romanos cosa inconcebible y disparatada.

Parece ser que la pólvora negra se dió a conocer en Europa entre los años 1200 y 1300, como sustancia detonadora e inflamable. El inventor de la pólvora es desconocido y quizá nunca se conozca. Su uso primario se atribuye a los chinos, los hindúes y los árabes. Durante el siglo XIII, en Inglaterra Roger Bacon, elabora escritos para la preparación de la pólvora negra; duran-



te los siguientes tres siglos, se deja sin explorar la capacidad de la pólvora negra para efectuar trabajo útil. Fueron las armas de fuego su principal aplicación y no es sino hasta el siglo XVII que se utilizó en la minería. Existen datos de un disparo en las Reales Minas de Schemnitz en Ober - Biberstollen, realizado por - Kaspar Weinol, en Hungría, en febrero de 1627.

Es William Bickford quien en Inglaterra da una notable contribución en el año de 1831 con la invención de la mecha de seguridad y el establecimiento de una factoría en Cornwall Inglaterra. Antes de este descubrimiento, los métodos para iniciar la combustión de la pólvora negra habían sido inseguros e inciertos.

La fórmula de la pólvora negra se componía de aproximadamente 75% de Nitrato de Potasio, 15% de Carbón y 10% de Azufre, mejorándose en el año de 1857 por Lamont Du Pont al incorporar el Nitrato de Sodio chileno como sustituto del costoso Nitrato de Potasio. La nueva fórmula rápidamente reemplazó a la pólvora negra - de Nitrato de Potasio en casi todos los usos con algunas excepciones. Aproximadamente al mismo tiempo en Suecia, Alfredo Nobel y su padre Immanuel, encontraban una aplicación que revolucionaría a los explosivos; al diseñar el primer fulminante razonablemente seguro y eficiente, lograrían detonar la peligrosa Nitroglicerina, descubierta por Sobrero en el año de 1846; quien la había - - abandonado. Consistente en una cápsula de Estaño (posteriormente Cobre) llena con fulminante de Mercurio.

Es en el año 1866, cuando Alfred Nobel mezcló la Nitroglicerina con un absorbente para formular una sustancia sólida sensible a la acción de un fulminante pero relativamente insensible a un golpe ordinario. El absorbente que utilizó era Kieselguhr y este explosivo sólido fue la dinamita.

El Kieselguhr (tierra porosa) formaba aproximadamente el 25% de la dinamita y no intervenía en la explosión, es James Howden, un químico de San Francisco quien en 1870 aproximadamente, formuló otra mezcla de 75% de Nitroglicerina, absorbida en azúcar, Carbonato de Magnesio y Nitrato de Potasio. Esto dio como resultado un explosivo mejorado y más potente.

Es en 1875 cuando se efectuó otro descubrimiento de gran importancia, cuando Alfred Nobel disolvió algodón Colodión en la Nitroglicerina. Esto dio como resultado una masa gelatinosa que era mucho más poderosa que la dinamita de su invención, conocida como "Dinamita Gelatina".

Ya se ha hecho mención del fulminante de Nobel que estaba diseñado para disparar con mecha de seguridad. Se hicieron varios intentos para disparar los fulminantes mediante la electricidad. Estos estopines eléctricos originales se disparaban mediante una chispa que pasa entre los extremos desnudos de dos alambres insertados en la carga de la cápsula.

Este tipo fue sustituido por los estopines con alambre de -

puente o de baja tensión eléctrica; producido por H. Julius -- Smith en 1876 quien hizo mejoras en estos estopines eléctricos -- y en las máquinas explosoras. También inventó un estopín de retardo en 1895.

Un problema serio que enfrentó la dinamita fue su alto punto de congelación alrededor de  $11.11^{\circ}\text{C}$  que la hacía peligrosa y su uso daba malos resultados. No fue hasta 1925 cuando, al utilizar el Dinitrato de Etilén-Glicol como depresor del punto de congelación para la Nitroglicerina, se alcanzó una solución práctica para este problema.

El Nitrato de Amonio gradualmente ha reemplazado a la Nitroglicerina en cantidades diferentes para mantener la potencia de los explosivos. Se han ideado varios medios con el fin de impartir suficiente resistencia al agua a esta dinamita, de tal modo que su empleo sea práctico para la mayoría de los trabajos de voladuras. El uso de proporciones cada vez mayores de Nitrato de Amonio ha dado como resultado dinamitas que son menos peligrosas de fabricar, manejar y usar, y que tienen menor costo por unidad de energía.

Se encontró que variando el tamaño de los granos de Nitrato de Amonio, se puede controlar la velocidad de detonación de una dinamita. Utilizando partículas finas se obtienen explosivos -- muy rápidos, de alto poder de fragmentación; en tanto que median te el uso de grano grueso, la dinamita es mucho más lenta en ve-

locidad y de menor poder de fragmentación.

Este descubrimiento permitió la manufactura de dinamitas -- amoniacales de alta velocidad para su empleo en roca dura, en - donde la fragmentación es necesaria.

La fabricación de dinamita que produzca un mínimo de gases nocivos en la explosión, es de gran aplicación en la construc- - ción de túneles, donde es importante que los gases producidos en la voladura estén tan libres de efectos nocivos como sea posible a los hombres cuando ellos regresen al lugar de trabajo.

### 3.2. TUNELES Y TIROS.

#### 3.2.1. TUNELES.

Tienen diversas medidas de acuerdo con la finalidad que se persigue. Algunos con diámetros tan pequeños como de 1.22 m. -- que se utilizan para el suministro de agua, drenaje y servicios diversos, otros más con diámetros hasta de 18.28 m. empleados pa - ra desviar agua, ferrocarriles y paso de vehículos. Fig. No. 1

Por regla general, estos túneles no pueden ser de utilidad sino hasta que hayan sido totalmente terminados y por lo tanto - deben avanzarse a la mayor velocidad compatible con la seguridad y eficiencia.



FIG. 1 TUNEL PARA AGUA DE 3.5 m DE SECCION

Para reducir el polvo de roca, generado por la barrenación, ésta deberá llevarse a cabo húmeda.

En la perforación de túneles hay dos cosas axiomáticas: primero, que la barrenación no podrá romper bien si la cuña no sale correctamente y la segunda que el avance por barrenación no puede ser mayor que la profundidad de la cuña. En la perforación de túneles pequeños la barrenación con cuña quemada proporcionan un mejor avance en comparación con cualquiera de las cuñas en ángulo. El ángulo más eficaz es el de  $45^\circ$  con respecto al frente en las cuñas en V, ya que este ángulo da el mayor volumen por metro de perforación, pero raras veces resulta práctico o posible obtener un ángulo tan grande, aún en túneles de sección tipo - - vehículos o ferrocarriles por consiguiente en túneles de menores dimensiones resulta extremadamente difícil y muy impráctico al llevarse a la práctica.

### 3.2.1.1. METODOS DE PERFORACION DE TUNELES.

Los factores que intervienen en la selección del método de perforación de túneles son el tipo de formación de roca así como el tamaño de la abertura. El desarrollo de equipo moderno, incluyendo perforadoras y jumbos, ha dado mayor flexibilidad en la elección de métodos de perforación basándose en el tipo de equipo disponible como el factor de mayor importancia.

Existen cuatro métodos de perforación que por su frecuente

uso es conveniente conocer.

- 1.- Método de Frente Completo.
- 2.- Método de Frente Superior y Banqueo.
- 3.- Método del Túnel Piloto.
- 4.- Método del Túnel Pionero.

#### 3.2.1.1.1. METODO DE FRENTE COMPLETO.

Como lo indica su nombre, en este método se emplea una barrenación diseñada para romper la totalidad del área de la sección del frente de un sólo disparo. Este procedimiento fue comúnmente utilizado en túneles pequeños, pero apoyados ahora en jumbos más grandes y eficientes, con equipo y brocas más fuertes y mejoradas, y el equipo de rezago más pesado, es posible el aprovechamiento en todo tipo de túneles, a menos que se encuentren condiciones realmente malas del terreno.

#### 3.2.1.1.2. METODO DE FRENTE SUPERIOR Y BANQUEO.

Este método fue estándar durante muchos años en la mayoría de los túneles y aún se utiliza en terreno débil y en algunos túneles muy grandes. Consiste en perforar una galería en la parte superior del túnel, de unos 2.44 m. de alto y tan ancha como va a ser el túnel. La porción inferior se ataca en uno o más barrenos verticales u horizontales. Cuando se utilizan barrenos verticales, las hileras múltiples por lo general, se disparan en se

cuencia, utilizando retardos de igual manera a como se hace a un corte en construcción; cuando son barrenos horizontales se acostumbra algunas veces cargar con bastante dinamita los barrenos - cebados con estopines de manera que la roca del primer disparo - en el banco sea lanzada hacia arriba para encontrarse con la roca de la cuña de la galería y evitar un lanzamiento excesivo hacia afuera.

La barrenación de la galería superior consiste en una cuña V o piramidal con sus necesarios barrenos auxiliares y de emparejamiento; en otras palabras la perforación se hace ordinariamente desde barras o columnas y puede efectuarse mientras se saca - la rezaga de la anterior carga.

### 3.2.1.1.3 METODO DEL TUNEL PILOTO.

Utilizado en perforación de grandes túneles. Se perfora un pequeño socavón o túnel piloto con dimensiones de 2.5 X 2.5 m ó de 3 X 3 m en el centro del túnel proyectando, mediante métodos convencionales y por lo regular se completa de portal a portal. Los barrenos del ensanchamiento se perforan radialmente desde -- postes o barras al mismo tiempo que es perforada la galería. La perforación se lleva a cabo perforando sus hileras radiales con separación de 1.20 a 1.50 m perpendiculares al eje del túnel y - los barrenos se colocan en "abanicos" para terminar con una separación de 0.9 a 1.20 m en el perimetro de la sección transversal total. Debe proporcionarse una plantilla o algún otro método de



control para barrenar con exactitud.

Cuando se hace el disparo de las hileras radiales, es práctica común volar algunas hileras de barrenos de la mitad inferior antes (que la mitad superior) a fin de dar a los barrenos cortolaterales una mejor oportunidad para romper. Cada barrenación -- constará de varias hileras radiales; la primera se carga con estopines eléctricos instantáneos, la segunda con estopines eléctricos del primer retardo, la tercera con estopines del segundo retardo y así sucesivamente.

#### 3.2.1.1.4. METODO DEL TUNEL PIONERO.

Este método generalmente se combina con el método del túnel piloto y tiene por objeto informar de cambios de importancia en la formación de roca y da suficiente aviso para que se puedan planear las alteraciones necesarias en el método de excavación-- empleado en el túnel principal, con el tiempo necesarios para minimizar los retrasos.

Consiste en la perforación de una pequeña galería de, digamos 2.50 x 2.50 m. paralelo al túnel principal y como a 15 ó -- 23 m. de distancia del mismo. La frente pionera se avanza delante del túnel principal y más o menos a cada 460m. se perforan cruceros a la línea de la excavación principal para tener dos frentes adicionales desde los cuales puede perforarse el frente-- del túnel piloto o el frente total principal.

La roca quebrada de los frentes anteriores de la excavación principal se saca a través del túnel pionero, utilizándolo también como ventilación y manejo de materiales de operación.

### 3.2.2 TIROS.

Las cuñas V y piramidales son de uso común para iniciar el rompimiento y tanto la dirección como la perforación de los barrenos debe efectuarse con el mismo cuidado y exactitud que los usados en túneles. Conviene hacer los barrenos de cuña más hondos que el resto de los barrenos a fin de facilitar la tarea - de rompimiento de la barrenación y formar un sumidero para facilitar el bombeo de agua. Casi invariablemente la apertura de - tiros se lleva a cabo en circunstancias muy adversas. Las dos consideraciones principales en el diseño son que pueda perforarse fácilmente con el equipo disponible y que minimice el sobreprompimiento y sacudimiento de las paredes laterales. Si existe un problema de agua, parte de la barrenación debe arreglarse para que rompa más profundo y proporcione un sumidero para la toma de la bomba.

Los tiros rectangulares se abren generalmente con la cuña V. Ordinariamente cuando se usa esta cuña se perfora y se dispara al mismo tiempo la barrenación completa; pero en los tiros muy grandes algunas veces es ventajoso disparar las cuñas en un extremo, y sacar primero la rezaga de esta cuña. Enseguida se colocan láminas de acero lisas en el fondo de ese hueco, y la -

roca del otro extremo del tiro se dispara cayendo sobre las l m nas facilitando el despeje de la roca quebrada.

La cuña piramidal es la más apropiada para una sección transversal circular disparada con retardos.

Un método de perforar tiros que es muy popular para tiros - grandes es, en el que se hace un barreno de diámetro grande en el centro y se utiliza como cuña quemada o espacio libre, hacia el cual rompen los primeros "ayudantes" (barrenos de ayuda). Todos los barrenos est n hechos verticalmente o paralelos al eje - de tiro.

Otra cuña ampliamente utilizada en la profundización de tiros es la de sumidero. El nombre se lo da el que cada barrenación forma un sumidero para capturar el agua de tal modo que pueda bombearse con facilidad y dejar un banco comparativamente seco para barrenar. Esto es muy útil en donde la roca es de tal - naturaleza que el agua hace que la roca fragmentada se asiente y apelmace, dificultando grandemente la excavación hasta el fondo del montón de escombros.

Con esta cuña no es necesario limpiar toda la roca del fondo del tiro después de cada voladura.

### 3.3. CANTERAS Y TAJOS ABIERTOS.

Las canteras producen una gran cantidad de clases diferentes de materiales que varían en tipo de operación y tamaño. Fig. No. 2

En las regiones montañosas frecuentemente se encuentran depósitos de roca ígnea. Estos consisten principalmente en rocas trampeadas, granito y basalto; estas formaciones son muy duras y, por lo general, bastante quebradizas. Siendo excelente material para basalto, agregados de concreto y pavimentación; existen -- otros materiales como mármol y granito que se utilizan para edificación y fines ornamentales.

Los tajos de pizarra y arcilla, se trabajan como las canteras y aunque el material es mucho más suave, por lo general se requiere de voladuras. Este producto es utilizado en la fabricación de ladrillos y mosaicos, así como para cemento.

El yeso muy consumido por la industria de la construcción, se produce en algunas operaciones superficiales o tajos.

Las canteras caen en dos clasificaciones generales: Tipo de tajo.- Se abre abajo del nivel del terreno vecino y es accesible únicamente mediante una rampa o inclinado; Tipo ladera.- Se presentan en secciones montañosas abiertas, en la falda de un cerro.



**FIG. 2 EXPLOTACION DE UNA CANTERA DE ROCA CALIZA. UTILIZANDO EXPLOSIVOS**

La explotación de una cantera consiste en el desarrollo de un frente vertical, por lo menos, o si la formación es suficientemente profunda pueden abrirse varios niveles o bancos; semejando escalones. La altura de estos bancos es generalmente opcional; dependiendo del equipo, de las características físicas y -- químicas de la roca y del producto, y la localización de los planos mayores de estratificación.

Los bancos relativamente bajos, son los más económicos para operar y menos peligrosos para trabajar con altura de 6 a 18 m. Esta altura puede perforarse con mucha eficiencia con el equipo moderno, incluyendo diámetros de broca tan pequeños como de 3 -- plg. Los bancos de altura mayor por lo regular se explotan con equipo de barrenación de gran diámetro y en formaciones muy fáciles de barrenar.

Existen varios procedimientos diferentes de perforación. El uso de barrenos de gran diámetro que ahora perforan con máquinas de tipo rotatorio o de percusión es el más común.

### 3.3.1. PERFORACION DE BARRENOS DE DIAMETRO GRANDE.

Los diámetros de barrenación varían de 11.5 a 25.1 cm - - - (4. 1/2 a 9. 7/8 plg.), muy aplicados para alturas de banco de -- más de 9 m, los diámetros más pequeños se aplican a bancos más bajos.

La profundidad perforada abajo del piso de la cantera llamada subbarrenación, varía con el material y el espaciamiento; pero por lo general queda entre 0.9 y 2.0 m. Si hay alguna grieta abierta, se necesita poca o ninguna subbarrenación; más aún, podría resultar inconveniente ya que a través de este punto débil podría escaparse mucha fuerza explosiva.

### 3.3.2. DISPAROS ACOLCHONADOS.

Método aplicado a bancos bajos donde para obtener una buena fragmentación se requiere de confinamiento debido a la facilidad con que la pata rompe.

Consiste en confinar la voladura por medio de el material -- obtenido de la voladura anterior, variando sus dimensiones de -- colchón de unos cuantos metros hasta 8 ó 9 m de acuerdo con las condiciones.

Las voladuras acolchonadas son ventajosas principalmente -- donde la piedra tiene grietas o se encuentra en bloques o donde existe una falla en el fondo.

### 3.3.3. BARRENACION DE DIAMETROS PEQUEÑOS.

En donde el material sea difícil de quebrar los barrenos de diámetro pequeño tienen la ventaja de una mayor distribución del explosivo en toda la masa que debe volarse.

Este método proporciona la posibilidad de obtener una mejor fragmentación en la parte superior, ya que puede subir un poco más dentro del barreno la carga explosiva; con diámetros de 7.6 a 10.1 cm. El taco puede a menudo reducirse a 1.8 u 2.44 m. y algunas veces menos. Es factible utilizar cargas separadas en barrenos de todos los diámetros para mejorar la fragmentación en la parte superior sin un incremento significativo de "proyectiles". Aplicable para voladuras de canteras de bancos menores a 12.2 m de altura, utilizando las perforadoras montadas sobre orugas, siempre y cuando la piedra no esté demasiado abierta y con grietas.

### 3.3.4 PERFORACION POR PISTOLA NEUMATICA LIGERA.

Este tipo de barrenación es factible sólo en operaciones pequeñas y para voladuras misceláneas, donde el uso de equipo más pesado no es justificado. La profundidad más práctica es no mayor de 3 m., ya que los costos de voladura por tonelada de piedra son realmente más elevados, se aplica generalmente en canteras de bancos pequeños.

### 3.3.5 BARRENOS ARRASTRADOS.

Estos tipos de barreno logran excelentes resultados en lugares donde no es posible perforar un banco desde la parte superior ocasionado por terreno áspero, piedras sueltas o arcilla; en su lugar se perforan barrenos en el fondo del banco suficien-



temente profundos y próximos entre sí, con el fin de acomodarse la carga requerida para mover el bordo.

Se perfora generalmente con brocas de 7.6. a 11.4 cm. y a una altura de 0.6 a 0.9 m. arriba del piso de la cantera con profundidad que varía de 7.62 hasta 12.2 m. inclinados hacia -- abajo y hacia atrás, los espaciamientos varían entre 1.5 y 3.0 m.

### 3.4. CONSTRUCCION DE CARRETERAS.

El uso de explosivos para fines carreteros puede calificarse como:

- 1.- Limpieza y Desenraice.
- 2.- Zanjeo y Drenaje.
- 3.- Excavación.
- 4.- Asentamiento de Terraplenes.
- 5.- Producción de Agregados.

#### 3.4.1. LIMPIEZA Y DESENRAICE.

La limpieza de campo significa la eliminación de tocones, - grandes cantos rodados y rocas semienterradas.

##### 3.4.1.1. VOLADURA DE TOCONES.

Quando se utiliza la dinamita en forma adecuada, ofrece un

modo seguro, conveniente y económico para remover tocones. Una ventaja definitiva de la dinamita sobre los otros métodos estriba en el hecho de que saca los tocones completamente limpios. - La ausencia de tierra adherida significa un secado más rápido y un quemado más fácil.

### 3.4.2. ZANJEO Y DRENAJE.

Puede excavar con rapidez, facilidad y economía mediante el uso de dinamita en muchos tipos de suelo, las ventajas más importantes del zanjeo con dinamita son:

- Reducción de los costos.
- Rápida terminación del trabajo.
- Ausencia de un tiradero a lo largo de la zanja.
- Ningún gasto de equipo.
- Facilidad para excavar en condiciones difíciles.
- Facilidad en tanto al tamaño de zanja sea grande o pequeña.
- Simplicidad.

#### 3.4.2.1. METODOS DE CARGA.

Las dimensiones de las zanjas, por lo regular determinan el método que debe aplicarse.

- \*1.- Método de una sola línea.
- \*2.- Método de la sección transversal.

\*3.- Método de barrenos de poste.

4.- Método de alivio.

#### 3.4.2.1.1 METODO DE UNA SOLA LINEA.

Es una sola línea de carga espaciada a intervalos iguales a lo largo de la línea central de la zanja propuesta. Fig. No. 3

Se recomienda una buena regla empírica que consiste en conservar la parte superior del último cartucho a 31.0 cm. ó menos abajo de la superficie excepto en donde el terreno es demasiado suave o húmedo. En donde debajo de la superficie es lo recomendable y en el caso dado de que el material sea extremadamente -- suave y se requiera una zanja poco profunda, se puede colocar el cartucho al mismo nivel de la superficie del terreno.

Para prevenir un extremo redondeado en el fin de la zanja, se coloca un barreno cerca de cada lado de la zanja en el extremo, para reemplazar el barreno sencillo colocado al centro que es lo que origina el problema

#### 3.4.2.1.2 METODO DE LA SECCION TRANSVERSAL.

Este método consiste en una sola línea de barrenos sobre la línea central de la zanja, colocados en un patrón semejante a la

---

\*Nota: Los métodos 1, 2 y 3 emplean barrenos de pequeños diámetros.

del método anterior, con hileras transversales localizadas a cada tercer barreno. Este método se ha diseñado para zanjas anchas y poco profundas.

#### 3.4.2.1.3 METODO DE BARRENOS DE POSTE.

El nombre del método es tomado de la necesidad de barras -- posteadoras para obtener barrenos de diámetro grande que serán cargados con un número relativamente grande de cartuchos por barreno y es aplicado a la construcción de zanjas de más de 1.83 m de profundidad.

La carga se coloca de la mitad a 2/3 de la profundidad requerida de la zanja, en una sola línea de barrenos, y por lo general, da una zanja con una anchura en el fondo igual a la profundidad y una anchura en la parte superior igual a tres veces la profundidad.

#### 3.4.2.1.4 METODO DE ALIVIO.

Este método está diseñado para remover con dinamita el pasto grueso o el tapete de raíces. Involucra el disparo de zanjas auxiliares o de alivio para romper este tapete superficial antes de disparar la zanja principal. Entre más ancha sea la zanja en relación a su profundidad, mayor será la carga de alivio comparada con la carga central. En la aplicación de una sola línea o de barrenos de poste para la zanja principal, la carga en cada -

zanja de alivio no debe exceder de 1/2 de la carga principal.

Las zanjas de alivio siempre se cargan por el método de una sola línea; pero la sección central puede cargarse por cualquiera de los tres métodos. Las cargas y espaciamentos requeridos es posible determinarlos con exactitud únicamente mediante disparos de prueba.

### 3.4.3. EXCAVACION.

La construcción de carreteras requiere reducir pendientes, ampliar o reducir las curvas, ampliar la plantilla de rodamiento y hacer todo lo posible para facilitar una transportación rápida y segura.

Existen dos tipos generales de corte.

- 1.- Corte de cajón.
- 2.- Corte de ladera.

Los cortes de cajón son aquellos en donde la excavación se hace a través de una colina, dejando un talud a ambos lados, - - Fig. No. 4 y un corte en ladera, en donde la excavación se efectúa en las laderas de una colina, dejando solamente talud hacia un lado.

A pesar de que el equipo de escarificación rompe el material sin utilizar explosivos, la baja producción y el desgaste

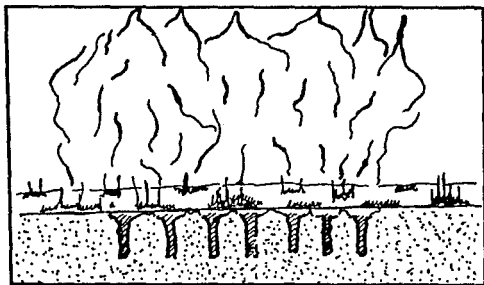


FIG. 3 VOLADURA DE ZANJA, MOSTRANDO EL METODO DE BARRENOS EN UNA SOLA LINEA

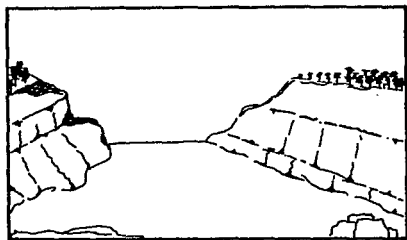


FIG. 4 CORTE EN CAJON, DURANTE LA CONSTRUCCION DE UNA CARRETERA

excesivo de la maquinaria usualmente hacen de las voladura un método más económico.

El método de precorte es el más eficiente desarrollado - para la construcción de taludes en la excavación de carreteras.

El precorte involucra una hilera sencilla de barrenos perforados a lo largo de una línea de excavación meta, los barrenos son de 5 a 10.1 cm. y todos están cargados.

La teoría del precorte es que al disparar dos cargas simultáneamente en barrenos adyacentes, la colisión de las ondas de choque entre los barrenos coloca al terreno en tensión y provoca una fisura que da una zona de corte entre los barrenos. Con un espaciamiento y cargado adecuados, la zona de fractura entre los barrenos será una área estrecha de corte contra la cual pueden romper las voladuras primarias subsecuentes. Esto da como resultado una pared tersa con poco o ningún sobrerompimiento.

En algunos proyectos que involucran cortes en ladera, puede desarrollarse un frente largo paralelo a la línea central.

Este frente se trabaja entonces como una cantera y se avanza lateralmente hasta llegar a la línea de talud, pudiendo repetirse en escalones sucesivos hasta que el corte sea demasiado angosto (30.0m.) posteriormente se trabaja de modo normal con voladuras a todo lo ancho.

#### 3.4.4. ASENTAMIENTO DE TERRAPLENES.

Surge la necesidad de atravesar áreas pantanosas y en tales casos, deben tomarse medidas especiales para proporcionar una cimentación sólida para el material de relleno, de tal modo que el terraplén pueda descansar directamente sobre la forma---  
ción sólida inferior.

Se han desarrollado cuatro métodos generales de asentamientos de terraplén.

1.- Disparo de la pata.

2.- Relleno inferior.

3.- Zanjeo.

##### 3.4.4.1. DISPARO DE LA PATA.

El plan es disparar el fango por delante del terraplén, - más o menos a cada siete punto cinco metros (7.5 m). Las cargas son colocadas en el fango, justo por debajo del fondo del material del terraplén, a lo largo de los lados y enfrente de cada uno de la punta en forma de V que es el frente del terraplén.



#### 3.4.4.2. RELLENO INFERIOR.

Con este procedimiento, se coloca primero el material del terraplén sobre la parte superior del pantano, después de realizado lo anterior, se cargan y disparan los explosivos en el material inferior no consolidado. Para facilitar el asentamiento -- uniforme del terraplén es conveniente utilizar explosivos para romper el tapete de vegetación.

A continuación se dispara el fango inferior con explosivos cargados a través de ademes hincados en el terraplén, colocándolos bien adentro del fango. Las dimensiones del volumen de materiales no consolidados que será volado se recomienda que sea únicamente de 3 a 4.5 m de profundidad.

La función del explosivo es la de llevar el fango y forzarlo hacia afuera del terraplén. Los explosivos deben cargarse -- bien adentro del fango y la cantidad utilizada ser tan grande -- como sea posible sin desplazar el terraplén colocado arriba.

#### 3.4.4.3. ZANJEO.

Consiste en disparos de zanjeo tan grandes como sea posible a lo largo de la línea central de la carretera y puede ser tan ancha como de 15 m y con profundidad de 2.5 a 4 m. Los disparos se realizan en secciones pequeñas, dentro de las cuales -- se vacía inmediatamente suficiente materia de relleno, para cau

sar un asentamiento completo y llegar al fondo, duro.

Los disparos de zanjeo tienen dos funciones; desplazar el material tanto como pueda ser posible, y licuar, y agitar el resto, para que el peso del terraplén empuje rápidamente lo que quedo entre el fondo de la zanja y una base firme.

#### 3.4.4.3.1. ALIVIO.

Esta zanja, alivia la presión de tal modo que el peso del mismo terraplén pueda empujar con más facilidad el fango inferior; involucra disparar una zanja a cualquiera de los lados del terraplén, después de que éste sea colocado en su posición.

El material arenoso y la grava fluirán más o menos con rapidez dentro de los agujeros hechos por la dinamita, pero es particularmente útil en donde el material es de tipo arcilloso.

#### 3.5. DEMOLICION.

Existen tres factores a considerar en la demolición de edificios:

- Técnico
- Económico
- Psicológico

### 3.5.1. TECNICO.

Para tomar una decisión en cuanto al destino de la estructura es necesario realizar un peritaje tanto estructural de la edificación como geotécnico para la determinación de daños que pudieron suscitarse en la subestructura y estructura misma del edificio.

### 3.5.2. ECONOMICO.

Debe realizarse un análisis técnico económico comparativo, entre los costos de reestructuración del inmueble, acordes con las normas que establece el nuevo Reglamento de construcción para el Distrito Federal y el costo de reposición del mismo, lo que permitirá dar una perspectiva real del problema.

### 3.5.3. PSICOLOGICO.

En algunas ocasiones se presenta el caso de edificios que técnica y económicamente pueden ser rehabilitados. Sin embargo, la disposición psicológica de los usuarios determina en algunas ocasiones la demolición total o parcial del inmueble, motivada por la inseguridad que esta estructura muestra a simple vista.

La demolición por explosivos presenta evidentes ventajas sobre los métodos tradicionales, en edificaciones superiores a cinco niveles, basado en que:

- Reduce la contaminación ambiental provocada por el continuo desprendimiento de polvo de los procesos convencionales.
- Evita la constante contaminación por ruido de las obras de esta índole.
- No existe la seguridad para los trabajos a grandes alturas.
- Ahorro significativo en tiempo y dinero en la actividad de demolición y remoción de escombros.

Deberán tomarse en cuenta aspectos importantes como son: -- ubicación zonal y local de edificios; características arquitectónicas del mismo, si éste es simétrico; etc. altura del edificio, en general hasta 5 niveles resulta más económico demolerlos por el sistema tradicional; colindancia con otras edificaciones, si la holgura con un edificio vecino es menor a 1.0 m difícilmente se puede hacer la demolición con explosivos sin causar algunos daños; materiales componentes de la estructura si ésta es de concreto, acero o mixta, grado y tipo de daño estructural, entre -- otros.

#### 3.5.4. PROCEDIMIENTO.

El concepto básico consiste en eliminar un número suficien-

te de apoyo por medio de cargas explosivas, en una secuencia -- tal que provoque el desplome de la estructura en la dirección -- prevista por el proyecto.

Los edificios de poca altura presentan mayor dificultad para su demolición y requieren de mayor cantidad de cargas debido a que no se puede hacer uso eficiente de su peso propio para mejorar la energía de caída durante la demolición y con esto obtener una buena fragmentación.

