

24
2ij



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON**

**"TECNICAS Y TRAMITES DE EXPLOSIVOS
EN LA CONSTRUCCION PESADA"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A N :

**HERNANDEZ HERNANDEZ ORALIA
HERNANDEZ VARGAS SABINA DEL ROSARIO**

ASESOR: ING. JOSE MARIO AVALOS HERNANDEZ



SN. JUAN DE ARAGON, EDO. DE MEXICO.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGÓN
DIRECCIÓN

ORALIA HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ
PRESENTE.

En contestación a la solicitud de fecha 13 de mayo del año en curso, presentada por Sabina del R. Hernández Vargas y usted, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. JOSÉ MARIO AVALOS HERNÁNDEZ pueda dirigirse al trabajo de Tesis denominado "TÉCNICAS Y TRÁMITES DE EXPLOSIVOS EN LA CONSTRUCCIÓN PESADA", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el preclado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

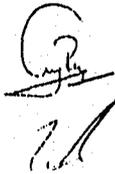
Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México., 20 de mayo de 1996.
EL DIRECTOR


M en CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO

c c p Jefe de la Unidad Académica.
c c p Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil.
c c p Asesor de Tesis.

CCMC/AIR/la.





UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGON

DIRECCION

SABINA DEL R. HERNÁNDEZ VARGAS
PRESENTE.

En contestación a la solicitud de fecha 13 de mayo del año en curso, presentada por Oralia Hernández Hernández y usted, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. JOSÉ MARIO AVALOS HERNÁNDEZ pueda dirigirse al trabajo de Tesis denominado "TÉCNICAS Y TRÁMITES DE EXPLOSIVOS EN LA CONSTRUCCION PESADA", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el practado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"

San Juan de Aragón, México, 20 de mayo de 1986.

EL DIRECTOR


MARIO EDUARDO C. MERRIFIELD CASTRO

c/c Jefe de la Unidad Académica.
c/c Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil.
c/c Asesor de Tesis.

CCMC/AIR/ta



A DIOS:

DOY GRACIAS POR HABERME BRINDADO LA OPORTUNIDAD DE
HABER FINALIZADO MIS ESTUDIOS A NIVEL LICENCIATURA.

CON AMOR:

PARA MIS PADRES:

FELIPE HERNANDEZ VARGAS Y ROSA HERNANDEZ RODRIGUEZ,
ESPECIALMENTE A TI MAMA QUE ME DISTE LA VIDA, LA
CONFIANZA Y LA MOTIVACION PARA SEGUIR ADELANTE.

CON CARIÑO:

A MIS HERMANOS:

FELIPE, BETO, ADRIAN, JOSE Y CHAGO, QUE EN TODO
MOMENTO ME BRINDAN SU APOYO DESMEDIDO.

A MI HERMANA:

MARY QUE EN CUALQUIER SITUACION SE ENCUENTRA
SIEMPRE A MI LADO DISPUESTA A ESCUCHARME.

A MIS CUÑADAS:

MONICA, ELENA Y ANTONIA.

A MIS SOBRINOS:

DITTER, OSCAR, BRIANLY, DIANA, ITZEL Y AKETZALLI.

A JAIME:

POR INTEGRAR UNA ETAPA ESPECIAL DE MI VIDA.

DEDICADO A:

MI FAMILIA.

PADRES:

ALICIA.

Por darme tu vida misma y tu apoyo incondicional.

ANDRES.

Porque hoy convierto tu sueño en una realidad.

HERMANOS:

ADILIA Y FRANCISCO.

Por todo su apoyo y comprensión brindado en cada -
instante de mi vida.

CUÑADO:

DAVID.

Por todo su apoyo brindado durante todo este tiempo.

SOBRINAS.

INGRID Y ANDREA.

AMIGOS:

Arq. Julio Gabriel Paz Aguilar.

Ing. Beatriz Angel Hernández.

Juana Hernández Zavala.

SABINA DEL ROSARIO HERNANDEZ VARGAS.

AGRADECIMOS:

A NUESTRO ASESOR DE TESIS:

**ING. JOSE MARIO AVALOS HERNANDEZ POR HABER NOS
ASESORADO Y DADO LIBERTAD EN LA ELABORACION DE
LA TESIS.**

**AL ING. XAVIER HARO, MARTIN A. GARCIA ROLDAN,
GUILLERMO HERNANDEZ, JUANITA, SR. JAVIER ROJO,
DE LA GERENCIA TECNICA DE LA COMISION NACIONAL
DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO POR HABER NOS -
BRINDADO APOYO MORAL Y TECNICO PARA LA REALI-
ZACION DE LA PRESENTE TESIS.**

**A TODOS NUESTROS AMIGOS COMPAÑEROS DE ESCUELA,
POR COMPARTIR SUS CONOCIMIENTOS Y TAMBIEN POR
HABER NOS BRINDADO SU AMISTAD.**

**A NUESTROS HERMANOS QUE EN GRAN FORMA CONTRIBU-
YERON EN LA REALIZACION DE ESTA TESIS.**

INDICE

	Pág.
INTRODUCCION	1
CAPITULO I HISTORIA Y ANTECEDENTES.	
1.1. HISTORIA DE LOS EXPLOSIVOS EN MEXICO.	2
1.2. ANTECEDENTES:	
1.2.1. CRONOLOGIA DE LA POLVORA NEGRA.	5
1.2.2. CRONOLOGIA DE LA DINAMITA.	6
1.2.3. CRONOLOGIA DEL NITRATO DE AMONIO E HIDROGELES.	7
CAPITULO II EXPLOSIVOS Y DETONADORES.	
2.1. TIPOS DE EXPLOSIVOS	
2.1.1. POLVORAS	8
2.1.1.a. POLVORA NEGRA Y SALITRE EXPLOSIVO.	8
2.1.1.b. POLVORAS SIN HUMO.	8
2.1.1.c. POLVORAS DE NITROGLICERINA.	10
2.1.1.d. POLVORAS DE DINITRATO DIGLICOLICO (DIDI)	12
2.1.2. NITROGLICERINA, DINITRATO GLICOLICO Y NITRATO METILICO.	
2.1.2.a. NITROGLICERINA.	14
2.1.2.b. NITRATO METILICO.	14
2.1.2.c. DINITRATO GLICOLICO.	14
2.1.3. ALGODON POLVORA (NITROCELULOSAS).	15
2.1.4. EXPLOSIVOS SINTETICOS Y ELEMENTALES.	16
2.1.4.a. TETRANITRATO DE PENTAERITRITA.	16
2.1.4.b. TRIMETILENTRINITAMINA.	17
2.1.4.c. TRINITRATO DE NITROISOBULTILGLICERINA.	17
2.1.4.d. PANCLASITA-HELLOFFITA.	17
2.1.4.e. AIRE EXPLOSIVO Y OXILIQUITA.	18
2.1.5. NITROCUERPOS AROMATICOS.	
2.1.5.a. DINITROBENZOL.	18
2.1.5.b. NITROCOMBINACIONES DEL XILOL Y DE LA NAFTALINA.	19
2.1.5.d. TRINITROFENOL.	20
2.1.5.e. TRINITROANISOL.	20
2.1.5.f. TRINITROCRESOL.	20
2.1.5.g. TETRANITROMETILANILINA.	21
2.1.5.h. EXPLOSIVOS COMPUESTOS.	21
2.1.6. EXPLOSIVOS DE NITROGLICERINA (DINAMITAS).	
2.1.6.a. DINAMITA ORDINARIA.	22
2.1.6.b. GELATINA EXPLOSIVA (DINAMITA GOMA).	22
2.1.6.c. PENRINITA.	23
2.1.6.d. DINAMITA GELATINA.	23
2.1.6.e. DINAMITA DE SEGURIDAD.	24
2.1.7. EXPLOSIVOS DE SEGURIDAD	

(EXPLOSIVOS DE NITRATO AMONICO)	26
2.1.8. EXPLOSIVOS DE CLORATO (CHEDDITA) Y DE PERCLORATO.	26
2.1.9. EXPLOSIVOS ANTIGRISU.	27
2.1.10. EXPLOSIVOS DE MEZCLAS DE AIRE CON GASES Y POLVO.	27
2.1.11. EXPLOSIVOS DE INICIACION (FULMINANTES O MIXTOS).	29
2.1.11.a. FULMINATO DE MERCURIO.	30
2.1.11.b. FULMINATO DE PLATA.	30
2.1.11.c. NITRURO DE PLOMO.	30
2.1.11.d. TRINITRO-RESORCINATO DE PLOMO.	30
2.1.11.e. DIAZODINITROFENOL.	31
2.1.12. EXPLOSIVOS ANFO.	33
2.1.13. EXPLOSIVOS HIDROGELES.	35
2.1.13.a. LINEA DE PRODUCTOS GODYNE (HIDROGELES).	38
2.1.14. EMULSION.	41
2.2. DETONADORES	
2.2.1. DETONADORES ORDINARIOS.	43
2.2.2. DETONADORES ELECTRICOS.	44
2.3. MECHA LENTA U ORDINARIA .	49
2.4. CORDON DETONANTE.	50
2.4.1. INICIADORES.	
2.4.1.a. IGNITACORD.	53
2.4.2. RELES DE RETARDO.	54
2.5. MANEJO Y PROTECCION DE LOS EXPLOSIVOS.	56
2.5.1. PRECAUCIONES DURANTE EL TRANSPORTE DE EXPLOSIVOS.	60
2.5.2. PRECAUCIONES DURANTE EL ALMACENAMIENTO DE EXPLOSIVOS.	60
2.5.3. PRECAUCIONES DURANTE EL EMPLEO DE EXPLOSIVOS.	61

ANEXO No. 1 "TABLAS COMPLEMENTARIAS DEL CAPITULO II "

CAPITULO III SONDEOS, BARRENOS Y TAQUEO.

3.1. SONDEOS	
3.1.1. SONDEOS POR PERCUSION.	
3.1.1.a. SONDEOS A PROFUNDIDAD MUY PEQUEÑA.	68
3.1.1.b. SONDEOS A PROFUNDIDADES MEDIAS Y GRANDES.	69
3.1.2. PRUEBAS DE PENETRACION ESTANDAR.	69
3.1.3. SONDEOS POR ROTACION.	70
3.1.3.a. SONDEOS CON BROCA DE DIAMANTES.	70
3.1.3.b. SONDEOS CON BROCA DE GRANALLA.	70
3.1.3.c. SONDEOS CON BROCA DE DIENTES.	71
3.1.4. SONDEOS EN EL MAR O EN LOS RIOS.	72
3.1.4.a. SONDEOS CON LANZA.	72
3.1.4.b. SONDEOS ACUSTICOS	72
3.2. BARRENOS	75

3.2.1. EQUIPOS DE BARRENACION.	77
3.2.2. TIPOS DE BARRENOS.	
3.2.2.a. BARRENOS SECANTEADOS.	81
3.2.2.b. BARRENOS ARRASTRADOS.	82
3.2.2.c. BARRENOS QUEDADOS.	82
3.2.2.d. BARRENOS INCENDIADOS O DEMORADOS.	83
3.2.2.e. BARRENOS LARGOS.	83
3.2.2.f. BARRENOS HORIZONTALES.	84
3.2.2.g. BARRENOS DE DIAMETRO GRANDE.	85
3.2.2.h. BARRENOS DE PEQUEÑO DIAMETRO.	86
3.2.3. TIPOS DE CUÑAS.	87
3.2.3.a. CUÑAS EN ANGULO.	87
3.2.3.b. CUÑAS PIRAMIDALES.	89
3.2.3.c. CUÑAS QUEMADAS.	90
3.3. TAQUEO.	92
3.3.1. TIPOS DE TAQUEO.	93
3.3.1.a. TACOS INERTES.	93
3.3.1.b. BOLSAS DE AGUA PARA TACOS.	94
3.3.1.c. BOLSAS PARA TACOS.	94
3.3.1.d. TACO INCOMBUSTIBLE.	95
3.3.1.e. TACO COMBUSTIBLE.	95
CAPITULO IV APLICACIONES.	
4.1. MINAS.	
4.1.1. EQUIPO.	97
4.1.2. BARRENACION.	97
4.1.3. EXPLOSIVOS.	98
4.1.4. AFLORAMIENTO DEL CARBON.	99
4.2. VIAS TERRESTRES	101
4.2.1. EXPLOSIVOS.	104
4.3. BANCOS DE MATERIAL.	
4.3.1. EXPLOSIVOS.	105
4.3.2. BANCOS BAJOS.	107
4.4. PANTANOS.	
4.4.1. CONSTRUCCION DE TERRAPLENES EN ZONAS PANTANOSAS.	114
4.4.1.a. PROCEDIMIENTO POR SUSTITUCION.	114
4.4.1.b. PROCEDIMIENTO POR FLOTACION.	114
4.4.1.c. PROCEDIMIENTO POR CONSOLIDACION.	114
4.4.1.d. PROCEDIMIENTO POR HUNDIMIENTO TOTAL DEL TERRAPLEN.	115
D.2. HUNDIMIENTO DEL TERRAPLEN EMPLEANDO FUERZAS EXTERIORES PARA ACELERAR EL PROCESO (EXPLOSIVOS).	115
D.2.1. POR COLOCACION DE LA CARGA EXPLOSIVA ANTES DE CONSTRUIR EL TERRAPLEN.	115
D.2.2. POR COLOCACION DE LA CARGA EXPLOSIVA DURANTE LA CONSTRUCCION DEL TERRAPLEN.	116
D.2.2.1. METODO DE VOLADURA DE PIE.	116

D.2.2.2. METODO DE VOLADURA CON TORPEDO.	117
D.2.3. POR COLOCACION DE LA CARGA EXPLOSIVA POSTERIORMENTE A LA CONSTRUCCION DEL TERRAPLEN.	117
4.4.2. MAQUINARIA.	118
4.5. SUBTERRANEAS	119
4.5.1. APERTURA DE TUNELES.	120
4.5.2. PATRONES DE BARRENACION.	121
4.5.3. EXPLOSIVOS.	123
4.5.4. DETONADORES.	123
4.5.5. PROCEDIMIENTO DE CARGA.	123
4.5.6. ELIMINACION DE LOS GASES.	124
4.6. SUBMARINAS.	127
4.6.1. PROFUNDIZACION EN PUERTOS Y CANALES.	130
4.6.2. EXPLOSIVOS.	131
4.7. EJEMPLOS.	
4.7.1. VOLADURAS A CIELO ABIERTO.	133
4.7.1.a. FORMA DE CEBADO.	133
4.7.1.b. CALCULO DE LA CARGA EXPLOSIVA.	134
4.7.2. CALCULO DE PLANTILLA DE BARRENACION.	136
4.7.3. CALCULO DE PLANTILLA DE BARRENACION DE UNA FRENTE.	141
4.7.4. CALCULO DE VOLADURA DE PRECORTE.	144
CAPITULO V TRAMITES.	
5.1. ANTE QUE AUTORIDAD.	147
5.1.1. SECRETARIA DE GOBERNACION.	147
5.1.2. SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL. REGISTRO Y CONTROL DE ARMAS Y MATERIAL EXPLOSIVO.	147
5.1.2.a. LEY FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS.	147
5.1.2.b. REGLAMENTO DE LA LEY FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS.	153
5.2. TARIFAS VIGENTES HASTA JUNIO 30 1996.	157
5.3. FORMATOS PARA ADQUISICION DE PERMISOS.	
5.3.1. PERMISO GENERAL PARA COMPRA-VENTA DE MATERIAL EXPLOSIVO.	160
5.3.2. PERMISO EXTRAORDINARIO PARA EL MANEJO DE MATERIAL EXPLOSIVO	161
5.3.3. PERMISO PARA LA FABRICACION DE ARTICULOS PIROTECNICOS	162
5.4. QUIEN VENDE.	163
CONCLUSION.	164
BIBLIOGRAFIA.	165

INTRODUCCIÓN

Este trabajo trata a manera general sobre los diferentes tipos y usos de los explosivos en la construcción pesada, pasando por la evolución de los explosivos en México. Dicha evolución está íntimamente ligada a la producción minera; su innovación está basada en la observación de métodos específicos y resultados aplicados a las condiciones geológicas del subsuelo mexicano. Al igual que en otros lugares del mundo. En antaño, la pólvora negra hizo su aparición y se convirtió en el boom y se utiliza en la explotación de minerales; poco después ésta misma fue desplazada por la dinamita, actualmente y después de una serie de estudios, ensayos y perfeccionamiento, los explosivos han sufrido muchos cambios apareciendo en acción los del tipo hidrogel y los granulados de nitrato de amonio, mismos que tienen múltiples aplicaciones dentro del campo. Las innovaciones tecnológicas y aplicativas han permitido la creación y sofisticación de un nuevo tipo de explosivo como las emulsiones.