Entre más alto es un edificio, se requiere colocar menos explosivos, dado que su gran peso permite cargar con explosivos un menor número de niveles.

La preparación de explosivos en estructuras de concreto consiste en la perforación de barrenos en las columnas (apoyos) de  $\varnothing$  1.25" en el sentido largo de las mismas, a una profundidad -- del 80% de la longitud en ese sentido. Una vez barrenadas, se confinan las columnas con malla ciclón y triplay. (Fig. 5 y 5A.)

La distribución de los barrenos para colocar el explosivo, así como el número de niveles a cargar depende de las características propias del edificio, con el objeto de lograr una velocidad adecuada de caída que permita una buena fragmentación.

Lo anterior se logra generalmente colocando un número mayor

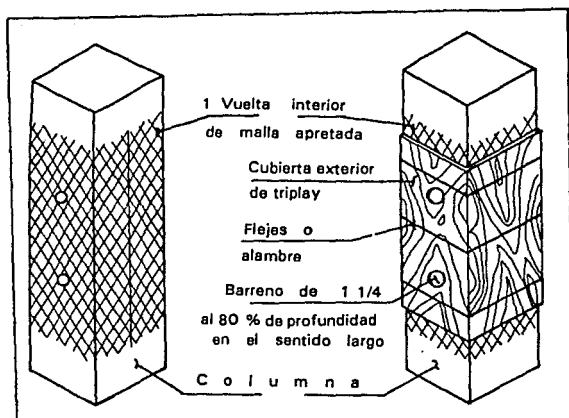


FIG. 5 BARRENADO Y PROTECCION EN COLUMNAS DE CONCRETO



FIG. 5 A PROTECCION EN COLUMNAS

de barrenos en los niveles inferiores que permitan un desplome - uniforme a buena velocidad y para que ésta velocidad se conserve es conveniente hacer preparaciones adicionales en algunos pisos superiores. (Fig. 6.)

La resistencia del concreto y la cantidad de acero de re- - fuerzo en la columna, dictaminarán la cantidad de explosivo que se colocará por barreno. En general, será suficiente colocar de dos a cuatro salchichas de hidrogel (material relativamente inerte, para que pueda explotar requiere de estopines), sin embargo, es conveniente la realización previa de una prueba de explosivos en algunas columnas para calibrar la cantidad adecuada de explosivo. (Fig. 7 y 8.)

Cuando la columna está formada por estructura de acero, se realizan cortes previos con soplete a fin de debilitar la estructura, éstos tendrán la forma de "V invertida" para asegurar que en caso de que las placas restantes fallen prematuramente no se presenten desplazamientos laterales en la columna. Los cortes - deben realizarse en las caras opuestas y a diferentes alturas a efecto de generar un plano de falla inclinado que inducirá la dirección de caída.

Las cargas se colocarán en forma inclinada haciendo las veces de un potente soplete que corta instantáneamente la placa de acero. (Fig. 9 y 9A.)



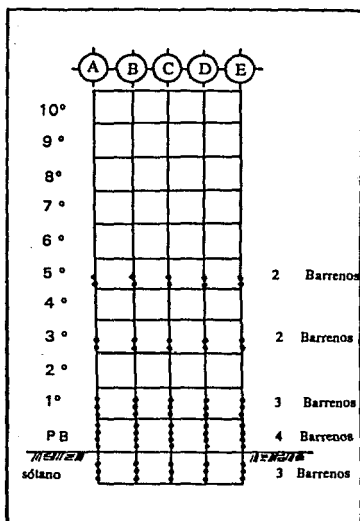


FIG. 6 NUMERO DE NIVELES A PREPARAR Y CANTIDAD DE BARRENOS EN CADA COLUMNA

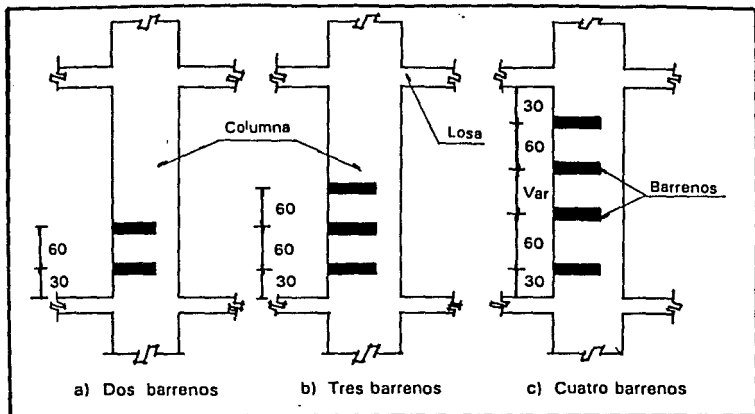


FIG. 7 DISTRIBUCION CON LA ALTURA DE BARRENACION

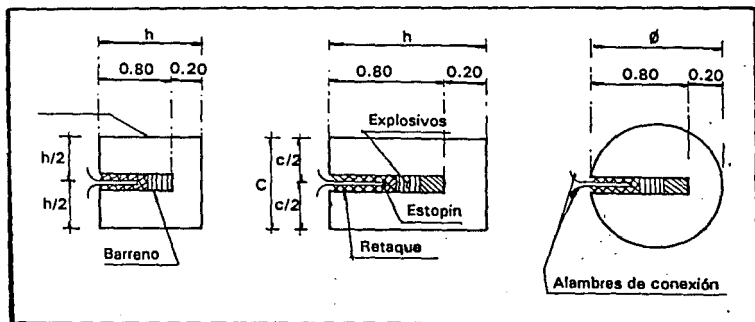


FIG. 8 EXPLOSIVOS Y RETAQUE EN UNA COLUMNA

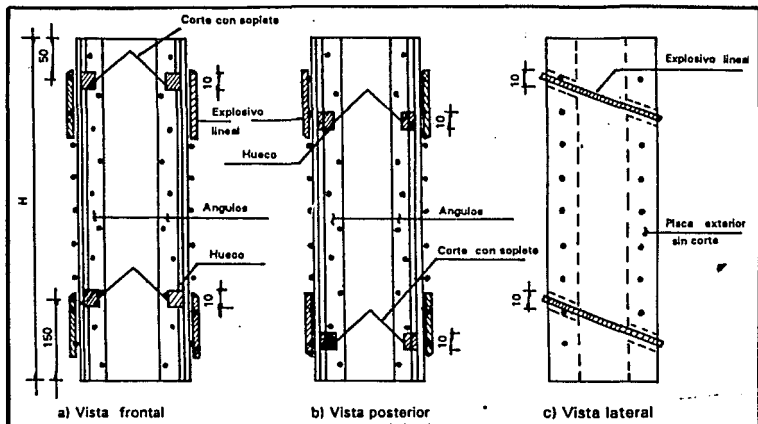


FIG. 9 CORTES PREVIOS CON SOPLETE Y COLOCACION DE EXPLOSIVOS LINEALES



**FIG. 9 A** CORTES PREVIOS EN COLUMNA DE ACERO

La preparación al igual que en la estructura de concreto dependerá de las características propias de la misma. (Fig. 10.)

La colindancia de la estructura con edificaciones vecinas - hace necesario que el derrumbe sea controlado y dirigido a un lugar adecuado para que los escombros no causen daños al entorno. Esto se realiza por medio de cables de acero que se colocan en - dirección diagonal de tal forma que al colapsarse primero una de las columnas, ésta jale a la siguiente. (Fig. 11.)

Un factor importante en la demolición de inmuebles es la -- eliminación total de muros tanto de cortante como divisorios en todos los pisos donde se colocarán cargas, para evitar que estos actúen como puntales y resten velocidad de caída a edificios de concreto o estructura metálica, obteniendo así una buena fragmentación de la edificación.

A efecto de minimizar la incidencia de proyectiles producto de la explosión a construcciones vecinas, se procederá a colocar un recubrimiento perimetral al edificio utilizando madera y malla. (Fig. 12.)

Los lugares donde se aplicarán estos recubrimientos serán -

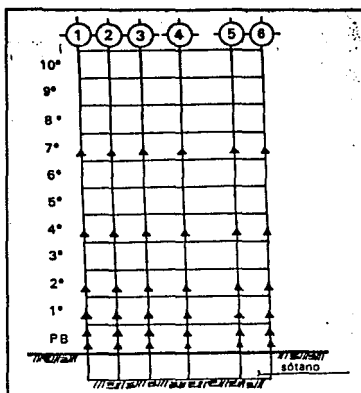


FIG. 10 UBICACION DE LOS CORTES PREVIOS  
Y DE LA POSICION DE LOS EXPLOSIVOS

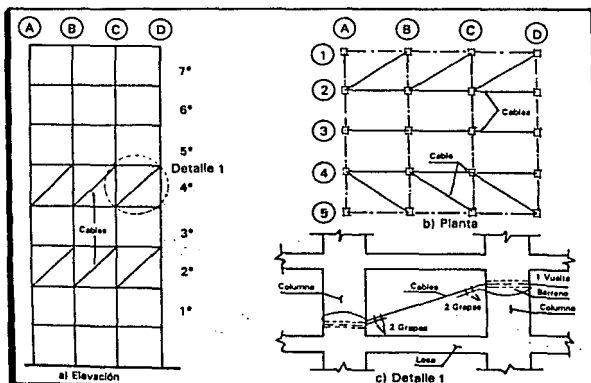


FIG. 11 UBICACION DE CABLES PARA AUXILIAR EN EL DIRECCIONAMIENTO  
DE LA CAIDA

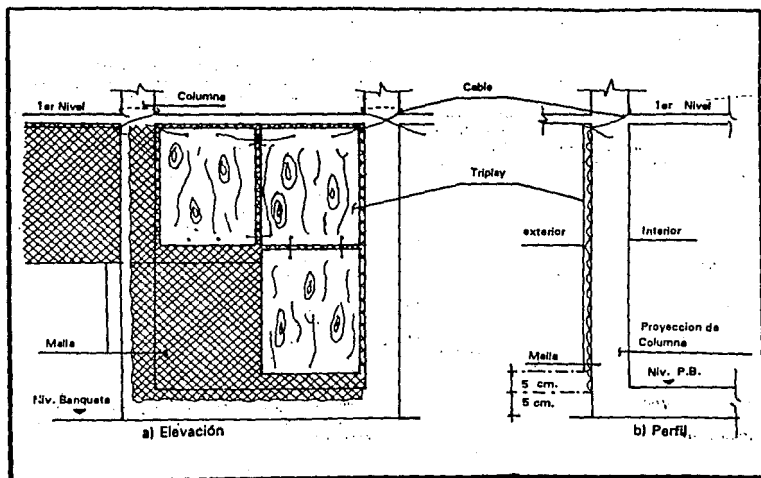


FIG. 12 PROTECCION EXTERIOR EN LA PLANTA BAJA

en especial la planta baja y en ocasiones en el primer nivel que es donde se coloca mayor cantidad de explosivos.

Los estopines de retardo determinan los tiempos de secuencia de la detonación. Por lo tanto son estos tiempos de retardo los que en primera instancia condicionarán la forma de caída del edificio. En una planta cualquiera, columnas con igual tiempo de retardo originarán un plano de falla que se formará al eliminar simultáneamente los apoyos que están en dicho plano. Es conveniente, para lograr una adecuada fragmentación, si las condiciones lo permiten que éstas líneas queden esviadas con respecto a los ejes de columna a fin de inducir con la caída, un cortante diagonal a los marcos que tenderá a romper las trabes por cizallamiento.

Decidida la posición de los retardos, se continúa con los esquemas de conexión y la formación de series. El número de conexiones por serie está limitado a menos de 60 estopines, asimismo, es conveniente revisar cada serie con un manómetro, las diferencias en lectura obligan a igualar la intensidad de las mismas utilizando resistencias.



## CAPITULO IV

### 4. DINAMITAS Y AGENTES EXPLOSIVOS.

Hemos visto al explosivo como agente transformador del medio, encauzado en técnicas de voladura controlada con fines constructivos o destructivos; el poder del explosivo radica en una reacción química, en la cual ocurre una oxidación o reducción de un combustible a alta presión. Durante esta reacción se producen temperaturas que pueden alcanzar los 5000°C y gases a presiones muy altas que varían entre 15 000 y 150 000 kg/cm<sup>2</sup>

La presión de explosión se produce súbitamente en forma de impacto; la onda de choque se propaga a velocidades de 2 000 a 7 000 m/s, desarrollada por la reacción química de ciertos elementos componentes de los explosivos.

#### 4.1 INGREDIENTES Y COMPOSICION DE LOS EXPLOSIVOS.

Existen cuatro elementos básicos en la composición de las mezclas explosivas comerciales:

1. Carbón
2. Hidrógeno
3. Nitrógeno
4. Oxígeno

La reacción entre ellos, debe producir un balance correcto de oxígeno durante todo el proceso de transformación, formando solamente vapor de agua ( $H_2O$ ) y en combinación con el carbón -- reacciona únicamente en Dióxido de Carbono ( $CO_2$ ) en forma de gas y el Nitrógeno queda libre formando solamente gas Nitrógeno (N).

Cuando la sustancia explosiva presenta una elevada concentración de oxígeno, se producen gases altamente venenosos, como los gases nitrosos  $NO$  ó  $NO_2$  (óxido de Nitrógeno). El color café rojizo y su olor permite detectarlos fácilmente.

Cuando el oxígeno existe en poca cantidad, el resultado será la formación del mortal gas Monóxido de Carbono ( $CO$ ), el cual no presenta color, ni olor.

Los siguientes ingredientes son utilizados en la fabricación de explosivos:

1. Explosivo Base. Es un sólido o líquido que al entrar - en contacto con suficiente calor o por la acción de un impacto, se transforma generando gran cantidad de gases a una muy alta temperatura (energía calorífica). El balance de oxígeno se logra con la adición de combustible y oxidantes.
2. Antiácido. Se agrega para incrementar la estabilidad - del explosivo durante su almacenaje.
3. Absorbente. Utilizado para absorber el explosivo base como protección del mismo.\*

#### 4.2. DINAMITAS.

La dinamita es un explosivo sensible a la cápsula que contiene un compuesto explosivo, ya sea como sensibilizador o como el medio principal para desarrollar energía, este sensibilizador generalmente es Nitroglicerina.

##### 4.2.1. DINAMITAS PURAS.

Su estructura es una masa incolora, oleoplástica, fácilmente moldeable en cartuchos y de peso específico 1.6. , consiste en 75% de Nitroglicerina y 25% de tierra de infusorios (harina -

---

\* La Tabla 1 muestra el desglose de los elementos por su función dentro de una sustancia explosiva.

TABLA 1 INGREDIENTES USADOS EN LOS EXPLOSIVOS

INGREDIENTE	FORMULA	FUNCION
Nitroglicerina (NG)	$C_3H_3(NO_3)_5$	Explosivo base
Trinitrotolueno (TNT)	$C_6H_2CH_3(NO_2)_3$	Idem
Dinitrotolueno (DNT)	$C_7H_2O_4H_6$	Idem
Glicol de etileno dinitrato (EGDN)	$C_2H_4(NO_3)_2$	Idem, anticongelante
Nitrocelulosa	$C_6H_7(NO_3O)_3O_2$	Idem, gelatinizante
Nitrato de amonio (NA)	$NH_4NO_3$	Idem + oxidante
Clorato de potasio	$KClO_3$	Idem + oxidante
Perclorato de potasio	$KClO_4$	Idem + oxidante
Nitrato de sodio (SN)	$NaNO_3$	Oxidante, reduce congelación
Nitrato de potasio	$KNO_3$	Oxidante
Pulpa de madera	$C_6H_{10}O_5$	Absorbente, combustible
Aceite combustible	$CH_2$	Combustible
Parafina	$CH_2$	Idem
Aceite para lámpara	C	Idem
Gis	$CaCO_3$	Antiácido-estabilizador
Oxido de zinc	$ZnO$	Idem
Aluminio (metal)	Al	Catalizador
Magnesio (metal)	Mg	Catalizador
Kieselgur	$SiO_2$	Absorbente anti-cake diatomeas o infusorios
Oxígeno líquido	$O_2$	Oxidante
Azufre	S	Combustible
Sal	$NaCl$	Anti-inflamante
Compuestos orgánicos nitrosos		Explosivo base, sensibilizadores, anticake

fósil). Esta última sustancia es explotada en yacimientos de caparzones microscópicos de algas silíceas que por calcinación se transforman en tierra con capacidad de absorción hasta del 80% - de su peso en aceite explosivo.

#### 4.2.2 DINAMITAS REGULARES.

Este tipo de dinamita contiene como único material explosivo a la Nitroglicerina. La potencia está dada por el porcentaje de explosivo que contiene en su mezcla, el cual varía de 30% a - 60%; las dinamitas con potencia de 50% y 60% son las más populares y difieren de las anteriores por su buena resistencia al - - agua.

#### 4.2.3 GELATINA EXTRA (AMONIACALES).

Se presentan con potencias desde 20% hasta 60%; estas dinamitas son explosivos de Nitrato de Amonio, sensibilizadas con Nitroglicerina.

4.2.4 DINAMITA GELATINA. Compuesta en su base por Algodón Azótico y Nitroglicerina; la estructura de la Nitroglicerina Gelatinizada tiene la capacidad de variar en consistencia, desde un líquido viscoso y espeso hasta una sustancia maciza con apariencia de hule; la dinamita gelatina se fabrica en una serie de grados de 20% hasta 90%.

#### 4.2.5. DINAMITA GELATINA ESPECIAL.

Difiere en su composición con las Gelatinas Regulares, debido a que una porción de la potencia de la dinamita es proporcionada por el Nitrato de Amonio; la Gelatina Especial mantiene la mayor parte de las características de las Gelatinas Regulares. Se fabrica en una variedad de potencias del 25% al 80% de Nitroglicerina en su composición.

#### 4.2.6. DINAMITA GELEX.

Son dinamitas Semi-Gelatina que resultan de una combinación de las dinamitas extra y las Gelatinas Regulares obteniéndose -- así resistencia al agua y cohesión. La potencia de la Gelex en peso es aproximadamente 62%.

#### 4.3. AGENTES EXPLOSIVOS.

Los Agentes explosivos son sustancias que no contienen un compuesto explosivo, no puede ser iniciado con una cápsula No. 6 y sólo detonan cuando se inician con un cebo explosivo de alta potencia.

Su manipulación es segura en todas las circunstancias, contienen en su mayoría Nitrato de Amonio 70% a 90%, son secos y a veces también húmedos al tacto, insensibles a la percusión y al rozamiento; la barrenación aún en presencia del agente explosivo

es segura y no manifiesta fenómeno de envejecimiento.

El Anfo, Slurry - Hidrogel y las emulsiones son explosivos Nitrados, considerados como agentes explosivos y con características especiales.

#### 4.3.1 ANFO.

Casi todos los agentes explosivos secos se consideran como ANFO, las propiedades varían sólo por el tamaño de las partículas, densidad y confinamiento.

La optimización de la energía teórica del ANFO se obtiene - con un balance de oxígeno de 0.93 Kcal/g y aproximadamente 94.5% de NA y 5.5% de Diesel, la mezcla más común contiene 94% NA y 6% Diesel.

El mínimo iniciador requerido se obtiene con un 2% de Diesel y se incrementa con una fracción mayor de Diesel. El exceso de combustible Diesel de un 8% o más reduce considerablemente la sensibilidad que necesita la mezcla para su iniciación.

La velocidad de detonación y la sensibilidad se incrementan cuando reducimos el tamaño de las partículas de NA, en cambio de crece este efecto cuando vamos incrementando el diámetro del barrenado, debido al contacto más directo de las partículas más finas de NA con el Diesel.

Las partículas molidas (finas) del NA son más sensitivas - que las partículas enteras en la misma densidad de carga, esta densidad de las partículas finas alcanza un 30% más de densidad que el ANFO normal; la desventaja de los granos molidos es que se apelmaza con mayor rapidez y es más vulnerable a la humedad.

#### 4.3.2 SLURRY - HIDROGEL.

El Slurry es una solución que presenta sus partículas sólidas en suspensión y puede alcanzar diferentes valores de viscosidad y cuando ésta es elevada se le denomina Hidrogel; el Slurry - Hidrogel tiene una consistencia gelatinosa.

El Slurry es una mezcla de NA con Aceites Minerales y puede estar sintetizada con una sustancia explosiva o con una no - explosiva, contiene agua, en porcentajes que pueden variar de - 5% a 40%, pero podemos considerar como promedio un 15%.

En casi todos los Slurry el NA es el oxidante principal pero también el NS (Nitrato de Sodio) se utiliza para dar más oxígeno y densidad a la formulación.

El NS como oxidante nos permite una mayor eficiencia en la sensibilidad del explosivo, ya que nos da el doble de oxígeno - que el NA.

Los Slurry se pueden identificar por sus diferentes tipos



de sensibilizadores, como pueden ser los Slurry aluminizados o - Slurrys con explosivo.

Los Slurrys aluminizados generan mayor energía y dan mejores resultados en roca dura, Y los Slurrys sensibilizados con - explosivos pueden contener TNT, NG, etc. con diferentes densidades y potencias de detonación. Tabla 2.

#### 4.3.3 EMULSIONES.

Las Emulsiones son el resultado de la formación de microcel<sub>l</sub>das y en una solución acuosa con sales inorgánicas como oxidantes, rodeadas por una capa muy delgada de Aceite Mineral, requerido para el correcto balance de oxígeno. Toda esta mezcla se - estabiliza al agregar un Agente Emulsificante.

Las micro-esferas son de vidrio y dan una buena estabilidad, al encontrarse bajo presión hidrostática. La densidad de volumen de este material es de 0.1 a 0.42 gr/cm<sup>3</sup> y los tamaños varían de 10 a 170 micras, siendo el tamaño normal 60 a 70 micras; las microsferas pueden ser inertes o contener Fenol adherido. - La concentración de aceite combustible, debe tomarse en cuenta - como un componente que generalmente se presenta de un 5% a un -- 15% sobre el peso total o dependiendo de la sensibilidad requerida.

La densidad de la emulsión tiene un rango de 0.92 a 1.36 --

Tabla 2. Composición típica de algunos Slurrys.

## 1.- Slurrys sensitivizados con Aluminio.

10% Aluminio.

15% Agua.

5% Etileno Glicol

44% Nitrato de Amonio.

25% Nitrato de Calcio.

1% Goma guar.

## 2.- Slurrys sensitivizado con Alto Explosivo.

25% TNT. Nitroglicerina o Nitrato de Amonio.

25% Agua.

15% Nitrato de Sodio.

44% Nitrato de Amonio.

1% Goma guar.

## 3.- Hidrogel Slurrys.

13% Nitrato de Amonio.

15% Agua.

5% Nitrato de Sodio.

3% Percloro de Amonio.

63% Nitrato de Amonio.

1% Goma guar.

gr/cm<sup>3</sup> dependiendo de la composición y el volumen de cargado de la mezcla. Se puede adherir aluminio y de esta forma aumentar su energía explosiva.

La composición típica de una Emulsión se presenta en la Tabla 3.

En la Tabla 4 se observa la energía calorífica de algunos explosivos.

**Tabla 3. Composición típica de una Emulsión.**

<b>6% Aceite Mineral (Diesel)</b>
<b>2% Emulsificador.</b>
<b>14% Agua.</b>
<b>76% Nitrato de Amonio.</b>
<b>2% Microesferas.</b>

Tabla 4. ENERGIA CALORIFICA (Q) PARA ALGUNOS EXPLOSIVOS

EXPLOSIVO	DENSIDAD	Q (cal/gr)
Nitroglicerina (NG)	1.6	1420
PETN (Pentrita)		
Pentaeritritetetranitrato	1.6	1400
RDX	1.6	1320
Compuesto B	1.6	1140
Tetril	1.6	1010
NG, Gelatina 40%	1.5	820
Slurry (TNT-AN-H <sub>2</sub> O)		
20-65-15	1.5	770
NG, Gelatina 100%	1.4	1400
NG, Gelatina 75%	1.4	1150
AN, Gelatina 75%	1.4	990
NG, Dinamita 40%	1.4	930
AN, Gelatina 40%	1.4	800
NG, Dinamita 60%	1.3	990
PETN	1.2	1200
Semigelatina	1.2	940
Dinamita extra 60%	1.2	880
Amato1, 50/50	1.1	890
RDX	1.0	1280
DNT	1.0	960
TNT-AN (50-50)	1.0	900
TNT	1.0	870
ANFO (94-6)	0.9	890
AN	0.8	350

## CAPITULO V

### 5. EQUIPOS PARA LA INICIACION.

Todos los explosivos requieren para asegurar su detonación, el impulso o iniciación de un cebo, al que se da fuego por medio de una mecha o por electricidad; los explosivos iniciadores son los que comunican el "fuego" a las cargas explosivas y de pólvoras, y para este fin se utilizan cargadas las cápsulas o cartuchos - estopines y cebos - de latón, cobre o una aleación gris - de aluminio. En contra posición a los explosivos de carga principal, que por la llama de una cerilla no pueden explotar, los - explosivos de iniciación estallan por la llama o por la chispa - con fuerte detonación. Por su gran velocidad de detonación y la onda de impulso que provocan, comunican o inician la detonación en la carga principal, y esto lo hacen ya en pequeñas cantidades, de decigramos y hasta de centigramos.

Los dispositivos iniciadores\* se seleccionan tan cuidadosa

\*Estos productos son invariablemente consumidos por la explosión.

mente, como el explosivo mismo, en cualquier tipo de voladura y su principal utilidad consiste en:

1. Iniciar las cargas explosivas.
2. Proporcionar o transmitir la flama para iniciar una explosión.
3. Llevar una onda de detonación de un punto a otro, o de una carga explosiva a otra.

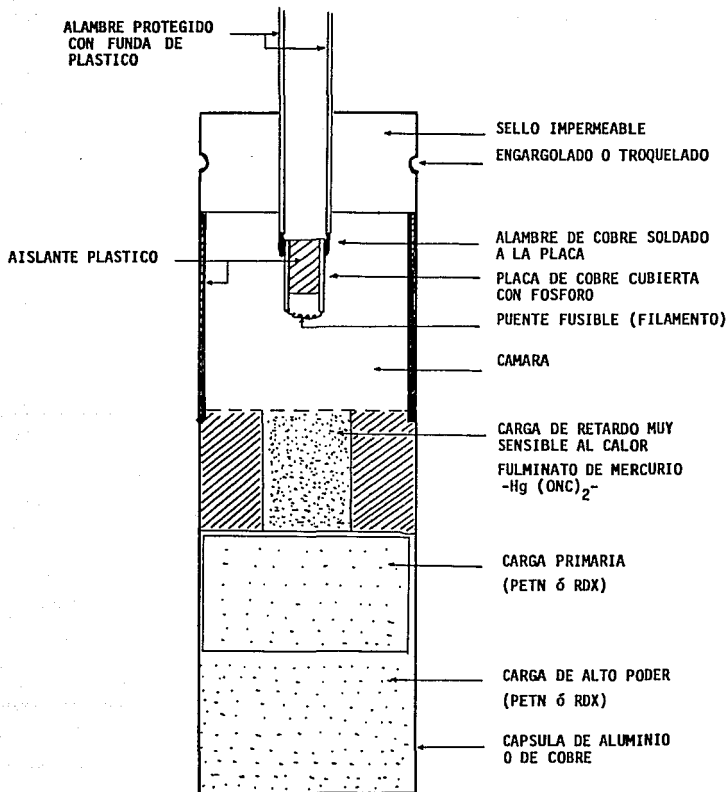
#### 5.1. CAPSULAS DE DETONACION O ESTOPINES.

Los estopines eléctricos son los accesorios más utilizados para iniciar o detonar los explosivos potentes. La cápsula puede insertarse directamente en el cartucho o sujetarse fuertemente al cordón detonante. Fig. 13

Una cápsula eléctrica consiste de dos alambres aislados, insertados en una cápsula de metal que están conectados por un delgado filamento de alambre que forma un puente; este alambre puente a veces se pinta con una mezcla de fósforo que produce flama.

Cuando se les aplica la corriente eléctrica a los alambres el filamento de puente se calienta e inicia una carga instantáneamente, un explosivo altamente sensible al calor, la cual a su vez, detona una carga de un explosivo potente en el fondo de la cápsula, tal como PETN o RDX . Esta carga de fondo tiene

FIG. 13 . CAPSULA ELECTRICA O ESTOPIN





potencia suficiente para detonar una cápsula - explosiva sensiti  
va o cebo (primer), o bien, un cordón detonante.

En el caso de cápsulas eléctricas de retardos, un elemento retardante de explosivo en polvo se deposita entre el filamento de puente y la carga potente del fondo. Este elemento de retardo está finamente calibrado para dar un intervalo de tiempo espe  
cífico, entre la aplicación de la corriente eléctrica y la detonación de la carga de fondo.

Hay dos series básicas de retardos disponibles: retardos --  
cortos o de milisegundos con incrementos de retardo de 25 MS en el intervalo inferior y 50 MS en el intervalo superior, y retardos largos a menudo llamados retardos lentos o simplemente retar  
dos, con incrementos de retardo de 0.5 seg. y 1 seg.

Con los estopines de milisegundos se produce mejor fragmentación y se reduce la presión de aire y las vibraciones del terreno, mientras que los estopines de retardo se usan en lumbreras o túneles, para dar tiempo suficiente al movimiento de la ro  
ca. Probablemente se produce fragmentación más gruesa que la ob  
tenida con milisegundos.

Existen en el mercado una variedad de estopines, definidos por su forma de iniciar la detonación de un explosivo:

1. Estopines instantáneos con alambre de cobre.

2. Estopines instantáneos con alambre de hierro.
3. Estopines sismográficos.
4. Estopines de Retardo.
5. Estopines MS - Milisegundos.

#### 5.1.1. ESTOPINES ELECTRICOS INSTANTANEOS CON ALAMBRE DE COBRE.

Para uso general, estopines eléctricos instantáneos de potencia número 6, que tienen casquillos de aluminio 2.85 cm (1 1/8) y alambre de cobre; el aluminio proporciona superior resistencia a la corrosión, cuando se utilizan en cebos de dinamita. Existen también estopines de potencia número 8, con casquillos de bronce o de aluminio de 3.2 cm (1 1/4") de largo, pero esta potencia adicional rara vez es necesaria.

#### 5.1.2. ESTOPINES ELECTRICOS CON ALAMBRE DE HIERRO.

Para uso en minas subterráneas de carbón, con potencia número 6, con casquillos de bronce y alambre de hierro, utilizando un casquillo de aluminio.

#### 5.1.3. ESTOPINES ELECTRICOS SISMOGRAFICOS,

Estopín eléctrico instantáneo de precisión, con potencia número 8. Un estopín de menor potencia, no es aconsejable para realizar trabajos bajo condiciones severas, como las que presentan los trabajos sismográficos.

#### 5.1.4. ESTOPINES ELECTRICOS DE RETARDO.

Los estopines eléctricos de retardo están diseñados para detonar con un periodo de retraso predeterminado, a partir de la aplicación, de la energía eléctrica a su sistema de ignición.

Este periodo de retardo se determina durante el proceso de fabricación, medido a partir de la cantidad y características -- que presenta el material (pólvora) al quemarse. Se obtienen diversos periodos de retardo, con tiempos que varían de 0.5 seg. - hasta 12 seg. Los estopines eléctricos de retardo se utilizan - para disparar un número de cargas explosivas en rotación exacta, con sólo una aplicación de corriente.

#### 5.1.5. ESTOPINES ELECTRICOS MS.

Estos estopines tienen intervalos de disparo mucho más pequeños, se fabrican en 19 retardos; numerados del 1 al 19, el periodo 1 es MS-25, el 2 es MS-50 que son los más comunes para el desarrollo de voladuras; los siguientes retardos en orden son, - MS-75, MS-100, MS-125, MS-150, MS-175, MS-200, MS-250, MS-300, - MS-350, MS-400, MS-450, MS-500, MS-600, MS-700, MS-800, MS-900 y MS-1000; los estopines son de aluminio con longitud de 3.8 cm - (1.5") hasta 7.62 cm (3.0") dependiendo del periodo de retardo, con alambre de cobre o de hierro.

Los estopines MS se utilizan principalmente para detonar --

cargas explosivas dentro de barrenos de diámetro pequeño, presentando varias ventajas sobre el uso de retardos como son:

1. Mejor fragmentación.
2. Menos vibración.
3. Reducción en el lanzamiento de material.
4. Menor número de barrenos cebados.
5. Menor cantidad de explosivos y menor costo.

## 5.2. FULMINANTES.

Los fulminantes son cápsulas iniciadoras que no requieren de la electricidad para detonar, sino de una mecha que inicie la combustión de su carga de ignición, comunicándola a la carga de cebo y ésta a su vez, inicia la combustión de la carga base de explosivo de alta velocidad en el fondo del casquillo. Esta combinación de cargas ha producido detonadores altamente eficientes y confiables. Fabricados con casquillos de aluminio, no deben golpearse o someterse a ningún tipo de abuso, ya que este trato puede producir una detonación prematura.

## 5.3. RETARDOS.

### 5.3.1. RETARDOS MS PARA CORDON DETONANTE.

Comectores MS, son dispositivos de retardo no eléctricos de pequeño intervalo (milisegundos) utilizados para retardar voladu-

ras iniciadas en la superficie con cordón detonante; los conectores MS consisten de una manga de plástico que contiene un elemento de retardo en la parte central. Fig. 14.

Debe tomarse precauciones para proteger estos conectores MS contra impacto accidental y mantenerlos fuera del alcance del fuego.

Los conectores se producen en cuatro intervalos de retardo: MS-5, MS-9, MS-17, MS-25.

#### **5.3.2. RETARDOS MS PARA CORDON DETONANTE DE BAJA ENERGIA.**

Estos juegos satisfacen la necesidad de proporcionar iniciación en el fondo del barreno mediante detonadores de retardo no eléctricos con precisión en el disparo semejante a los estopines MS.

Consisten: en un tramo de este cordón; un fulminante de retardo no eléctrico, sujeto a un extremo y un reforzador receptor con un adaptador de plástico, sujeto al otro extremo. Fig. 15.

Los periodos de retardo, se encuentran en el mercado en doce lapsos de tiempo, con tiempos nominales de 0, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 y 350 MS.

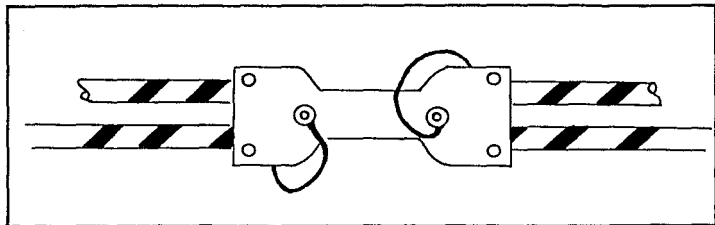


FIG. 14 CONECTOR Ms SUJETANDO UNA LINEA TRONCAL

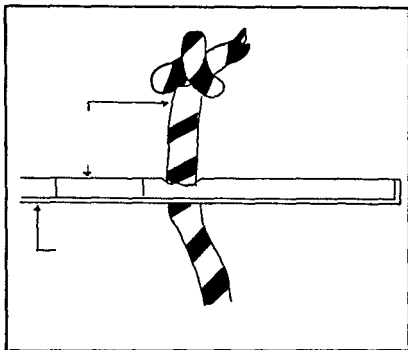


FIG. 15 RETARDO Ms PARA CORDON DETONANTE DE BAJA ENERGIA

#### 5.4. REFORZADORES.

Reforzadores para trabajo en agua.

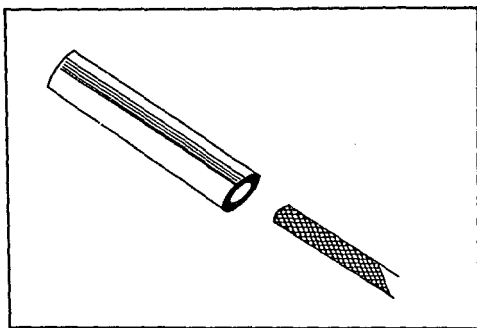
Consisten en casquillos metálicos de aproximadamente 11.5 cm (4 1/2") de longitud y 1.6 cm (5/8") de diámetro. Estos casquillos están parcialmente llenos con un explosivo denso y muy insensible que tiene un pequeño cilindro metálico dentro del explosivo, se detona mediante un estopón sismográfico. Fig. 16.

#### 5.5. CORDON DETONANTE.

El cordón detonante consiste en un tubo de plástico resistente al agua, que se protege con una cubierta o forro; fabricado -- con una combinación de textiles, plástico y alambre a prueba de agua. Las cubiertas de estos cordones presentan diferentes grados de resistencia a la tensión, abrasión y flexibilidad.

En la parte interior del tubo de plástico está el núcleo o corazón constituido por un alto explosivo - usualmente PETN -; la cantidad de explosivo varía entre 3.28 gr/m a 1312.3 gr/m y se -- produce en diferentes potencias. Todas las potencias de PETN pueden detonarse con una cápsula eléctrica.

Su notable insensibilidad contra impacto y fricción es ideal para su uso en líneas de encendido y troncales.



**FIG. 16 EL ESTOPIN SE COLOCA DENTRO DEL REFORZADOR BOOSTER, PARA TRABAJO SUBMARINO**



Los estopines eléctricos, se deberán sujetar al cordón detonante justo cuando se finalice la colocación de las líneas de encendido y troncales, justamente antes de la voladura; la mayor parte de una falla aleatoria por detonación se elimina de este modo.

El uso más comercial de estos cordones corresponden a sus presentaciones de 82 gr/m y 162 gr/m - usado en trabajos especiales -.

Hay que tener especial cuidado con la producción excesiva de aire, que produce este explosivo confinado dentro del cordón al detonar. Este explosivo PETN es considerado como un alto explosivo.

Con el uso de cordones detonantes de 82 y 162 gr/m aseguramos la detonación de cualquier cápsula sensitiva - primer o cebo y cápsulas de alta potencia, como son los boosters -, con una velocidad de 6,400 m/s.

El punto de fusión del núcleo del PETN está arriba de los 93°C basados en este dato, se puede almacenar por largos periodos, aún en los climas más calientes sin sufrir pérdida en sus facultades explosoras; si se exponen los cordones a temperaturas elevadas, puede percibirse un ablandamiento del asfalto protector. Este fenómeno no afectará la resistencia al agua o el funcionamiento del material.

El tipo económico de cordón detonante Tabla No. 6 es de uso general, empleado comúnmente, en líneas de barrenos y líneas - troncales, en barrenos de diámetro pequeño o mediano, en zanjeo para tuberías y en voladuras de barrenos largos.

#### 5.5.1. CORDON DETONANTE DE BAJA ENERGIA.

El cordón detonante de baja energía consiste de un núcleo - extremadamente pequeño de alto explosivo, de tres o seis granos por metro, contenido en el interior de un pequeño tubo continuo de plomo; el tubo está protegido por papel o cordón de algodón y por una manga exterior de plástico, esto le proporciona buena resistencia a la tensión e ilimitada resistencia al agua.

La velocidad de detonación es de 7.300 m/s que es superior a la del cordón detonante normal.

La creación de este cordón obedece a la necesidad de disminuir el ruido del cordón detonante en voladuras realizadas en lugares con poblaciones cercanas a la zona de trabajo.

Cordón Detonante	Gramos por metro	Velocidad (m/s)	Diámetro Exterior aprox. (cm)
Reforzado	164	6400	0.5
Económico	82	6400	0.4

Tabla 6. Propiedades estándar del cordón detonante.

### 5.5.2. CORDON DETONANTE NON-ELECTRIC (NONEL).

El Nonel es muy útil para voladuras subterráneas, pues se eliminan las fallas por electricidad estática. Se aplica también en voladuras a cielo abierto, evitando vibraciones, al detonar barreno por barreno; al igual que el cordón detonante. Si existen tormentas eléctricas, la seguridad está del lado del Nonel.

Hay que tener cuidado en la forma de detonar el Nonel, ya que se realiza en una sola dirección y esto hace muy importante cuidar su correcto acoplamiento.

En el mercado podemos encontrar retardos constituidos por el mismo tubo Nonel en longitudes de 60 cm con terminales de plástico.

El Nonel presenta una resistencia excelente al agua, ya que en un extremo está sellado contra la cápsula de detonación y el otro está sellado contra una terminal de plástico.

El Nonel no explota, puede sostenerse incluso con las manos perfectamente sin peligro; el Nonel alcanza una velocidad de 2750 m/s.

Los cordones detonantes substituyen a los cebos y tienen mayor aceptación que la inflamación eléctrica en casos particulares de seguridad.

## CAPITULO VI

### 6. CRITERIOS DE SELECCION DE UN EXPLOSIVO.

El criterio de selección de un explosivo, es sin duda, una parte fundamental en el diseño de una voladura; el explosivo define las características del producto, desde grandes boleos hasta material muy fragmentado. Las propiedades geomecánicas de la roca, así como las físicas y químicas del explosivo, tomadas en cuenta correctamente permitirán elegir una sustancia explosiva - adecuada, para el desarrollo correcto de cualquier trabajo de voladura. Para cada sitio habrá un explosivo que proporcione los mejores resultados.

La selección del tipo de explosivo más adecuado para la realización de una voladura, está en función de las propiedades geomecánicas de la roca como son: estructura, dureza, densidad, resistencia, humedad, ventilación, y de la fragmentación que el -- trabajo a desarrollar indique.

En general, la velocidad de detonación del explosivo a emplear debe ser igual a la velocidad sónica del macizo rocoso (velocidad de las ondas P de compresión o primarias) Tabla No. 7, -- aunque la velocidad del explosivo nunca alcanzará a la de la roca, es un buen indicio si esta velocidad se aproxima a la sónica del macizo rocoso. La velocidad con que viajan estas ondas de -- choque a través de la roca, es función de la densidad del medio; las rocas densas dan lugar a altas velocidades y las rocas blandas porosas o ligeras, a bajas velocidades.

En rocas duras y densas, como la Taconita y los granitos, un explosivo de alta velocidad dará buenos resultados; un explosivo de baja velocidad podrá usarse en rocas blandas como caliches y -- basaltos vesiculares.

Las rocas normalmente resisten más a la compresión y a la -- trituración que a la tensión, por ejemplo: algunas calizas tienen resistencia a compresión entre 250 y 1500 kg/cm<sup>2</sup> y resistencia en tensión tan baja como desde 35 hasta 150 kg/cm<sup>2</sup>.

#### ONDAS SISMICAS.

##### ONDAS DE CUERPO:

##### 1. Compresión Longitudinal

Ondas primarias P de empuje

##### 2. Corte

Ondas secundarias S, transversales

##### Ondas de superficie:

Love

Igual de peligrosidad que las ondas P y S.

##### 4. Rayleigh

Tabla No. 7 Ondas sísmicas.

A continuación presentamos una serie de constantes de roca, para varios materiales; estas constantes de roca indican la cantidad de explosivo que se requiere para fragmentar un  $m^3$  de material, son datos obtenidos de experimentación y de la valiosa experiencia de ingenieros dedicados a los trabajos de voladuras.

Roca	Constante de Roca ( $kg/m^3$ )
Diamante	0.86
Cuarzo	0.62
Basalto	0.62
Horstelmo	0.59
Peldespató	0.57
Gneiss	0.54
Esquistos	0.53
Magnetita	0.50
Granito	0.48
Arenisca	0.46
Dolomita	0.44
Caliza	0.40
Pizarra	0.38
Lutita	0.38
Calcita	0.36
Antracita	0.36
Mármol	0.36
Carbón Bituminoso	0.36
Mica	0.28
Yeso	0.24

Tabla No. 8 Constante de Roca.

Las características físicas y químicas de los explosivos -- juegan un papel importante para adecuar las condiciones de una voladura con las capacidades propias del explosivo, que le permitan detonar, realizando un trabajo adecuado de voladura, ya sea a cielo abierto o en una obra subterránea.

#### 6.1. LAS PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS SON EN GENERAL LAS SIGUIENTES:

1. Velocidad de detonación.
2. Diámetro de carga.
3. Efecto de confinamiento.
4. Efecto del tamaño de la partícula.
5. Efecto de la densidad.
6. Temperatura inicial.
7. Resistencia al agua
8. Presión de detonación.
9. Gases.
10. Energía del explosivo.
11. La vida útil del explosivo en almacenaje.
12. Presión de insensibilidad.

##### 6.1.1. VELOCIDAD DE DETONACION.

La velocidad de detonación es la velocidad a la cual la onda producida por la detonación viaja a través de una carga explosiva. La onda viaja a velocidad cercana a la del sonido en el ma

terial no reactivo; la velocidad típica para explosivos comerciales está en un rango de 2500 a 7000 m/s. La velocidad de detonación es la propiedad más importante del explosivo y puede ser medida fácilmente con gran exactitud, también se aplica para calcular la detonación y la presión en el barreno.

La velocidad de detonación de una partícula explosiva depende de factores tales como diámetro de cargado, confinamiento, densidad y el tamaño de la partícula.

#### 6.1.2. DIAMETRO DE CARGA.

Consideremos una velocidad típica de detonación, si el diámetro es tan pequeño que el explosivo falla (no detona), necesitamos entonces conocer cuál es el diámetro mínimo para el cual ocurra una correcta detonación; el diámetro mínimo estable es llamado "diámetro crítico" del explosivo. (Fig. 17.)

Con el incremento del diámetro de carga, la velocidad de detonación aumenta, de cualquier modo cuando un cierto diámetro se alcanza, un incremento adicional no necesariamente significa un incremento en la velocidad de detonación. Si ésta ya alcanzó su máximo valor, es entonces cuando recibe el nombre de detonación ideal del explosivo.



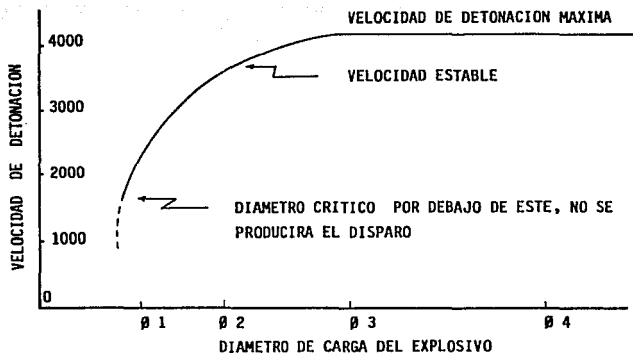


FIG. 17 CURVA DE VELOCIDADES TIPICA DE DETONACION CONTRA DIAMETRO DE CARGADO PARA UN EXPLOSIVO GRAHULAR

### 6.1.3. EFECTO DE CONFINAMIENTO.

El efecto de confinamiento puede incrementar el grado de -- reacción y consecuentemente la velocidad de detonación en el diámetro crítico. De manera similar, este diámetro de carga puede reducirse, utilizando el confinamiento para elevar la presión y alcanzar así la detonación del explosivo.

De cualquier manera no se puede cuantificar el confinamiento; el acero, el vidrio, varias clases de rocas y suelos, pueden producir diferentes efectos de confinamiento, por esta razón los explosivos se prueban sin confinar. (Fig. 18).

### 6.1.4. EFECTO DEL TAMAÑO DE LA PARTICULA.

Si el tamaño de las partículas del explosivo se reduce en un diámetro de carga dado, en la región no ideal de velocidad, el grado de reacción se acrecenta debido al incremento en el área de superficie. Además, entre más pequeños son los granos más rápidamente son consumidos en la detonación. Como resultado el diámetro crítico disminuye y el explosivo alcanza la detonación ideal en un diámetro menor. (Fig. 19).

### 6.1.5. EFECTO DE LA DENSIDAD.

Si la densidad se incrementa, la energía específica también

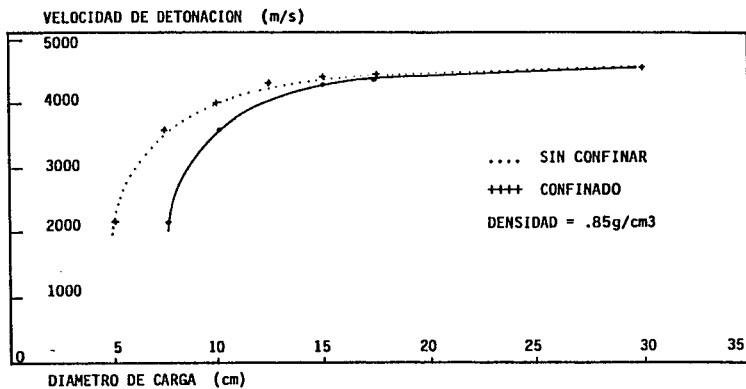


FIG. 18 VELOCIDAD DE DETONACION (VOD) - DIAMETRO DE CARGA, CURVA DE ANFO CONFINADO Y SIN CONFINAR

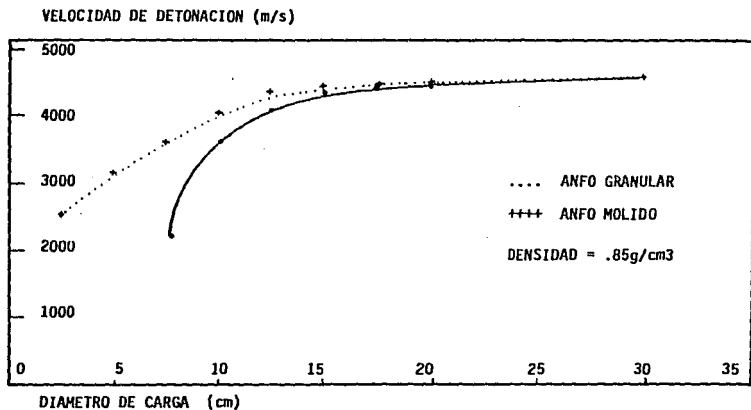


FIG. 19 EFECTO DEL TAMAÑO DE LA PARTICULA SOBRE LA CURVA DE VELOCIDAD - DIAMETRO DEL ANFO

umenta, como resultado la velocidad de detonación ideal se incrementa. Se ha visto que la velocidad de detonación y la densidad son relativamente lineales. La Fig. 20 muestra la velocidad de detonación y la densidad relacionadas para varios explosivos.

De cualquier manera si la densidad alcanza más allá de un punto crítico, muy difícilmente se presenta la detonación. El fenómeno es conocido como "empacado muerto" y una explicación cualitativa puede ser dada por el factor, de que el volumen de aire atrapado es insuficiente para la combustión.

La relación entre el diámetro crítico y la densidad se muestra en la Fig. 21. Es obvio que aparte de la densidad que produce en el material el "empacado muerto", existe una densidad crítica con la cual el explosivo no detona.

#### 6.1.6. TEMPERATURA INICIAL.

La temperatura inicial del explosivo es una pequeña influencia en la velocidad de detonación, en los diámetros que se acercan al diámetro crítico. De cualquier manera el diámetro depende de la temperatura inicial, la Fig. 22 muestra el efecto de la temperatura en un diámetro crítico.

En el caso del explosivo líquido comercial, el efecto es -- más notorio, la Fig. 23 muestra el efecto de bajas temperaturas en los diámetros críticos de varios Slurrys; el efecto en los ex

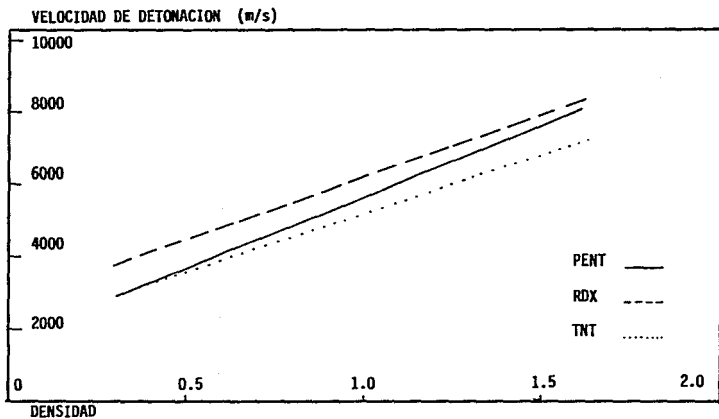


FIG. 20 VELOCIDAD DE DETONACION - DENSIDAD

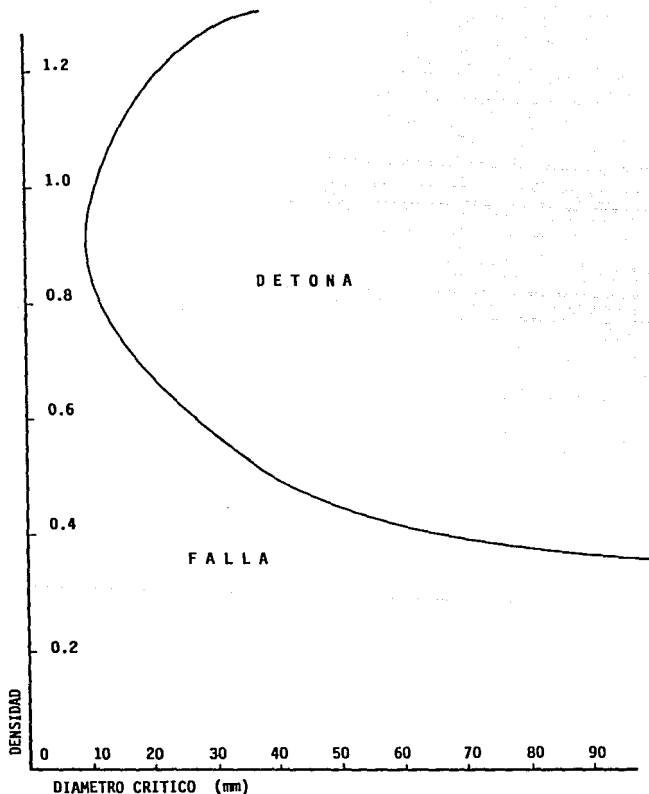


FIG. 21 EFECTO DE UNA EMULSION TIPICA, EN SU DENSIDAD DENTRO DEL DIAMETRO CRITICO SIN CONFINAR

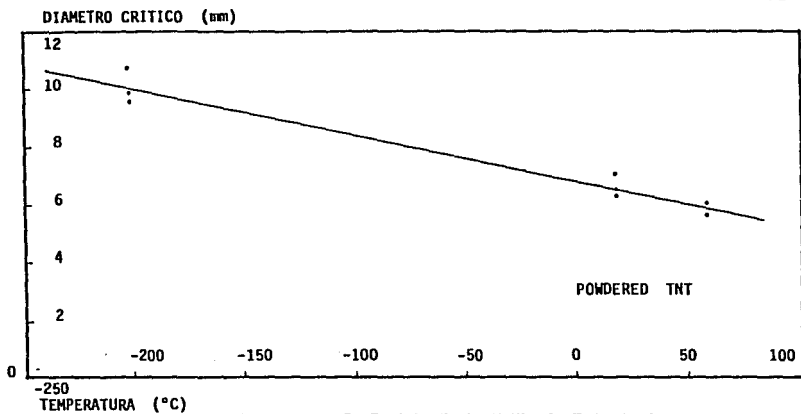


FIG. 22 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL DIAMETRO CRITICO EN EL TNT

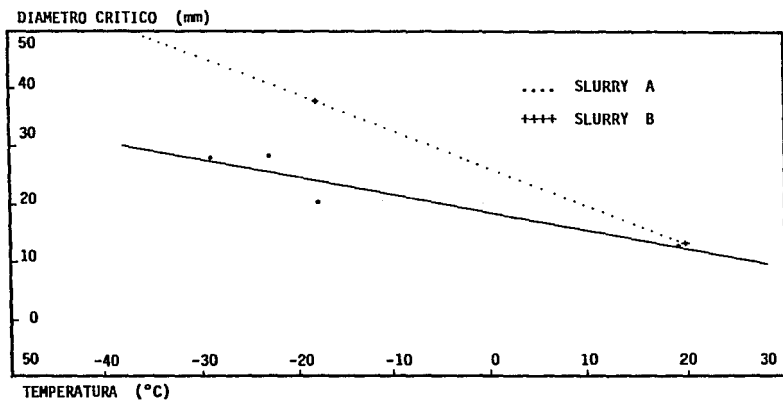


FIG. 23 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL DIAMETRO CRITICO DE LOS SLURRYS



plosivos sólidos es casi despreciable.

#### 6.1.7. RESISTENCIA AL AGUA.

Generalmente las dinamitas no son afectadas por la presencia de agua dentro de los barrenos. La mezcla de Nitrato de Amonio y aceite combustible no es resistente al agua; el producto absorbe agua y pronto pierde sensibilidad.

#### 6.1.8. PRESION DE DETONACION.

La presión de detonación es un parámetro muy importante, es un indicador de la habilidad del explosivo para producir la deseada fragmentación de la roca, de cualquier manera esta magnitud tan alta de presión producida, no puede ser cantificada directamente, por esta razón la determinación experimental es muy difícil.

La presión de detonación se relaciona con el cuadro de velocidades de detonación, influye en la velocidad y da un efecto significativo en la presión de detonación.

#### 6.1.9. GASES.

En todos los casos los gases de los explosivos son en cierto grado tóxicos. El exceso de oxígeno causa la formación de óxido de Nitrógeno y con la deficiencia de éste, forma Gas Monóxido de Carbono.

En los Estados Unidos, los gases de los explosivos se clasifican después de la detonación de éstos. La siguiente Tabla No. 9 es la que se utiliza como clasificación.

<b>EXPLOSIVOS PERMISIBLES</b>	
<b>Clasificación de Gases</b>	<b>Gases Tóxicos 1t/kg</b>
A	78
B	78 - 156
C	156 - 234
<b>EXPLOSIVOS.</b>	
1	10
2	10 - 21
3	21 - 42

Tabla No. 9 Clasificación de Gases.

Canadá usa las mismas especificaciones, no se deben utilizar las clasificaciones 2 y 3 en trabajos subterráneos.

Los gases producidos por la explosión dependen de ciertos -- factores que intervienen en su producción como son:

1. El balance de oxígeno.
2. Preparación incierta.
3. Ataque de agua.
4. Diámetro Crítico.
5. Espacios vacíos.
6. Deflagración.

#### 6.1.10. ENERGIA DEL EXPLOSIVOS.

El explosivo es una sustancia que rápidamente libera su - - energía química de un golpe, en forma de gas produciendo altas - temperaturas y presiones. En la vecindad del explosivo se producen ondas de choque debido a la detonación y en la parte superior expansión en forma de energía cinética en la periferia. La energía relacionada con el proceso de detonación se calcula con la siguiente fórmula:

$$Q = AH_f (\text{producto}) - AH_f (\text{reacción})$$

Donde  $AH_f$  es el calor de formación

La energía por unidad de peso es llamada resistencia en peso del explosivo.

La energía por unidad de volumen se denomina resistencia en volumen del explosivo.

Algunas veces es provechoso expresar la resistencia en peso y en volumen del explosivo como un valor relativo obtenido de di

vidir la resistencia en peso o en volumen del correspondiente explosivo estándar; el explosivo industrial más comercial es el ANFO y se conoce como el explosivo estándar.

#### 6.1.11. LA VIDA DEL EXPLOSIVO EN ALMACENAJE.

La vida útil de un explosivo, determina el máximo periodo de tiempo que éste puede permanecer almacenado, conservando su sensibilidad a la iniciación de la detonación.

#### 6.1.12. PRESION DE INSENSIBILIDAD.

Los explosivos comerciales pueden ser susceptibles a la presión hidrostática. La presión hidrostática puede comprimir al explosivo elevando su densidad y el resultado de este fenómeno es conocido como "empacado muerto".

#### 6.2. PROPIEDADES DE LAS DINAMITAS.

Las dinamitas pueden formularse en muchos tipos y grados, cada una presenta diferentes propiedades y características; a diferencia de la mayor parte de las mezclas de Nitrato de Amonio Aceite combustible, las propiedades y características de la dinamita pueden modificarse o diseñarse para producir compuestos que proporcionan una acción de voladura óptima para cada tipo de trabajo. (Tablas 10 y 11). Basándonos en estos hechos, ¿cómo podemos explicar entonces que este excelente explosivo, trabajador adecuado

do para muchos tipos de voladuras, en la actualidad sea desplazado casi por completo y sus aplicaciones se limiten a actividades muy específicas de voladura.

La economía que los nuevos explosivos han traído a la ingeniería civil, es sin duda una causa de la desaparición total o casi total de este explosivo; pero hay sin embargo una razón más poderosa aún que la economía, que rige para toda obra civil y es sin duda la pobre calidad de sus gases que provoca serios problemas de salud en las personas que desempeñan sus labores en obras subterráneas, aunado a su difícil manejo (sensibilidad al choque y a la fricción), si a esto agregamos, la economía de explosivos, como el ANFO en trabajos a cielo abierto, han significado para este explosivo (compuesto en su mayoría por Nitroglicerina), el retiro de las obras civiles.

Propiedades de dinamitas de Amonio de Alta Densidad				
Por ciento en peso	Densidad	Velocidad confinada (m/seg. )	Resistencia al agua	Calidad de gases
60	1.3	3,810	Regular	Buena
50	1.3	3,505	"	"
40	1.3	3,200	"	"
30	1.3	2,743	"	"
20	1.3	2,438	"	"

Tabla 10. Dinamitas de Amonio de Alta Densidad.