Agrandándose de esta manera el horizonte real de aplicaciones específicas de los mismos. Para las diversas utilizaciones de los explosivos en México.

Dentro de los estudios geológicos de proyectos como pueden ser en minas, vías terrestres, bancos de material, pantanos, subterráneas y submarinas, se debe realizar sondeos para conocer las características naturales del subsuelo. Ya que como es sabido existen diferentes estratigrafías, para las cuales se requieren brocas de diversos materiales como pueden ser: broca de diamantes, broca de dientes, y poder así determinar si es aplicable el uso de barrenos para fragmentar la roca o mineral; dentro del barrenos podemos distinguir tres partes: carga de explosivo (fondo y columna), cartucho cebo y retacado o taco.

También sabiendo el tipo de formación rocosa podemos utilizar el método más eficiente de voladura,

Al adentrarse a las aplicaciones mencionadas anteriormente se puede elegir el explosivo y artificio más óptimo, ya que existe una variedad de dichos productos.

Para todo lo relacionado con los materiales explosivos y artificios debe notificarse a la Secretaría de la Defensa Nacional y ésta a su vez informará a la Secretaría de Gobernación.

En lo referente a trámites fueron, proporcionados por la Secretaría de la Defensa Nacional varios modelos, dependiendo el permiso que fuera a solicitarse: Permiso General para la Compra-Venta de material explosivo; Permiso Extraordinario para el manejo de material explosivo; Permiso General para la fabricación de artículos pirotécnicos; se incluyen tarifas vigentes del 1 de enero al 30 de junio del año en curso.

Se finaliza con las conclusiones y bibliografía.

CAPITULO I

HISTORIA Y ANTECEDENTES

1.1. HISTORIA DE LOS EXPLOSIVOS EN MÉXICO.

México precolombino, incipiente nación dedicada a la adoración de las fuerzas cósmicas; en sus intentos para alcanzar los cielos por medio de construcciones piramidales y manifestar sus emociones por medio de la alfarería, originó sin darse cuenta la minería en México.

Investigaciones llevadas a cabo en 1969, en el Distrito minero de SOVATAL, en la sierra de Querétaro, demostraron la existencia de una extensa zona de explotación minera, cuyos orígenes se remontan desde el siglo IV a.C. hasta los principios de la era cristiana. Esto fue comprobado, al someter al análisis del Carbono 14 muestras de cerámica y objetos de origen orgánico procedentes de algunas de esas minas. Los científicos concluyeron, que diversos trabajos indígenas fueron realizados en esa zona a través de los siglos, fundamentando que la presencia de cerámica negra perteneciente a la Cultura Olmeca hace pensar que la iniciación minera en México data del siglo III al siglo IV a.C. El mencionado análisis demostró que los minerales en ese entonces buscados fueron la calcita y el cinabrio. Para corroborar todo lo anterior, Pedro R. Hendrichs en 1940, identificó un buen número de minas de la época precortesiana, en la regiones del bajo río Balsas, Michoacán, Guerrero y México.

Se asegura que en aquella época, para excavar los pozos y galerías como para el tumba de los minerales, los antiguos usaron martillos de roca, esto se demuestra ante la evidencia de los mangos de madera encontrados.

Otras herramientas elaboradas a partir de puntas de huesos, eran empleadas para la obtención de los minerales que parecían más puros y que se hallaban en las ranuras de las rocas; para "desmenuzar" los minerales, se empleaban diversos tipos de morteros de roca, móviles o fijos en las paredes de las minas; así mismo, usaban cucharas de barro, navajones de obsidiana y cuñas de madera muy dura para romper las rocas.

También se descubrieron restos de teas de ocote y fibras vegetales recubiertas de resina con el fin de alumbrar, trozos de batea de barro, canastos y cuerdas para extraer los minerales, así como vasijas, restos de alimentos, efigias dioses, etc. Se estima que la metodología para la exploración minera precolombina, se desarrolló en forma incipiente a partir del año 900 D.C.

Y el mundo de los antiguos mexicanos se derrumbó con un gran viento, que fue creciendo y haciéndose huracán de 4 vientos. En el año de 1519, al enterarse Moctezuma de la llegada de los españoles a las playas de Veracruz, envió sus mensajeros a indagar acerca de ese extraño y temido suceso; Hernán Cortés iniciaba exploraciones en tierras veracruzanas, con una expedición integrada por 508 soldados, 100 marinos, 16 caballos y 14 cañones.

Grande fue el desconcierto, temor y admiración que causó a los indígenas este primer encuentro, no sólo por los hombres blancos y barbados, sino también por el ruido ocasionado por el estallido del cañón.

Ya con rumbo a la capital mexicana, Cortés inicia el ascenso a la sierra con 400 españoles, numerosos indígenas aliados pertenecían a los Colhua-Mexicas, los primeros en tener contacto con la pólvora.

Al iniciarse la dominación española, el deseo de poseer el oro y la plata, impulsó a los conquistadores a penetrar por regiones que aún en nuestros días nos parecen casi inaccesibles. Fue durante la época colonial, cuando se descubrieron las más importantes minas en nuestro país, muchas de las cuales, siguen siendo productivas. Extraer el mineral implicaba una larga serie de operaciones y técnicas de variable complejidad. Tal como ha señalado con insistencia David A. Bradsong, no existió en Nueva España una mina típica, sino que cada veta explotada tuvo sus propias operaciones más generales y comunes a las minas: una vez señalada la veta, se iniciaba la excavación para sacar mineral, formando la mina; esto es, una excavación de diámetro variable que habría de seguir el rumbo que fijara la veta. Para la operación de picar el mineral y reducido a trozos manejables, se empleaban a los trabajadores más comunes en las minas llamados "barreteros" por el instrumento que usaban. Los barreteros tenían ayudantes llamados "pesnes y tenateros", que eran los que recogían en bolsas o tenates el mineral para extraerlo de la mina. Se empleaba un zapapico de hierro, pesado y poco manejable, que era una herramienta casi idéntica a la que los mineros acostumbraban establecer bajo tierra, fraguas para afilar esta herramienta. Los zapapicos en su mayor parte eran cortados localmente con barros de hierro importados de España.

Durante la 2ª mitad del siglo XVI, la minería mexicana se desarrolló del centro hacia el norte del país; Zacatecas, Guanajuato, San Luis Potosí, Chihuahua, Jalisco, Hidalgo y Puebla. En el año de 1550 se descubre el importante afloramiento, o crestón de una potente veta: la veta madre, en el mismo lugar que se ubica hoy la que después llegó a ser la célebre mina de San Juan de Rayas, que en futuros tiempos influyó en la prosperidad de Guanajuato. El hallazgo lo realizó un arriero llamado Juan de Raya, quién después de efectuar durante algún tiempo obras exploratorias de carácter superficial, sin éxito aparente, vende la mina, que ya había denunciado a Don Diego de Ahedo y socio. Ambos usaron todavía para la apertura de labores mineros el método llamado de lumbreras, pues ignoraban el uso de la pólvora en los barrenos y la manera de ejecutar éstos. Este método de lumbradas, consistía en introducir leña a la mina, calentar su fracturamiento.

Este método representaba un peligro de asfixia a los trabajadores, retardando la labor, ya que había que esperar a que se renovara el aire.

Las aplicaciones de la pólvora en la minería, se iniciaron, a partir de 1613 en Europa, en tajos abiertos, y entre 1627-1666 en minas subterráneas.

En la Nueva España, se usó en labores externas desde 1676. Al finalizar el siglo XVII, su uso era corriente en minas de Guerrero y San Luis Potosí.

No se sabe a ciencia cierta cuando se difundió el uso de cartucho explosivo en la Nueva España, pero la tradición local de Guanajuato afirma que José de Sardaneta, propietario de Minas de Rayas, fue el primer mexicano que usó esta técnica.

Lo que sí podemos afirmar es que en 1730 la "Gaceta de México", llamaba la atención sobre un tiro de 152 varas de profundidad, que Sardaneta había perforado en 2 años usando "fuerza de barrenos y pólvora".

Es evidente que los explosivos no se usaban comúnmente, ya que en 1732 Zacatecas no compró más de 1300 libras (589,667 kg.) de pólvora, cantidad insignificante si la comparamos con las 90,000 libras (40,823 kg.) que Guanajuato consumió anualmente entre 1778 y 1795.

He aquí la importantísima innovación técnica, que abarató e hizo más eficientes las operaciones mineras; la rápida perforación de grandes tiros y de galerías en el siglo XVIII, fue consecuencia de la introducción del uso de pólvora para voladuras subterráneas. Sin embargo, su uso y aplicaciones representaba grandes peligros, en el caso del suceso ocurrido el 14 de noviembre de 1787, cuando se registró un fatal accidente dentro de las minas de Rayas; se incendió una cantidad de pólvora, causando la muerte de 12 personas.

La época colonial llegó a su fin, la guerra de Independencia trastornó a la Nación, una gran parte de los archivos de la Intendencia y de Hacienda de las minas de Guanajuato fueron destruidas en 1810, cuando las fuerzas de Hidalgo se apoderaron de la Ciudad. En el curso del siglo pasado se perdieron otros documentos y, en tiempos más recientes, los libros de contabilidad de las grandes minas, hasta entonces religiosamente conservados, fueron vendidos como pulpa a una fábrica de cartón.

En cuanto a fábricas de pólvora, se ha escrito que después de la Conquista, Chapultepec formó parte del marquesado del Valle hasta 1530, año en que la Corona Española la donó a la Ciudad; en ese tiempo se construyó una fábrica de pólvora, misma que permaneció ahí hasta 1784.

Es evidente que entre 1810 y 1937, el desarrollo de los explosivos en México se limitó al uso de la pólvora negra y dinamita, siendo ésta última de importación. Fueron más de 100 años de oscurantismo para este sector industrial; por fortuna en 1937, "Atlas de México" inició la comercialización en México, de la dinamita entre otros productos; Hidrogel y en 1967 inicia su producción.

Actualmente, los explosivos son de vital importancia en los sectores mineros, de construcción, del cemento y petrolero. La pólvora negra y la dinamita son cosa del pasado, el presente y el futuro son el hidrogel y las emulsiones, siendo éstas últimas lo más moderno en el mundo de los explosivos.

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1 CRONOLOGÍA DE LA PÓLVORA NEGRA	
SIGLO XIII	Descripción de las velas romanas en los anales chinos de la dinastía SUNG.
1242	El Fraile Roger Bacon escribió la fórmula para la pólvora negra.
Aproximadamente en 1300	Berthold Schwarz es el primero en usar la pólvora negra como propulsor de armas de fuego.
1627	Primera prueba documentada del uso de la pólvora negra en minas en Hungría.
1689	Pólvora negra usada en las minas de Corwell, Inglaterra.
1696	Utilizada en la construcción del camino Albulá en Suiza.
1705	Uso en las minas de cobre de Simsbury.
1804	Irene Du Pont inició la producción comercial de la pólvora negra en Delaware.
1857	Lammont Du Pont sustituyó salitre chileno (nitrato de sodio por nitrato de potasio) y es llamado pólvora para voladuras "B".
1917	Primera guerra mundial, el consumo de pólvora en los EE.UU. alcanzó la cifra de 277118525 libras (125.698,19 kg.)
1930-40	Numerosas fábricas de pólvora negra cesaron la producción debido a la falta de mercado.

1.2.2 CRONOLOGIA DE LA DINAMITA

1846	Ascanio Sobrero descubre la nitroglicerina.
1861	Alfredo Nobel construyo una pequeña planta de nitroglicerina.
1863	Nobel patento la mezcla pólvora negra, NG.
1866	Nobel mezclo NG con diatomita para hacer dinamita.
1875	Nobel descubrió la "Gelatina para voladuras" al disolver nitrocelulosa en nitroglicerina e introdujo "la diatomita gelatina".
1880	Du Pont fabrica dinamita en New Jersey.
1880's	Se investigaron dinamitas permisibles para minas de carbón en Europa.
1908	Se requirió que las dinamitas fueran probadas para permisibilidad previamente a ser usadas en minas de carbón.
1925	El dinitrato de etilen glicol con nitroglicerina resolvió el problema del congelamiento de la dinamita.
1950's	Nitrato de amonio, combinado con varios combustibles, empezó a reemplazar grandes cantidades de dinamita de NG. Los hidrogeles "Water Gels" se comercializaron.
1974	Du Pont anuncio planes para retirarse del negocio de dinamita en favor de un nuevo explosivo hidrogel "TOVEX".

1.2.3. CRONOLOGIA DEL NITRATO DE AMONIO E HIDROGELES

1659	Glauber preparo y describió por primera vez el nitrato de amonio.
1867	Norbin y Ohlsson patentaron el uso del nitrato de amonio con sensibilizadores y Nitroglicerina.
1873	Alfredo Nobel patento el uso de ingredientes sólidos para impermeabilizar la dinamita de Nitrato de amonio.
1879	Nobel patento el uso de Nitrato de amonio en las gelatinas.
1885	Introdujeron métodos para recubrir el Nitrato de amonio para mejorar la resistencia al agua.
1935	"Nitramon" el primer agente explosivo comercial significativo introducido por Du Pont.
1957	Son comercializados los hidrogeles.
1970	Du Pont inicia el programa de desarrollo para hidrogeles de diámetro pequeño.
1974	Du Pont anuncia su intento por reemplazar las dinamitas por los hidrogeles.

CAPITULO II

EXPLOSIVOS Y DETONADORES

2.1. TIPOS DE EXPLOSIVOS.

2.1.1. POLVORAS.

2.1.1.a. POLVORA NEGRA Y SALITRE EXPLOSIVO.

Normalmente la pólvora negra esta compuesta de:

- 75% de nitrato potásico
- 15% de carbón vegetal
- 10% de azufre.

La pólvora negra es de color gris pizarra a negro azulado y contiene, por término medio, 1% de humedad. La densidad absoluta llega a valer 2. La buena pólvora negra no debe teñir el papel al resbalar sobre él y después de arder no debe dejar mancha ni partículas de escoria, es de un manejo seguro, pero en cambio se inflama fácilmente por la llama y chispa y por ello es de más peligro su almacenaje que el de la mayoría de los explosivos rompedores. La pólvora no detona, si no que tan sólo arden con rapidez (deflagra) y por ello no es ningún explosivo rompedor. Para su explosión, estando confinadas, no precisan detonador, siendo suficiente el fuego a través de una mecha.

Su velocidad de combustión llega como máximo a 400 m/seg.; el volumen de gases desarrollado es pequeño pues el residuo sólido (formador del humo) viene a ser 3/5 de su peso.

Su poder de explosión en barreno es más bien de empuje y traslación que de trituración, lo que con roca blanda es una ventaja de la pólvora frente a los explosivos rompedores; es muy aconsejable en el arranque de mármoles y rocas ornamentales en general, al objeto de evitar la rotura y rajamiento de los bloques.

SALITRE EXPLOSIVO.

Trátase de una variedad barata y de grano grueso de la "pólvora de caza" (pólvora fina), con un contenido variable de salitre del 75 al 82%. Más barata todavía y además más eficaz es la "pólvora rompedora", en la que sustituye el salitre potásico por el más rico en oxígeno y menos higroscópico nitrosódico.

2.1.1.b. POLVORAS SIN HUMO.

Las pólvoras gelatinizadas con "poco humo" (pólvoras coloidales) han sustituido a la antigua pólvora negra. Mientras que la pólvora negra en graneado y coloración, ofrece siempre el mismo aspecto, la apariencia de las pólvoras sin humo, por su graneado, configuración y color, es variable: desde la pólvora cúbica grafitada, negra brillante con 0.2 mm de grano, hasta la pólvora tubular de nitroglicerina, en macarrones de 2.5 cm de diámetro y 1.5 m de largo, de color amarillo claro, se hallan de todas las formas y colores intermedios.

Muchas gelatinas permiten, por un simple calentamiento, reconocer el disolvente y su carácter. Con pequeñas variaciones en más o en menos, la densidad de las pólvoras gelatinizadas en masa viene a ser de 1,6, mientras que la densidad aparente o peso de carga suelen ser algo menor de 1kg/litro. La mayoría de las pólvoras de nitrocelulosa son elásticas y de aspecto corneo mientras que las pólvoras de nitroglicerina son menos tenaces, blandas y flexibles. La sensibilidad a la percusión de la pólvora de nitroglicerina es mayor que la de la pólvora de nitrocelulosa y sobrepasa considerablemente en todos los casos a la de la pólvora negra.

Las pólvoras sin humo son difícilmente inflamables y su combustión es mucho más lenta que la de la "deflagrante" pólvora negra. La sensibilidad a la llama aumenta con el calor y la sequedad; por el contrario la pólvora enfriada por las bajas temperaturas de invierno o a grandes alturas de vuelo, con su humedad (1-2%) congelada, necesita fulminante más fuertes. La pólvora inflamada arde, aún en grandes cantidades sin explosión: la detonación no se presenta hasta tanto que el aumento de presión, por escape dificultoso de los gases formados, no hace subir la velocidad de combustión. Esto ocurre muy rápidamente con la pólvora negra por lo cual no deben almacenarse juntas. La temperatura de deflagración (temperatura de inflamación por calentamiento rápido) de todas las pólvoras gelatinizadas se halla entre 170° y 180°, mientras que la con más inflamable pólvora negra pasa de los 300°.

La seguridad de almacenaje o estabilidad de las distintas pólvoras es muy diversa, según la forma en que se expiden; a pesar de la intensa vigilancia por métodos modernos perfeccionados, se han presentado inflamaciones espontáneas por el calor. Incluso las pólvoras con el mayor cuidado fabricadas y estabilizadas se alteran con el tiempo; aunque el desdoblamiento nitroso y su recepción por el estabilizador se verifique lentamente y sin peligro, en contraposición a lo que sucede con la pólvora negra, que después de más de un siglo se a encontrado sin la menor alteración.

Las corditas "vaselinadas" son tres veces menos estables que las pólvoras de nitroglicerina tratadas con difenilamina y centralita.

ESTABILIZADORES.

Ya en los primeros años de la fabricación de la pólvora sin humo se presentaron las descomposiciones inesperadas debidas a la formación durante el almacenamiento de vapores nitrosos, ácidos, que por desarrollo progresivo de calor conducían a la inflamación y finalmente a la explosión espontánea.

Pronto se reconoció que la masa fundamental formada por nitratos de celulosa y de glicerina, se modificaba en su constitución química, y se estropeaba por las superaciones sucesivas de disolución, evaporación, desecación y prensado en caliente, y no en último término por el tratamiento superficial, y que esto podía remediarse por la incorporación de un compuesto especial (combinador de ácidos).

El primer estabilizador para seguridad del almacenamiento de la pólvora es la difenilamina (es el más conocido). Posteriormente descubrieron las "centralitas", sustancias especialmente adecuadas para las pólvoras de nitroglicerina, por actuar como "disolventes sólidos" y "ablandadores", elimina la fragilidad y aspereza de éstas pólvoras y simplifica y acorta los métodos de fabricación. La más utilizada "centralita I" es la difenil-dietil-urea simétrica de punto de fusión 71.5°, mientras que la "acardita" es la difenilurea asimétrica, de punto de fusión 189°.

TONEGUTTI determinó los poderosos estabilizadores relativos de varios de éstos compuestos para la nitroglicerina y la nitrocelulosa:

	Ng	Nc
Difenilamina	3.9	13.3
Acardita	3.7	15.7
Centralita 1	2.2	8.3
Difeniluretano	1.6	8.0
Anilina	1.0	3.2

2.1.1.c. POLVORAS DE NITROGLICERINA.

A las suaves pólvoras de nitrocelulosa se enfrentan las violentas "ofensivas", pólvoras de nitroglicerina con elevada temperatura de combustión (explosión). Sin embargo, también las pólvoras de nitroglicerina, con la sola excepción de pocas corditas contienen más de la mitad de nitrocelulosa que pueden consistir en algodón pólvora insoluble de alta nitración, en algodón colodión soluble o en mezclas de ambos. Según la clase de disolvente empleado para la gelatinización se distinguen tres tipos de pólvoras de nitroglicerina:

1. Pólvoras de nitroglicerina con gran cantidad de aceite explosivo, exentas de disolvente, obtenidas como la ballestita de Nobel.
2. Pólvoras de nitroglicerina con escaso a elevado contenido de aceite explosivo, pero con algodón pólvora de alta nitración utilizando la acetona como gelatinizante y obtenidas al estilo de la cordita inglesa.
3. Pólvoras de nitroglicerina con escaso contenido de aceite explosivo, gelatinizadas en seco, utilizando y ablandante y estabilizador no volátil (centralita). Estas pólvoras exentas de disolvente, con 20 a 30% de nitroglicerina, fueron ya utilizadas y su ventaja estriba, al lado de la rapidez de fabricación en su extraordinaria potencia y adaptabilidad.

1. BALISTITA.

Esta enérgica pólvora se compone de 40 a 50% de nitroglicerina gelatinizada con 50 a 60% de algodón colodión pues el algodón pólvora de alta nitración no es apto por su insolubilidad en el aceite explosivo para conseguir la unión homogénea de ambos componentes, tiene que emplearse el algodón colodión húmedo, como lo entregan corrientemente las centrifugas, es decir con un 30% de agua; a medida que el aceite explosivo va penetrando en la masa, se separa el agua.

Si bien las balistitas actuales no suelen contener más de un 40% de nitroglicerina, parece ser en cambio esta pólvora, que es la de mayor energía de las nitroglicerinas, es el agente propulsor indicado para los cohetes.

2. CORDITA.

Si se quiere obtener una pólvora de nitroglicerina con menos contenido de aceite explosivo que el de la balistita pero que quede compensado con una mayor proporción de algodón pólvora de alta nitración, es preciso emplear para la gelatinización un disolvente común. El líquido gelatinizante desde un principio utilizado es la acetona de 56° de punto de ebullición.

La actual cordita inglesa MD contiene, (casi inalterada frente a la primitiva) 64% de nitrocelulosa de 12.5% de Nitrógeno, 30% de nitroglicerina y 6% de vaselina.

3. POLVORAS DE NITROGLICERINA GELATINIZANTE EN SECO.

Este tipo tan preferido ("pólvoras SD", sin disolventes) se basa, lo mismo que la cordita, en el empleo de celulosas de alta nitración, sólo solubles parcialmente, pero sin el auxilio de disolventes que más tarde habría que eliminar.

Nueve partes en peso de centralita I (dietil-difenil-urea simétrico) se mezclan, y en parte se disuelven, con veintisiete partes de nitroglicerina. Esta mezcla se trabaja con adición de agua hasta convertirla en un papilla, con nitrocelulosa húmeda de sesenta y cuatro partes en peso de algodón seco. La masa bruta formada tras la expulsión del agua (como en la balistita) se pasa, después de una maduración de varios días, por los rodillos de la calandria para su gelatinización final a 90°, siendo luego cortada en frío al tamaño deseado o prensada en caliente para moldear cintas o macarrones.

2.1.1.d. POLVORAS DE DINITRATO DIGLICOLICO ("didi"),

Desde el punto de vista físico, trátase de una pólvora "fría", o débil de 800 y hasta de 700 kcal/kg. El dinitrato diglicólico gelatiniza al algodón colodión mejor que la nitroglicerina y permite reducir por ello la adición de centralita (ablandante y estabilizador) hasta un 2%; además, por su relativa pobreza de oxígeno puede trabajarse sin peligro con grandes adiciones a la nitrocelulosa. Las pólvoras "didi" son por otra parte muchísimo más segura a la congelación que las de la nitroglicerina, que con intenso frío se vuelven duras y quebradizas y "florecen" en su superficie, perdiendo con ello su uniformidad balística.

Para rebajar la temperatura se incorporan a la pólvora nitrocompuestos ricos en carbono como por ejemplo mono o dinitronaftalina; especialmente adecuada para este fin parece ser la nitroguanidina, rica en nitrógeno, que al descomponerse no deja residuo alguno de hollín ni de hidrocarburos grasiantos, sino que aporta a los gases de la pólvora el extraordinario volumen normal de 1077 litros/kg. (Tabla No. 1)

TABLA No. 1
TIPOS DE POLVORAS

POLVORAS		CALOR DE EXPLOSION O COMBUSTION	TEMPERATURA DE EXPLOSION O COMBUSTION		VELOCIDAD DE EXPLOSION O COMBUSTION	COMPOSICION QUIMICA
		Q kcal/kg.	(°C)	(°K)	cm/seg.	
Ofensivas, energicas o agresivas	Balística 25/75	1324	4477	4750	45.0	25Nc de 12%N+75Ng
	Balística 50/50	1201	3850	4123	30.4	50Nc de 12%N+50Ng
De fuerza media	Pólvora de Ng 47/47B	988	3206	3479	20.3	47Nc de 12%N+47Ng+6Ce
	Pólvora de Nc (pólvora B)	802	2682	2955	14.5	98.5Nc de 12.66%N(mezclada)+1.5difenilamina
"Frias", Conservadoras de las armas, de baja temperatura de explosión	Pólvora de nitroguanidina	728	2355	2628	12.5	72 didi+25Nitroguanidina+3Ce
	Pólvora de dinitrato diglicólico	577	1871	2144	9.0	didi+7%Ce+2%de vaselina
	Pólvora de Ng	534	1792	2085	8.4	60Nc de 11.7%N+25Ng+15Ce
	Pólvora negra	~700	2300		300m/min.	

- Nc = Nitrocelulosa
- Ng = Nitroglicerina
- Ce = Centralita
- didi = Dinitrato diglicólico

°C = Grados Celsius
°K = Grados Kelvin (°C + 273)

2.1.2. NITROGLICERINA, DINITRATO GLICOLICO Y NITRATO METILICO

2.1.2.a. NITROGLICERINA.

Es un líquido oleoso, incoloro amarillo, inodoro y de densidad 1.5 g a 20°. Su solubilidad en agua es sólo de 1.8%, pero se disuelve fácilmente en alcohol, en otros disolventes orgánicos y muy particularmente en éter y acetona, es muy poco volátil. La nitroglicerina almacenada durante semanas a temperatura inferior a +10° se hiele y se convierte en una masa dura como la piedra, se dice que la sensibilidad de la nitroglicerina congelada es inferior a la del producto líquido, en la práctica resulta lo contrario (rozamiento y roturas al introducir las en los agujeros de los barrenos, por lo que el empleo de la dinamita helada debe prohibirse).

La nitroglicerina, inflamada por una cerilla, arde tranquilamente con llama pálida; la combustión se transforma rápidamente en detonación si el aceite se halla en un recipiente estrecho.

Como se expone al calor mediante goteo, se observa la desecación, sin ruido y lenta, luego cada vez más rápida y acompañada de un chasquido, que al llegar a los 200° se convierte en explosiones violentas, pero que, pasados los 250° vuelve a decrecer hasta llegar a una ebullición silenciosa.

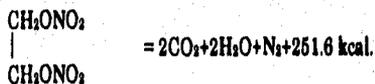
Por ignición enérgica detona la nitroglicerina, particularmente y con enorme poder si se encuentra congelada; con iniciación normal por el contrario, casi sin excepción lentamente, a unos 3000, 2000 y hasta 1000 m/s.

2.1.2.b. NITRATO METILICO (CH₃ONO₂).

Es un éster nítrico de alcohol metílico, un líquido móvil, fuertemente volátil, que hierve a 65° y que con iniciación enérgica hace explosión con tanto poder como la dinamita; sus vapores, sin intervención del aire, son combustibles y explosivos.

2.1.2.c. DINITRATO GLICOLICO.

También llamado dinitroglicol o simplemente nitroglicol, es el éster nítrico del alcohol divalente glicol (punto de ebullición 197°), explosivo ideal que se descompone sin residuo en ácido carbónico, vapor de agua y nitrógeno:



"NITROGLICOL"

El nitroglicol tiene propiedades casi iguales a las de la nitroglicerina, pero es sensiblemente más volátil, 4 veces más soluble en agua y de densidad aproximada 1.49. Su energía sobrepasa a la de la nitroglicerina e incluso a la de la gelatina explosiva, pero la energía de la dinamita referida al volumen no se alcanza en absoluto. Como explosivo único no tiene aplicación el nitroglicol, pero sí la encuentra en cambio como adición eficaz para rebajar el punto de congelación de los explosivos de nitroglicerina, pues no se solidifica hasta los -22° .