Por ciento en peso	Densidad	Velocidad confinada ( m/seg.)	Resistencia al agua	Calidad de gases
60	1.3	5,791	Buena	Pobre
50	1.4	5,182	Regular	"
40	1.4	4,268	"	"
30	1.4	3,353	Pobre	"
20	1.4	2,743	"	"

Tabla No. 11 Propiedades de las dinamitas duras de Nitrogl $\underline{c}$ erina.

### 6.3. PROPIEDADES DEL ANFO.

La mezcla más común contiene 94% NA y 6% Diesel; el mínimo iniciador requerido se obtiene con un 2% de Diesel en su fabricación; el exceso de Diesel de un 8% o más, disminuye considerablemente la sensibilidad de la mezcla que requiere para su correcta iniciación.

La velocidad de detonación de este producto se incrementa en forma gradual con el aumento en el diámetro de cargado, hasta alcanzar su velocidad de detonación de 4572 m/s, esto sucede al estar cerca de los 30.5 cm (12") de diámetro; el diámetro crítico en donde la detonación puede fallar es de 2.5 cm (1") o menor. En el TNT, explosivo homogéneo, el diámetro crítico es menor de 1.3 cm (1/2") y la velocidad de detonación se mantiene uniforme hasta llegar al mínimo diámetro crítico.

El mínimo iniciador requerido se incrementa conforme se incrementa el diámetro del barrenado y se vuelve constante arriba de 15 cm (6 pulg.) de diámetro; al tener el mayor confinamiento - posible incrementaremos la velocidad de detonación y con esto podremos reducir al mínimo iniciador requerido para el explosivo.

Los rangos de densidad del ANFO pueden ser de 0.5 a 1.15, el más común de estos rangos es de 0.8 a 0.9, en donde el ANFO tiene su diámetro crítico cuando está bien confinado en su barrenado, en un rango de 2.5 a 5.0 cm (1" a 2"); la aplicación del ANFO se limita cuando es de baja densidad a roca muy blanda o en materiales empacados en areniscas o arcillas.

El agua es el principal problema del ANFO granulado, al encontrarse con agua, ésta sustituye a las partículas de aire y -- pierde sensibilidad la mezcla; se satura la solución de NA y su densidad aumenta a 1.4, volviéndose imposible su detonación.

#### 6.4. SLURRY - HIDROGEL.

Los Slurries, le hacen la competencia al ANFO para trabajos con agua y formaciones rocosas, ya que tienen una excelente resistencia al agua aunque no tienen una extrema potencia y densidad.

Las propiedades de los Slurries son muy similares a las del ANFO, son afectadas si se modifica su balance de oxígeno, el ta-

maño de sus partículas, su densidad, el diámetro del barreno o su confinamiento; la energía que produce el Slurry está en función de un buen balance de oxígeno.

La velocidad de detonación de estos explosivos varía de 3400 hasta 6100 m/s, cuando contiene un alto porcentaje de explosivo; el rango de densidades es 0.7, contiene una gran cantidad de oxígeno. En todos los Slurrys cuando su densidad es incrementada, la velocidad de detonación aumenta; si la densidad del explosivo aumenta, esto redundará en una disminución de su sensibilidad, similarmente como sucede en el ANFO, con la diferencia de que en el ANFO este fenómeno evita la detonación; los Slurrys no tienen esta limitación. Los Slurrys que contienen TNT como sensibilizador siguen conservando su eficiencia hasta una densidad de 1.6.

Su alta resistencia al agua es la gran ventaja sobre el ANFO, sus oxidantes principales son el NA y NS.

La sensibilidad de los Slurrys que no contienen explosivos, como los aluminizados dependen del tamaño de sus partículas, ya que con una pequeña cantidad de este elemento en polvo es suficiente para sensibilizarlo claro que no es tan eficaz como sensibilizarlo con explosivo; además del tamaño de sus partículas depende mucho de la cantidad de aire existente en la mezcla. La aereación de la mezcla es la clave de la sensibilidad de los Slurrys y esto se puede lograr mediante la aplicación de microesferas, un tiempo más largo en su mezclado o sustancias que al reaccionar generen burbujas de aire.



La sensibilidad se pierde por diferentes causas como pueden ser: la presión dentro de un barreno, el "dead press" (presión muerta), al detonar un barreno en la cercanía de otro barreno produce que la onda de choque comprima al explosivo aumentando la densidad de éste, elevándola más allá de la crítica, evitando la detonación del mismo.

#### 6.5. EMULSION.

La energía y la velocidad de detonación de la emulsión confinada o no confinada, es mucho mayor que la del Slurry en el mismo diámetro, el efecto de confinamiento en las emulsiones es casi sin variación como en algunos Slurrys. Otro aspecto notable es el buen funcionamiento y el pequeño cambio que sufre la velocidad en el diámetro crítico, se puede comparar con los explosivos homogéneos (Nitroglicerina), su velocidad de detonación se incrementa rápidamente y alcanza su máxima velocidad de 5640 m/s en diámetros mayores de 10.0 cm (4") y el Slurry la alcanza en diámetros mayores; la emulsión puede ser detonada sin problemas en diámetros de 2.5 cm (1") con cápsula no. 6 en temperatura ambiente normal.

El aluminio utilizado como elemento sensible en las emulsiones incrementa la densidad del compuesto y baja la respuesta detonante del explosivo.

La energía del explosivo se provee por la velocidad de reacción del oxidante con el aceite. La presión de detonación de las emulsiones depende de su densidad y velocidad de detonación que se mide dentro del agua y alcanza un rango de 100 a 120 -- Kbárs.

La Tabla No. 12 muestra el efecto que sufre la velocidad de detonación bajo presión hidrostática.

La Tabla No. 13 muestra las diferencias que existen de potencia en peso y en volumen del ANFO, Slurry y Emulsión.

La potencia en peso de la emulsión (0.84) es un poco más alta que la del Slurry (0.78), las dos son más bajas que la del ANFO (1.0) que vamos a tomar como referencia. Vemos que la potencia por volumen en la emulsión (1.3) es mucho más alta que la del Slurry (1.08) y del ANFO (1.0), esto nos refleja, que la potencia en volumen está afectada directamente por la densidad.

La Tabla No. 14 nos muestra la resistencia de algunos productos colocados dentro de un barreno con agua durante 12 hrs., sin empaque y teniendo agua en circulación. Observemos que las emulsiones son las menos afectadas. Esto debido a la capa de aceite que rodea a las pequeñas partículas emulsificadas y previenen la evaporación del agua e impiden que entre el agua al núcleo de la mezcla.

TABLA 12.- EFECTO QUE SUPRE LA VELOCIDAD DE DETONACION BAJO PRESION HIDROSTATICA.  
EN DIAMETROS PEQUEÑOS CON LOS SLURRYS Y EMULSIONES.

DIAMETRO (mm)	VELOCIDAD DE DETONACION , m/seg, 65°F				
	EMULSION 3.4 atm (50 psi)	SLURRY 1		SLURRY 2	
		1.75 atm (25 psi)	3.4 atm (50 psi)	1.75 atm (25 psi)	3.4 atm (50 psi)
25		Falla Falla		2197	Falla
32	4726 4726	3331 3454	Falla Falla	2855	2583
40	4920 4920	3630 3939 3981	3446 Falla	3048	2662
45	5130 -	4175 -	3110 3680 Falla		
50	5233	-	-		
64	5301	-	-		
Iniciador	N° 8 E.B.CAP	N° 8 E.B.CAP	N° 8 E.B. CAP + I DETAPRIME	N° 8 E.B.CAP	N° 8 E.B. CAP + I DETAPRIME

Podemos concluir que los últimos explosivos que se están fabricando en el mercado actual como las emulsiones, son superiores por su estructura física, como lo podemos demostrar a continuación:

1. Tienen una excelente resistencia al agua.
2. Su vida útil y su estabilidad, continúan por años.
3. Su velocidad de detonación, es mucho mayor.
4. Los podemos utilizar para cualquier tipo de trabajo sin importar el diámetro o las condiciones externas que puedan presentar, el medio que rodea al explosivo.

Los investigadores y fabricantes de explosivos, en el mundo siguen y seguirán buscando productos más efectivos, económicos y seguros, tanto en su fabricación, transportación, almacenamiento y aplicación de los mismos.

Tabla No. 13. Potencia del Anfo, Slurry y Emulsión.

Explosivo	Densidad g/cc	Peso Potencia Relativa	Volumen Potencia. Relativa.
ANFO	0.83	1.0	1.0
Slurry	1.15	0.78	1.08
Emulsión	1.29	0.84	1.31

**Tabla No. 14. Pérdida de peso de algunos Explosivos Comerciales.  
Sin empaque en Diámetro 32 X 1200 mm después de  
12 Horas en agua corriente.**

<b>Explosivo</b>	<b>Por ciento de pérdida de peso.</b>
Dinamex B *1	61.1%
Kímit 80 *2	72.9%
Reomex AM *3	57.6%
Anfo, Nabit *4	100.0%
Tovex 220 *5	60.5%
Explo 1220 A*6	1.2%

- \* 1: Dinamita con 35% NG.
- \* 2: Slurry sensibilizado con Aluminio.
- \* 3: Slurry sensibilizado con Percloratos.
- \* 4: Dinamita de NA con 8% NG.
- \* 5: Slurry sensibilizado.
- \* 6: Emulsión.

## CAPITULO VII

### 7. TRANSPORTE, MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE EXPLOSIVOS.

Toda persona responsable del manejo de sustancias explosivas, deberá recordar que está tratando con una fuerza capaz de desarrollar una fuerza de sin igual potencia y que tiene a su alcance varios dispositivos y métodos que han sido desarrollados cuidadosamente con el fin de auxiliarlo en el control de esta -- fuerza. Deberá comprender que esta energía mal dirigida, puede matar o lesionar ya sea a él mismo o a sus compañeros de trabajo.

La prevención de accidentes en el uso de explosivos, es el resultado de una correcta planeación, muy cuidadosa de las mejores técnicas conocidas en esta materia.

#### 7.1. TRANSPORTE DE EXPLOSIVOS.

La transportación de explosivos en México, está regulada -- por la Secretaría de la Defensa Nacional y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

**7.1.1. MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA EL TRANSPORTE DE EXPLOSIVOS.**

- A) El transporte de explosivos se hará en vehículos dotados y destinados especialmente para ello. Estos vehículos llevarán en tiempo de paz, letreros visibles al frente. El sistema de luces será dispuesto de manera que se pueda hacer visible todo el contorno del vehículo en caso necesario.
- B) Antes de salir, con el vehículo que transporte explosivos se revisará perfectamente el motor, ruedas, suspensión, frenos, luces, etc., no debiendo hacerse el transporte si no se hace en vehículos en excelente estado, efectuando además revisiones menos exigentes durante las detenciones.
- C) Se evitará que en el mismo vehículo se transporten explosivos y otros efectos, cuando sea forzoso hacerlo, se separarán ambas cargas lo suficiente, de cualquier modo nunca se transportarán explosivos combustibles y materiales inflamables en el mismo vehículo ni en el mismo convoy, los detonadores no deben transportarse con los explosivos, en caso necesario, los explosivos se llevarán en cajas y los detonadores en un compartimiento especial.
- D) Ni en los vehículos, ni en sus cercanías se permitirá que se enciendan fuegos, se fume o se manejen aparatos que produzcan chispa o flama. En los transportes por -

ferrocarril, los carros que contengan explosivos se dispondrán lo más alejados posible de la locomotora, poniendo entre ambos otros carros con carga menos peligrosa.

- E) Al embarcar los explosivos, se procederá primero con -- los más viejos, de manera que al colocarse en el polvorn, puedan usarse éstos antes que los nuevos.
- F) Se hace especialmente hincapié en que el término vehículo es aplicable a las cajas trailers y camiones.

## 7.2. MANEJO DE EXPLOSIVOS.

### 7.2.1. ASIGNACION DE RESPONSABILIDADES EN EL MANEJO DE LOS EXPLOSIVOS.

#### 7.2.1. SUPERINTENDENTE O RESPONSABLE DE LA OBRA:

1. Vigilar y controlar que se cumpla con las normas que establece el procedimiento.
2. Autorizar los vales definitivos de consumo que le pase - revisados el supervisor de cada área, en su ausencia puede autorizar la persona que quede al mando.
3. De común acuerdo con el supervisor del área, calcular la carga explosiva para la voladura.
4. Pasar diariamente los vales definitivos para autoriza-ción por el responsable del área.



5. Llevar al día las hojas de control mensual de consumo de explosivos y artificios.
6. Asegurar que las voladuras se realicen dentro del tiempo programado, garantizando así el abastecimiento continuo de caliza a la quebradora.
7. Supervisar se realice oportunamente la devolución al polvorín de los explosivos y artificios sobrantes.
8. Mantener disponible la existencia mínima autorizada de acuerdo con el permiso de almacenamiento de explosivos.

#### 7.2.1.2. POBLADOR O EL ASISTENTE DEL SUPERINTENDENTE:

1. Asegurarse que su agente tenga una clara conciencia de seguridad para garantizar una operación sin riesgos innecesarios.
2. Vigilar por la seguridad de su personal y de las áreas circunvecinas al realizar las voladuras.
3. Calcular la carga de explosivos y llenar el vale de explosivos para cargar barrenos, solicitar autorización del responsable de área (superintendente).
4. Realizar la voladura apegándose a las normas de seguridad que establece este procedimiento.
5. Hacer la devolución de explosivos y artificios sobrantes al polvorín por conducto del almacenista.

### 7.2.1.3. ALMACENISTA.

1. Es responsable del movimiento de entradas y salidas de los explosivos en polvorines y es la única persona que deberá tener llave de éstos.
2. Surtir al supervisor o al asistente del superintendente de la obra, los explosivos y los artificios que se solicitan con la autorización del superintendente.
3. Entregar al superintendente de mina el último día de cada mes el balance mensual de entradas, salidas y existencia de explosivos en unidades.
4. Generar la solicitud de permiso correspondiente, así como coordinar el pedido de explosivos y accesorios, cuando la existencia de explosivos y accesorios llegue a un mínimo. Este deberá contemplar un plazo de aproximadamente una semana para conseguir el permiso y esperar el producto por parte del proveedor.

### 7.2.2. ASPECTOS RECOMENDABLES EN EL MANEJO DE EXPLOSIVOS:

- No regresar al lugar del disparo antes de 1/2 hora en lugares ventilados, límites permisibles de tiempo en cada zona.
- Controlar y vigilar los accesos a las áreas de voladuras durante el disparo.
- Mantener la menor cantidad posible de personas en una voladura.

### 7.2.3. QUEMA DE DESPERDICIOS. (DESTRUCCION):

Quando se requiere destruir explosivos comerciales, se recomienda solicitar el apoyo del fabricante a través de los técnicos expertos con que cuenta, para cada caso en particular.

### 7.2.4. SEGURIDAD DE VOLADURAS.

Una mayor información se puede encontrar en los reglamentos generales de los fabricantes de explosivos y en los reglamentos de seguridad internos de cada compañía.

Precauciones generales que se deben tomar en relación a:

- Personal.
- Antes o después de cada voladura.
- En la voladura.

#### 7.2.4.1. PERSONAL:

En el momento que se quiera introducir a una persona al uso de explosivos, se debe:

- Capacitar y adiestrar en el manejo y uso de explosivos.
- Deberá tener una clara conciencia de lo que debe y no debe hacer con el explosivo.
- Que se encuentre física y mentalmente preparada para el manejo de explosivos.

- Que sea obediente con las normas de seguridad preestablecidas.
- Deberá reconocer que la seguridad de él o de sus compañeros es su responsabilidad.
- El número de personal en las brigadas de voladuras, debe ser el mínimo requerido.

#### 7.2.4.2. ANTES Y DESPUES DE LA VOLADURA:

- No preparar cebos en el interior de los polvorines o cerca de lugares donde exista explosivo.
- No golpear o friccionar los iniciadores.
- No transportar cañuelas e iniciadores junto con cartuchos explosivos al área de voladura.
- No jugar en las áreas de trabajo.
- No cargar explosivos antes de una hora después de terminar la barrenación (Por el riesgo de alta temperatura del barrenado).
- El cargado neumático deberá hacerse con manguera antiestática.
- Verificar que el amarre esté correcto para evitar que existan rabos de barrenos.
- Una vez iniciada la voladura, el personal deberá dirigirse a un lugar seguro.

- El inicio con estopines eléctricos, deberá hacerse desde un lugar seguro.
- No regresar al área de voladuras hasta que los gases tóxicos producidos por la voladura, hayan sido disipados.

#### 7.2.4.3. EN LA VOLADURA:

##### 7.2.4.3.1. OBJETIVO:

Asegurar un control más efectivo en el manejo y uso de los explosivos y artificios tanto en la recepción, almacenaje y su utilización en las voladuras.

##### 7.2.4.3.2. GENERALIDADES:

A continuación se realizarán una serie de comentarios generales en materia de voladuras.

La previsión de los accidentes que se producen por el manejo de explosivos depende de una planeación adecuada y una observación detallada de las normas para efectuar voladuras. El menor abuso o manejo incorrecto de los explosivos pueden causar la muerte o una lesión seria a las personas.

Las normas, los reglamentos y aún el supervisor más experimentado no pueden prevenir los accidentes, únicamente una actitud adecuada de cada integrante del grupo de trabajo hacia la se

guridad, es la responsabilidad individual de cada persona por su propia protección y la de sus compañeros.

La brigada o cuadrilla de voladuras, estará integrada por - el número mínimo de gente necesaria y si el supervisor utiliza - trabajadores eventuales en esta tarea, sólo participarán bajo su control y supervisión directa.

Deberá existir un responsable de la transportación de los explosivos del almacén a los lugares de trabajo. El cargado de los barrenos, la conexión y amarre de la voladura y el encendido de la misma, corresponde al supervisor. El área debe ser despejada en una forma adecuada y con un plan predeterminado que elimine cualquier situación de peligro.

Es recomendable que sólo una persona tenga en su poder las llaves de los polvorines, ésta debe ser el almacenista y quien - sea designado por el responsable de la operación.

#### 7.2.4.3.3. PREPARACION DEL AREA DE LA VOLADURA.

##### A) Barrenación:

1. El barrenar sobre explosivos es una de las causas más - frecuentes de accidentes, en voladuras, por lo que el - supervisor de voladuras empleará las técnicas adecuadas a las necesidades específicas de cada localización, asegurando desde esta etapa una operación sin riesgos.

**B) Explosivos no detonados:**

1. El objetivo para una técnica correcta para voladuras es asegurar que nunca existan explosivos no detonados, pero como precaución por si esto sucediera, el supervisor de voladuras, debe inspeccionar el área después de cada voladura.
2. Si el supervisor de voladuras encuentra carga no detonada, deberá seguir las normas que se establecen en la siguiente sección, tomando en cuenta en cualquier caso, - que no autorizará hacer barrenos en áreas donde se sospeche que exista cargas no detonadas.
3. Cuando se sospeche que en una pata quedaron explosivos sin detonar no deberá barrenarse la pata por la parte inferior por ningún motivo (barrenos horizontales).

Deberá eliminarse la pata con barrenos por la parte superior y paralelos al perfil del frente, asegurándose que estos barrenos no tocarán la zona donde pueden - - existir explosivos, para evitar este último riesgo, es necesario llevar un control de los avances del frente en cada voladura.

**C) Operación de cargado de camiones y alimentación de la Trituradora.**

Cuando el operador del equipo de carga sospecha la presencia de explosivos sin detonar en una voladura, deberá notificar

al supervisor en turno para que sea él quien decida si se trabaja con material de este frente y que precauciones deberán tomarse al cargar los camiones y descargarlos en la trituradora.

D). Cargado de Explosivos.

1. Al cargar los barrenos deberá cuidarse el manejo de los explosivos, ya que la mayoría de los accidentes que ocurren durante el cargado obedecen a esta causa; todos -- los integrantes de una cuadrilla tendrán presentes los siguientes puntos:
  - a) No utilice una barra de acero, ni golpee los explosivos para forzarlos a bajar por barrenos bloqueados.
  - b) No apisona el cordón detonante.
  - c) No utilice apisonadores de metal.
  - d) Al terminar la barrenación asegúrese de que los barrenos no presenten obstrucciones, revíselos mediante la cinta métrica y si es necesario repasar un barrenos con la máquina, deberá hacerse antes de que se traigan explosivos al área.
2. Asegúrese de que el cordón detonante esté correctamente amarrado y conectado al fulminante con la cañuela para eliminar riesgos y fallas.
3. No cargar barrenos calientes por estar recién perfora-



dos o por haberse, quedado un tramo de broca o tubería dentro, que pudiera estar muy caliente, ya que puede - hacer detonar la carga explosiva (primer).

E) Encendido con fulminante y mecha de seguridad:

Es indispensable que la persona que encienda la mecha esté familiarizada con esta operación para reconocer la flama que in dica cuándo la mecha está prendida.

También es muy importante conocer la velocidad de quemado de la mecha y siempre esperar un período seguro de tiempo antes de regresar al lugar de la voladura si la carga no fué iniciada.

Antes del disparo deberán tomarse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Se utilizará una sirena como alarma para que tanto el personal de la empresa como los vecinos del área tengan conocimiento de que se va a realizar una voladura. La sirena deberá sonar por lo menos cinco minutos antes del momento de la voladura.

Durante este lapso el supervisor de voladuras repartirá a las personas que vigilarán los lugares predeterminados y deberá conocer la localización exacta de todo su personal. Si se emplea radio un minuto antes de la voladura se observará silencio, dejando el canal de radio abierto de tal manera que pueda sus-

penderse la voladura, si alguno de los vigilantes observa una -- condición insegura.

2. Se colocarán vigilantes para bloquear todos los caminos de acceso al área de voladuras. Asegurarse que estos -- estén colocados a suficiente distancia del área para -- evitar riesgos de lesiones por rocas en vuelo.
3. Los vigilantes deberán estar informados de cuando deben detener el tráfico y deberán de suspender toda clase de tráfico sin excepción. Los vigilantes deberán contar -- con un medio de comunicación con el coordinador de la -- voladura, de preferencia por radio (se requiere mayor -- información sobre el uso de radios cuando se utilicen -- estopines eléctricos).
4. La gente que eventualmente esté en las cercanías del -- área será trasladada a un lugar seguro con bastante an-- ticipación al momento de la voladura.
5. No se permitirá, que nadie permanezca en una posición -- en que a pesar de la distancia exista riesgo de una pro-- yección de rocas de mayor alcance.
6. Para realizar la operación de encendido de la mecha el supervisor de la voladura utilizará una camioneta "Pick Up", acompañado de otra persona que fungirá como chofer, quien deberá asegurarse que tenga gasolina y esté en -- condiciones correctas de operación. El supervisor uti-

lizará dos tramos de mecha de dos metros cada uno para encender la carga y mientras hace esto, el chofer mantendrá el motor en marcha y la puerta opuesta a él - - abierta.

En estas condiciones deberán tener tiempo suficiente - para ir a un lugar seguro antes de la explosión.

Después de la voladura todos los vigilantes y el personal de trabajo, deberán permanecer en sus posiciones - hasta que el supervisor de voladuras dé aviso de que - "TODO ESTA EN ORDEN Y BAJO CONTROL".

F) Regreso al área de la voladura:

1. Identificación de riesgos.

Después de cada voladura, el supervisor deberá asegurarse de que regrese el personal y el equipo al área, teniendo en cuenta los siguientes puntos:

2. Deberá esperar hasta que el nivel de humos y polvos sea seguro. Los humos tóxicos y aún a cielo abierto representan un riesgo.
3. Inspeccionar los resultados de la voladura con referencia a explosivos no detonados, en especial en el aflamamiento de roca quebrada o en algún barrenos que haya fallado.

4. Identificará, localizará y corregirá condiciones de roca con riesgo de caída.

G) Falla de un barreno:

Apegándose a los procedimientos correctos, el supervisor de las voladuras deberá evitar la falla de barrenos para la realización de las voladuras, sin embargo, si se presenta una falla deberá tomar las siguientes acciones:

1. No se iniciará ningún trabajo en el área de la falla, - con excepción de aquel necesario para eliminar el riesgo potencial que representa la situación insegura.
2. Analizará la situación y procederá a corregirla con personal experto que deberá trabajar en una forma metódica con la mayor seguridad.
3. Revisará con cuidado el o los barrenos que fallaron y - el área adyacente para determinar cuánto explosivo se - quedó sin detonar.
4. En la mayoría de los casos la manera más segura de eliminar los barrenos que fallaron es hacerlos explotar, - por lo que el supervisor procederá a detonarlos, si es que hay suficiente roca alrededor de ellos, para evitar la roca en vuelo, tomará las precauciones del caso.
5. Es importante recordar que las causas más frecuentes de falla son:

- Amarre incorrecto del cordón detonante.
- Empleo de explosivos no resistentes al agua en condiciones húmedas de trabajo.
- Cargado incorrecto de barrenos.
- Ruptura del cordón detonante por no haber detectado que el rollo empleado presentara unión (generalmente se indica en el carrete), lo cual representa un punto débil del cable o ruptura por cualquier otra causa.
- Fallas en el encendido de la mecha.
- Siempre deberán investigarse las causas de la falla para tomar las acciones correctivas y evitar que vuelva a suceder.

#### H) Control de los explosivos:

1. El almacenista deberá certificar que el explosivo que llega, venga debidamente amparado por la remisión del proveedor y el permiso de la zona militar de la Secretaría de la Defensa Nacional.
2. Para la salida de explosivos y artificios de los polvorines, el supervisor de voladuras llenará la forma "Solicitud de Explosivos para cargar Barrenos", esta forma funcionará como vale provisional. El Jefe de Producción comprobará que los explosivos solicitados estén de

acuerdo con lo que se pretende hacer y autorizará la so  
licitud para que el almacén entregue el explosivo.

3. En cuanto se termine de cargar y se haga la voladura, - el supervisor deberá informar sobre el explosivo sobrante de la voladura y restarlo del vale provisional, para que el almacenista haga el vale definitivo que entregará al jefe de producción para su autorización. Los vales definitivos deberán autorizarse en un plazo máximo de 16 horas (depende de cada lugar), después de terminado el trabajo.
4. Los datos del vale definitivo deberán ser pasados por - el responsable de producción a una hoja de control mensual, la cifra acumulada a fin de mes se incluirá en el reporte mensual que se envía a Contabilidad para informar el consumo de explosivos.
5. En todos los trabajos de voladura secundaria, el tiempo total desde que sale el explosivo del polvorín hasta -- que se retorna el explosivo sobrante, no deberá exceder del tiempo establecido previamente.

### 7.3. ALMACENAJE.

El almacenaje de explosivos se realizará en polvorines cons  
truidos especialmente para este fin, cumpliendo las siguientes -  
indicaciones de diseño.

### 7.3.1. CONSTRUCCION DE POLVORINES.

#### 7.3.1.1. UBICACION.

El polvorín deberá establecerse en una área aislada, lejos de lugares habitados, estaciones termoeléctricas, sub-estaciones, torres de alta tensión, carreteras, vías férreas, líneas - telegráficas, gasoconductos y oleoductos. De preferencia protegido por barreras naturales (árboles, lomas, cerros) o bien dentro de cañadas, cañones, etc.

#### 7.3.1.2. CONSTRUCCION.

- a) Cimientos de Mampostería
- b) Columnas de concreto
- c) Muros de concreto, tabique o block
- d) Pisos de cemento
- e) Techos cubiertos con lámina de asbesto o madera
- f) Puertas de madera recubiertas exteriormente con lámina de acero.
- g) Porta candados cubierto
- h) Ventilación

#### 7.3.1.3. ILUMINACION.

En caso de que se instale luz eléctrica, la instalación deberá ser a prueba de explosión, haciéndose desde el exterior por medio de claraboyas practicadas en la pared, por consiguiente to

da la instalación de lámparas, apagadores, interruptores generales, fusibles y contactos, se localizará en el exterior.

#### 7.3.1.4. ILUMINACION NATURAL.

Será por medio de las claraboyas de ventilación a una altura inferior al techo, cubiertos con tela de alambre para impedir la entrada de insectos, roedores, etc. También puede ser con láminas translúcidas colocadas en el techo.

#### 7.3.1.5. DIMENSIONES.

- a) Será de acuerdo con la cantidad de material estimado a almacenar. Se consideran 625 kg. por metro cuadrado.
- b) Deberán tener corredores o pasillos que faciliten la manobra de estiba.
- c) Las instalaciones de agua y drenaje no deberán pasar -- por debajo del polvorín.
- d) Deberán estar protegidas contra descargas eléctricas y estáticas, para el efecto deberán contar con pararrayos.

#### 7.3.1.6. SEGURIDAD.

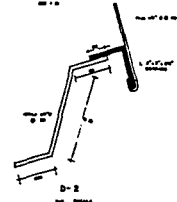
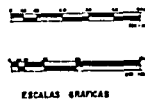
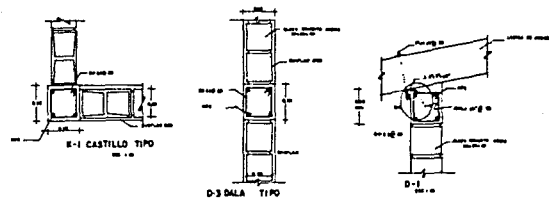
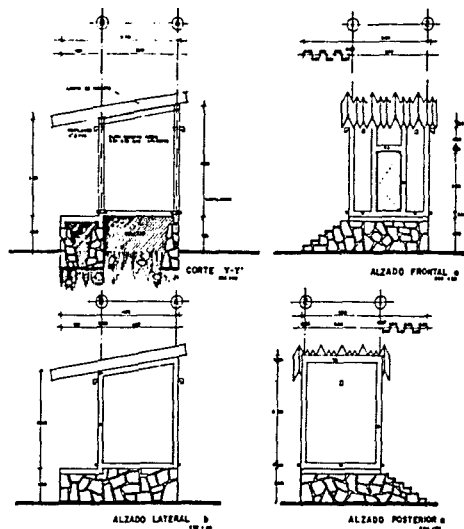
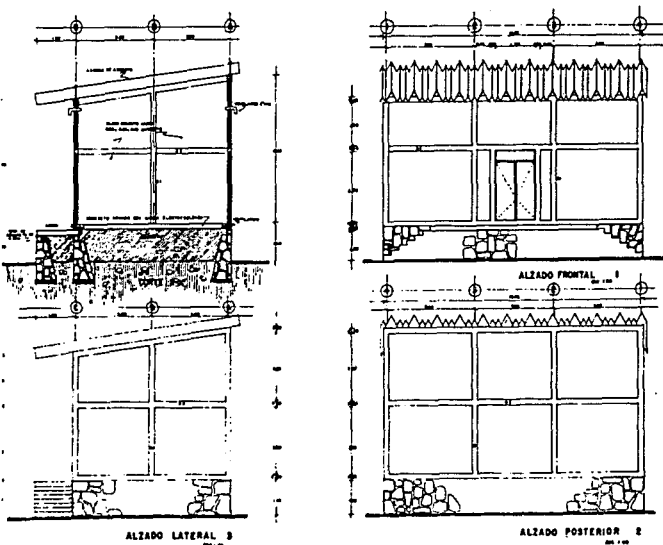
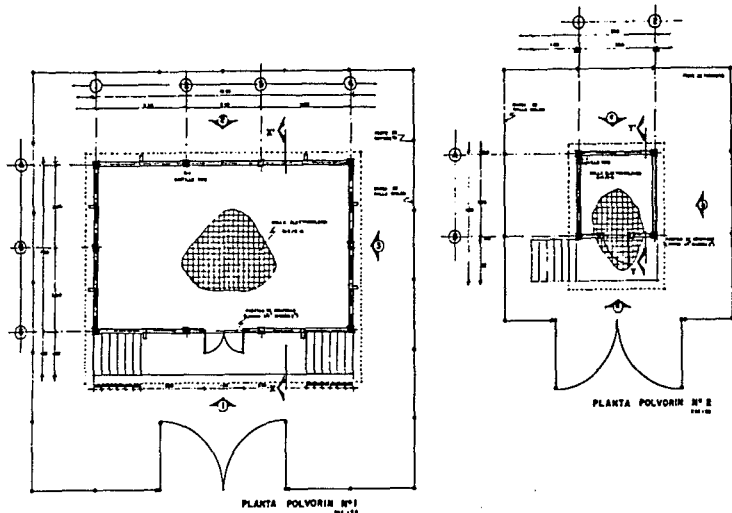
- a) Las estibas de los materiales no deberán exceder de dos metros de altura.