2.1.3. ALGODON POLVORA (nitrocelulosas).

Como explosivo, hace tiempo que el algodón pólvora carece de significación, pero como elemento fundamental de las pólvoras sin humo y como gelatinizante de la dinamita posee en cambio un extenso campo de aplicación.

La materia prima de mejor calidad para la fabricación del algodón pólvora se encuentra en los residuos del cardado y del hilado del algodón, principalmente en los "linters", que son los filamentos muy cortos y finos adheridos a las cápsulas de la planta y que se separan en el proceso del desgranado. Según la procedencia, son diversas la longitud de fibra y la composición de los linters: el contenido de celulosa (referido a la sustancia seca) puede ser del 80 al 96 %, el de cenizas de 1 al 2.5% y el de grasa del 0.5 al 2.5%.

La nitración tiene que ir precedido de una enérgica limpieza mecánica y química: por cocción en líquido alcalino, luego por blanqueo con solución diluida y clara de cloruro de cal, escurrido, acidificación con anhídrido sulfuroso y nuevo lavado y, por último, tras centrifugación y secado enérgico, queda la celulosa "madura" para su tratamiento.

Entrando por una parte celulosa seca (celulosa de algodón o de madera), no menos de 50 a 60 partes de mezcla ácida, pues de no ser así, la voluminosa materia prima no quedaría bien sumergida e impregnada. La mezcla ácida se compone de ácido nítrico con el doble por lo menos de ácido sulfúrico y cantidades variables de agua. La "solubilidad" y el contenido de nitrógeno de la nitrocelulosa obtenida dependen en forma notable de la proporción de agua.

El ácido nítrico concentrado con 9 a 11% de agua conduce a un algodón insoluble de alta nitración; el ácido diluido con 15 a 17% de agua proporciona por el contrario un producto soluble, que como algodón colodión de la más alta viscosidad, con 11.5 a 12.7% de nitrógeno, se hincha en la nitroglicerina y forma la "consistente" dinamita-gelatina. El límite superior de nitración de los actuales "algodones" para dinamita se encuentra en el 12.2 y el 12.4% de nitrógeno, en promedio el 12.3%.

Los productos de alta nitración son más difíciles de desacidificar que los de bajo grado; así como con las nitrocelulosas de madera es más difícil la operación que con las de algodón. La obtención de una nitrocelulosa con estabilidad completa es una de las operaciones más largas y penosas de la actual fabricación de explosivos.

El algodón pólvora es inodoro e inapido, insoluble en agua en frío y en caliente, pero fácilmente soluble en disolventes orgánicos, particularmente en la mezcla en volumen 1:2 de éter y alcohol. La densidad absoluta de las nitrocelulosas de algodón alcanza hasta 1.66, pero por la estructura floja del producto fibroso apenas se llega por prensado a la densidad de 1.3, lo que indudablemente es una desventaja para toda aplicación industrial como explosivo.

El algodón pólvora destinado a fines explosivos contiene un 13.3% de nitrógeno y arde con llama amarilla y con extraordinaria rapidez; se utilizan hoy exclusivamente para la fabricación de la más fuerte pólvora de cañón (la cordita inglesa).

2.1.4. EXPLOSIVOS SINTETICOS Y ELEMENTALES.

Estos explosivos que "se dicen" formados de los elementos fundamentales, carbón, agua y aire, bien mezclados con explosivos aromáticos.

Trátase de momento de las dos substancias sólidas altamente rompedoras, tetranitrato de pentaeritrita y trimetilen-trinitramina, que en la rama industrial tampoco desempeñarían un papel secundario, pues son altamente adecuadas para avivar explosivos lentos o inertes, en particular la dinamita.

2.1.1.4.a. TETRANITRATO DE PENTAERITRITA (nitropentaeritrita, pentrita, nitropenta).

También conocido este explosivo con los nombres de "pentrita" y "nitropenta", se presenta como un polvo cristalino parecido al azúcar, con la alta densidad de 1.77 y 142° de punto de fusión; según la proporción del acompañante hexanitrito de dipentaeritrita ("dipenta", densidad 1.63 y punto de fusión 76°). El éter es totalmente insoluble en agua, poco soluble en alcohol, éter y nitroglicerina y sólo fácilmente en acetona. Al encenderlo arde con llama clara, pero tratándose de cantidades superiores a 1kg, existe el peligro de detonación.

La pentrita prensada se emplea para cebos y estopines y para la carga de cartuchos de pequeño calibre, así como adición a la dinamita (pentrinita) contra el "envejecimiento" de los explosivos de nitroglicerina.

2.1.4.b. TRIMETILENTRINITRAMINA.

El producto de partida para este cuerpo de alto poder rompedor es la hexametilentetramina o urotropina, obtenida por condensación de formaldehído y amoníaco.

La trimetilentrinitramina es un polvo blanco inodoro e insípido, con la gran densidad de cristal de 1.62. En agua se disuelve tan sólo el 0.01%, es difícilmente soluble en éter y en alcohol, pero en acetona se disuelve fácilmente.

De la solución en agua caliente se separan cristales característicos, que pueden servir para la identificación. Su gran resistencia al calor es debido a la extraordinaria estabilidad de los nitrocuerpos; inflamado, arde el hexágono con llama luminosa y sibilante. Su velocidad de detonación de 8400 m/seg. es la máxima conocida de los explosivos sólidos, pero es menos enérgico que la pentrita. Su sensibilidad a la percusión es algo más favorable que la de la pentrita, y viene a ser el promedio entre la de la nitroglicerina y la de los nitroexplosivos aromáticos seguros contra impactos.

2.1.4.c. TRINITRATO DE NITROISOBUTILGLICERINA.

Por su gran densidad 1.63 y buena gelatinización con el colodión (a pesar de su viscosidad siete veces mayor que la de la nitroglicerina) sería altamente adecuado para la fabricación de dinamitas, pentrinitas y pólvoras enérgicas. Su síntesis trabajosa y complicada con mal rendimiento lo hace, de momento, inadecuado para dichos fines.

2.1.4.d. PANCLASITA-HELLOFFITAS.

Son las más agresivas e igualmente líquidas helloffitas, soluciones de nitrocuerpos aromáticos en ácido nítrico fumante de densidad 1.52. Estos líquidos explosivos sólo pueden guardarse en recipientes de vidrio, pero por lo fáciles que son de conseguir sus componentes pueden ser fabricados para cualquier aplicación.

2.1.4.e. AIRE EXPLOSIVO Y OXILÍQUITA.

Los llamados explosivos de aire líquido son mezclas de aire, mejor dicho oxígeno líquido (pues se enriquece el aire hasta un mínimo de 98% de oxígeno), con un combustible sólido y suelto, como negro de humo, aserrín de corcho, polvo de naftalina y también con frecuencia polvo de aluminio.

El "aire explosivo" proporciona la máxima energía, con más de 2000kcal/seg. y una velocidad media de detonación de 5000m/seg, cifras "récord" que, sin embargo, hay que rebajar por la poca densidad de carga (apenas 1.0).

Para la explosión rápida y segura del aire líquido se necesitan cebos eléctrico de nitruro de plomo, pues el fulminato de mercurio se vuelve inerte en contacto con el aire líquido ("muerte por el frío").

2.1.5. NITROCUERPOS AROMATICOS

Los productos de partida de los explosivos de este grupo proceden todos del alquitrán de hulla. En primera línea figuran los hidrocarburos líquidos de los aceites ligeros (punto de ebullición hasta 170°) como el bencol, el toluol y el xilol, y luego diversos constituyentes de los aceites medios (punto de ebullición entre 170° y 240°), como la sólida naftalina y los igualmente sólidos compuestos hidroxílicos fenol y cresol. Todas las demás primeras materias son derivadas mononucleares benzólicas, como la dimetilamina o la difenilamina, y se convierten en explosivos, como los anteriores, por nitración múltiple.

2.1.5.a. DINITROBENZOL, $C_6H_4(NO_2)_2$

El dinitrobenzol se obtiene por nitración del benzol, o más ventajosamente del nitrobenzol, como una masa cristalina amarilla con unos 80° de punto de fusión. A causa principalmente de la presencia del metadinitrobenzol, el producto es difícilmente soluble en agua y venenosa en alto grado.

Por el escaso contenido de oxígeno de la molécula, el dinitrobenzol es un explosivo extraordinariamente insensible que, incluso fundido, sólo detona en cartucho muy resistente y con enérgica iniciación.

2.1.5.b. TRINITROTOLUOL (trotilo, trilita, TNT)

Se produce en grandes cantidades y es el más empleado de los explosivos de guerra. En estado puro forma cristales con 80.8° de punto de fusión y 1.67 de densidad absoluta. El producto industrial utilizado como explosivo es de color amarillo a pardo rojizo y, si no se recristaliza, tiene un punto de fusión algunos grados más bajo. Como explosivo sólo entra en consideración, de los seis isómeros del trinitrotolul, el simétrico o trinitrotolul 1,2,4,6, también llamado a-trinitrotolul, pues aunque los otros isómeros se obtienen como acompañantes en la nitración, son luego eliminados en su mayor parte por la purificación.

El residuo que acompaña a las lejías alcohólicas de la cristalización es el "tri líquido", más espesa de color parda rojizo obscuro, que encuentra satisfactoria aplicación como plastificante de los explosivos de seguridad. La composición del "tri líquido" es del 80% del tri y 40% de di, que corresponde a un contenido de nitrógeno del 17.25%.

El trinitrotolul como explosivo industrial, se utiliza en 2 formas como "tri bruto" que funde a 78-76° o todavía a menos temperatura, y como "tri puro", de punto de fusión 80-81°.

El trotilo es muy difícilmente soluble en agua, pero en la mayoría de los disolventes orgánicos se disuelve con facilidad; es completamente neutro, inalterable al aire, no es higroscópico y, calentando por encima de 300°, se inflama sin explosión, con llama rojiza y desprendimiento de hollín. Su resistencia al calor (estabilidad) es extraordinaria; incluso una explosión de 100 horas a 130° no altera el punto de fusión.

2.1.5.c. NITROCOMBINACIONES DEL XILOL Y DE LA NAFTALINA.

El xilol industrial (mezcla de hidrocarburos) no admite la completa trinitración; en el mejor de los casos se obtiene un producto blando y plástico que contiene un 85% de trinitrometraxilol. Por su extraordinariamente grande insensibilidad es preciso refundirlo en mezcla con trotilo, para el relleno seguro a la percusión.

Las nitronaftalinas son todas sólidas y representan mezclas múltiples de diversos escalones de nitración. El escalón más elevado, la tetranitronaftalina, es algo superior al trotilo, pero por su dificultad de fabricación apenas se usa, mientras que las di y trinitronaftalinas, mezcladas con nitrato amónico, constituyen los conocidos explosivos franceses de seguridad favier y schneiderita.

2.1.5.d. TRINITROFENOL (ácido picrico, picrinita, melinita),

El ácido picrico puro forma cristales brillantes de color amarillo pálido, con la elevada densidad de 1.76 y 122.50° de punto de fusión. El agua a la temperatura normal disuelve tan sólo el 1%; mejores disolventes son el alcohol, el éter, el benzol y muy particularmente el ácido nítrico concentrado. El ácido picrico es de sabor muy amargo, es venenoso y es especialmente desagradable como polvo y en su fusión, en la que siempre hay volatilización y todo lo que le rodea queda teñido de amarillo.

Calentándolo a más de 300° se presenta, como en el trinitrotoluo, la inflamación con desprendimiento de hollín, sin detonar. Su sensibilidad a la percusión es, sin embargo, bastante superior a la del trinitrotolueno y, naturalmente, su facilidad de explotar, por lo que el ácido picrico, aun como carga colada, detona con seguridad mediante un cebo fuerte (sin carga detonadora intermedia), lo que en un principio se consideró por muchos una ventaja frente al flemático trinitrotolueno.

La fuerza explosiva del ácido picrico es algo superior a la del trinitrotoluo, tanto en energía como en velocidad de detonación, propiedades que aun resultan ampliadas por la alta densidad de carga (fundido 2.64, prensado hasta 1.72). Propiedad desventajosa de este explosivo altamente rompedor, para su aplicación general, se encuentra en la facilidad para formar sales, picratos sensibles a la percusión. Por ello todas las superficies metálicas en contacto con el ácido picrico deben ir estañadas o revestidas con una laca resistente.

2.1.5.e. TRINITROANISOL (trisol),

Ester metílico de ácido picrico, de fórmula $C_6H_2(NO_2)_3OCH_3$, sin propiedades ácidas, que funde a 65° y que, como era de esperar, es uno de los explosivos menos sensibles, más seguros al "shock". Como indica su correcta denominación química, metoxitrinitrobenzol, se obtiene este compuesto por nitración del éter metil fenólico "anisol", también obtenido indirectamente de la fracción benzólica del alquitrán de hulla.

2.1.5.f. TRINITROCRESOL (crasilita),

Este producto, que consta en su mayor parte de metatrinitrocresol 2,4,6, funde alrededor de los 100° formando un aceite de color amarillo y que en mezcla con 40% de ácido picrico se hace líquido a 85°.

2.1.5.g. TETRANITROMETILANILINA (tetralita, tetrilo),

Denominación química correcta: trinitrofenilmetilnitramina, el tetrilo bruto. desacidificado por enérgicos lavados con agua, es un polvo amarillo sucio que funde a 118-122°; por recristalización en benzol o acetona puede obtenerse un tetrilo más puro, amarillo claro, que funde a 128°.

El tetrilo separado de sus soluciones tiene la apariencia de fina harina cristalina, de color amarillo claro, con 1.73 de densidad absoluta. Es poco soluble en agua y en alcohol, con facilidad es soluble en benzol y especialmente en acetona. Tiñe la piel de rojo y es venenoso calentado a 200°, arde rápidamente con llama luminosa clara, desprendiendo humo. El tetrilo es más sensible a la percusión y detona con más facilidad que el ácido pícrico. Es el explosivo nitroaromático más potente, pero también el más caro, que sin mezcla alguna se utiliza (además como carga de cebos enérgicos) como explosivo prensado de gran poder rompedor, pues con 1.7 de densidad tiene una velocidad de detonación de 7700 m/seg.

Su efecto rompedor no llega a ser el de la más barata pentrita ni el del exógeno, pero su prensado, por su menor sensibilidad a la percusión, es menos peligroso y más económico.

2.1.5.h. EXPLOSIVOS COMPUESTOS.

Con excepción de la nitroglicerina, que sin mezcla alguna nunca se emplea, todos los explosivos simples (sin adiciones), especialmente los nitrocompuestos aromáticos, no tienen suficiente oxígeno en su molécula para que por la detonación se transformen en los productos normales de la combustión perfecta; agua y anhídrido carbónico. Desde el punto de vista militar, no es esto de gran importancia; al contrario, una oxidación incompleta que produce el venenoso óxido de carbono y humo asfixiante es hasta deseable. Para los explosivos industriales y particularmente en trabajos subterráneos, tiene, en cambio, importancia el que las exhalaciones sean lo menos molestas y el que la visita de una galería o túnel después de las explosiones no resulte peligrosa si no ha sido precedida de una enérgica ventilación.

2.1.6 EXPLOSIVOS DE NITROGLICERINA (dinamitas).

2.1.6.a. DINAMITA ORDINARIA, DINAMITA DE TIERRA DE INFUSORIOS, GURDINAMITA.

La dinamita de tierra de infusorios, ("solidificación" de la nitroglicerina líquida), masa incolora, oleoplástica, fácilmente moldeable en cartuchos y de peso específico 1.6 consistente en 75% de nitroglicerina y 25% de tierra de infusorios (harina de bell) se encuentran en yacimientos voluminosos de caparzones de algas silíceas, y por calcinación se convierte en una tierra capaz de absorber hasta el 80% de su peso de aceite explosivo. Los inconvenientes de esta dinamita son la fácil eliminación de la nitroglicerina por el agua, su congelabilidad y la disminución de la fuerza explosiva por la presencia de un 25% de materia "inerte" que para nada interviene en la explosión.

En cambio, esta dinamita de tierra de infusorios posee una velocidad de detonación relativamente elevada y constante, lo que es una ventaja frente a otras dinamitas, y, como explosivo de nitroglicerina que no envejece, será siempre empleada en los climas tropicales.

2.1.6.b. GELATINA EXPLOSIVA (dinamita goma).

La dinamita de "base activa", consiste en una solución fuertemente coagulada de 91-93% de nitroglicerina en 9-7% de algodón colodón con 11.8-12.4% de nitrógeno.

La gelatina explosiva es una masa blanda y elástica, amarillenta y translúcida, con 1.6 de densidad, que sin deformación puede cortarse y curvarse, y de la cual no puede ser eliminada la nitroglicerina ni por compresión ni por el agua. El aceite explosivo gelatinizado es menos heladizo que la dinamita de tierra de infusorios.

Se nota que están helados cuando en el papel de envoltura se forman unas manchas de aspecto aceitosos (que suda).

La gelatina explosiva, inflamada por una cerilla, arde con una llama pálida y ligeramente sibilante; por rozamiento en el mortero de porcelana o por golpe de martillo estalla con ensordecedora detonación. Su sensibilidad a la percusión es algo menor que la de la dinamita de tierra de infusorios.

Por lo que a la energía respecta, la gelatina explosiva (dinamita 100%) es el más potente de todos los explosivos sólidos; más en lo que a la casi tan importante velocidad de detonación se refiere y que con el almacenamiento disminuye progresivamente (pérdida de fuerza rompedora), siendo así que la velocidad inicial de explosión de 7600-7600 m/seg., desciende rápidamente, y a las tres semanas de edad sólo llega a importar 3000-2000 m/seg.

En los climas húmedos y cálidos puede esta dinamita volverse "inerte", hasta el punto de que ni con cebos del número 8 pueda conseguirse con ella una detonación total.

Por su potencia, son muy utilizados para la carga de fondo de barrenos, "parches", cuando hay agua o mucha humedad y en general para el arranque y fragmentación de rocas muy duras y cristalinas.

El manejo de explosivos gelatinosos puede producir un pasajero dolor de cabeza, producido por las emanaciones de la nitroglicerina.

2.1.6.c. PENTRINITA.

La fabricación de la pentrinita se realiza en forma análoga a la de la dinamita; la pentrita en polvo (20-50%), se mezcla primero con el aceite explosivo, a la mezcla se le incorpora el algodón colodión (6-4%) y se gelatiniza en la amasadora con calentamiento. La masa blanca formada, muy coherente y de agradable plasticidad, es algo más densa, un poco menos resistente al agua y más segura a la percusión que la dinamita goma; no falla con cebos débiles y siempre hace explosión con la máxima velocidad de detonación. La pentrinita es el explosivo sólido industrial de mayor poder destructor.

La pentrinita puede designarse lo mismo que las dinamitas: una pentrinita gelatinizada 50/46/4 se compone de 50% de pentrinita, 46% de nitroglicerina y 4% de algodón colodión, mientras que una pentrita 80/20 es una mezcla plástica con 80% de pentrita en polvo y 20% de nitroglicerina.

2.1.6.D DINAMITA GELATINA

La dinamita gelatina, el hoy más importante y empleado explosivo de nitroglicerina, es una especie de gelatina explosiva diluida. Si la nitroglicerina está débilmente gelatinizada, puede absorber cantidades de oxisales y de harina de madera sin que su plasticidad se resienta ni se separe aceite explosivo.

Estos explosivos "gelatinosos" de nitroglicerina se fabrican hoy con tres tipos principales:

1. Dinamita gelatina ordinaria, difícilmente congelable
2. Dinamita gelatina flematizada, transportable
3. Dinamita gelatina antigriú.

En los tres tipos va un contenido del 20-65% de aceite gelatinizado y 80-35% de mezcla en polvo diferenciándose, según su aplicación, en las adiciones contra la congelación, para rebajar la sensibilidad o para evitar la formación de llama.

La dinamita gelatina recién preparada es un explosivo de gran acción.

Para mayor seguridad de la detonación y garantía de la propagación del fuego de un cartucho a otro, se prescribe la prueba de sensibilidad al agua, pues también las no higroscópicas oxiales podrían disolverse en los barrenos inundados. También la dinamita gelatina está afectada por la "edad". Este tan inconveniente descenso de la velocidad de detonación puede asimismo remediarse con una adición de por lo menos, un 15% de pentrita, referida al peso del aceite gelatinoso, obteniéndose así la pentrita gelatina de alta e invariable velocidad de detonación.

2.1.6.e. DINAMITA DE SEGURIDAD.

Las dinamitas gelatinizadas de seguridad contienen tan sólo un 20-25% de nitroglicerina o de la mezcla nitroglicerina-nitroglicol difícilmente congelable y llevan una considerable parte de flematizante (4:1) en forma de nitrocuerpo aromático que hace disminuir la sensibilidad a la percusión, de modo que para la oxidación completa requiere mayor adición de nitro que la dinamita gelatina ordinaria.

Forman el grupo de las dinamitas las suizas iguales a las francesas y son las dinamitas-nitrogelatina (telsita, gamsita, adofina), la amongelatina alemana, todavía menos sensible que la dinamita nitrogelatina y de por sí difícilmente congelable.

Estas mezclas de seguridad, aunque no tienen tanta fuerza rompedora que la dinamita gelatina, son todavía lo suficientemente potentes para dar un buen rendimiento en roca dura, su principal ventaja estriba en la seguridad de manipulación y la autorización de ello trae consigo para el transporte por ferrocarril como mercancía no peligrosa.

El fastidioso fenómeno del "envejecimiento" con su descenso del poder rompedor, se manifiesta también en estas mezclas. (Tabla No. 2)

TABLA No. 2
TIPOS DE DINAMITA

TIPO	COMPOSICION	DESIGNACION	COEFICIENTE DE POTENCIA	APLICACIONES
Dinamita goma	Ng+algodón pólvora	A	155	Roca muy dura y trabajos bajo el agua
		B	142	Roca dura y fisuradas, medianamente húmedas.
		BAM	145	Roca dura y fisuradas poco húmedas.
Dinamita gelatinosa	Dinamita goma + pólvora + celulosa (eserín)	No. 1	112.5	Roca de dureza media poco húmedas
		No. 2	84.0	Roca semiduras y blandas secas
Dinamita anticongelante	Una parte de Ng se sustituye por dinitroglicol	Gomas gelatinadas A y B Números 1 y 2	Como antes	Utilización en invierno
Dinamita de seguridad	Pequeño contenido de Ng+dinitrotolueno	Tolomita	131	Roca dura
		Gameta	131	Roca dura
		Establitita	121	Roca dura en cantera
		Martinita	91	Rocas semiduras y blandas poco húmedas
		Natolitita	91	Rocas semiduras y blandas poco húmedas
				Roca blanda
		Nobelita	78	Roca blanda
		Pistolita	78	Roca blanda
	Xitolita	73		

Ng = Nitroglicerina

2.1.7. EXPLOSIVOS DE SEGURIDAD (explosivos de nitrato amónico)

Contienen del 70-90% de nitrato amónico (nitro amoniacal) y por ello son tan bien conocidos con la designación de explosivos de nitrato amónico. Llevan como máximo un 4% de nitroglicerina, en polvo y secos, a veces también húmedos al tacto, siendo en esta última forma extraordinariamente difíciles de inflamar y de gran insensibilidad a la percusión y al rozamiento; no manifiesta fenómenos de envejecimiento, pues cualquiera que sea su tiempo de almacenamiento detonan con la velocidad primitiva.

Como representantes típicos de éstos explosivos relacionamos a continuación: Aldorfita, Donarita, Schnciderita, Favier 3, Amonita y Ligamita.

Por simple mezcla de los componentes, previamente molidos y desecados a temperatura comprendida entre 95-105°. Una vez fría la mezcla se tamiza, se carga en cartuchos de papel y se parafinan estos para evitar la penetración de humedad. La compresión del explosivo para incrementar su energía no es practicable, pues el nitrato amónico comprimido no detona con los cebos normales. Estos explosivos son los más baratos.

El inconveniente principal reside en el gran contenido de nitrato amónico, que apeltona y endurece los cartuchos durante el almacenamiento y los va insensibilizando hasta hacerlos inexplosivos. Otro inconveniente esta en la inconsistencia pulverulenta, que dificulta la carga de los barrenos inclinados y de techo.

Por ser sensibles a la humedad no se deben utilizar en barrenos con agua o con mucha humedad.

2.1.8. EXPLOSIVOS DE CLORATO (cheddita) Y DE PERCLORATO.

El explosivo llamado cheddita es una mezcla de 75% de clorato potásico, 12.5% de azufre y 12.5% de carbón vegetal en polvo, para su aplicación práctica en cartuchos, toma en cuenta una mezcla plástica, en lo posible gelatinizada, en la que es barato y eficaz, pero higroscópico, el clorato sódico queda protegido de la humedad por una envuelta impermeable de un nitrocuerpo semifluido adicionado con aceite de ricino o algodón colodión. Para mejorar la facultad de detonación suele añadirse además de un pequeño tanto por ciento de nitroglicerina, es el primer explosivo estable de clorato, que no se endurece, con el nombre de cheddita gelatina.

La cheddita gelatinizada forma una masa plástica de color amarillo a pardusco, con elevada densidad de 1.9, tiene poca capacidad de trabajo, pero su poder rompedor es superior al de los explosivos de nitrato amónico, por lo cual esta mezcla cloratada tiene preferencia para el trabajo en galerías, en particular con roca húmeda y no muy dura.

Los explosivos de perclorato, más eficaces sólo han podido emplearse ocasionalmente en la práctica, a causa de su elevado precio.

2.1.9. EXPLOSIVOS ANTIGRISU.

Si se consigue trabajar sensiblemente la temperatura de explosión de las cargas de los barrenos, el peligro desaparecerá o por lo menos aminorará en forma considerable. Este razonamiento condujo a los explosivos "antigrisú", en los que la temperatura de detonación se rebaja a unos 1500° por adiciones extintoras de la llama, como sal común, habiéndose deducido las proporciones seguras contra las explosiones de grisú y de polvo de carbón por ensayos efectuados en galerías de experimentación. Simultáneamente se recomendó la composición con considerable exceso de oxígeno, para evitar la peligrosa inflamación retardada de los gases combustibles de la explosión (exhalación).

Los explosivos antigrisú pertenecen al grupo de los pulverulentos de nitrato amónico, o bien al de las glicerinas gelatinizadas.

2.1.10 EXPLOSIVOS DE MEZCLAS DE AIRE CON GASES Y POLVO.

Como las explosiones de éstas mezclas con aire no han sido nunca aplicadas militarmente, se cuentan hoy entre los pocos fenómenos deficientemente investigados, si bien en las minas de carbón, a pesar de todas las prescripciones, no dejan de ocurrir explosiones de grisú (metano) y de polvo de carbón tampoco son raras las inflamaciones de las mezclas con aire de gas del alumbrado y del acetileno, así como de las atmósferas cargadas de harina o de polvo de aluminio (aerosoles), mostrando todas ellas una similitud, sorprendente por sus efectos, con las detonaciones de explosivos sólidos. Para las mezclas con aire de todo combustible gaseoso o en polvo (harina, polvo de carbón, azúcar, metales ligeros pulverizados) existen unas dosificaciones límite, inferior y superior, entre las cuales es explosiva la mezcla, tenemos que el metano o "gas de las minas" es explosivo en mezcla con el aire siempre que la cantidad de gas presente no sea inferior al 5.3 ni superior al 14% de volumen de aire, siendo el máximo estequiométrico el 9.5% en volumen.

Para el acetileno, el más peligroso de todos los gases por lo que a la explosión se refiere, se encuentran los límites en el 4 y el 51% en volumen (máximo con el 7.7% en volumen de acetileno). Y todavía más extremo es el comportamiento del polvo de carbón en suspensión en el aire, ya que con 10 gr./m^3 de aire es explosivo.

Los fundamentos estequiométricos de las explosiones de gases conducen a ecuaciones de combustión con el oxígeno y con el aire, por lo general sencillas. Para poder comparar los efectos de las explosiones de gases con la de los explosivos sólidos, es preciso pasar de las relaciones volumétricas a las gravimétricas.

Los calores de explosivos de las siguientes mezclas se refieren siempre al máximo energético 1 m^3 de la mezcla gas del alumbrado-aire con 1.156 kg. de peso desprende 898 kcal, lo que con referencia al litro representa a una densidad de carga de 0.001156, frente a la densidad de 1.6 del trinitrotoluo fundido de 1530 kcal/litro.

Por ejemplo, 1 m^3 de la mezcla combustible ideal metano-aire libera en su detonación 809 kcal. Este calor, comunicado a un volumen de 1000 litros, provoca, suponiendo una temperatura de explosión de 2500° , una presión estática del gas de unas 10 atmósferas, o sea no menos de 100000 kg./m^2 . Tomemos tan sólo la 3ª parte en números redondos 30 ton/m^2 y se comprenderá que toda explosión de gas o de polvo en suspensión derribará hasta los muros más sólidamente contruidos. Estas mismas 809 kcal serían liberadas por 850 gramos de trinitrotoluo fundido con un volumen de 600 cm^3 .

Imaginemos la detonación de esta carga sólida sobre el suelo de un recinto de 1 m^3 con las más robustas paredes; en el suelo se provocará indudablemente un hundimiento por la explosión, pero las cuatro paredes y el techo quedarían menos afectados que por la explosión de 1 m^3 de mezcla gaseosa, cuya presión de explosión se repartiría uniformemente por todas las superficies de limitación del espacio.

Respecto a la velocidad de propagación de la explosión en las mezclas gaseosas, se han hecho hasta ahora muy pocas determinaciones. Según la máxima velocidad de detonación de una mezcla oxhídrica es de 3600 m/seg. , la de la mezcla oxiacetilénica de 2900 m/seg. En todo caso no corresponde la velocidad máxima a una mezcla de combustión sin residuo, sino a una mezcla con considerable exceso de gas combustible. Las mezclas gaseosas detonantes comprimidas tienen mayor velocidad de detonación, más alta que las alcanzadas con explosivos sólidos de la misma densidad.