- b) Se recomienda que las estibas tengan firmeza y amarre, así como la separación suficiente para que circule el aire entre los bultos y las cajas.
- c) Se deberá contar con un extinguidor tipo ABC, cuando - menos, por polvorín y estará colocado en la puerta de entrada. El uso del extintor estará condicionado a -- fuegos externos.
- d) Se colocarán equipos auxiliares, como tambos de agua o arena y tener dos cubetas por tambo y dos palas.  
(UN INCENDIO EN UN POLVORIN NUNCA DEBERA DE COMBATIRSE)
- e) Se colocarán letreros de (NO FUMAR) en sitios visibles.
- f) El terreno alrededor del polvorín deberá estar libre de vegetación, pasto y hojas secas, en una área de por lo menos de 25 m.
- g) Se deberá colocar malla ciclón alrededor del polvorín - de 2 m. altura con puerta que pueda asegurarse, y a una distancia de por lo menos 3 m. del mismo.
- h) Se tendrá un dispositivo de seguridad adecuado por medio de vigilantes y veladores, (dos personas las 24 hr).
- i) Proporcionar reglas y procedimientos de seguridad para casos de emergencia.
- j) Los polvorines deberán inspeccionarse en forma periódica para detectar cualquier anomalía.

El almacenamiento de explosivos se basa, en cumplir los requisitos de tablas de compatibilidad y distancia cantidad, con esto se puede asegurar un manejo eficiente del material explosivo y la seguridad de evitar daños a terceros tanto en sus bienes como en sus personas. Esta información se tendrá en cuenta tanto en el almacenaje de explosivos como en su transporte.

A continuación se presentan los planos de construcción de dos polvorines que varían en su tamaño, así como las tablas de compatibilidad y distancia-cantidad, y el embalaje de explosivos.



PLANO 1.  
 PLANTA ARQUITECTONICA  
 DE POLVORINES

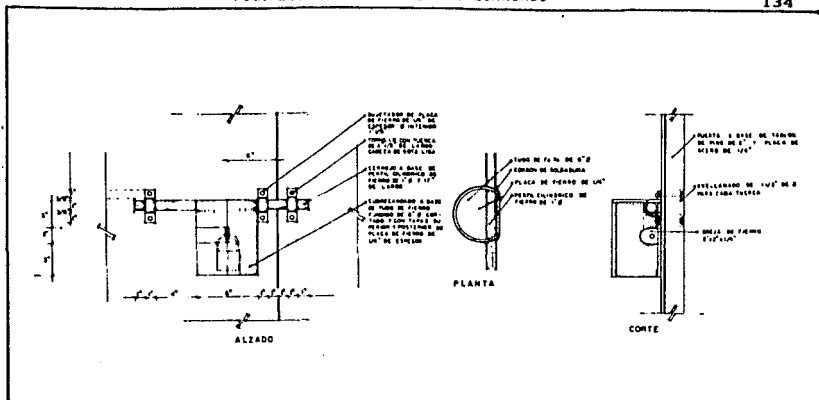


TABLA 15. TABLAS DE COMPATIBILIDAD

TABLA DE COMPATIBILIDAD PARA EL ALMACENAJE

TABLA DE COMPATIBILIDAD PARA EL TRANSPORTE

La "X" indica que los materiales de la línea horizontal pueden almacenarse con los de la línea vertical.

	TOVEX*	SUPER MEXAMON* D	MEXAMON*	INICIADOR DE ALTA PRESION	FULMINANTES REGULARES	ESTORNES ELECTRICOS	DETONADORES O INICIADORES NO ELECTRICOS	MECHA DE SEGURIDAD	CORDON DETONANTE	IGNITACORD (CORDON ENCENDEADOR)	CONECTORES IGNITACORD	CONECTORES PICORDON DETONANTE MS
TOVEX*	X	X	X	X	X			X	X			
SUPER MEXAMON* D	X	X	X	X	X			X	X			
MEXAMON*	X	X	X	X	X			X	X			
INICIADOR DE ALTA PRESION	X	X	X	X				X	X	X		
FULMINANTES REGULARES					X	X	X			X	X	X
ESTORNES ELECTRICOS					X	X	X			X	X	X
DETONADORES O INICIADORES NO ELECTRICOS							X	X	X			
MECHA DE SEGURIDAD	X	X	X	X			X	X				
CORDON DETONANTE	X	X	X	X			X	X				
IGNITACORD (CORDON ENCENDEADOR)					X	X	X		X	X	X	X
CONECTORES IGNITACORD					X	X	X		X	X	X	X
CONECTOR PICORDON DETONANTE MS					X	X	X		X	X	X	X

La "X" indica que los materiales de la línea horizontal, se pueden transportar con los de la línea vertical.

	TOVEX*	SUPER MEXAMON* D	MEXAMON*	INICIADOR DE ALTA PRESION	FULMINANTES REGULARES	ESTORNES ELECTRICOS	DETONADORES O INICIADORES NO ELECTRICOS	MECHA DE SEGURIDAD	CORDON DETONANTE	IGNITACORD (CORDON ENCENDEADOR)	CONECTORES IGNITACORD	CONECTORES PICORDON DETONANTE MS
TOVEX*	X	X	X	X	X	*	*	X	X	*	*	*
SUPER MEXAMON* D	X	X	X	X	X	*	*	X	X	*	*	*
MEXAMON*	X	X	X	X	X	*	*	X	X	*	*	*
INICIADOR DE ALTA PRESION	X	X	X	X		*	*	X	X	*	*	*
FULMINANTES REGULARES					X	X	X		X	X	X	X
ESTORNES ELECTRICOS					X	X	X		X	X	X	X
DETONADORES O INICIADORES NO ELECTRICOS						*	*	X	X	*	*	*
MECHA DE SEGURIDAD	X	X	X	X		*	*	X	X	*	*	*
CORDON DETONANTE	X	X	X	X		*	*	X	X	*	*	*
IGNITACORD (CORDON ENCENDEADOR)					X	X	X		X	X	X	X
CONECTORES IGNITACORD					X	X	X		X	X	X	X
CONECTOR PICORDON DETONANTE MS					X	X	X		X	X	X	X

\* ESTOS PRODUCTOS DEBERAN SER COLOCADOS EN CAJA DE ACCESORIOS PORTATIL O PLUA.

TABLA DE SEGURIDAD DE DISTANCIA-CANTIDAD  
(MATERIALES DEBIDAMENTE EMPACADOS O  
ENVASADOS)

DESCRIPCION DEL MATERIAL	KILOS		DISTANCIAS EN METROS-POLVORINES CON PROTECCION				
	DE	A.	Edificios habitados	Vias férreas	Caminos carreteros	Líneas de alta tensión	Entre Povoines
1. Tovex*, Mexamon* (explosivos al nitrato de amonio), pólvoras negras y sin humo .	000	500	126	100	100	100	11
	500	750	146	100	100	100	13
	750	1 000	160	100	100	100	14
	1 000	1 250	170	100	100	100	15
	1 250	1 500	180	100	100	100	17
	1 500	2 000	200	100	100	100	18
	2 000	3 000	230	100	100	100	20
	3 000	4 000	250	100	100	100	23
	4 000	5 000	260	110	100	100	25
	5 000	6 000	270	117	100	100	26
2. Artificios (Fulminantes, estopines detonadores o iniciadores no eléctricos, conectores cordones encendedores, etc).	6 000	7 000	275	122	100	100	27
	7 000	8 000	285	127	100	100	28
	8 000	9 000	295	132	100	100	30
	9 000	10 000	305	137	100	100	31
	10 000	12 000	330	146	100	100	33
	12 000	14 000	350	154	105	103	35
	14 000	16 000	370	160	110	105	36
	16 000	18 000	390	168	116	112	38
	18 000	20 000	405	173	121	118	39
	20 000	25 000	445	185	135	130	43
3. Por lo que respecta a los "artificios", únicamente se autoriza el almacenamiento en cada polvorín lo equivalente a 4 toneladas, de explosivo.	25 000	30 000	480	200	145	140	46
	30 000	35 000	510	208	155	150	49
	35 000	40 000	535	218	160	155	53
	40 000	45 000	550	226	166	162	56
	45 000	50 000	565	240	169	168	63
	50 000	60 000	575	250	171	168	66
	60 000	70 000	585	262	175	172	73
	70 000	80 000	606	274	182	178	80
	80 000	90 000	620	284	186	183	86
	90 000	100 000	635	294	191	188	93
100 000	125 000	675	378	210	208	117	

EMBALAJES

PRODUCTO	PESO NETO Kgs.	PESO BRUTO Kgs.	LARGO - ANCHO - ALTO en cms. en cms. en cms.
TOVEX*100	25.0	26.5	49 x 45 x 17
TOVEX*700	25.0	26.5	49 x 45 x 17
TOVEX*P	25.0	26.5	68.5 x 37 x 15
TOVEX*EM	25.0	26.5	68.5 x 37 x 15
TOVEX*EXTRA	25.0	26.5	68.5 x 37 x 15
TOVEX*PRIMER	25.0	26.5	68.6 x 20.8 x 21
TOVEX*SEISMOGEL 2 1/2 y 2 1/4	22.7	26.0	56x38x15 - 32 x 33 x 15
SUPER MEXAMON* D	25.0	25.3	80 x 42 x 18
MEXAMON*	25.0	25.3	80 x 42 x 18
FULMINANTES ORDINARIOS 5000 PZAS	10.0	13.0	50 x 25 x 28
ESTOPINES ELECTRICOS 3 MTS. 500 PZAS.	14.0	16.0	42 x 33 x 22
ESTOPINES ELECTRICOS 5 MTS. 500 PZAS	20.0	22.0	55 x 33 x 22
ESTOPINES ELECTRICOS SSS 14 MTS. 48 PZAS. 30 MTS., 48 PZAS.	12.7 - 19.3	14.7 - 21.3	42 x 41 x 20
MECHA 1000 MTS	21.0	23.0	37 x 35 x 35
MECHA 500 MTS.	10.5	11.4	39 x 36 x 19
CORDON DETONANTE TIPO REFORZADO 500 MTS	10.5	11.5	28 x 28 x 30
CORDON DETONANTE TIPO E CORDO 500 MTZ.	6.8	7.8	24 x 24 x 30
CONECTORES IGNITACORD 5000 PZAS	7.0	8.6	46 x 22 x 12
CONECTORES MS-500 PZAS	7.5	10.0	39 x 42 x 36
CORDON ENCENDEDOR 100 CARRETES CON 30 MTS. CADA UNO	20.0	22.0	41 x 39 x 19

\* MARCA REGISTRADA POR DUPONT

TABLA 16. DISTANCIA - CANTIDAD Y EMBALAJES

## **CAPITULO VIII.**

### **8. REGLAMENTACION SOBRE VOLADURAS.**

Existen en México dos Secretarías de Estado encargadas de regular las actividades concernientes a la fabricación, manejo y uso de explosivos dentro de los límites del territorio nacional; reguladas por la vía de una Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos; así como por un Reglamento para la compra-venta, fabricación, transporte y almacenamiento de explosivos, armas y municiones. Estas disposiciones legales son regidas por la Secretaría de la Defensa Nacional y por la Secretaría de Guerra y Marina respectivamente.

#### **8.1.- LEY FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS. SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL.**

La Ley de Armas de Fuego y Explosivos; en su título tercero regula la fabricación, comercio, importación y actividades conexas; relacionadas con los materiales explosivos que se encuentren en territorio nacional, así como aquellos que pretendan in-

gresar al país en cualquiera de sus presentaciones.

Es de especial interés en el desarrollo de este trabajo el presentar el Capítulo Primero.- Disposiciones Preliminares de esta misma Ley con el objeto de conocer en Materia Legal los artículos 37; 38; 39; 40; 41, Fracción III, IV y V; 42, Fracciones I, II y III; 44; 45; 46 y 47. Relacionados a la Industria de Explosivos en nuestro país.

"Artículo 37.- Es facultad exclusiva del Presidente de la República autorizar el establecimiento de fábricas y comercios de armas.

El control y la vigilancia de las actividades y operaciones industriales y comerciales que se realicen con armas, municiones, explosivos, artificios y sustancias químicas, será hecho por la Secretaría de la Defensa Nacional.

Los permisos específicos que se requieran en estas actividades serán otorgados por la Secretaría de la Defensa Nacional con conocimiento de la Secretaría de Gobernación y sin perjuicio de las atribuciones que competan a otras autoridades.

Las dependencias oficiales y los organismos públicos federales que realicen estas actividades, se sujetarán a las disposiciones legales que las regulen.

"ARTICULO 38.- Los permisos a que se refiere el Artículo anterior, no eximen a los interesados de cubrir los requisitos que señalen otras disposiciones legales, según la naturaleza de sus actividades."

"ARTICULO 39.- En los casos a que se refieren los Artículos 37 y 38 de esta Ley, se requerirá la conformidad de las autoridades Legales y Municipales del lugar respecto a la seguridad y ubicación de los establecimientos correspondientes."

"ARTICULO 40.- Las actividades industriales y comerciales relacionadas con armas, municiones, explosivos y demás objetos de uso exclusivo del Ejército y Fuerza Aérea, se sujetarán a las disposiciones que dicte la Secretaría de la Defensa Nacional. - Cuando el material sea de uso exclusivo de la Armada de México, esas actividades se sujetarán a las disposiciones de la Secretaría de Marina."

El Departamento de la Industria Militar se regula por sus propias normas legales."

"ARTICULO 41.- Las disposiciones de este Título son aplicables a todas las actividades relacionadas con las armas, objetos y materiales que a continuación se mencionan.

I. Armas

- a) Todas las armas de fuego permitidas, que figuran en los



**Artículos 9 y 10 de esta Ley;**

- b) Armas de Gas;
- c) Cañones Industriales; y
- d) Las partes constitutivas de las armas anteriores.

**II. Municiones.**

- a) Municiones y sus partes constitutivas destinadas a las armas señaladas en la Fracción anterior; y
- b) Los cartuchos empleados en las herramientas de fijación de anclas en la industria de la construcción y que para su funcionamiento usan pólvora.

**III. Pólvoras y Explosivos.**

- a) Pólvoras en todas sus composiciones;
- b) Acido Pícrico;
- c) Dinitrotolueno;
- d) Nitroalmidones;
- e) Nitroglicerina;
- f) Nitrocelulosa; tipo fibrosa, humectada en alcohol con una concentración de 12.2% de Nitrógeno como máximo y con un 30% de Solvente como mínimo. Tipo cúbica (densa pastosa), con una concentración del 12.2% de Nitrógeno como máximo y hasta el 25% de Solvente como mínimo;
- g) Nitroguanidina;
- h) Tetril;

- i) Pentrita (P.E.T.N.) o Penta Eritrita Tetranitrada;
- j) Trinitrotolueno;
- k) Fulminato de Mercurio;
- l) Nitruros de Plomo, Plata y Cobre;
- m) Dinamitas y Amatoles;
- n) Estifanato de Plomo;
- o) Nitrocarbonitrados (Explosivos al Nitrato de Amonio)
- p) Ciclonita (R. D. X.)
- q) En general, toda sustancia, mezcla o compuesto con propiedades explosivas.

#### IV. Artificios

- a) Iniciadores;
- b) Detonadores;
- c) Mechas de Seguridad;
- d) Cordones Detonantes;
- e) Pirotécnicos
- f) Cualquier instrumento, máquina o ingenio con aplicación al uso de explosivos.

#### V. Sustancias Químicas relacionadas con explosivos.

- a) Cloratos;
- b) Percloratos;
- c) Sodio Metálico;
- d) Magnesio en Polvo;
- e) Fósforo;

- f) Todas aquellas que por sí solas o combinadas sean susceptibles de emplearse como explosivos."

"ARTICULO 42.- Los permisos específicos a que se refiere - el Artículo 37 de esta Ley pueden ser:

I. Generales, que se concederán a negociaciones o personas que se dediquen a estas actividades de manera permanente;

II. Ordinarios, que se expedirán en cada caso para realizar operaciones mercantiles entre sí o con comerciantes de otros países, a las negociaciones con permiso general vigente; y

III. Extraordinarios, que se otorgarán a quienes en forma eventual tengan necesidad de efectuar alguna de las operaciones a que este Título se refiere."

"ARTICULO 43.- La Secretaría de la Defensa Nacional podrá negar, suspender o cancelar discrecionalmente los permisos a que se refiere el Artículo anterior, cuando las actividades amparadas con los permisos entrañen peligro para la seguridad de las personas, instalaciones, o puedan alterar la tranquilidad o el orden público."

"ARTICULO 44.- Los permisos son intransferibles.

Los Generales tendrán vigencia durante el año en que se ex-

pidan, y podrán ser revalidados a juicio de la Secretaría de la Defensa Nacional.

Los Ordinarios y Extraordinarios tendrán la vigencia que se señale en cada caso concreto."

"ARTICULO 45.- Las fábricas, plantas industriales, talleres, comercios y demás establecimientos que se dediquen a las actividades reguladas en este Título, deberán reunir las condiciones de seguridad, funcionamiento técnico, ubicación y producción que se determine en el Reglamento."

"ARTICULO 46.- La Secretaría de Relaciones Exteriores, para conceder Licencias o Autorizaciones relativas a la constitución o modificación del Acta Constitutiva o Estatutos de Sociedades, cuyo objeto sea establecer o desarrollar industrias o comercio de armas, municiones y explosivos, y para otorgar permisos a dichas sociedades con el objeto de que adquieran negociaciones o instalaciones relativas a las expresadas industrias o comercios, deberá exigir que se cumplan los requisitos que a continuación se indican:

a) Que en el capital social exista una proporción mínima - de 51% con derecho a voto, suscrita por mexicanos o sociedades mexicanas que tengan cláusulas de exclusión de extranjeros, o el porcentaje mayor que conforme a la escritura social se requiera

para cualquier resolución relacionada con la operación en sociedad.

b) Para tales efectos, cuando se trate de sociedades anónimas, el capital social deberá estar constituido por dos series de acciones: una, de nominativas, exclusivas para accionistas mexicanos, debiendo constatar en los títulos respectivos que no pueden ser transmitidos a extranjeros o sociedades mexicanas que no reúnan los requisitos indicados en este Artículo; y otra, de libre circulación.

c) La escritura social establecerá que los administradores serán designados por los socios o accionistas mexicanos de la sociedad y que dichos nombramientos deberán recaer en personas de nacionalidad mexicana.

Las instituciones de crédito y organizaciones auxiliares sólo podrán operar con las sociedades cuyos objetos sociales quedan especificados, si les consta que han satisfecho las prevenciones del presente Artículo."

"ARTICULO 47.- Cuando se trate de operaciones de adquisición de acciones o de participación en sociedades, por extranjeros, sociedades extranjeras o sociedades mexicanas con cláusulas de admisión de extranjeros, los permisos a que se refiere el Artículo 46, podrán otorgarse por la Secretaría de Relaciones Exteriores cuando no se infrinjan las disposiciones contenidas en el citado precepto."

## 8.2.- REGLAMENTO PARA LA COMPRA-VENTA, FABRICACION, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE EXPLOSIVOS, ARMAS Y MUNICIONES

La Reglamentación de las actividades comerciales y de almacenamiento de sustancias explosivas, corre a cargo de la Secretaría de Marina mediante el Reglamento para la compra-venta, fabricación, transporte y almacenamiento de explosivos, armas y municiones.

El interés por este Reglamento y sus disposiciones mana de los capítulos I al V, que legislan en materia, las distintas actividades relacionadas a nuestro Tema de estudio. Se detallan -- como sigue:

**Capítulo I.-** Generalidades; Artículos 1; 2 y 3; que en materia legal definen el nombre genérico de explosivo, así como -- las aplicaciones pacíficas de estos materiales.

**Capítulo II.-** Compra-venta de armas y explosivos; Artículos 10; 11; 12; 13; 15; 19; 20; 21; 22; 23 y 24. Los requisitos legales mínimos para el establecimiento de comercios o sociedades destinados al comercio de explosivos y los medios de control administrativo que dicho Reglamento dispone para estas actividades.

**Capítulo III.-** Fabricación de Explosivos; Artículos 25; -- 26 y 27. La autorización y los requisitos para establecer una -- industria de fabricación de explosivos.

**Capítulo IV.- Transporte; Artículos 28; 29; 30 y 31.** Autorización de transporte, motivos del mismo y lugar donde se llevará a cabo la entrega, informando del día de salida y llegada de la mercancía.

**Capítulo V.- Fábricas, almacenajes y depósitos; Artículos 33; 35 y 37.** Lugar de ubicación de fábricas y almacenes, que -- cuenten con la infraestructura adecuada para manejar explosivos y un reporte mensual de existencias bajo la más estricta responsabilidad de los propietarios.

A continuación se transcriben los capítulos y artículos antes mencionados tal cual se encuentran en el Reglamento Oficial de la Secretaría de Marina.

## Secretaría de Guerra y Marina

### REGLAMENTO

#### para la

Compra-venta, fabricación, transporte y almacenamiento  
de explosivos, armas y municiones.

#### Capítulo I

##### Generalidades.

"Artículo 1.- El objeto del presente Reglamento es poner bajo vigilancia de la Secretaría de Guerra, las operaciones que en

el Título se indican a fin de evitar el empleo indebido que pudiera hacerse, de armas, municiones, explosivos y artificios; -- las personas a quienes afecte en algún modo esta reglamentación, deberán sujetarse estrictamente a las prescripciones siguientes:

Para la aplicación de este Reglamento quedan comprendidas - bajo la denominación genérica de armas de fuego, todos los instrumentos destinados especialmente para el ataque, la defensa y los deportes y que tienen por agente motor la inflamación de la pólvora; considerándose como tales las de guerra, de caza, deportes y las usadas para la defensa personal.

"ARTICULO 2.- En principio se dá el nombre genérico de explosivo a todo compuesto químico susceptible de transformarse - dando lugar a un desprendimiento rápido de una gran cantidad de gases a alta temperatura.

Se distinguen dos grupos principales de materias explosivas, tomando como características la velocidad de su transformación - en gases; cuando esta velocidad es relativamente moderada, la -- descomposición tiene la apariencia de una combustión o deflagración más o menos viva; las materias de esta categoría son las denominadas pólvoras y generalmente se emplean en las armas.

Cuando la velocidad de descomposición es extremadamente elevada, la transformación es casi instantánea y se trasmite a la -



masa, no por combustión simple, sino por la propagación de una especie de choque, debido al fenómeno llamado onda explosiva, se dice entonces que hay detonación; las materias de esta categoría son llamadas explosivos detonantes o rompientes o simplemente explosivos."

"Artículo 3.- Clasificación.- Las sustancias explosivas, examinadas desde el punto de vista de sus aplicaciones, se clasifican en cuatro categorías. -De las cuales sólo dos revisten importancia para nuestro trabajo-

1a.- Con el objeto de producir trabajo de ruptura por la utilización de la fuerza viva de los gases (por presión o por efecto de choque). Estos son los explosivos lentos y los rompientes llamados simplemente explosivos.

3a.- Como instrumentos transmisores o incitadores de combustión (mechas, cuerdas detonantes, cebas, cápsulas, estopines). Estos son los artificios de ceba."

## CAPITULO II

Compra y venta de armas y explosivos.

"Artículo 10.- Queda estrictamente prohibida la importación, comercio, adquisición y uso de armas, municiones y explosivos, de los comprendidos en las clasificaciones anteriores, a toda perso-

na, compañía, industria, etc., que no obtenga previamente la autorización respectiva de la Secretaría de Guerra.

"Artículo 11.- La Secretaría de Guerra podrá conceder los permisos correspondientes a las siguientes personas o sociedades:

a).- A los comerciantes en el giro de los artículos mencionados para operaciones de importación, exportación y compra-venta en el país.

b).- A las personas que transitoriamente se dediquen a esta clase de negocio, para las operaciones indicadas en el inciso anterior.

c).- A las personas o compañías que por la naturaleza de sus trabajos, tengan necesidad de proveerse de armas, municiones y explosivos para dichos trabajos o para su defensa o la de sus intereses."

"Artículo 12.- Las personas o compañías, etc.... comprendidas en los incisos (a), (b) y (c) anteriores, formularán sus solicitudes de permiso de acuerdo con el modelo número 1 que figura al final de este Reglamento, y además cumplirán con los requisitos que en seguida se expresan.

1a.- Acompañarán dos certificados: uno de la autoridad civil y otro de la militar, del lugar en que radique el interesado,

en los que se abone su honorabilidad, haciendo constar también - en el primero el tiempo que tiene establecido en dicho lugar, y en el segundo, si es o no conveniente el permiso que se expide.

2a.- Remitirán además un certificado de estar al corriente en el pago del impuesto sobre sueldos y utilidades o certificado de exención.

3a.- Tratándose de comerciantes deberán indicar los lugares del país donde hayan estado establecidos en esta clase de negocios.

4a.- Los comerciantes en armas y explosivos llevarán un Libro Registro con el rayado del modelo Núm. 2."

"Artículo 13.- Cuando por algún motivo no pueda efectuarse una operación de venta con la persona para la que se hubiere concedido permiso, y se pretenda efectuarla con otra, se elevará -- una solicitud de acuerdo con el modelo Núm. 3."

"Artículo 15.- Las personas comprendidas en el inciso (c) - del Artículo 11, expresarán además, en la solicitud respectiva:

1o.- La clase de trabajo a que se dediquen, justificando - debidamente la necesidad de emplear en ellos los artículos que - pretendan adquirir.

2o.- La cantidad y clase de los efectos, así como la cantidad que deben consumir mensualmente, y

3o.- El nombre y el domicilio de las casas donde se proveen de dichos artículos."

"Artículo 19.- Los particulares y las compañías comprendidos en los incisos (a), (b) y (c) del Artículo 11, deberán rendir mensualmente a esta Secretaría, de una manera invariable, una información detallada acerca del movimiento de entrada y salida y lugar de almacenamiento de sus artículos, sujetándose para ello al modelo N.º 7. Si de las informaciones anteriores se desprende que el movimiento no está de acuerdo con el permiso concedido, la Secretaría de Guerra cancelará este último."

"Artículo 20.- Las personas a que se refieren los incisos (a), (b) y (c) del Artículo 11, no podrán efectuar ventas al mayoreo más que a las personas autorizadas de acuerdo con este Reglamento, por esta Secretaría. Tratándose de ventas al menudeo deberán exigir a los compradores la autorización respectiva para adquirir los efectos que pretendan."

"Artículo 21.- Las adquisiciones que efectúen directamente de sus matrices respectivas, las sucursales o agencias de casas nacionales o extranjeras establecidas en el país, se considerarán para los efectos de este Reglamento, como operaciones de compra-venta."

"Artículo 22.- No se concederán permisos de importación a -- los representantes de fábricas extranjeras o de compañías vendedoras radicadas fuera del país, sino que dichos permisos serán concedidos a las negociaciones, industrias, comerciantes, sociedades o personas que van a adquirirlos para su empleo, venta o uso personal."

"Artículo 23.- El permiso de importación no incluye el de -- transporte, por lo tanto, este último se gestionará independientemente del primero sujetándose a lo que en su parte relativa previene este Reglamento."

"Artículo 24.- Los permisos de adquisición o importación concedidos por esta Secretaría a empresas, comerciantes o particulares, serán intransmisibles."

### Capítulo III.

#### Fabricación de Explosivos.

"Artículo 25.- Toda empresa o negociación que pretenda establecer una industria de fabricación de explosivos debe obtener -- previamente la autorización de la Secretaría de Guerra."

"Artículo 26.- La solicitud para establecer una industria -- de fabricación de explosivos debe contener los datos siguientes

y llenar los requisitos que en seguida se expresan:

1o.- Acompañar una copia certificada del acta constitutiva de la sociedad o compañía.

2o.- Manifiestar el monto del capital que se piensa invertir.

3o.- La producción probable.

4o.- El personal encargado de la dirección técnica de fabricación, acompañando copias de sus títulos profesionales.

5o.- Acompañar planos detallados de la edificación e instalación industrial y ubicación.

6o.- Manifiestar la naturaleza de los explosivos que se van a fabricar, y

7o.- Indicar los lugares donde se pretendan establecer depósitos y sucursales."

"Artículo 27.- Para la fabricación y almacenamiento los fabricantes se atenderán a lo que previene este Reglamento."

#### Capítulo IV.

##### Transporte.

"Artículo 28.- El transporte de armas, municiones, artificios y explosivos, en el interior del país, no podrá hacerse, --

cualquiera que sea el medio que se emplee sin autorización previa de esta Secretaría."

"Artículo 29.- A fin de cumplir con el requisito fijado en el Artículo anterior, al ser elevada una solicitud para este objeto, se observarán las prescripciones siguientes:

(a).- Se indicarán el nombre y nacionalidad del interesado, así como su domicilio particular y, en su caso, el de la razón social que represente.

(b).- Se expresará el motivo que origina el transporte.

(c).- Deberá indicarse los medios de transporte que vayan a ser empleados, así como los lugares en que se encuentren y adonde vayan a ser remitidos los artículos.

(d).- Se manifestarán también los puntos más importantes -- del tránsito, para que, en caso de inseguridad, esta Secretaría provea lo conveniente.

(e).- Se detallarán debidamente la clase y cantidad de los efectos que vayan a transportarse, indicando la naturaleza de sus envases y número de ellos (modelo número 8)."