Para completar la explosión anterior hay que observar tanto la combustión como la detonación de las mezclas gaseosas que conducen a toda una serie de productos intermedios, entre ellos los radicales químicos inestables OH, CH, HCO, C_2 que en un rápido proceso de desarrollo en cadena forman los conocidos gases finales de la combustión.

Se han comprobado espectrográficamente el hidrógeno y el oxígeno atómico. Desde hace tiempo es tan bien sabido que la ignición de los gases completamente secos es más difícil que cuando tienen indicios de vapor de agua, y que hay gases que en muy pequeñas adiciones actúan catalíticamente en las explosiones de mezclas combustibles, acelerándolas o retrasándolas.

2.1.11. EXPLOSIVOS DE INICIACION (fulminantes o mixtos)

Los explosivos iniciadores son los que comunican el "fuego" a las cargas de explosivos y de pólvoras, y para este fin se utilizan estopines y cebos de latón, cobre, o una aleación gris de aluminio. En contraposición 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, éstos explosivos tan peligrosos por su sensibilidad al fuego y a la percusión, llamados comúnmente mixtos o fulminantes, han ocasionado incontables accidentes.

Todavía a principios de éste siglo se consideraba erróneamente a las "terribles" sustancias fulminantes como los explosivos más energícos porque se confundía la fuerza con el ruido de la detonación, que nada tiene que ver con la energía ni con el poder rompedor.

2.1.11.a. FULMINATO DE MERCURIO, Hg(CNO).

Este explosivo de iniciación, el más antiguo y todavía usado en grandes cantidades, se prepara con mucha sencillez por disolución de mercurio en ácido nítrico y vertido de la solución en alcohol del 95%, separándose como pesada masa cristalina de color gris pardo brillante con 4.39 de densidad. Es difícilmente soluble en agua y estable sin limitación a la temperatura normal; extraordinariamente sensible a la llama, pero con 25-30% de adición de agua pierde por completo su propiedad de inflamarse y se hace del todo insensible a la percusión. A presión superior a 900 kg./cm², resulta el fulminato "muerto por prensado".

La mezcla del fulminato de mercurio con 15-20% de clorato potásico es hoy por lo general más aceptada que el fulminato puro, porque resulta más barata y más energética.

2.1.11.b. FULMINATO DE PLATA (Ag CNO)

Este compuesto puede separarse en forma análoga o como se obtiene el fulminato de mercurio, igualmente es un polvo cristalino pesado, pero de color blanco brillante y tan sensible a la percusión y al roce que hace peligrosa su manipulación como explosivo industrial.

No hay que confundir con el fulminato de plata otra sustancia de composición completamente distinta, la plata negra o plata fulminante que se obtiene por evaporación y lavado de la solución amoniacal del óxido de plata y que es un explosivo de tal sensibilidad que resulta imposible su manipulación.

2.1.11.c. NITRURO DE PLOMO, ACIDA DE PLOMO (Pb(N₃)).

La sensibilidad de las ácidas está estrechamente relacionada con el tamaño de los cristales hasta el punto de la rotura de una larga aguja cristalina bajo el agua hasta provocar la explosión y se trata de producir la ácida de plomo de cristales pequeños y lo más uniforme posible, con longitud de las agujas cristalinas no superiores a 0.1 mm.

En la fabricación industrial se prefiere el proceso de precipitación continua, no sólo por la obtención de un producto puro, muy uniforme y de manejo seguro, sino también por lo disminuido que resulta el peligro de explosión debido a la eliminación continua de la sal cristalina formada.

El nitruro de plomo estalla con una detonación seca, como un latigazo, separándose el plomo como manchas de color gris metálico. A la luz tñe de amarillo a pardo, tiene la más alta temperatura de decrepitación y es relativamente difícil de inflamar, por lo que suele mezclarse con trinitro-resorcinato de plomo para aumentar su sensibilidad al fuego.

La facultad de inflamación del nitruro de plomo no viene afectada por el más fuerte prensado.

2.1.11.d. TRINITRO-RESORCINATO DE PLOMO, C₆H(NO₂)₃O₂Pb·H₂O

La sal neutra de plomo de la trinitro-resorcina, el trinitro-resorcinato o estifnato de plomo, es un componente indispensable en la carga de muchos cebos y estopines, y por ello hay que incluirlo entre los más importantes explosivos iniciadores modernos. Se obtiene con buen rendimiento y como una sal cristalina de color anaranjado oscuro de densidad 3.1, por reacción de una solución hirviente de trinitro-resorcina con el nitrato de plomo y adición de sosa. Es casi soluble en agua y no lo admite ninguno de los disolventes usuales, por lo que no es posible recristalizarlo.

Como explosivo está situado entre el fulminato de mercurio y el nitruro de plomo; su velocidad de iniciación es relativamente pequeña y menor que la del fulminato. Como iniciador sólo puede ser empleado en mezcla con nitruro de plomo cuya sensibilidad al fuego de la mecha resulta así satisfactoriamente aumentada. El estirato de plomo estalla por el golpe con fuerte detonación y gran llama, por lo que resulta preferido para los cartuchos de percusión. El "espejo" de plomo es igualmente característico y sirve para su identificación.

2.1.11.e. DIAZODINITROFENOL, $C_6H_4(NO_2)_2ON_2$

De preparación sencilla, barata y con buen rendimiento, por diazoción del ácido picramínico en solución alcalina. Polvo cristalino amarillento que por recristalización en acetona forma típicas rosetas aciculares. Es más estable al calor y menos sensible a la percusión que el fulminato de mercurio, al que sobrepasa en potencia explosiva.

Como fulminante inalterable por la humedad e inafectado por el prensado, se ha difundido el diazodinitrofenol, particularmente en América. (Tabla No. 3)

TABLA No. 3

· CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES EXPLOSIVOS Y FULMINANTES

	DENSIDAD DE CARGA	VOLUMEN DE GASES	CALOR DE DETONACIÓN	TEMPERATURA DE DETONACIÓN °C	VELOCIDAD DE DETONACIÓN m/seg.	SENSIBILIDAD A LA PERCUSION Cm
	kg./litro	litro/kg.	kg.			
EXPLOSIVOS LIQUIDOS NO USADOS EN LA PRACTICA						
Tetranitrometano-toluoil 86.5/13.5	1.46	659	1759	5640	9300	6
Nitroglicerina	1.59	715	1580	4830	8000	6
Dinitrato glicólico	1.49	737	1674	4980	8000	7
EXPLOSIVOS MILITARES						
Tetraóxido de nitrógeno-nitrobenzol 70/30	1.39	662	1777	5880	8100	7
Tetraóxido de nitrógeno-toluoil 818/18.2	1.36	688	1842	5670	8100	8
Tetraóxido de pentanitrita (penitrita)	1.5-1.74	780	1462	5440	8100	28
Trinitrotrinitramina (esdígano)	1.5-1.75	908	1308	4110	8300	29
Trinitrodimetilnitroamina (tetriol)	1.5-1.7	819	1160	3500	7300	40
Acido pícrico (malita)	1.6-1.7	675	1050	3230	7200	60
Trinitrotoluoil (Tolito, TNT)	1.5-1.63	680	680	2800	6800	80
Algasita pólvora (13.3% N)	1.3	865	1080	3040	6950	20
EXPLOSIVOS INDUSTRIALES (CIVILES)						
Gelatina explosiva 82/8 (Dinamita)	1.5-1.55	711	1630	4970	7800	15
Gelatina explosiva con 31.3% Al	1.6-1.9	489	2357	—	7800	—
Penitrita (con 50% de penitrita)	1.55-1.65	744	1549	4750	8000	17
Penitrita (con 30% Al)	1.6-1.9	520	2276	—	7200	—
Dinamita gelatina 85%	1.5-1.6	650	1330	4100	6500	20
Dinamita de seguridad 25%, gelatinizada	1.5-1.6	800	1100	3000	5800	60
Algasita, en polvo	0.9-1.0	880	1046	2800	4500	100
Algasita, gelatinizada	1.6-1.9	340	1180	3580	3800	50
Alas líquido-oxígeno 72.7 O ₂ /27.3 C	-0.8	509	2126	7180	4700	7
Alas líquido-oxígeno 75/25	-1.1	611	2303	6380	4800	7
Pólvora negra	1.2-1.7	280	710	2480	480	70
FULMINANTES (EXPLOSIVOS DE INSTANTANEA)						
Fulminato de mercurio	3.5-4.0	315	429	4480	5400	4
Misuro de plomo	4.0-4.6	308	367	3480	5480	6
Trinitro-resorcinato de plomo	2.5-3.0	467	370	2780	5380	7

2.1.12. EXPLOSIVOS ANFO

ANFO es la abreviatura de la mezcla explosiva de nitrato de amonio y aceite diesel (94.3% AN + 5.7% FO). El nitrato de amonio es un ingrediente esencial en casi todos los explosivos comerciales, incluyendo a la dinamita y a los hidrogeles. Su uso predominante es en la forma de gránulos de nitrato de amonio.

Son muy insensibles a los golpes y precisan de otro explosivo (goma o cordón detonante) para producir su explosión. Son muy sensibles a la humedad, por lo que nunca se pueden utilizar en barrenos con agua. No es recomendable su utilización en barrenos de un diámetro inferior a 45 mm. Normalmente se presenta a granel, en sacos de plástico de 25 kg.

Desde su introducción en 1950, los productos **ANFO** han encontrado un uso extensivo en una gran variedad de aplicaciones para voladuras tales como minería de carbón de superficie, minería de metales, canteras y construcciones. Su popularidad se ha incrementado debido a su economía y conveniencia.

Otros productos de **ANFO** son modificaciones de su fórmula básica en la cual:

1. Sustancias tales como el aluminio o el carbón son usadas en lugar de aceite combustible.
2. Los gránulos del **ANFO** son comprimidos
3. El producto de **ANFO** empacado en un material que resiste al agua para usarlo en barrenos húmedos.

Estas mezclas diferentes son en algunas ocasiones mencionadas como, nitro-carbo-nitrato (**NCN**) o agentes explosivos de baja densidad.

Los productos **ANFO**, son formulados comúnmente con granulos de nitrato de amonio, **SP-2** y un combustible carbonoso en plantas mezcladoras cerca del punto de consumo, o en lugar de la voladura, mediante camiones a granel diseñados especialmente para agregar aceite al granulo de nitrato de amonio, mientras es cargado o soplado al interior del barreno. El granulo **SP-2** es un pelotilla blanca, porosa, con una cantidad mínima de agente antiaglutinante y una densidad de partícula de cerca de 1.45 gr./cc, almacenada a granel pesa aproximadamente 865 kg./m³

ANFO-P es la designación para la mezcla de nitro-carbo-nitrato (NCN) del nitrato de amonio granulado con combustible diesel No. 2, nombrado genéricamente como **ANFO**, no es sensible a fulminante, pueda ser vaciado en bolsas de 25 kg. En barrenos de 1 3/4" de diámetro o mayores. El **ANFO** vaciado en bolsas se usa predominantemente en barrenos verticales, de diámetro pequeño; de 2" y mayores en construcciones y canteras.

NILITE son agentes explosivos del tipo **ANFO-P** a granel en los cuales el aceite combustible No. 2 se reemplaza por un aceite sin olor para reducir el olor del diesel en áreas cerradas, o bien se reemplaza en parte por carbón para mejorar las propiedades antiaglutinantes. Algunos productos "NILITE" también se tiñen de colores brillantes (usualmente rojo o naranja) para ayudar en las operaciones bajo tierra para identificar todo producto que no halla detonado.

ANFO HD es una mezcla de nitrato de amonio triturado y entero con aceite combustible, su densidad de empaque es de cerca de 1.05 gr./cc, y su densidad de vaciado es de cerca de 0.80 a 0.85 gr./cc empacado en tubos de tela o de cartón con forro de plástico grueso; el **ANFO HD** se usa como carga de columna en barrenos húmedos de más de 6" de diámetro. La limitaciones de resistencia al agua del producto depende enteramente de la integridad del empaque. El **ANFO triturado** se usa para reducir el tamaño de partícula y aumentar la sensibilidad del producto por lo tanto mejora su capacidad para sostener una velocidad de detonación. Esto es necesario para que los espacios entre el cartucho de **ANFO HD** y las paredes del barreno den como resultado un menor grado de confinamiento que el que se obtiene con productos vaciados. Varía en velocidad desde 3660 m/seg. en diámetros de 4", hasta 4570 m/seg. en diámetros más grandes. Los productos **ANFO** encartuchados son relativamente insensibles y deberán cebarse con cebos de alta velocidad (**HDP**) o **hidrogeles**.

ALUVITE los grados de **ANFO ALUVITE** son una serie de agentes explosivos aluminizados, empacados y a granel, en esencia con las mismas propiedades físicas que el **ANFO HD**, excepto que éstas tienen energías teóricas más altas. Estos productos pueden mejorar la fragmentación de roca y su desplazamiento, y reducir la cantidad de explosivos requeridos. El **ALUVITE 3** tiene aproximadamente un 30% más de energía disponible que el **ANFO HD**. El **ALUVITE 2** tiene aproximadamente un 50% más de energía disponible.

TOVITE es un agente explosivo disponible en tubos cilíndricos forrados de plástico o en bolsas de tela. Las propiedades del **TOVITE** son equivalentes a las del **ANFO HD**, pero tiene una densidad más alta (1.12 gr./cc) y se hundirá más rápidamente en barrenos llenos de agua.

Su resistencia al agua, igual que en el **ANFO HD** y al **ALUVITE**, dependen completamente de la integridad del empaque. El **TOVITE** se usa como carga de columna en barrenos llenos de agua, con lodo o con los cortes de la perforación, reemplazando productos de densidad más baja que se hunden a una velocidad demasiado lenta.

SUPER MEXAMON D es un agente explosivo de tecnología y manufactura mexicana, ideal para utilizarse en operaciones subterráneas dadas sus características, las cuales permiten una estabilidad de sus ingredientes por lo cual su producción de gases es mínima. También puede usarse en operaciones a cielo abierto en rocas blandas o de mediana dureza. Se envasa en sacos de 25 kg. netos.

ANFOMEX "X" (ANFO).

Empacado en bolsas de 25 kg. de papel "Semikraff" con un forro interior de plástico. Es usado principalmente en trabajos a cielo abierto, en minería subterránea, en carga de columnas para frentes, rebajes en barrenos menores de 3" (8.42 cm).

ANFOMEX B.D.

Se usa principalmente en voladuras controladas donde se trata de minimizar daños a taludes y pilares, así como para áreas donde la roca que será fragmentada se caracteriza como suave a medio dura. Es un material granular que contiene aligerantes, tales como aserrín y perlas de poliestireno, empacado igual que el **ANFOMEX "X"**.