"Artículo 30.- Las personas autorizadas para efectuar un transporte, deberán dar cuenta a esta Secretaría, dentro de los diez días siguientes a la fecha en que se haya verificado la ope-

ración del día de la salida y la llegada de los artículos transportados, comprobando que esta última se hizo de conformidad con la solicitud respectiva, por medio de un certificado de la autoridad militar del lugar de destino."

"Artículo 31.- En caso de que por alguna circunstancia no hayan llegado a su destino los artículos transportados, se dará cuenta inmediata a esta Secretaría, manifestando ampliamente las causas que lo hayan motivado; si la Secretaría de Guerra lo estima conveniente hará, en estos casos, las investigaciones a que haya lugar."

#### CAPITULO V.

##### Fábricas, almacenes y depósitos.

"Artículo 33.- Todos los fabricantes y comerciantes de la República, en armas, municiones, artificios y explosivos, deberán dar a conocer por escrito a esta Secretaría, el lugar preciso en donde se encuentren ubicadas sus fábricas, almacenes y depósitos, así como la clase, cantidad y procedencia de los artículos que guarden o produzcan."

"Artículo 35.- Toda compañía, sociedad o persona que para su uso particular o para su venta, importe explosivos de los comprendidos en las categorías primera y segunda, o los fabrique, -



tendrán obligación de depositar en construcciones apropiadas que se denominarán, polvorines o casamatas, ya sean de su propiedad o de otras compañías".

**"Artículo 37".-** Toda compañía, sociedad o personar que almacena explosivos, tiene la obligación de rednir a esta Secretaría, mensualmente un balance de sus existencias con los datos sigüentges: existgencia anterior, entrada de explisi--vos, consumo diaro y existencia para el mes siguiente. Estos datos serán bajo su más estricta responsabilidad y deberán ser comprobados por los inspectores.

**"Artículo 38".-** Los permisos a que se refiere el Artí culo anterior, no eximen a los interesados de cubrir los requi sitos que señalen otras disposiciones legales, según la natu raleza de sus actividades.

**"Artículo 39".-** En los casos a que se refieren los - Artículos 37 y 38 de esta ley, se requerirá la conformidad de las autoridades legales y Municipales del lugar respecto a la seguridad.

## MODELO NUM. 1

SOLICITUD PARA CONCEDER PERMISO A COMERCIANTE O COMPAÑIA,  
PARA EFECTUAR OPERACIONES DE IMPORTACION, EXPORTACION  
O COMPRA-VENTA DE ARMAS Y EXPLOSIVOS.

Al C. General de División, Secretario de Guerra.  
MEXICO, D. F.

N. N., de (tantos) años de edad, (profesión o empleo), con domicilio en . . . . . ante o representante de la (casa comercial, Compañía o industria) ubicada en . . . . . registrada bajo el número . . . . . de giros (comerciales o industriales), solicita permiso para (importar, comprar, vender o exportar) los siguientes artículos:

**Exportación,  
ARMAS Y MUNICIONES**

Marca o Sistema	Calibre	Velocidad Inicial	Cantidad	Procedencia	Destino
<b>Compra o Venta</b>					
<b>de Armas y Explosivos.</b>					
<b>EXPLOSIVOS Y POLVORAS</b>					

Nombre	Cantidad en Kilogramos	Procedencia o Origen	Debito de la Operación	Dece

Estos efectos entrarán al País (caso de importación) por la Aduana de . . . . . y se dará el aviso correspondiente a esa Secretaría a su llegada.

Protesto a Ud., mi atenta consideración.

LUGAR, FECHA Y FIRMA

MODELO NUM# 2..

## Registro que deberán llevar los Comerciantes en Armas, Municiones y Explosivos

Nombre de la Casa de Comercio.      Nombre del propietario o gerente.

Ubicación.      Número del permiso para venta concedido por la Secretaría.

Nombre del Adquiriente	Domicilio	Profesión o Empleo	Número de su Permiso	Armas o municiones que Adquiera	Uso a que se Destina
		<b>Registro para Comerciantes en Armas, Municiones y Explosivos.</b>			



Razón Social de la Casa

Número del permiso de la Secretaría de Guerra para vender armas y municiones.

Ciudad y Domicilio.

Informe que se vende conforme al artículo No. \_\_\_\_\_ del Reglamento respectivo, correspondiente al mes de \_\_\_\_\_ de 192\_\_\_\_\_

MODELO NUM. 5

Nombre del comprador	Domicilio de este	Número de su permiso para comprar	Número de su permiso para portar armas	Artículos que adquiere	Cantidad	Etc. a que los destino

# INFORME MENSUAL

BALANCE DE LAS EXISTENCIAS

	Perfiles	Carabinas o Rifles	Escopetas	Municiones para pistola	Municiones para carabina o rifle	Municiones por transporte	Explosivos	Pólvora	Match, Españoles, etc.
Existencia en _____									
Comprado durante el mes _____									
Suma _____									
Vendido durante el mes _____									
Exist. para el mes entrante									

Los Almacenes están ubicados en \_\_\_\_\_

Lugar fecha y firma.

Modelo núm. 8.

**SOLICITUD PARA EL TRANSPORTE DE ARMAS Y EXPLOSIVOS**

Al C. General de División Secretario de Guerra,

México, D. F.

N.N., de tal nacionalidad, mayor de edad y en pleno uso de sus derechos, Gerente, representante o propietario de la negociación denominada ..... con domicilio en ..... y registrado bajo el número ..... de giro comercial (o industrial), solicita de esa Secretaría de Guerra el permiso para el transporte de los siguientes artículos:

**ARMAS Y MUNICIONES**

Marca o sistema	Catibre	Velocidad inicial	Cantidad	Procedencia	Destino	Objeto del Transporte
<b>SOLICITUD PARA TRANSPORTE DE ARMAS Y</b>						

**EXPLOSIVOS Y POLVORAS**

Nombre	Cont. en K.	Procedencia	Destinos	Objeto del Transporte	Usos
<b>EXPLOSIVOS</b>					

Los efectos anteriormente señalados serán embarcados en ..... pesando por los puntos principales e intermedios siguientes.....

Protesto a Ud. mi atenta consideración.

LUGAR, FECHA Y FIRMA.

## CAPITULO IX

### 9. DISEÑO DE VOLADURAS.

El diseño y la realización de voladuras, es responsabilidad del Ingeniero Civil; basándose en cálculos teóricos y prácticos, de las propiedades de los explosivos, así como las de los materiales y fórmulas propias de las teorías de voladuras. Se ha obtenido una teoría para el uso de explosivos, que representa un modelo confiable de la realidad, al cual sólo se le realizan correcciones mínimas, en la práctica para lograr una voladura óptima de trabajo. TABLA 17.

Existen dos tipos de voladuras:

1. Voladura de Banqueo
2. Voladura Subterránea.

9.1. VOLADURA DE BANQUEO. La voladura de banqueo se realiza generalmente a cielo abierto, aunque en los últimos años, se -

ha convertido en parte del proceso constructivo de túneles - túnel piloto, frente superior y banqueo -.

#### Variables controlables

- Diámetro de barreno
- Profundidad del barreno
- Sub-barrenación
- Inclinación del barreno
- Altura de la boca del barreno
- Altura del taco
- Material del taco
- Plantilla de barrenación
- Reacción de separaciones del banco
- Configuración y tamaño de la voladura
- Dirección de la voladura
- Sistema de ignición
- Secuencia de ignición
- Núm. de capas libres
- Tipo de explosivo
- Energía del explosivo
- Carga geométrica
- Método de carga
- Agua (algunas veces incontrolable)
- Etc.

#### Variables incontrolables

- Geología
- Resistencia y propiedad de los materiales
- Discontinuidades estructurales
- Condiciones climáticas
- Agua (algunas veces - controlable)
- Etc.



Nota: Típica  
realización de  
voladura en me  
nos de 2 seg.  
de duración

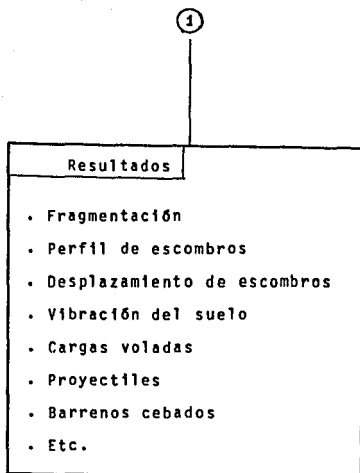


Tabla 17. Típica realización de voladura en menos de 2 seg. de duración.

Existen cinco estándares que deben evaluarse en el cálculo de voladuras y todos son dimensionales. Estos se pueden aplicar tanto en voladuras a cielo abierto como en las subterráneas. -- Por simplicidad, serán discutidas aplicándolas a una superficie libre.

Los cinco estándares son los siguientes:

1. Bordo
2. Profundidad de barrenación
3. Subarrenación
4. Espaciamiento de barrenos
5. Taco

#### 9.1.1. BORDO.

La más crítica e importante de las dimensiones en voladuras, puede ser considerada como la distancia entre el barreno cargado y la superficie libre, hacia donde se desplaza el material.

Este valor depende de una combinación de variables que incluyen las características de la roca y del explosivo usado.

#### 9.1.2. PROFUNDIDAD DE BARRENACION.

La experiencia ha dictado, que un barreno nunca deberá de ser perforado a una profundidad menor que las dimensiones del --bordo, ya que la longitud de barrenación óptima se encuentra entre 1 1/2 a 4 veces la dimensión del bordo.

Uno podría decir que con un diámetro de barrenación de 3 -- pulg. (7.62 cm), un explosivo con densidad normal de 1.6 gr/cm<sup>3</sup>, en una roca de dureza media con una distancia de bordo igual a -

2.3 m; una profundidad de barrenación de 3 a 10 m dará resultados satisfactorios.

Una profundidad mayor en la barrenación daría como resultado problemas en el correcto desplazamiento del material, reflejado - casi siempre en el fondo del banco, donde queda un remanente de material que no fue volado, conocido como "pata". Si la barrenación se realiza inclinada, se logra una disminución considerable en la pata de la voladura.

#### 9.1.3. SUBARRENACION.

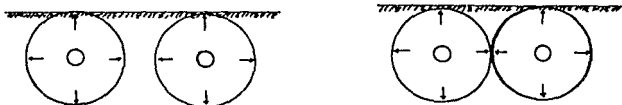
La primera razón para barrenar por debajo del nivel de piso en el banco, es asegurarse de que toda la superficie sea removida. Pisos accidentados causados por remanentes de material o patas, causan problemas en la siguiente barrenación.

Esta dimensión nunca debe ser menor de 0.2 en dimensiones - de bordo, en barrenos inclinados se requiere menor subarrenación y en barrenos horizontales este procedimiento no se realiza por no ser necesario.

Como ejemplo; en un diámetro de 3 plg. (7.62 cm) lleno con explosivo y un bordo de 2.3 m, en roca muy densa se puede realizar una subarrenación de 0.3 ; la barrenación se realizará -  
\* por debajo del nivel de piso en aproximadamente 70 cm.

#### 9.1.4. ESPACIAMIENTO DE BARRENOS.

En voladuras comerciales usualmente se requiere del uso de múltiples barrenos. Haciendo necesario para voladuras conocer -- si existe o no agua en los barrenos y múltiples efectos entre -- las cargas: si las cargas adyacentes son iniciadas separadamente (en secuencia), con un intervalo de retardo con tiempo suficiente para permitir que cada carga complete su acción destructiva y si existe interacción entre las ondas de energía. Fig. 25



Barrenos muy separados producen problemas de pata en la voladura.

La acción de ambos barrenos - muestran una correcta utilización de la energía explosora.

Fig. 25 Espaciamiento entre barrenos.

Idealmente la energía se balancea entre las cargas correctamente cuando el espaciamiento es aproximadamente igual a 2 veces el bordo, cuando las cargas se inicializan simultáneamente. Para largos intervalos de retraso el espaciamiento podría ser aproximado a la longitud del bordo; para periodos pequeños este dimensionamiento varía de 1 a 2 veces la distancia del bordo, dependiendo del intervalo de retraso usado.

El tamaño uniforme del material es el resultado directo del espaciamiento de las cargas en la plantilla de barrenación.

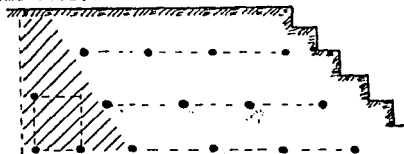
Los principios básicos para seleccionar el correcto espaciamiento entre barrenos de múltiples voladuras son las siguientes

1. Para secuencia de retardos en la misma fila el espaciamiento deberá estar cerca de 1.
2. Para una inicialización simultánea de barrenos en la -- misma fila de preferencia el espaciamiento será cercano a 2.
3. Para secuencias de tiempo en la misma fila e inicialización simultánea lateralmente entre barrenos en filas ad yacentes, el arreglo de barrenación será cuadrado para evitar el desequilibrio en los esfuerzos.
4. La plantilla de barrenación se alternará preferiblemente entre filas, dentro de la cual todas las cargas serán inicializadas simultáneamente.

En el ejemplo que ha venido sirviendo de aplicación tenemos diámetro de 3 plg. (7.62 cm), bordo de 2.3 m; donde 3 X 3 m de -- plantilla cuadrada es adecuada para una secuencia de tiempo en -- la misma fila; pero con 2.3 m X 4 con una plantilla alternada -- (tresbolillo) el trabajo podría realizarse igualmente bien, cuando todos los barrenos en la misma línea son disparados juntos.



Inicialización retardada para barrenos en la misma fila.



Inicialización simultánea para barrenos en la misma fila - la voladura requiere de una planchuela cuadrada en la esquina.

Fig. 26 Plantillas básicas de voladura con condiciones ideales.

#### 9.1.5. TACO.

El taco se refiere al material con el cual se rellena la parte superior del barreno, con el propósito de confinar los gases - producto de la reacción química del explosivo, elevando la presión en el interior del barreno.

La experiencia ha mostrado que el valor dimensional de este elemento es razonablemente aproximado a 0.7 de la dimensión del borde.

Como ejemplo; para un diámetro de 3 plg. (7.62) con una carga explosiva ubicada a 2.3 m de la superficie libre (bordo); 1.5 a 1.8 m de taco es en general satisfactorio.

#### 9.1.6. CALCULO DE UN SOLO BARRENO.

##### Símbologfa.

- Tt — Esfuerzo de Tensión.  
 s — Esfuerzo Cortante.  
 Pr — Densidad de Masa.  
 Vp — Velocidad de propagación de las ondas P.  
 y — Vd.  
 X — De - Dc.  
 Pd — Presión de Detonación.  
 SGe — Gravedad específica del Explosivo.  
 Pe — Presión del Explosivo.  
 KB — Constante de Carga.  
 dr — Densidad de la Roca. (sólida)  
 B — Bordo Optimo.  
 T — Longitud de Taco.  
 J — Subarrenación.  
 de — Densidad de carga del explosivo.  
 E — Peso total de explosivo dentro del barreno  
 Vf — Velocidad de Fractura  
 Kv — Rango de Velocidad  
 B<sup>l</sup> — Bordo Mínimo.  
 B<sup>ll</sup> — Bordo Máximo.

### DISEÑO DE UN SOLO BARRENO

Un depósito en cantera de 9 m de alto, banco para trituración de roca. La roca es masiva y tiene las siguientes propiedades.

SGR = 2.9                      Vp = 17,000 fps.                      M = 0.25                      SF = 0.7

Gravedad específica    Velocidad de las ondas p    Relación Poisson    Factor de  
abundamiento  
del material

$\phi = 45$  dag                      Tc = 25,000 psi                      Tc = 1750 psi

Angulo de reposo    Esfuerzo de compresión    Esfuerzo a Tensión

La roca volada es cargada por un cargador frontal 5 cilindros. Los barrenos cargados verticalmente y el volumen cargado ( $D_e = D_n$ ; Diámetro de cargado = Diámetro de barreno) con explosivo teniendo un conteo de cartuchos explosivos  $S_c = 117$ , Diámetro Crítico  $D_c = 1$  pulg. y velocidad de confinamiento de 12,500 fps. en 3 pulg. y 15,000 fps en  $S_{in}$  y diámetros grandes de carga. La relación entre velocidad de reacción del explosivo  $V_e$  y el diámetro de carga del explosivo  $P_c$  es de 1 a 5 pulg. rango que puede ser calculado en la siguiente forma de

$$y = \frac{Cx}{a + bx}$$

El drenaje, en la operación es semejante al barreno cargado generalmente estará siempre seco y no debe haber partes libres



en la roca disponible que pueda servir como piso. Para estimar el promedio del área de voladura A, de material craterizado por un barrenado simple será  $A = 1.4 B^2$ .

A1) Considere renunciar a la información, encuentre las siguientes propiedades para la roca intacta.

(1)  $s$  y (2)  $E_r$

A2) Para diámetro de carga  $D_c$  de a) 2 pulg. y b) 4 pulg. determine cada uno de las siguientes estimaciones:

B1)  $V_a$  B2)  $P_d$  B3)  $P_e$  B4)  $B$  B5)  $T$  B6)  $J$   
 B7)  $E$  B8)  $W$  B9)  $t_f$  B10)  $t_i$

3) Dada la altura de banco  $L$ , determine el respectivo  $D_c$  valde, defina cada uno de las siguientes condiciones

S O L U T I O N

$$A1) \quad T_t = T_c \left( \frac{1 - \text{sen } \theta}{1 + \text{sen } \theta} \right)$$

$$\frac{1750}{25000} = \frac{1 - \text{sen } \theta}{1 + \text{sen } \theta}$$

$$0.07 (1 + \text{sen } \theta) = 1 - \text{sen } \theta$$

$$0.07 + 0.07 \text{sen } \theta = 1 - \text{sen } \theta$$

$$1.07 \text{sen } \theta = 0.93$$

$$\text{sen } \theta = \frac{0.93}{1.07} \quad \text{sen } \theta = 0.87$$

$$\theta = \underline{60^\circ}$$

$$TS = \frac{TC}{2} (\text{COS}) \quad \theta \quad (22b)$$

$$TS = \frac{25,000}{2} (\text{COS } 60)$$

$$TS = 12,500 (0.5) \quad TS = 6250 \frac{\text{lb}}{\text{plg.}^2}$$

$$A2) \quad Vp = \frac{Er (1u)}{Pr (1-u) (1-2u)} \quad k$$

$$Pr = 1.941 \text{ SGr}$$

Substituyendo valores de VP, u y SGr y resolviendo ambos lados de la ecuacion.

$$(17,000)^2 = \frac{Er (1-0.25)}{1.941 (2.0) (1+0.25) (1-2(0.25))}$$

$$Er = \frac{1.941 (2.9) (1+0.25) (1-2(0.25)) (17,000)^2}{(1-0.25)}$$

Módulo de elasticidad:

$$Er = 1355626750 \frac{\text{lb}}{\text{f}^2} \frac{\text{lf}^2}{(12 \text{ plg})^2} = 9414075 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}$$

B1) Primera determinacion de la relacion Ve-De para  $y = \frac{cx}{a+bx}$   
donde  $y = Ve$  y  $x = De - Dc$

$$\text{Entonces:} \quad Ve = \frac{c (De - Dc)}{a + b(De - Dc)}$$

Esto nos da para  $Dc = 1 \text{ plg.}$ ,  $Ve = 12,500 \text{ f/seg}$   $De = 3 \text{ plg.}$   
y  $Ve = 15,000 \text{ f/s}$   $De = 5 \text{ plg.}$

$$\text{Entonces } De = 3 \text{ plg.} \quad 12,500 = \frac{c(3-1)}{a+b(3-1)} = \frac{2c}{1+2b}$$

$$c = 5000$$

$$\text{Entonces} \quad a+2b = \frac{2(5000)}{12,500} = 0.8 \quad (\text{I})$$

$$\text{Para } D_e = 5 \text{ plg.} \quad 15,000 = \frac{c(5-1)}{a+b(5-1)} = \frac{4c}{a+4b}$$

$$6 \quad a+4b = \frac{4(5000)}{15,000} = 1.33 \quad (\text{II})$$

$$\begin{aligned} \text{Agrupando} \quad a+2b &= 0.8 \quad (\text{I}) \\ a+4b &= 1.33 \quad (\text{II}) \end{aligned}$$

Método de Cramer

$$\text{DET} \quad \begin{array}{cc} 1 & 2 \\ 1 & 4 \end{array} = \begin{array}{cc} 4-2 = 2 & \\ & 1.33 \end{array} \quad \begin{array}{cc} 0.8 & 2 \\ & 4 \end{array} = \frac{0.54}{2}; \quad a = 0.27$$

$$\begin{array}{cc} 1 & 0.8 \\ 1 & 1.33 \end{array} = 0.53; \quad b = 0.265$$

Para todo el cálculo subsecuente  $a = 0.27$  y  $b = 0.265$ , cuando el valor de  $c = 5000$  (unidad de cohesión del material).

La ecuación básica para la velocidad del explosivo es:

$$V_e = \frac{5000 (D_e - 1)}{0.27 + 0.265(D_e - 1)}$$

Con  $D_e$  en un rango de valores que van de 1 a 5 plg.

Checando  $D_e = 3$  e plg.

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{5000 (3-1)}{0.27 + 0.265(3-1)} = \frac{10,000}{0.27+0.53} \\ &= 12,500 \text{ f/s} \end{aligned}$$

$$De = 5 \text{ plg.} \quad Ve = \frac{5000 (5-1)}{0.27 + 0.265(5-1)} = \frac{20,000}{0.27+1.06}$$

$$= 15037.59 \text{ f/s}$$

$$De = 2 \text{ plg.} \quad Ve = \frac{5000 (2-1)}{0.27+0.265(2-1)} = \frac{5000}{0.27+0.265} = 9,345.80 \text{ f/s}$$

$$De = 4 \text{ plg.} \quad Ve = \frac{5000 (4-1)}{0.27+0.265(4-1)} = \frac{15,000}{0.27+0.795} = 14,084.5 \text{ f/s}$$

$$B2) \quad Pd = \frac{6.06 E^{-3} Ve^2 (SGr)}{1 + 0.80 SGe} \quad SGe = \frac{141}{Sc} \text{ peso volumétrico del explosivo.}$$

$$SGe = \frac{141}{117} = 1.2$$

$$Pd = \frac{6.06 E^{-3} (15,000)^2 (1.2)}{1 + 0.80 (1.2)} = 834,795.92 \quad 835,000 \text{ lb/plg}^2$$

Presión de Detonación.

$$De = 1 \text{ plg.} \quad Pd = pb \text{ máx} \frac{9450}{25,000}^2 = 835,000 (0.397)$$

$$De = 4 \text{ plg.} \quad Pd = Pb \text{ máx} \frac{14,000}{15,000}^2 = 835,000 (0.87)$$

$$Pd = 726,450 \text{ lb/plg}^2$$

B3)  $P_e = P_d \text{ máx}/2$  presión de explosión  
para  $D_e = 2 \text{ plg.}$  y  $D_e = 4 \text{ plg.}$

$$P_e = 835,000/2 = 417,500 \text{ lb/plg}^2$$

$$B4) \quad KB = 2.5 \frac{160}{dr}^{1/3} \frac{SG_e}{1.3}^{1/3} \frac{V_e}{12,000}^{2/3}$$

$$dr = 62.4 \text{ (SGr)} = 62.4 (2.9) = 181 \text{ 1/f}^3$$

Substituyendo valores de  $dr$  y  $SG_e$ , tenemos:

$$KB = 2.5 \frac{160}{181}^{1/3} \frac{1.2}{1.3}^{1/3} \frac{V_e}{12,000}^{2/3}$$

$$KB = 2.33 \frac{V_e}{12,000}^{2/3}$$

$$B = KB D_e \text{ ----} \quad B = 2.33 D_e \frac{V_e}{12,000}^{2/3} \text{ ---- ft}$$

a)  $D_e = 2 \text{ in}$

$$V_d = 9450 \quad B = 2.33 (2) \frac{9450}{12,000}^{2/3} = 3.97 \text{ 4ft} \quad 24 \text{ } \emptyset$$

b)  $D_e = 4 \text{ in}$

$$V_e = 14,000 \quad B = 2.33 (4) \frac{14000}{12000}^{2/3} = 10.3 \text{ ft} \quad 31 \text{ } \emptyset$$

También para  $D_e = 3 \text{ in.}$

$$V_e = 12,500 \quad B = 2.33 (3) \frac{12500}{12000}^{2/3} = 7.2 \text{ ft} \quad 29 \text{ } \emptyset$$

$$D_e = 5 \text{ in.} \quad B = 2.33 (5) \frac{15000}{12000}^{2/3} = 13.5 \text{ ft} \quad 32 \text{ } \emptyset$$

$$D_e = 6 \text{ in.} \quad B = 2.33 (6) \frac{15000}{12000}^{2/3} = 16.2 \text{ ft} \quad 32.4 \text{ } \emptyset$$

B5 Y B6) Cálculo del taco y la sub-barrenación.

$$T = 2B/3$$

a)  $De = 2 \text{ in}$      $T = 2(4)/3 = 2.7 \text{ ft}$

b)  $De = 4 \text{ in}$      $T = 2(10.3)/3 = 6.9 \text{ ft}$      $T = 7 \text{ ft}$

$$l = B/3$$

a)  $De = 2 \text{ in}$      $l = 4/3 = 1.33 \text{ ft}$

b)  $De = 4 \text{ in}$      $l = 10.3/3 = 3.43 \text{ ft}$      $l = 4 \text{ ft}$

B7) Cálculo del peso total de explosivo cargado en un barreno lb. donde  $de = 0.34 De^2$  (SGe) -- lb/ft y combinando con

$$E = de \text{ (PC)} = 0.34 De^2 \text{ (SGe)} (H-T) \text{ --- } H = L + J$$

$$E = de \text{ (PC)} = 0.34 De^2 \text{ (SGe)} (L+J-T)$$

$$= 0.34 De^2 \text{ (SGe)} (L+(B/2-2B/3))$$

$$= 0.34 De^2 \text{ (SGe)} (L+B/3) \text{ --- lb}$$

a)  $De = 2 \text{ in}$

$$E = 0.34(2)^2 (1.2) (30-1.33) = 47 \text{ lb} = 21 \text{ kg}$$

b)  $De = 4 \text{ in}$

$$E = 0.34(4)^2 (1.2) (30-3.43) = 173 \text{ lb} = 79 \text{ kg}$$

B8) Cálculo del área de influencia y del peso del material desalojado

$$\text{Si } A = 1.4B^2 \text{ y } W = \frac{ALdr}{2000} = \frac{1.4B^2 (30) (181)}{2000}$$

$$W = 3.8 B^2$$

a)  $De = 2 \text{ in}$

$$W = 3.8 (4)^2 = 61 \text{ TON.}$$

b)  $De = 4 \text{ in}$

$$W = 3.8 (10.3)^2 = 402 \text{ TON.}$$

B9) Tiempo en que la fractura cruza el bordo.

$$V_f = V_p/3 = 17,000/3 = 5670 \text{ fps}$$

$$\text{Si } t_f = B/V_f, \text{ seg} \quad \text{a) } D_e = 2 \text{ plg} \text{ --- } t_f = 4/5670 = 0.6 \text{ ms}$$

$$\text{b) } D_e = 4 \text{ plg} \text{ --- } t_f = 10.3/5670 = 1.5 \text{ ms}$$

B10) Tiempo de desprendimiento de la roca:

$$\text{Si } t_i = 0.001 B, \text{ seg.} \quad \text{a) } 2 \text{ plg} \text{ --- } f_i = 0.001(4) = 4 \text{ ms}$$

$$\text{b) } 4 \text{ plg} \text{ --- } f_i = 0.001(10.3) = 10.3 \text{ ms}$$

De la ecuación 36 ---  $K_r = \frac{V_e}{V_p}$  de la parte B y determinar  $K_r$ ,  $f_t$  y el el respectivo valor de  $V_e$ ; para diámetros de 1 a 6 plg. resumidos en una tabla.

<u>De (plg)</u>	<u>B (ft)</u>	<u>Ve (fps)</u>	<u>Kv</u>
1 -----	0 -----	0 -----	0 -----
2 -----	4 -----	9450 -----	0.56 -----
3 -----	7 -----	12500 -----	0.74 -----
4 -----	10.3 -----	14000 -----	0.82 -----
5 -----	13.5 -----	14900 -----	0.88 -----
6 -----	16.2 -----	15000 -----	0.88 -----

s) Carga de fondo

$$B' = \frac{3L}{9K_v + 2} \quad \text{b'' --- bordo mínimo}$$

$$1. D_e = 5 \text{ plg} \quad B' = \frac{3(30)}{9(0.88) + 2} = 9.1 \text{ ft}$$

De la tabla  $B = 13.5 \text{ ft}$

$B > B'$  6 13.5 > 9.1 el diámetro puede ser reducido

$$2. De = 4 \text{ plg} \quad B' = \frac{3(30)}{9(0.82)} = 9.6 \text{ ft}$$

De la tabla  $B = 10.3 \text{ ft}$

$B > B'$  ó  $10.3 > 9.6$  el diámetro puede ser reducido.

$$3. De = 3 \text{ plg.} \quad B' = \frac{3(30)}{9(0.74)+2} = 10.4 \text{ ft}$$

De la tabla,  $B = 7 \text{ ft}$

$B' < B$  ó  $7 < 10.4$  el diámetro es muy pequeño.

NOTA: El bordo óptimo es  $De = 4 \text{ plg}$  rsto ocurre cuando  $B$  y  $B'$  son aproximadamente iguales.

b) Carga de columna

$$B' = \frac{3L}{18 Kv+1} \quad B' = \text{Bordo mínimo}$$

$$1. De = 5 \text{ plg} \quad B' = \frac{3(30)}{18(0.88)+1} = 5.4 \text{ ft}$$

De la tabla  $B = 13.5 \text{ ft}$

$B$  es muy grande comparada con  $B'$  indica que el diámetro puede ser mucho más pequeño.

$B > B'$  ó  $13.5 > 5.4$

$$2. De = 3 \text{ plg.} \quad B' = \frac{3(30)}{18(0.74)+1} = 6.3 \text{ ft}$$

De la tabla  $B = 7 \text{ ft}$

El valor de  $B$  y  $B'$  son aproximadamente iguales con  $B$   $B'$  con una diferencia despreciable, usese  $De = 3 \text{ plg}$ .

$$B'' = 0.62L + 0.62(30) = 18.6 \text{ ft } B'' \text{ -- bordo máximo}$$

$$\text{Este bordo podría ser de } De = \frac{B''}{2.7} = \frac{18.6}{2.7} = 6.9 \text{ plg.}$$



## Datos de Barrenación y Carcado.

ALTURA DE BANCO	29.5 pies ----	9.0 m	MEDIDAS MINIMAS
TACO	7.0 pies ----	2.15 m.	REQUERIDAS PAR UN
CARGA DE COLUMNA	7.0 pies ----	2.15 m.	ADECUADO ROMPIMIENTO.
CARGA DE FONDO	10.5 pies ----	3.20 m.	
SUB-BARRENACION	4.0 pies ----	1.25 m.	

De= 4 pulg ----- B= 3.00 m.

## Profundidad de Barrenación:

Óptima de 1 1/2 a 4 veces el bordo.

$$\frac{PB}{B} = \frac{8.75}{3.2} = 2.75 \text{ veces.}$$

## Taco;

Óptima 2/3 B

$$2/3 (3.20) = 2.15$$

$$2.15 = 2.15$$

## Sub-barrenación

$$\text{Óptima } \frac{B}{3} = \frac{3.20}{3} = 1.25$$

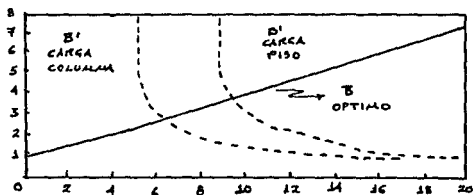
$$1.10 = 1.25$$

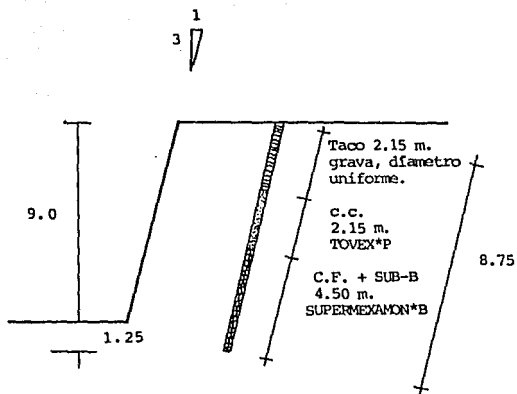
## Espaciamiento:

Retardos en la misma fila = 4 x 4 m

Simultánea en misma fila = 6 x 6 m

Area de influencia por barreno	14.5 m <sup>2</sup>
Material desplazado por carga	402 TON.
Carga total del explosivo	79 Kg





## VOLADURAS DE POST-CORTE Y PRECORTE.

DIAMETRO del barreno d (mm)	CONCENTRACION de carga Kg/m	POST-CORTE		PRECORTE.
		$E_1$ m	$V_1$ m	$E_1$ m
30	.	0.5	0.7	0.25-0
37	0.12	0.6	0.9	0.30-0.5
44	0.17	0.6	0.9	0.30-0.5
50	0.25	0.8	1.1	0.45-0.70
62	0.35	1.0	1.3	0.55-0.80
		1.2	1.6	0.6-0.9
87	0.7	1.4	1.9	0.7 . 1.0
100	0.9	1.6	2.1	0.8-1.2
125	1.4	2.0	2.7	1.0-1.5
150	2.0	2.4	3.2	1.2-1.8
200	3.0	3.0	4.0	1.5-2.1

Tabla 19 Barrenos de post-corte para voladuras controladas.

## 9.2. PERFORACION DE TUNEL.

El trabajo de túneles en roca se realiza con barrenos cargados de explosivo en sentido vertical y horizontal colocados en forma de plantilla en el frente de excavación.

La plantilla de barrenación se adecúa a la forma de la sección del túnel a construir, siendo la parte más importante de esta selección la cuña principal que dará salida al material confinado, proporcionando un plano de debilidad que regirá como vía-desfogue del material extraído.

Existen una gran diversidad de cuñas para trabajo de tunelero, que han demostrado su eficiencia en la práctica de voladuras, uno de los factores importantes del diseño de cuñas estriba en la colocación de los barrenos quemados, caracterizados -- por una barrenación de un diámetro superior al de los restantes barrenos de la plantilla.

Los barrenos quemados de limitan la zona de fracturación -- inicial y favorecen el abundamiento del material en dirección -- perpendicular al plano de la plantilla, proporcionando una salida al material rocoso confinado en el frente de excavación.

La conformación de estos barrenos quemados junto con los barrenos cargados forman en su totalidad lo que conoceremos como -- cuñas iniciales.

### 9.2.1. CUÑAS INICIALES.

En los socavones y túneles el frente de avance es la única cara de liberación de la voladura. Es por este confinamiento - de los barrenos cargados, que la carga específica es mayor en - los túneles de pequeña sección y túneles pilotos que en los ban queos o en las excavaciones a cielo abierto. A fin de dar mayor eficiencia a la voladura se produce una abertura a todo lo largo del avance previsto, creando así un espacio vacío que permite la expansión y fragmentación de la roca removida por las - sucesivas etapas de la voladura. Es obvio que este espacio inicial no es suficiente para acomodar la expansión y movimiento - de toda la roca de la voladura completa. Por tanto, la mayor - parte de la roca se proyecta hacia la zona previamente excavada. El espacio producido inicialmente se ha denominado "cuña".

Los principales tipos de cuña son dos: la cuña de barrenos paralelos y la cuña en "V". Cada tipo de cuña tiene una variedad de diseños para ajustarse a cada formación particular.

La cuña inicial es la parte más crítica en el diseño de voladuras en túneles.

Es muy difícil determinar un tipo de cuña inicial que resulte el adecuado para el terreno por excavar sin haber efectuado algunas voladuras previas.

### 9.2.1.1. CUÑA DE BARRENOS PARALELOS O CUÑA QUEMADA.

La cuña de barrenos paralelos consiste de uno o más barrenos vacíos y uno o más barrenos cargados, paralelos unos a otros, que son perforados en el centro del frente, y con la profundidad del tramo de avance fijado. Las perforaciones que rodean la cuña están dispuestas en tal forma que se disparan después de abierta la cuña. Es muy importante para lograr una fragmentación eficiente, que se mantenga el paralelismo de los barrenos de la cuña. Una barrenación inapropiada puede dar lugar a la propagación entre los barrenos cercanos, destruyendo así la secuencia de detonación -- prevista y provocando zonas de fragmentación deficiente por exceso de confinamiento.

La cuña quemada es empleada casi exclusivamente en túneles - de sección transversal menor de 10 m<sup>2</sup> y permite voladuras más profundas. En túneles reducidos el espacio resulta pequeño para acomodar las máquinas para perforar con cualquier ángulo, lo cual limita la longitud del tramo excavado empleando cuñas en "V".

La cuña quemada queda emplazada en la zona central del frente, pero no exactamente al centro sino que se va cambiando su posición en voladuras sucesivas para evitar que la perforación de - la cuña se ejecute en la parte más fracturada del frente. Además, la rotación del sitio de la cuña resulta una medida de seguridad, ya que, la zona de la cuña es el sitio donde con más alta probabi lidad pueden quedar explosivos sin disparar. El diseño de la cu-

ña quemada depende de las características de la roca, del tipo - de los explosivos empleados y del diámetro de los barrenos. Toda roca tiene un determinado porcentaje de expansión que varía - con el tamaño de los fragmentos producidos por la voladura. Por tanto, el diseño de la cuña quemada debe tomar en cuenta un espacio vacío para permitir esta expansión. Un 15 por ciento del -- área de influencia de los barrenos que disparan en primer término es el espacio mínimo que ha resultado adecuado para una fragmentación y desalojo apropiados. Este porcentaje varía de acuerdo con la formación rocosa. Sin embargo, a medida que el espacio vacío proporcionado es mayor, mayor es también la probabilidad de que la voladura actúe eficientemente en la longitud total de las perforaciones.

En una cuña con barrenos de 41.3 mm (1 5/8 pulg) de diámetro con un área de influencia de 225 cm<sup>2</sup> (fig. 27) si el espacio vacío está constituido por un barreno central (fig. 27a) proporcionará únicamente el 5.9 por ciento para la expansión. Si con la misma área de influencia se dejan vacíos tres barrenos (fig. 27b) el porcentaje para expansión será, entonces, de 17.8 por -- ciento. La mayor longitud de los tramos de avance que se logran cuando se deja un espacio de expansión suficiente compensa con - amplitud el tiempo invertido en la perforación de los barrenos - adicionales.

Para lograr la remoción de la cuña en toda la longitud de - la perforación se recomienda cargar el tercio interior del barreo



no con la mitad de la carga total del barrenos. Además para una adecuada expulsión del material fragmentado, la columna de explosivos debe alcanzar casi hasta la boca del barrenos con menor densidad en la carga.

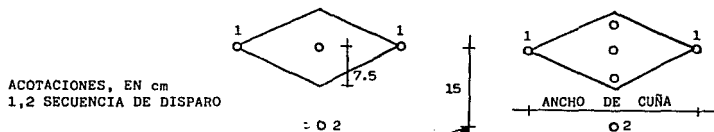


Fig. 27. Cuña quemada cuadrada: a) con un barreno vacío central; b) con tres barrenos vacíos.

Si no se reduce la densidad de la carga en la mitad exterior del barrenos se corre el riesgo de impedir la acción eficiente de la carga del interior para expulsar el material fragmentado. Cuando este error se comete el avance sólo se logra hasta donde la cuña es fragmentada y desalojada.

El tipo de cuña quemada se determina a partir de la experiencia y de acuerdo al tipo de terreno. Las cuñas quemadas de 15 a 25 cm de ancho con, por lo general, las usadas en rocas sanas y rígidas y las de 25 a 35 cm en rocas blandas y laminadas.

A fin de reducir la densidad de explosivos en la zona de la cuña es frecuente emplear espaciadores de madera de 20 cm de longitud. Es también conveniente utilizar un explosivo de densidad baja y un sistema de retardos.

Para establecer cuál es el mejor tipo de cuña quemada para las condiciones de un sitio particular deben probarse varias de las distribuciones usuales.

En la fig. 28 se muestran algunos de los tipos de cuñas -- usadas actualmente en minas subterráneas. Cuando estos tipos -- de cuñas quemadas se acompañan con barrenos de alivio (que son los que disparan inmediatamente después de la cuña) emplazados en sitios apropiados, actúan eficientemente en cualquier tipo -- de roca. Si alguno de estos arreglos no expulsara convenientemente la cuña son recomendables los barrenos de alivio inclinados o barrenos disgonales (fig. 29). Los barrenos diagonales -- se perforan con un cierto ángulo y con una ubicación tal que el extremo interior quede de 20 a 30 cm de distancia de los barrenos de la cuña.

La perforación de uno o más barrenos vacíos de mayor diámetro (fig. 30) es cada vez más frecuente. Este procedimiento -- permite tramos de avance más largos y menor riesgo de expulsión deficiente de la cuña.

En el método de la cuña quemada se incluye la iniciación -- con periodos de retardo. Los primeros periodos corresponden a los barrenos de la cuña. Es importante dejar el tiempo suficiente entre el disparo de los barrenos de la cuña y los barrenos de alivio. En la fig. 31 se muestra un arreglo típico para un túnel de 3 por 3 m, utilizando la serie de retardos denomina

da "Acudet". Cada distribución de barrenos para una voladura de be diseñarse de manera que cada secuencia de barrenos dispare ha cia el espacio previamente vaciado en las secuencias anteriores.

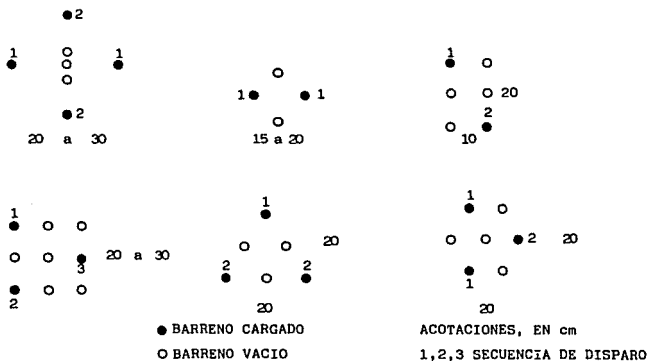


Fig. 28 Algunos diagramas típicos de cuñas quemadas.

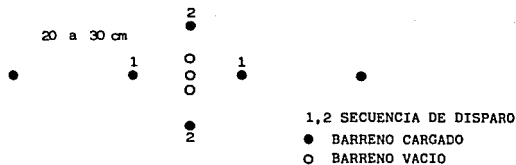


Fig. 29 Barrenos de alivio inclinados o diagonales.



### 9.2.1.2. CUÑA EN V.

Este tipo de cuña es el más utilizado en túneles mayores de  $20 \text{ m}^2$ , aunque recientemente ha podido notarse una tendencia hacia la cuña paralela.

La cuña en V es simétrica. Esto permite una mejor organización del trabajo en el frente respecto a los tipos de cuñas no simétricas. La cuña en V, por otra parte, no exige una barrenación tan perfecta como la cuña paralela para lograr un avance razonable. El ángulo mínimo recomendable para la cuña es de  $60^\circ$ . Este requisito limita el avance por tronada a la mitad del ancho del túnel (fig. 32.).

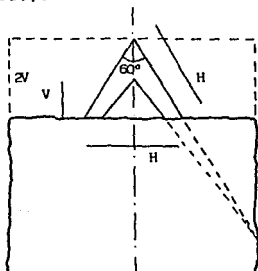


Fig. 32. Barrenos inclinados de la cuña en V

La cuña puede estar formada por uno o más pares de barrenos en V perforados en planos paralelos. El número de estos pares de barrenos depende de la estructura o estratificación de la roca. Cuando el avance por tronada es muy grande o en roca muy re

sistente cada V de barrenos se integra con uno o dos pares de barrenos de menor longitud.

Todos los barrenos de la cuña en V deben dispararse simultáneamente para obtener mejores resultados, particularmente en roca muy resistente.

En frentes muy grandes deben emplearse retardos mayores para lograr el desplazamiento y la fragmentación adecuados.

### 9.3. CALCULO DE LA CARGA.

El cálculo de cargas en túneles es menos sistemático que el de las voladuras de bancos a cielo abierto. Se emplea la información teórica y experimental de las voladuras de banco a cielo abierto, aplicando factores de aumento de carga para ajustarla a la voladura en túneles. Este aumento se debe al mayor confinamiento de las voladuras en túneles, de tal manera que, a medida que el frente de ataque es menor, mayor es el confinamiento. Por tanto, a menores dimensiones del túnel corresponde una mayor carga específica.

A continuación se darán reglas para la estimación de los confinamientos y de las cargas en las cuñas de barrenos paralelos, en las cuñas en V y en los barrenos que no pertenecen a la cuña.

### 9.3.1. BARRENOS QUE NO PERTENECEN A LA CUÑA.

En esta sección se supone que ya está abierta y expulsada - la zona de la cuña y se tiene una cavidad de 1.40 por 1.40 m. - Este es el espacio generalmente requerido en barrenos para el -- fracturamiento y expulsión de la roca hacia esa abertura. Si los barrenos son de diámetro mayor de 3 cm puede ser necesario aumentar las dimensiones de la cavidad a 2 por 2 m.

En la fig. 33 se presentan gráficas que permiten calcular - la distancia máxima que debe fijarse entre la cavidad y los ba- rrenos según su diámetro.

Todos los barrenos de la periferia, ya sean del piso, del - techo y de los hastiales, deben orientarse de manera que lleguen más allá del contorno (fig. 34) y proporcionen espacio para la - perforación de la voladura siguiente.

Los principios de cálculo descritos en esta sección están - basados en experiencia obtenida de casos particulares.

La fig. 35 muestra el valor de las cargas específicas que - se utilizan normalmente en túneles en función del área de la sección transversal de los mismos. Los valores indicados en las -- figs. 35 y 36 son valores promedio; existen ejemplos de valores que se desvían debido a la forma del túnel, condiciones de la roca, etc.

A continuación se dan recomendaciones para el diseño de las cargas y espaciamentos de los barrenos de cada una de las zonas del túnel que se señalan en la fig. 37.

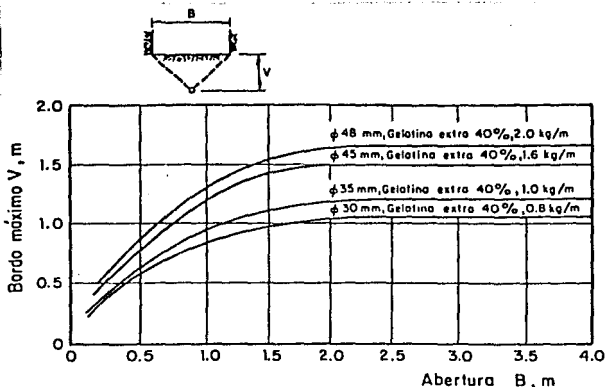


Fig. 33 Relación entre abertura, B, concentración de carga y bordo máximo, V

-Barrenos ayudantes con proyección horizontal o hacia arriba

El bordo o distancia entre los barrenos y la cavidad central no debe ser mayor que la mitad de la profundidad del barreno menos veinte centímetros. No deberá tomarse esta condición como base para el cálculo.

El espaciamento de los barrenos debe ser igual a 1.1 veces el bordo.



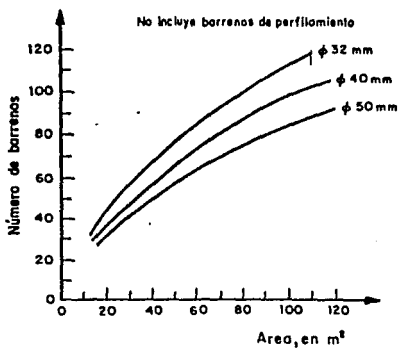


Fig. 34 Distribución en planta de los barrenos de la cuña y los de fuera de la cuña

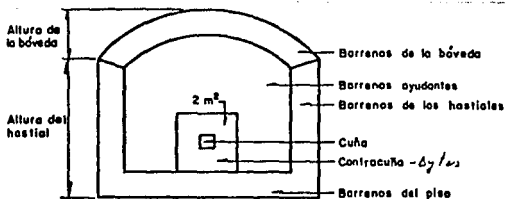


Fig. 35 Cargas específicas utilizadas normalmente en túneles.

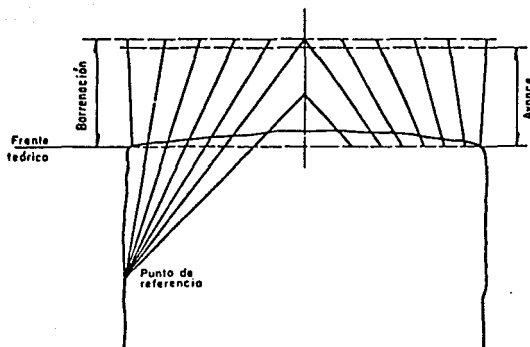


Fig. 36 Número de barrenos en función del área del frente

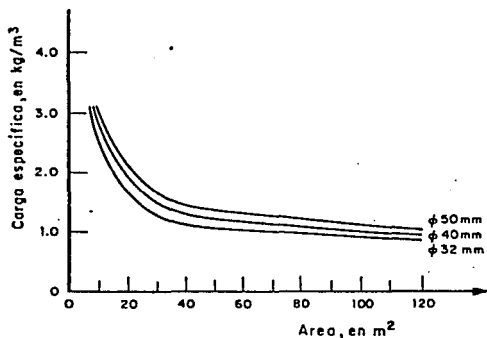


Fig. 37 Zonas de distribución de los barrenos.

La carga de fondo ocupa el tercio inferior del barreno con la carga específica de la tabla 20.

La concentración de la carga de columna en kg/m puede tomarse igual a la mitad de la concentración de la carga de fondo. La zona de retaque debe ser igual a la mitad del bordo.

TABLA 20 Carga específica de fondo

Diámetro de los barrenos, en mm	Carga específica, en kg/m <sup>3</sup>
30	1.1
40	1.3
50	1.5

En la tabla 21 se muestran los espaciamientos calculados de acuerdo con las cargas específicas de fondo necesarias, considerando explosivos de peso volumétrico de 1.3 g/cm<sup>3</sup> y el diámetro de barrenos de la tabla 20.

TABLA 21 Espaciamientos y bordos en función de los diámetros de los barrenos

Diámetro de barreno, en mm	Area por barreno, en m <sup>2</sup>	Bordo, en m	Espaciamiento, en m
32	0.91	0.90	1.00
35	1.00	0.95	1.05
38	1.15	1.00	1.15
45	1.44	1.15	1.25
48	1.57	1.20	1.30*
51	1.71	1.25	1.35*

\* Estos espaciamientos son sólo para túneles de gran diámetro; en el caso de áreas menores su magnitud es menor como se muestra en las gráficas de la fig. 33.

Las concentraciones y cargas de fondo y de columna de la tabla 22 han sido calculadas a partir de las recomendaciones anteriores, en función del diámetro de los barrenos. Estos datos -- han sido obtenidos de la práctica e incluyen los errores normales de perforación.

Tabla 22 Cargas, espaciamentos y bordos en barrenos ayudantes con proyección horizontal o hacia arriba

Diámetro barreno mm	Profundi- dad ba- rreno, m	Bordo m	Espacia- miento m	Carga de fondo		Carga de columna		Zona de retaque m
				kg	kg/m	kg	kg/m	
33	1.6	0.60	0.70	0.60	1.10	0.30	0.40	0.30
32	2.4	0.90	1.00	0.80	1.00	0.55	0.50	0.45
31	3.2	0.90	0.95	1.00	0.95	0.85	0.50	0.45
38	2.4	1.00	1.10	1.15	1.44	0.80	0.70	0.50
37	3.2	1.00	1.10	1.50	1.36	1.15	0.70	0.50
45	3.2	1.15	1.25	2.25	2.03	1.50	1.00	0.55
48	3.2	1.20	1.30	2.50	2.30	1.70	1.15	0.60
48	4.0	1.20	1.30	3.00	2.30	2.45	1.15	0.60
51	3.2	1.25	1.35	2.50	2.60	1.95	1.30	0.60
51	4.0	1.25	1.35	3.40	2.60	2.70	1.30	0.60

#### -Barrenos de piso

El bordo y el espaciamento de estos barrenos debe calcularse del mismo modo que los barrenos ayudantes. Sin embargo, debe considerarse en el bordo una corrección debido al emboquille de preparación para la voladura siguiente, Por ejemplo, con un bor-

do de 1.00 m y un margen para emboquille de 0.20 m, la segunda fila de barrenos del piso debe estar 0.80 m arriba de la entrada de los barrenos de la primera fila. La zona de retaque debe ser de 0.20 veces el bordo, es decir, mucho menor que en los barrenos --ayudantes y la concentración de la carga de columna se fija hasta de un 70 por ciento de la concentración de la carga de fondo.

En la Tabla 23 se presentan las concentraciones de carga de fondo y de columna, el espaciamiento, el bordo y la zona de retaque para distintos diámetros de barrenos.

-Barrenos ayudantes con proyección hacia abajo.

Debido a la ayuda de la gravedad, estos barrenos requieren una menor carga específica que los anteriores. La carga específica de fondo puede ser la de la tabla 24.

Tabla 23 Cargas, espaciamentos y bordos en barrenos de piso

Diámetro barreno	Profundi- dad barre- no, m	Bordo m	Espacia- miento m	Carga de fondo		Carga de columna		Zona de retaque m
				kg	kg/m	kg	kg/m	
33	1.6	0.60	0.70	0.60	1.10	0.70	0.75	0.10
32	2.4	0.90	1.00	0.80	1.00	1.00	0.70	0.20
31	3.2	0.90	0.95	1.00	0.95	1.30	0.65	0.20
38	2.4	1.00	1.10	1.15	1.44	1.40	1.00	0.20
37	3.2	1.00	1.10	1.50	1.36	1.80	0.95	0.20
45	3.2	1.15	1.25	2.25	2.03	2.60	1.40	0.25
48	3.2	1.20	1.30	2.50	2.30	3.00	1.60	0.25
48	4.0	1.20	1.30	3.00	2.30	4.25	1.60	0.25
51	3.2	1.25	1.35	2.70	2.60	3.20	1.80	0.25
51	4.0	1.25	1.35	3.40	2.60	4.75	1.80	0.25

TABLA 24 Carga específica de fondo

Diámetro de los barrenos, en mm	Carga específica en kg/m <sup>3</sup>
30	1.0
40	1.2
50	1.4

El espaciamiento de estos barrenos puede ser de 1.2 veces el bordo. Las demás características son las señaladas para los otros barrenos ayudantes.

En túneles de sección transversal pequeña las cargas deberán aumentarse y el bordo y el espaciamiento disminuirse de acuerdo con las funciones de las gráficas que se presentan en las figs. - 33, 35 y 36.

En la tabla 25 se presentan las cargas, bordos y espaciamientos de estos barrenos. Los espaciamientos indicados son aplicables siempre que la concentración de carga en el fondo alcance, - asimismo, el valor señalado. Si la concentración de carga resulta menor, el espaciamiento deberá reducirse para obtener la carga específica requerida.

Los valores de espaciamiento y bordos indicados en la tabla - 25 pueden aumentarse, particularmente cuando la roca es fácil de - excavar y cuando los túneles tienen un área de más de 70 m<sup>2</sup>. Tam

bién es frecuente en estos casos utilizar los espaciamentos señalados pero con menores concentraciones de carga.

TABLA 25 Cargas, espaciamentos y bordos en barrenos ayudantes con proyección hacia abajo.

Diámetro barreno, mm	Profundi- dad barre- no, m	Bordo, m	Espacia- miento, m	Carga de fondo kg	Carga de fondo kg/m	Carga de columna kg	Carga de columna kg/m	Zona de retaque, m
33	1.6	0.60	0.70	0.60	1.10	0.30	0.40	0.30
32	2.4	0.90	1.10	0.80	1.00	0.55	0.50	0.45
31	3.2	0.85	1.10	1.00	0.95	0.85	0.50	0.45
38	2.4	1.00	1.20	1.15	1.44	0.80	0.70	0.50
37	3.2	1.00	1.20	1.50	1.36	1.15	0.70	0.50
45	3.2	1.15	1.40	2.25	2.03	1.50	1.25	0.55
48	3.2	1.20	1.45	2.50	2.30	1.70	1.15	0.60
48	4.0	1.20	1.45	3.00	2.30	2.45	1.15	0.60
51	3.2	1.25	1.50	2.70	2.60	1.95	1.30	0.60
51	4.0	1.25	1.50	3.40	2.60	2.70	1.30	0.60

#### -Barrenos de los hastiales

Las voladuras de los hastiales y de la bóveda corresponden -- por lo común al tipo de voladuras denominado recorte o poscorte perimetral (inciso 9.4). En esta sección se tratan los casos que no son voladuras de recorte.

El bordo, considerando el amboquille de preparación para la voladura siguiente, se toma igual a 0.90 veces el bordo de los barrenos ayudantes.

El espaciamiento que mejores resultados ha aportado en la -- práctica es 1.2 veces el bordo; la longitud de la carga de fondo un sexto de la profundidad del barreno; la zona de retaque la mitad del bordo; y la concentración de la carga de columna de 0.40 veces la carga de fondo. La tabla 26 está elaborada con las especificaciones anteriores.

TABLA 26 Cargas, espaciamientos y bordos en barrenos de los hastiales

Diámetro barreno mm	Profundi- dad barre- no, m	Bordo m	Espacia- miento m	Carga de fondo		Carga de columna		Zona de retaque m
				kg	kg/m	kg	kg/m	
33	1.6	0.55	0.65	0.30	1.10	0.45	0.45	0.30
32	2.4	0.80	0.95	0.40	1.00	0.65	0.40	0.40
31	3.2	0.80	0.95	0.50	0.95	0.90	0.40	0.40
38	2.4	0.90	1.10	0.60	1.44	0.85	0.60	0.45
37	3.2	0.90	1.10	0.75	1.36	1.20	0.55	0.45
45	3.2	1.00	1.20	1.10	2.03	1.80	0.80	0.50
48	3.2	1.10	1.30	1.20	2.30	2.00	0.90	0.55
48	4.0	1.10	1.30	1.50	2.30	2.50	0.90	0.55
51	3.2	1.15	1.40	1.40	2.60	2.10	1.00	0.60
51	4.0	1.15	1.40	1.70	2.60	2.70	1.00	0.60

- Barrenos de la bóveda (tabla 27)

En estos barrenos la carga de columna se reduce a 0.30 veces la concentración de la carga de fondo. Las demás características son iguales a las de los barrenos de los hastiales.



### 9.3.2. RESUMEN DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS BARRENOS QUE NO PERTENECEN A LA CUÑA.

#### Nomenclatura:

V   bordo o separación de la cavidad previamente abierta, en m

$V_1$    bordo práctico, en m

H   profundidad del barreno, en m

q   carga específica, en  $\text{kg/m}^3$

d   diámetro del barreno, en mm

$Q_{bk}$    concentración de la carga de fondo, en  $\text{kg/m}$

$Q_{pk}$    concentración de la carga de columna, en  $\text{kg/m}$

$h_b$    altura de la carga de fondo, en m

$h_o$    longitud del retaque, en m

E   Distancia entre barrenos, en m

TABLA 27   Cargas, espaciamentos y bordos en barrenos de la bóveda

Diámetro barreno mm	Profundi- dad barre- no, m	Bordo m	Espacia- miento m	Carga de fondo		Carga de columna		Zona de retaque m
				kg	kg/m	kg	kg/m	
33	1.6	0.55	0.65	0.30	1.10	0.35	0.35	0.30
32	2.4	0.80	0.95	0.40	1.00	0.50	0.30	0.40
31	3.2	0.80	0.95	0.50	0.95	0.70	0.30	0.40
38	2.4	0.90	1.10	0.60	1.44	0.70	0.45	0.45
37	3.2	0.90	1.10	0.75	1.36	0.90	0.40	0.45
45	3.2	1.00	1.20	1.10	2.03	1.30	0.60	0.50
48	3.2	1.10	1.30	1.20	2.30	1.45	0.80	0.55
48	4.0	1.10	1.30	1.50	2.30	1.95	0.90	0.55
51	3.2	1.15	1.40	1.40	2.60	1.70	0.80	0.60
51	4.0	1.15	1.40	1.70	2.60	2.25	0.80	0.60

-Barrenos ayudantes con proyección horizontal o hacia arriba

<u>d(mm)</u>	<u>q(kg/m<sup>3</sup>)</u>
30	1.1
40	1.3
50	1.5

$$V_1 \frac{H-0.40m}{2} \quad (\text{ésta es una condición y no es una base de cálculo}) \quad (1.4)$$

$$E = 1.1 \text{ V}$$

$$Q_{pk} = 0.50 \text{ } Q_{bk}$$

$$h_0 = 0.5 \text{ V}$$

-Barrenos de piso

Las mismas características de los anteriores, excepto

$$h_0 = 0.2 \text{ V}$$

$$Q_{pk} = 0.70 \text{ } Q_{bk}$$

-Barrenos ayudantes con proyección hacia abajo

Las mismas características de los ayudantes con proyección horizontal o hacia arriba, excepto

$$E = 1.2 \text{ V}$$

**-Barrenos de los hastiales**

Las mismas características de los anteriores, excepto

$$V = 0.90 \times (\text{bordo de los barrenos anteriores})$$

$$Q_{pk} = 0.40 Q_{bk}$$

$$h_b = H/6$$

**-Barrenos de la bóveda**

Las mismas características de los anteriores, excepto

$$Q_{pk} = 0.30 Q_{bk}$$

**9.3.3. CUÑAS DE BARRENOS PARALELOS.**

Debe calcularse la separación entre el barreno vacío central y los barrenos cargados de la cuña de manera que el área del barreno vacío sea de cuando menos un 15 por ciento del área de influencia de los barrenos de la cuña, que disparan en primer término. La separación así calculada no debe rebasar la que se muestra en la tabla 28.