2.1.13. EXPLOSIVOS HIDROGELES (Water Gels).

Se componen de un agente oxidante (sales), combustible y sensibilizadores, disueltos o dispersos en agua. La mezcla es inmediatamente espesada y hecha resistente al agua mediante la adición de gelatinizadores la cual forma un gel. Las sales oxidantes son usualmente seleccionadas del nitrato de amonio, nitrato de sodio o nitrato de calcio. Son bastante seguros a la fricción y golpes, pudiéndose utilizar en barrenos con agua. Se utilizan como equivalente o sustitución de la goma.

Las densidades de los hidrogeles fluctúan desde 0.80 gr./cc hasta 1.60 gr./cc debido a que los hidrogeles se reparten más rápidamente en barrenos de diámetro pequeño y asentados en barrenos de diámetro más grandes, pueden ser cargados a una densidad de barreno más alta que la obtenida normalmente con las dinamitas más densas. Con este mayor control de la densidad del barreno, se puede incrementar la carga para volar una base de talud muy dura en voladuras en canteras o extender los patrones de perforación. Por su plasticidad son muy adecuados para obtener alta densidad en la concentración de explosivos, al rellenar totalmente el hueco del barreno.

La velocidad de detonación de la mayoría de los hidrogeles se incrementa cuando su diámetro y grado de confinamiento aumenta. Como ejemplo el TOVEX 90 tiene una velocidad de 4300 m/seg., y el TOVEX EXTRA de 5700m/seg. aproximadamente.

Lo ideal en un explosivo es que sea sensible a la iniciación e insensible a la iniciación accidental. Una de las ventajas de los hidrogeles es que son confiablemente sensibles a los métodos de cebado convencionales, y significativamente más resistentes que la dinamita a la iniciación accidental debido a abusos de impacto, choque o fuego.

Los hidrogeles TOVEX incluyen tanto, productos sensibles a fulminantes y como no sensibles a el.

La resistencia al agua de los hidrogeles es excelente, y puede disminuir si el producto no es usado en la forma adecuada.

Se usan equipos sofisticados para empaçar TOVEX en cartuchos tan pequeños como de 1" de diámetro. La textura fina de estos hidrogeles es flexible pero firme.

Se utilizan varios tipos de empaque para formar los cartuchos TOVEX. La selección del empaque y de su grosor y para productos individuales esta basada en las condiciones de carga que el producto encontrara en las aplicaciones de campo.

LOS HIDROGELES ENCARTUCHADOS:

TOVEX 90: son sensibles al fulminante del No. 6, de diámetro pequeño, con una densidad de 0.90 gr/cc para ser usados en minaría bajo tierra donde una carga ligera es suficiente para la roca.

El TOVEX 100: es excelente en formaciones de roca de media a dura y es considerado un reemplazo excelente para dinamitas amoniacales al 40%, su resistencia al agua es muy buena.

El TOVEX 200: con su aditivo de aluminio es usado en el volado de roca dura donde el desplazamiento de la rezaga es esencial para un buen desempeño.

El TOVEX 300: permisible es un explosivo encartuchado diseñado para uso en minas de carbón subterráneas. Se ha demostrado su versatilidad tanto en corte como en voladura de sólidos, se empaca en cartucho azul de alta visibilidad para poder distinguirse rápidamente.

El TOVEX 500: no sensible al fulminante, de potencia media, usado en canteras y construcción. Su densidad es de 1.23 gr./cc.

El TOVEX 650: no sensible al fulminante, de alta potencia y densidad 1.35 gr./cc diseñado para dar mayor fragmentación y el mayor desplazamiento en las formaciones de roca.

El TOVEX 800: es sensible al fulminante No. 6 de alta energía, densidad y velocidad media, diseñado para las condiciones de voladura más difíciles.

El TOVEX T-1: es largo y tubular, de diámetro pequeño usado en el pre-corte, en la minería y construcción.

El SISMOGEL: esta diseñado para proporcionar al personal de las brigadas sísmicas una fuente de energía igual a la de los mejores grados de dinamita. Es adecuado ya sea para cargas regulares o dejadas algún tiempo dentro del barreno por su gran resistencia al agua y su resistencia a la sensibilización a presiones hidrostáticas altas.

El TOVEX C: esta empacado para voladuras de canal o voladuras secundarias, esta empacado en un empaque moldeable y se amolda bien a la forma de la roca que va a ser volada. La baja sensibilidad a la detonación accidental debido a un impacto y a su alto grado de fragmentación lo hacen ideal para voladuras de canal, puede ser iniciado por un fulminante No. 6 o por vueltas de cordón detonante.

El TOVEX EXTRA: es de alta densidad, alta velocidad, y resistencia al agua, diseñado para voladuras en condiciones muy difíciles, no es sensible al fulminante y requiere un cebo de iniciación de alta presión de detonación como el **DETOMEX**.

El POURVEX EXTRA: no es sensible al fulminante, es un hidrogel que puede ser ya vaciado dentro del barreno. Tiene una densidad de 1.33 gr./cc y una velocidad que fluctúa desde 4,570 m/s a 5,485 m/s, se desempeña bien donde la roca o el mineral es macizo y tiene una velocidad alta (velocidad sónica), ha tenido gran éxito al eliminar problemas de base de talud o fondo de barreno en voladuras de canteras.

El DRIVEX; es un hidrogel que puede ser bombeado dentro de barrenos verticales o de declive descendente. El completo acoplamiento de explosivo a la roca y las características de alta densidad son responsables del excelente desempeño en las voladuras, particularmente en trabajos de pozo y bajo tierra con barrenos de diámetro pequeño. (Tabla No. 4)

TABLA No. 4

TIPOS DE HIDROGELES

PRODUCTO DU PONT	DENSIDAD gr./cc	VELOCIDAD m/seg.	RESISTENCIA AL AGUA	SENSIBILIDAD AL FULMINANTE
TOVEX 90	0.90	4.300	BUENA	SI
TOVEX 100	1.10	4.500	EXCELENTE	SI
TOVEX 200	1.10	4.600	EXCELENTE	SI
TOVEX 300	1.02	3.400	BUENA	SI
TOVEX 500	1.23	4.300	EXCELENTE	NO
TOVEX 650	1.35	4.500	EXCELENTE	NO
TOVEX 700	1.20	4.600	EXCELENTE	SI
TOVEX 800	1.20	4.600	EXCELENTE	SI
TOVEX P	1.10	4.600	EXCELENTE	SI
TOVEX S	1.38	4.600	EXCELENTE	---
TOVEX EXTRA	1.33	5.700	EXCELENTE	NO
POURVEX EXTRA	1.33	4.900	EXCELENTE	NO
DRIVEX	1.25	5.300	EXCELENTE	NO

* La sensibilidad al fulminante varía con la temperatura.

2.1.13.a. LÍNEA DE PRODUCTOS GODYNE (Hidrogeles).

Reemplazaron a las dinamitas a base de Nitroglicerina. Consiste de una gelatina compuesta por sales de amonio y sodio en su fase acuosa, y principalmente por aluminio en su fase combustible, el Godyne se identifica por su apariencia plateada debido a su contenido de aluminio de grano fino, se utiliza una goma importada de la India, para ligar las dos fases presentes y un agente Cross Linker provee el aglutinante para aglomerar el producto, resultando la gelatina característica de la mezcla explosiva.

Productos disponibles de Godyne:

GODYNE S.D. (Diámetro pequeño).

Descripción:

Gelatina de color aluminio empacado en película trilaminada en diámetros de 1" a 1 1/2" (2.54 cm a 3.81 cm).

Presentación:

Diámetro		Longitud		Cartucho/ Caja	Peso/ Cartucho	Peso/ Caja
cm.	plg.	cm.	plg.		gr.	kg.
2.54	1	20.32	8	210 (+5)	118 (+2)	25
3.18	1 ¼	20.32	8	186 (+3)	183 (+4)	25
3.81	1 ½	20.32	8	90 (+2)	227 (+5)	25

Propiedades:

- Densidad por cartucho = 1.20 g/cc

Usos:

Se utiliza en frentes, cruceros, contrapozos, monsoos y precortes. También es útil en construcción, presas, canales y demoliciones.

GODYNE I. D. (Diámetro intermedio).

Descripción:

Gelatina de color aluminio grisáceo, empacada en tubular de polietileno con impresión en diámetros de 2" a 3" (5.88 cm a 7.62 cm).

Presentación:

Diámetro		Longitud		Cartucho/ Caja	Peso/ Cartucho	Peso/ Caja
cm.	plg.	cm.	plg.		gr.	kg.
5.88	2	40.64	16	25(+2)	925 (+10)	25
6.35	2 ½	40.64	16	18(+1)	1980 (+20)	25
7.62	3	40.64	16	12	2000 (+100)	25

Propiedades:

- Densidad por cartucho = 1.20 g/cc
- Resistencia al agua: Excelente rendimiento en agua estática.

Usos:

Como carga de fondo en barrenos verticales o inclinados en minas subterráneas a cielo abierto, en canteras y en la industria de la construcción (en cortes para construcción de carreteras, canales obtención de materiales de relleno, etc.)

GODYNE EXTRA (Diámetro grande).

Generalmente usada en aplicaciones de diámetros grandes en operaciones de tajo abierto donde la perforación sea de 6" (15.24 cm) de diámetro o mayor.

Descripción:

Gelatina de color aluminio grisáceo, empaçado en tubular de polietileno con impresión en diámetros de 5" (12.70 cm).

Presentación:

Diámetro		Longitud		Cartucho/ Caja	Peso/ Cartucho	Peso/ Caja
cm.	plg.	cm.	plg.		gr.	kg.
12.70	5	93.98	37	2	12.500	25

Propiedades:

- Densidad por cartucho = 1.20 g/cc
- Resistencia al agua = Excelente resistencia al agua.

Usos:

Minería a cielo abierto, canteras, en minería subterránea, su uso es común para plasteo, obras hidráulicas en canales de riego, carreteras, presas, etc.

2.1.14. EMULSIÓN.

Es un producto blanco de consistencia cremosa empaçado en tubo de polietileno. Este nuevo concepto en la fabricación de los productos explosivos, es el más reciente en el desarrollo del explosivo comercial. Lo contrario a la historia pasada de introducción difícil de nuevos productos a la comunidad minera, las emulsiones han disfrutado de una nueva aceptación mundial dentro de un período de tiempo relativamente corto debido a su eficiente desempeño en el campo. Una gran ventaja para el país, es que la mayor parte de las materias primas que componen al producto es de fabricación nacional.

Un explosivo tipo emulsión podría ser comparado a un ANFO resistente al agua porque los ingredientes y sus proporciones son similares.

La emulsión comúnmente se refiere a una mezcla íntima de oxidantes condensados, típicamente sales de nitrato de sodio o de calcio, las cuales son mezclados con un combustible y un poco de agente emulsificante que permite que las dos fases permanezcan como una emulsión. La función del último es también proveer una vida óptima del producto con características físicas adecuadas para uso comercial.

Las emulsiones tienen un número de características poco usuales. Su interacción íntima de combustible oxidante produce detonaciones de muy alta velocidad. El medio de reducción de densidad vía microsferas de vidrio ha demostrado que los criterios de liberación de energía y rendimiento de las emulsiones son optimizadas.

Presentación:

Díámetro:	Longitud:	Cartuchos x caja:	Peso x cartucho:	Peso x caja:
2"	16"	26	980 ± 20 gr.	25 kg.
2 1/4"	16"	18	1380 ± 20 gr.	25 kg.
3"	16"	12	2050 ± 50 gr.	25 kg.
5"	37"	2	12.5 ± 0.01 kg.	25 kg.

Uso:

Usado primordialmente en operaciones de tajo abierto, grandes canteras y construcción de carreteras. Su uso se ha extendido ligeramente a aplicaciones subterráneas de diámetro intermedio, en sistemas de barrenación profunda y voladura de banco donde se emplea perforación de diámetro intermedio (2 1/2" a 4").

En áreas donde para voladuras secundarias se usa el método de plasteo, las emulsiones han generado excelentes resultados, debido a su alta velocidad y alta presión de detonación.

Seguridad:

Las pruebas de impacto y fuego, no utiliza sensibilizadores orgánicos.

Propiedades:

- Densidad: 1.20 g/cc
- Clasificación de gas: Clase aceptable para uso subterráneo.
- Resistencia al agua: Excelente en agua estática
- Sensitividad: Sensitivo a la cápsula No. 6 y también E-Cord.
- Energía disponible: 305 Kjl/100g
- V.O.D.: 4500 m/s al aire libre a 25°C, medido en un cartucho de 2"x16" y densidad 1.20 g/cc.

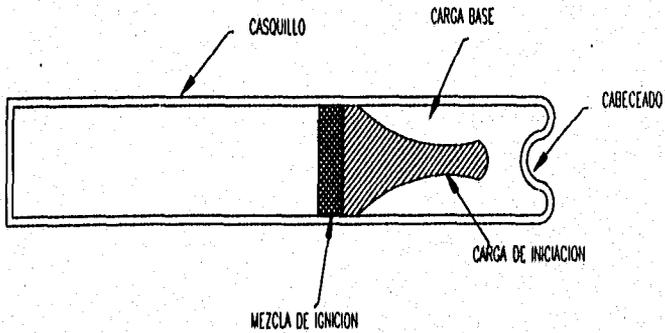
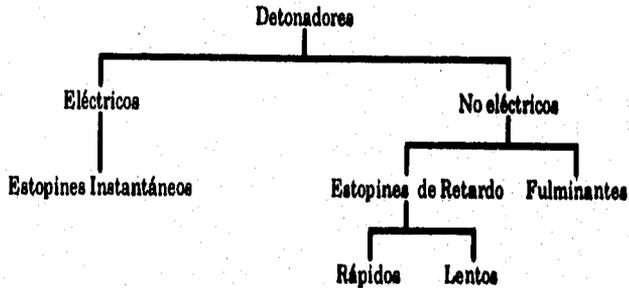


Fig. No. 1 Fulminante o Cápsula No 6

2.2. DETONADORES.

Los detonadores son los dispositivos por medio de los cuales se dispara la carga explosiva. Existen dos tipos: eléctricos (estopines) y no eléctricos (fulminantes).

CLASIFICACION DE DETONADORES



2.2.1 DETONADORES ORDINARIOS

FULMINANTES.

Son cápsulas iniciadoras que pueden explotar sin la intervención de electricidad, siendo la mecha la que inicia la combustión de la carga de ignición, la cual pasa a la carga cebada y que a su vez provoca la combustión de la carga explosiva. Están formados por un casquillo de cobre o aluminio que contiene un explosivo muy sensible. Se inician por medio de las mechas lentas, que se unen al detonador con unas tenacillas especiales.

Este tipo de detonador construido con casquillos de aluminio, debe ser mantenido bajo estrictas medidas de seguridad, ya que son muy sensibles al calor, al fuego, al roce y a los golpes. Nunca se debe ajustar el detonador a la mecha apretando con los dientes.

Si hubiera alguna materia extraña dentro del detonador, no se debe soplar ni intentar limpiarlo. Hay que desecharlo y destruirlo.

Al introducir la mecha al que cortarla bien, nunca con el corte en bisel, y evitar que el extremo que se introduce en el detonador este deshilachado.