**TABLA 28 Separación entre los barrenos vacíos y cargados de la cuña de barrenos paralelos.**

Diámetro del ba- rreno central, mm	Diámetro de los barrenos cargados, mm	Bordo o separación entre barrenos mm	Distancia en tre centros, mm
57	32	40	85
76	32	53	107
76	45	53	113
2 x 57*	32	80	125
2 x 57*	45	80	131
2 x 76*	32	106	160
2 x 76*	45	106	167
100	45	70	143
100	51	70	146
125	51	88	176

\* Dos barrenos centrales.

Las cargas que se presentan en la tabla 29 son, en general, adecuadas para los barrenos más próximos al barreno central.

-Los barrenos denominados de contracuña, situados fuera de ésta, son adaptados al área de la sección transversal del túnel.

La carga de los barrenos de la contracuña es muy elevada debido a su gran confinamiento. La fig. 38 muestra la disposición de la contracuña para una cuña de dos barrenos centrales.

En esta sección se proporcionan reglas generales para el -- cálculo de cargas considerando una cuña de vértice interior de -  $60^\circ$ . Si este ángulo es menor la carga debe incrementarse.

La dimensión V de la cuña (fig. 39) es función de la cantidad de explosivos que pueden cargarse en los barrenos con arreglo a su diámetro. En la tabla 31 se proporcionan valores que - pueden servir de orientación en la determinación de la dimensión y carga de la cuña en V.

Acotaciones, en mm

Barreno vacío

Barreno cargado

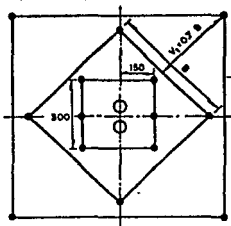


FIG. 38 Cuña de dos barrenos centrales y contracuña

TABLA 29 Cargas asignadas a los barrenos más próximos al -- central

Diámetro de los barrenos cargados, mm	Carga asignada (kg/m)	Diámetro del barreno central, mm
32	0.25	de 57 a 2 x 76
35	0.30	de 76 a 2 x 76
38	0.36	de 76 a 2 x 76
45	0.45	de 2 x 76 a 125
48	0.55	de 2 x 76 a 125
51	0.55	de 2 x 76 a 125

En la tabla 30 se presentan valores de cargas que han dado buenos resultados en barrenos de contracuña.

TABLA 30 Valores empíricos de carga en barrenos de contracuña

Bordo o separación entre barrenos mm	Carga de fondo kg	Carga de columna en kg/m para diámetros de los barrenos cargados de:			
		32 mm	38 mm	45 mm	48 mm
0.20	0.25	0.30	0.45	0.60	0.75
0.30	0.40	0.30	0.45	0.60	0.75
0.40	0.50	0.35	0.50	0.70	0.80
0.50	0.65	0.50	0.70	1.00	1.15
0.60	0.80	0.50	0.70	1.00	1.15
0.70	0.90	0.50	0.70	1.00	1.15

#### 9.3.4. Cuña en V

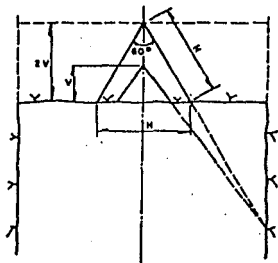


FIG. 39 Cuña en V

En cuñas en V la longitud de la carga de fondo debe ser de - cuando menos un tercio de la profundidad del barreno. La carga - de columna debe ser igual a la mitad de la carga de fondo. La zo - na de retaque debe ser un tercio de la dimensión V de la cuña, pe - ro debe ser adaptada al espaciamiento de los barrenos de manera - que no haya exceso de carga en la parte de la columna.

TABLA 31 Dimensiones y cargas de la cuña en V

Diámetro de los barrenos mm	Altura de la cuña m	Bordo V (fig. 1 34)	Concentración de la carga de fondo kg/m	Número de filas horizontales
30	1.5	1.0	0.9	3
38	1.6	1.2	1.4	3
45	1.8	1.5	2.0	3
51	2.8	2.0	2.6	3

La concentración de la carga de columna es igual al 40% de la concentración de la carga de fondo.

El bordo o separación de barrenos no debe ser superior a --  
(Prof. barreno-0.40 m)/2, lo que implica que en voladuras de poca profundidad la separación de barrenos es menor.

Los barrenos de la contracuña se perforan inclinados (fig. 34) para facilitar la remoción total hasta la profundidad de barrenación.

Los barrenos de la cuña y de la contracuña deben iniciarse con estopines de milisegundos a fin de mejorar la interacción entre los barrenos.

#### 9.4. POSCORTE PERINETRAL.

El poscorte perimetral también llamado recorte convencional tiene por objeto proteger la superficie de roca alrededor de la voladura.

Este método consiste en la aplicación de concentraciones de carga reducidas y una mayor densidad de perforación para producir un agrietamiento menor en la superficie perimetral del túnel. Al disparar instantáneamente o con un retardo mínimo entre barrenos se obtiene una acción cortante perimetral que desprende el bordo final con un daño reducido de las paredes (fig. 40).



Estos barrenos se disparan después de los barrenos de piso para asegurar que la roca fragmentada ya ha sido desplazada, - -

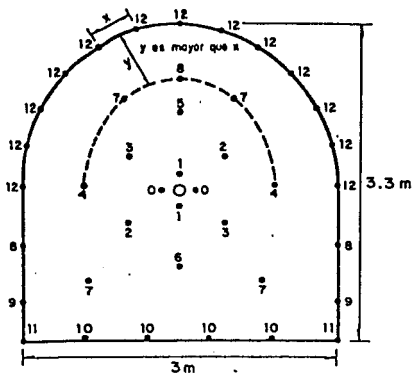


FIG. 40 Distribución típica de retardos en un túnel

ofreciéndoles un espacio de alivio suficiente. Este alivio permite una voladura del bordo final con un sacudimiento mínimo.

En la tabla 32 se proporcionan valores prácticos recomendados de espaciamientos, bordos y concentraciones de carga promedio para dos diámetros de barreno, utilizando explosivos de 1.2 a 1.3 g/cm de peso volumétrico.

TABLA 32 Poscorte perimetral

DIAMETRO BARRENO	ESPACIAMIENTO	BORDO	CONCENTRACION TOTAL DE CARGA EN EL BARRENO
mm	m	m	kg/m
38 - 45	0.60	0.90	0.18 - 0.38
51	0.75	1.05	0.18 - 0.38

Los cartuchos largos de diámetro pequeño de explosivos de baja densidad, permiten una distribución adecuada de la carga a lo largo del barreno. Los cartuchos de 20 cm de longitud se han empleado con éxito en voladuras de poscorte perimetral utilizando espaciadores entre cartuchos para reducir la carga total en kg/m; sin embargo, este procedimiento da como resultado concentraciones de carga relativamente altas en distintos puntos.

#### 9.5. PRECORTE.

En el precorte los barrenos de contorno se disparan antes de efectuar la voladura propiamente dicha. El precorte produce una grieta entre los barrenos de contorno. Esta grieta evita que las ondas de choque de la voladura principal se transmitan en toda su intensidad hacia la pared terminada y minimiza la profundidad de la fragmentación en la roca. Como los barrenos están muy próximos entre sí, las grietas se forman siguiendo las líneas de barrenos, y los mismos barrenos constituyen el inicio del agrietamiento. Esto significa que la inclusión de barrenos vacíos entre los cargados, puede mejorar los resultados.

En la tabla 33 se indican algunas cargas y espaciamientos - en función del diámetro de los barrenos.

Si no existen limitaciones en las vibraciones del terreno - se utiliza el encendido instantáneo; por lo contrario, si es necesario limitar la magnitud de las vibraciones del terreno se -- utilizan microretardos. La formación de grietas resulta menos - eficiente que con la iniciación instantánea, a menos que se re- duzca el espacio entre barrenos. Si el tiempo de retardo es muy grande no se logra el precorte.

TABLA 33 Precorte

Diámetro del barreno mm	Espaciamiento m	Concentración de carga kg/m
25 - 32	0.20 - 0.30	0.08
25 - 32	0.35 - 0.60	0.18
40	0.35 - 0.50	0.18
51	0.40 - 0.50	0.36
64	0.60 - 0.80	0.38

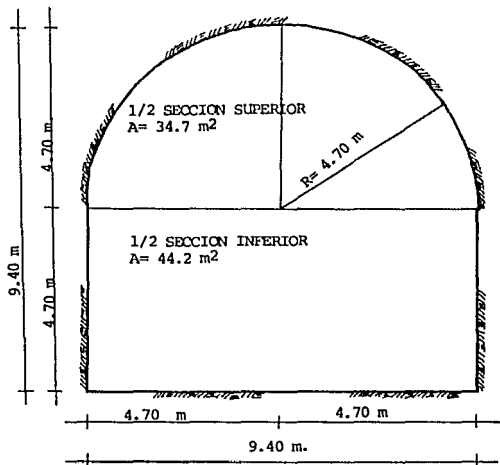
MCCSA

P.H. ZIMAPAN, HGO.

TUNEL DE DESVIO

LONG. 522m.

PLANTILLAS DE BARRENACION



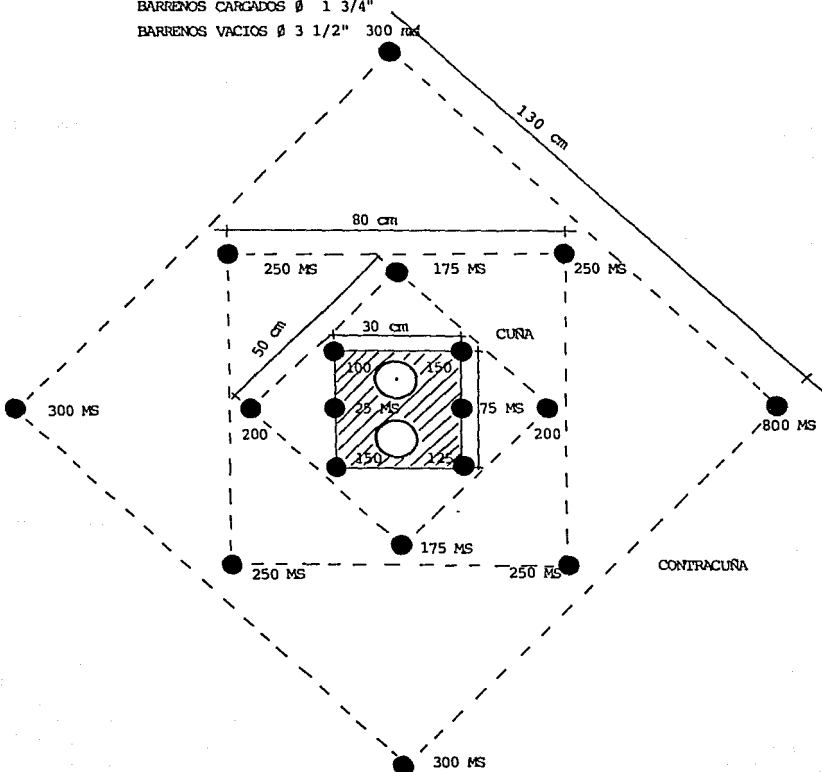
SECCION TRANSVERSAL

MCCSA  
 P.H. ZIMAPAN, HGO.  
 TUNEL DE DESVIO.

9.6.1. CUÑA DE BARRENOS PARALELOS

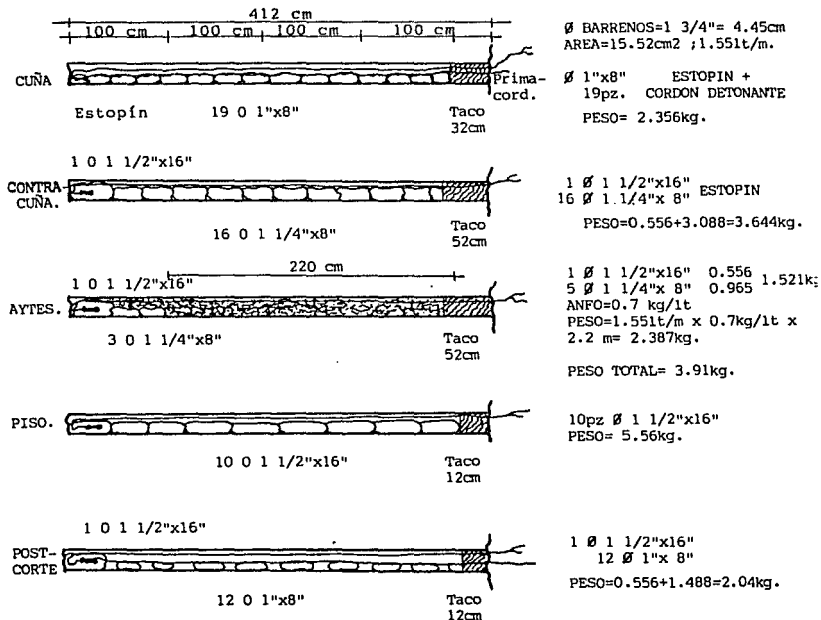
BARRENOS CARGADOS  $\varnothing$  1 3/4"

BARRENOS VACIOS  $\varnothing$  3 1/2" 300 ms



VISTA FRONTAL.

## 9.6.2. DISTRIBUCION DE CARGAS EXPLOSIVAS.



## 9.6.3. CALCULO DE CARGAS EXPLOSIVAS.

PESO DE CARTUCHOS:

Ø 1"x8" =124gr ; =1.2gr/cm<sup>3</sup>

Ø 1 1/4"x8"=193gr

Ø 1 1/2"x16=556gr

SECCION	NO. BARR.	C. FONDO	C. COLUMNA	TACO	C. BARR	C. TOTAL
CUÑA	6		TEOR=0.45kg/m 19pz x 0 1"x8" A CADA 20cm =0.618kg/m x 4m L=412-25=387cm	22cm		
					2.356kg	14.14kg
CONTRACUÑA	12	TEOR=0.6kg 1pz 0 1 1/2"x16" =0.556kg	TEOR=0.85kg/m 16pz 0 1 1/4"x8" A CADA 20cm =0.95kg/m L=412-55=357cm	52cm		
					3.64kg	43.728kg
AYUDANTES	12	TEOR=2.25kg 1pz 0 1 1/2"x16" =0.556kg	TEOR=1kg/m 16pz 0 1 1/4"x8" A CADA 20cm =0.95kg/m L=412-55=357cm	52cm	3.91kg	46.89kg
PISO	11	TEOR=2.25kg 1 0 1 1/2"x16" =0.556kg	TEOR=1.4 kg/m L=412-25=387cm 9pz 0 1 1/2"x16" A CADA 40cm	12cm		
					5.56kg	61.16kg
POSTCORTE	23	1 0 1 1/2"x16" =0.556kg	TEOR=0.38kg/m L=412-25=387cm 12pz 0 1"x8" A CADA 30cm REAL 0.413kg/m	12cm	2.04kg	47.02kg

PESO TOTAL EN KG.

212.94kg

AREA = 34.7 m<sup>2</sup>  
 AVANCE = 3.91 m  
 VOLUMEN = 135.7m<sup>3</sup>

FACTOR DE CARGA

$$F.C. = \frac{212.94 \text{ kg}}{135.7 \text{ m}^3} = 1.57 \text{ kg/m}^3$$

BARRENACION ESPECIFICA

$$B.C. = \frac{69 \times 4.12 \text{ m}}{135.7 \text{ m}^3} = 2.09 \text{ m/m}^3$$

LONG. BARRAS= 14' = 427 cm

LONG. UTIL = 427-15= 412 cm.

EDIF. VOLADURAS= 95%      LONG. BARRAS= 391 cm

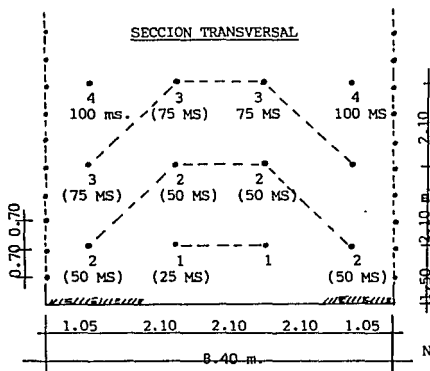
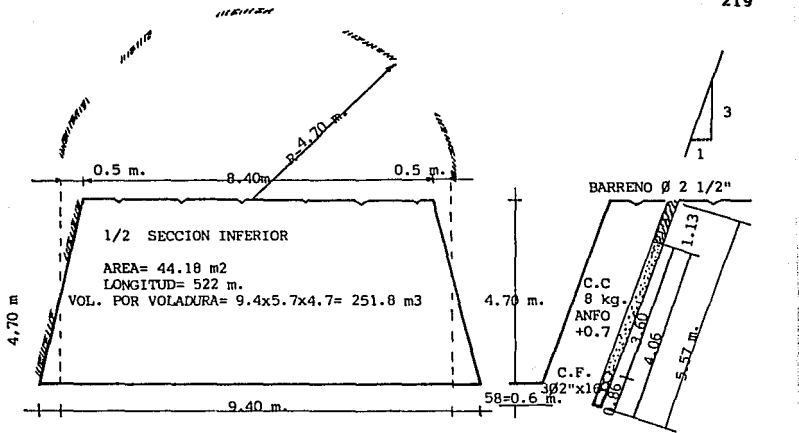
TOTALES EXPLOSIVO;

ALTO EXPLOSIVO= 184.30 Kg.

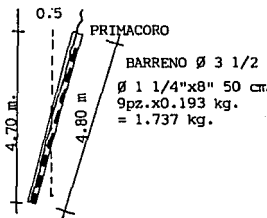
ANFO= 28.64 Kg. 13.45%

212.94 Kg.





BANQUEO  
 CARGA FONDO= 3 kg.= 27%  
 CARGA COL.= 8 kg.= 73%  
 =11 kg



PRECORTE  
 No. DE BARRERNOS: BANQUEO= 18  
 PRECORTE = 16  
 VO. VOLADURA= 251.8 m<sup>3</sup>  
 BARR. ESPECIFICA=  $\frac{12 \times 5.59}{251.8 \text{ m}^3} = 0.2664 \text{ m}^3$   
 (sin precorte)  
 BARRENACION ESPECIFICA (incluye precorte)

PLANTA

BARRENO Ø 2 1/2" (6.35 cm)  
 AREA= 31.67 cm<sup>2</sup>  
 VOL= 3.17 lt./m.  
 ALTOEXPLOSIVO Ø 2"x16" = 1.2gr/cm<sup>2</sup>, peso= 1Kg.

FACTOR DE CARGA-Banqueo sin precorte

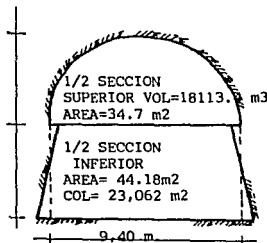
$$FC = \frac{12 \text{ Barr} \times 11 \text{ kg}}{251.8 \text{ m}^3} = 0.5242 \text{ Kg/m}^3$$

$$B.E. = \frac{12 \times 5.59 + 16 \times 4.80}{251.8 \text{ m}^3} = 0.5714 \text{ m}^3$$

FACTOR DE CARGA (incluye precorte)  

$$FC = \frac{12 \times 11 + 16 \times 1.737}{251.8 \text{ m}^3} = 0.4846 \text{ Kg/m}^3$$

MCCSA  
TUNEL DE DESVIO  
LONGITUD= 522 m.

RESUMEN9.6.3.1. MEDIA SECCION SUPERIOR EN TUNEL.SECCION TRANSVERSAL

- a) BARRENACION  
Diámetro  $\varnothing$  1 3/4"  
Barrenación Específica B.E.=2.09 m/m3
- b) EXPLOSIVOS  
factor de carga F.C.=1.57 kg/m3  
Alto explosivo= 86.55%  
ANFO = 13.45%
- c) Volúmen de roca=34.7m2x522=18113.4m3
- d) Cantidad de explosivos  
Alto explosivo=57x18113.4x0.8655=  
24,613.12 kg.
- ANFO= 1.57x18113.4x0.1345=3,824,92 kg.

ACCESORIOS: PARA TODA LA LONGITUD DEL TUNEL.

$$\text{ESTOPINES MS} = 18 \times \frac{522}{3.91} = 2403 \text{ pz}$$

$$\text{ESTOPINES RET} = 51 \times \frac{522}{3.91} = 680 \text{ 9pz}$$

$$\text{PRIMACORD} = 31 \text{ BARR} \times (4.12+0.5) \times \frac{522}{3.91} = 19120 \text{ m.}$$

9.6.3.2. MEDIA SECCION INFERIOR-BANQUEO.a) BARRENACION DIAMETRO BARRENO  $\varnothing$  2 1/2"BARRENACION ESPECIFICA (incluyendo precorte) = 0.5714 m/m<sup>3</sup>VOLUMEN DE ROCA= 44.18 m<sup>2</sup>x 522 m= 23,062 m<sup>3</sup>

b) EXPLOSIVOS

FACTOR DE CARGA (incluyendo precorte); F.C.= 0.6346 kg/m<sup>3</sup>

BANQUEO: ALTO EXPLOSIVO= 12 BARR. x 3 kg= 36 kg.

ANFO= 12 BARR. x 8 kg= 96 kg.

PRECORTE: ALTO EXPLOSIVO= 16 BARR. x 1.737 kg= 27.79 kg.

Σ =159.79 kg..

ALTO EXPLOSIVO= 39.92%

ANFO= 60.08%

c) CANTIDAD DE EXPLOSIVO

ALTO EXPLOSIVO= 0.6346 x 23,062 m<sup>3</sup> x 0.3992 = 5842.35 kg.ANFO= 0.6346 x 23,062 m<sup>3</sup> x 0.6008 = 8.793 kg.

d) ACCESORIOS: PARA TODA LA LONGITUD DEL TUNEL

ESTOPINES MS PARA BANQUEO=  $\frac{F.C. \times VOL.}{LONG.BARR.} = \frac{0.2664 \text{ m/m}^3 \times 23,062 \text{ m}^3}{5.59 \text{ m/BARR}} = 1,099 \text{ BARR(piezas)}$ ESTOPINES MS PARA PRECORTE=  $\frac{2 \times LONG. TUNEL}{0.70 \text{ m} \times 20} = \frac{2 \times 522}{0.7 \times 20} = 75 \text{ pz.}$ 

TOTAL 1,099 + 75 = 1174 pzas.

PRIMACORD= NO. DE BARRENOS DE PRECORTE x LONG. BARR.=  $\frac{2 \times 522}{0.7} \times (4.8 + 0.5) = 7,905 \text{ m.}$

TUNEL DE DESVIO LONG. 522 m.

RESUMEN DE BARRENACION Y MATERIALES PARA TODA LA LONGITUD DEL TUNEL. (522 m.).

SECCION	Ø 1 3/4" C/JUMBO	BARR. Ø 2 1/2" C/ TRAKDRILL.	ALTO EXPLO- SIVO (kg)	ANFO kg	ESTOPIN MS(pz)	ESTOPIN RET. (pz)	P.CORD. m
1/2 SECC. SUPERIOR.	2.09 m/m <sup>3</sup> (37,857m.)	-----	24613	3825	2402	6809	18293
1/2 SECC. INFERIOR.	-----	0.5714 m/m <sup>3</sup> (13178 m.)	5842	8793	1174	-----	7905

## CAPITULO X

### 10. CONCLUSIONES

La pretensión de llevar a cabo este trabajo de tesis es dar al Ingeniero Civil una herramienta de conocimientos generales en materias de voladuras aplicadas a procesos constructivos y de explotación de material, con el afán de concientizar a los profesionistas del ramo en la correcta utilización del explosivo como elemento rompedor de masivos rocosos.

Los conocimientos recopilados en esta tesis, me han hecho concebir al explosivo como una herramienta eficiente, rápida y segura de manejar, capaz de desarrollar en pocos segundos el trabajo de días completos de intensa labor, permitiendo al constructor desarrollar trabajos más económicos y mejores.

El desempeño de las sustancias explosivas ha resultado importante para los procesos de transformación del entorno humano, alcanzando un lugar de privilegio entre los medios rompedores de roca; no obstante el surgimiento de más y mejores -

máquinas de excavación y rompedoras, el explosivo sigue siendo el método más eficaz y económico de excavación y explotación de roca; cuenta con cualidades insustituibles como: Potencia, eficiencia, rapidez y economía, aunado a un manejo responsable seguirá sin duda siendo la más potente herramienta constructora de obras a desarrollarse en masivos rocosos.

Su evolución tecnológica en los últimos años ha permitido el desarrollo de nuevas substancias más potentes y seguras, así como la desaparición de otras muy potentes como la dinamita pero demasiado peligrosas tanto en su manejo como en el daño a la salud de aquellos que desempeñan una labor con este explosivo nitrado.

La dinamita concebida como el explosivo ideal, con el paso del tiempo demostró no ser todo lo segura y eficiente que se pensaba; su delicado manejo, entrañó grandes peligros debido a la nitroglicerina que la sensibiliza; la producción inevitable de gases venenosos, la hicieron lenta e insegura para el avance de trabajos subterráneos.

La constante investigación y el desarrollo de nuevos productos ha dado como resultado en la actualidad explosivos de gran calidad y bajo costo de producción; fueron los agentes explosivos (aún utilizados hoy en día) en un principio substituyeron a la dinamita en trabajos a cielo abierto, basado en su mejor costo y mejor eficiencia; le siguieron los hoy conocidos como emulsiones,

explosivos excelentes en su desempeño y respuesta eficiente a todo tipo de trabajo contando además con desprendimiento de gases--mas benévolos a la salud, y con una insensibilidad muy adecuada - para los manejos modernos de hoy en día.

La investigación en nuestro país, no se ha dado con respecto a la rápida evolución mundial, en el desempeño y control de estas substancias resulta de especial interés la formación de personal investigador, que se responsabilice del diseño adecuado de voladuras y del desarrollo de nuevas substancias que desarrollen trabajos a muy alta velocidad; esto es, darle al explosivo la importancia que merece y crear escuela alrededor de este elemento rompedor.

Se debe concientizar al personal y capacitarlo para el correcto manejo y colocación de substancias explosivas que varía en sus propiedades, ya que el peligro que entraña es muy alto si existe negligencia en su manejo, almacenamiento, transporte o uso de los explosivos.

Todo esto conforma una especialidad de la rama de la construcción que ha sido olvidada, relegándose a personal cuya experiencia la califica para estos trabajos, sin que ello sea una garantía de economía y eficiencia; es el profesionista de Ingeniería Civil quien debe tomar de manera racional, utilizando sólo el explosivo necesario para la actividad específica, evitando el desperdicio del material, calculando de manera teórica la cantidad adecuada de explosivo y depurándola con la práctica.

Es por los motivos anteriores que deberá tomarse en cuenta el estudio serio y detallado de las voladuras controladas, - como parte de las asignaturas de construcción o como una materia opcional dentro del plan de estudios de la carrera de Ingeniería Civil.



## BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- 1.- Davis, W. C., "HIGH EXPLOSIVES". Los Alamos Science, E.U.
- 2.- Finger, M., Helm, F., Lee, E., Boat, R., Cheung, H., Walton, J., Hayes, B., and Penn, L., "CHARACTERIZATION OF - COMMERCIAL COMPOSITE EXPLOSIVES", Sexto Simposium Internacional sobre Detonación, 1976.
- 3.- Johnson, Major W. S., "EXPLOSIVE EXCAVATION TECHNOLOGY", Armada de los Estados Unidos.
- 4.- Chiappetta, F., "BLASTING THEORIES", Explosives technical Handbook, Texas, E.U.
- 5.- Siskind, D. E., Steckley, R. C., Olsen, J. J., "FRACTURING IN ZONE AROUND A BLASTHOLE", Michigan, E. U.
- 6.- Oert, L., Duvall, W. I., "GENERATION AND PROPAGATION OF STRAIN WAVES IN ROCK", USBM RI 4663, 1950.
- 7.- Hino, U., "FRAGMENTATION OF ROCK THROUGH BLASTING", Q. Colorado School of Mines, E. U.
- 8.- Duvall, W. I., Atchison, T. C., "ROCK BREAKAGE BY EXPLOSIVES", USBM RI 5356, 1957.
- 9.- Rinehart, J. S., "FRACTURING UNDER IMPULSE LOADING", University of MO-Rolla, E. U.
- 10.- Langfors, U., Kihlstrom, B., "THE MODERN TECHNIQUE OF - ROCK BLASTING", John Wiley and Sons, N. Y., E. U.

- 11.- Starfield, A. M., "STRAIN WAVES ENERGY IN ROCK BLASTING" Univ. of Minnesota, 1966.
- 12.- Peter, D. D., Fairhurst, C., "A STUDY OF CRACK PROPAGATIONS PRODUCED BY THE SUSTAINED BOREHOLE PRESSURE IN BLASTING", Simposium Univ. de Missouri, 1970.
- 13.- Persson, P. A., Lundborg, N., Johnsson, C. H., "THE BASIC MECHANISM IN ROCK BLASTING", Segundo Congreso de la Sociedad de Rocas, Belgrado, 1970.
- 14.- Field, J. E., Ladegaard-Pederson, A., "THE IMPORTANCE OF THE REFLECTED STRESS WAVES IN ROCK BLASTING", J. Rock Sci 1971.
- 15.- Johnsson, C. H., Persson, P. A., "DETONICS OF HIGH EXPLOSIVES", Academic Press. Londres y N. Y., 1970.
- 16.- Stettbacher, A., "POLVORAS Y EXPLOSIVOS", Ed. G. Gili S.A. Buenos Aires, Argentina, 1948.
- 17.- Tomrock, "HANDBOOK OF SURFACE DRILLING AND BLASTING", - Finland, 1972.
- 18.- Cia. Mexicana de Explosivos S. A., "MANUAL PARA EL USO DE EXPLOSIVOS", México, 1972.
- 19.- Secretaria de Guerra y Marina., "REGLAMENTO PARA LA COMPRA VENTA, FABRICACION, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE EXPLOSIVOS, ARMAS Y MUNICIONES", Ed. Porrúa, México, 1988.
- 20.- Secretaria de la Defensa Nacional., "LEY FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS, Y SU REGLAMENTO", Ed. Porrúa, México, 1991.