La mecha debe entrar perfectamente hasta el fondo del detonador, introduciéndola con suavidad, sin girarla. Los impactos y los roces sobre el fondo del detonador son muy peligrosos. Los fulminantes se surten por ciento o por millar.

2.2.2 DETONADORES ELECTRICOS

ESTOPINES.

Estos elementos son los que más se usan para la activación de los más potentes explosivos. En las Fig. No. 2 y No. 3 se presentan las estructuras de un estopín, en las cuales se observa que están formadas por dos alambres aislados que en el interior de la cápsula metálica están conectados a un filamento de alambre.

Al circular la electricidad por los alambres, el filamento se calienta y es entonces cuando el estopín estalla.

Entre más carga detonante contengan los estopines, más potencia tendrán. El estopín que más se utiliza es el No. 6, y en pocas ocasiones el No. 8.

Los tipos de estopines que existen en el mercado están definidos por la forma en que estallan, se encuentran divididos en:

- a) Estopines instantáneos con alambre de cobre.
- b) Estopines instantáneos con alambre de hierro.
- c) Estopines sismográficos.
- d) Estopines de retardo: Ms y Mark V.
- e) Estopines Ms

- a) Estopines instantáneos con alambre de cobre.

Este tipo de estopín es para uso general, su potencia es del No. 6, el casquillo es de aluminio y los alambres de cobre. Los estopines del No. 8 pueden tener casquillo de aluminio o de bronce.

- b) Estopines instantáneos con alambre de hierro.

La potencia de este estopín es del No. 6 y por lo general su uso es en minas subterráneas de carbón, el casquillo es de aluminio. Los estopines instantáneos están integrados por una carga de ignición, una primaria y una carga detonante. Fig. No. 2 y No. 3

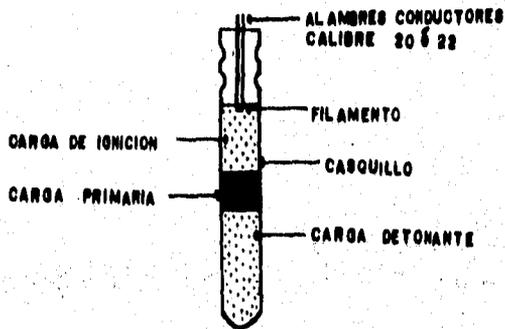


FIG. 2 ESTRUCTURA DE UN ESTOPIN INSTANTANEO

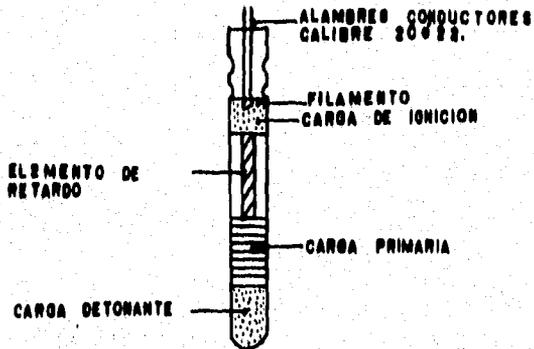


FIG. 3 ESTRUCTURA DE UN ESTOPIN DE RETARDO

c) **Estopines sismográficos.**

Son explosivos de precisión con potencia del No. 8, por lo general este tipo de explosivo se utiliza en trabajos con condiciones muy severas.

d) **Estopines de retardo.**

Son construidos para que exploten en un cierto período (Fig. No 4). En la figura se señala que todos los estopines de un mismo período de retardo disparan dentro de los límites de tiempo representados por las áreas negras correspondientes a ese período. Por ejemplo todos los estopines del 8° período disparan en el tiempo representado entre las líneas A y B. Antes de cualquier estopín del 9° período se dispare, deberá transcurrir el tiempo indicado entre las líneas B y C. Este intervalo es el tiempo que queda libre entre los período 8° y 9° para el movimiento de la roca. Esto no quiere decir que todos los estopines del 8° período disparen simultáneamente estallarán unos después de otros pero todos en el intervalo A-B.

Los tiempos de retraso pueden ser de 0.5 seg. hasta 12 seg. elemento que provoca que se retrase la explosión, se encuentra entre el filamento y la carga de detonación.

En la Tabla No. 5 se indican calibre, resistencias y medidas de los alambres de cobre para los estopines instantáneos y de retardo.

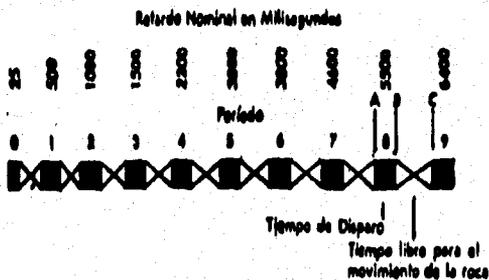


Fig. No. 4

TABLA No. 5

RESISTENCIAS QUE SE RECOMIENDAN PARA ESTOPINES INSTANTÁNEOS Y DE RETARDO CON ALAMBRE DE COBRE,

Longitud de las patas de alambre		Resistencia por estopín	Calibre del alambre
Pies	Metros		
2	0.61	1.17	22
4	1.22	1.23	22
6	1.83	1.30	22
8	2.44	1.37	22
10	3.05	1.43	22
12	3.66	1.50	22
16	4.88	1.63	22
20	6.10	1.77	22
24	7.32	1.90	22
30	9.14	1.73	20
40	12.19	1.94	20
50	15.24	2.15	20
60	18.29	2.36	20
80	24.38	2.78	20
100	30.48	3.20	20
150	45.72	4.25	20
200	60.96	5.30	20
250	76.20	6.35	20
300	91.50	7.40	20

e) Estopines Ms.

Las características de estos estopines es que tienen diferentes intervalos de retardo. Ms significa los milisegundos que tarda en estallar, los cuales son numerados a continuación:

01) Ms-25	06) Ms-150	11) Ms-350	16) Ms-700
02) Ms-50	07) Ms-175	12) Ms-400	17) Ms-800
03) Ms-75	08) Ms-200	13) Ms-450	18) Ms-900
04) Ms-100	09) Ms-250	14) Ms-500	19) Ms-1000
05) Ms-125	10) Ms-300	15) Ms-600	

En la ejecución de voladuras, los estopines de este tipo que más se utilizan son el Ms-25 y el Ms-50.

Las ventajas que poseen sobre los estopines de retardo son:

- 1) Fragmentación de mejor calidad.
- 2) Menos vibraciones.
- 3) Menos proyecciones de material.
- 4) Disminución en los barrenos cebados.
- 5) Disminución en explosivos y en costos.

Los estopines al salir de fábrica tienen una corriente mínima, sin embargo, para asegurar la detonación se debe considerar una corriente de diseño. En la Tabla No. 6 se señalan las corrientes mínimas y de diseño que se consideran para los estopines.

TABLA No 6
CARGAS DE CORRIENTE MÍNIMA Y DE DISEÑO QUE PROVOCAN LA
EXPLOSIÓN.

Estopines	Mínima	Diseño
Instantáneo	0.3 Amps.	2.0 Amps.
De retardo	0.4 Amps.	2.0 Amps.

Estopines Mark V.

Son usados principalmente en trabajos subterráneos como túneles, pozos, galerías, etc., sus denominaciones son las siguientes:

01.- 25 Ms	06.- 3000 Ms
02.- 500 Ms	07.- 3800 Ms
03.- 1000 Ms	08.- 4600 Ms
04.- 1500 Ms	09.- 5500 Ms
05.- 2000 Ms	10.- 6400 Ms

2.3. MECHA LENTA U ORDINARIA.

La mecha lenta está formada por un medio de pólvora rodeado de varias capas de hilado alquitranado que la hacen más resistente. Hay otro tipo, recubierto de PVC, que lo hace más resistente a la humedad. Las mechas deben estar en perfecto estado de conservación preservándolas del sol, de la humedad y del frío excesivo, ya que pueden sufrir alteraciones en su proceso de combustión.

Uno de los riesgos es el de "correrse la mecha", cuando arda a una velocidad mayor de la prevista, por estar defectuosa. Otro es el de "dormirse", cuando por humedad o por otro defecto arde a una velocidad más lenta de la debida. La mecha lenta arde a una velocidad aproximada de 120 ssg./ml, tiempo no rigurosamente exacto, por lo que siempre hay que prevenir un margen de error.

Al utilizar la mecha, hay que prestar atención de que el extremo que se va a introducir en el detonador no ha perdido pólvora ni se ha humedecido. El corte debe de ser limpio y perpendicular al eje, para que el dardo de fuego actúe directamente sobre el detonador. Las mechas se suministran en carretes de 100 m de longitud.

Cuando se disparan varios barrenos con mecha, (el número máximo autorizado es el de seis), hay que utilizar siempre una mecha testigo inferior en longitud a la de cualquier barreno, que se prende la primera y se tiene a la vista en la mano, para que nos indique en todo momento el tiempo que disponemos antes de que explote el primer barreno. La longitud mínima de la mecha en los barrenos será de 1.5 m, contada a partir de la boca hacia el exterior.

El uso de la mecha está en continuo y progresivo desuso, por la limitación en el número de barrenos a disparar por pega y las inexactitudes que inevitablemente tenemos en su control, tanto por fallos en la mecha como por descuidos del personal.

Salvo en circunstancias muy especiales, tales como por su proximidad inmediata a líneas eléctricas de alta tensión o casos en que por una causa u otra no podemos hacer uso de la pega eléctrica, debe procurarse evitarse el uso de las pegas con mecha.

En donde, bajo ningún concepto, debe de utilizarse el disparo con mecha, es en la profundización de pozos, por el riesgo que supone la retirada del personal con las mechas ardiendo.

2.4. CORDON DETONANTE.

Aunque hay quien lo considera como un tipo de mecha y así lo denomina, el cordón detonante es un explosivo de gran potencia y velocidad de detonación.

El cordón detonante es un cordón flexible e impermeable que contiene en su interior pentrita (un explosivo de alta potencia).

La velocidad de detonación es del orden de 700 m/seg., por lo que se utiliza el cordón fundamentalmente para transmitir a los explosivos la detonación iniciado por un detonador.

El núcleo de pentrita va cubierto de varias envueltas de fibras textiles e hilados, con un recubrimiento exterior de PVC. Con ello se le protege contra la humedad y esfuerzos de tracción y abrasión.

El cordón de la cubierta de PVC (rojo, azul, blanco, etc.) nos indica las distintas cantidades de explosivo pentrita que contiene por metro lineal.

También hay cordón detonante especial para voladuras submarinas y para trabajos con explosivos en minas con grisú.

El cordón detonante tiene que estar muy bien adosado al detonador, en toda su longitud, y la carga de éste, dirigida hacia la carga general del barreno.

Si empalmamos distintos tramos de color detonante entre sí, todos detonan al mismo tiempo.

Hay que recordar siempre, pues el no hacerlo así es causa de fallos, que los distintos tramos deben estar empalmados en la misma dirección y sentido.

Aparte de su utilización como iniciador para explosivos de menor sensibilidad, el cordón detonante por sí sólo tiene múltiples aplicaciones y es rara la voladura en que de una forma u otra deje de utilizarse: como carga en barrenos en precorte, para conexión de distintos barrenos, para corte de cortes y vigas, como pequeñas cargas en demolición de edificio, etc.

Otra gran ventaja es la de su relativa gran seguridad, tanto en el transporte y almacenamiento como en su manejo.

Los cordones detonantes son ideales para:

- Detonar otro alto explosivo con el que ésta entra en contacto.
- Transmitir una onda de detonación de cordón detonante a cordón detonante o a un detonador no eléctrico de retardo (relés de retardo).
- Operadores quienes prefieren un sistema de voladura no eléctrico debido a que se pueden presentar corrientes extrañas potencialmente peligrosas.
- Voladura de cargas múltiples sin retardo significativo entre las cargas.
- Cebado múltiple en barrenos profundos de gran diámetro.
- Voladuras grandes.
- Voladuras submarinas donde es difícil aislar las conexiones eléctricas.
- Entre otras (Tabla No. 7)

TABLA No. 7

DIVERSOS TIPOS DE CORDON DETONANTE.

Nombre comercial.	Color.	Longitud de carrete (metro)	Aplicaciones
3 g/m	Rosa	750	Para aplicaciones especiales. Solo para explosivos con nitroglicerina.
6 g/m	Amarillo	500	Para conectar barrenos entre sí.
12 g/m	Azul	250	Para iniciar la mayoría de explosivos.
20 g/m	Blanco	200	Para iniciar explosivos de baja sensibilidad y para prospecciones sísmicas
40 g/m	Verde	125	Prospecciones sísmicas
100 g/m	Rojo	50	Precortes y recortes
Submarino normal	Amarillo	100	Trabajos submarinos
Submarino reforzado	Gránate	100	Trabajos submarinos, va reforzado con alambres.
Antigrisú	Amarillo	100	Minas de carbón

Nota : Aunque algunos colores se repitan, es difícil su confusión por la disparidad de trabajos de cada uno de ellos. Asimismo varían en el grosor, y todos los carretes llevan una etiqueta en la que se indica sus características.

En México los cordones detonantes más usados son el Primacord y el E-Cord, su principal diferencia son los gramos de pentrita y su grado de protección. El Primacord se usa dentro del barreno para asegurar la detonación del explosivo, y el E-Cord en la superficie para hacer detonar los tramos de Primacord de los barrenos. Esto se hace por ser más barato el E-Cord

Tanto el Primacord como el E-Cord se pueden adquirir en rollos de 500 m. (Tabla No. 8)

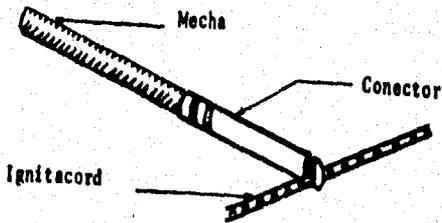
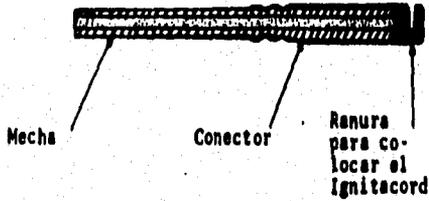
TABLA No. 8

CORDON DETONANTE	NUCLEO	GRAMOS POR METRO (Nominales)	DIAMETRO EXTERIOR mm.	RESISTENCIA EN TENSION Promedio	PESO DE EMBARQUE 500 m.
Primacord	Pentrita	10.6	5.15±0.40	90 kg.	11.5 kg.
E - Cord	Pentrita	5.3	4.0±0.20	63 kg.	7.8 kg.

2.4.1. INICIADORES

2.4.1.a. IGNITACORD,

El ignitacord es un cordón incendiario que arde a una velocidad uniforme con una vigorosa flama exterior. Tiene un diámetro muy pequeño, 1.5 mm. Este producto permite encender una serie de mechas de seguridad en un orden determinado. Para unir las mechas con el ignitacord se usan conectores especiales (Fig. No. 5).



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

Fig. No. 5 Conectores especiales.

Existen en el mercado 3 tipos de ignitacord de acuerdo a su velocidad de combustión nominal e identificables por su color. El ignitacord se puede adquirir en carretes de 30 m y en rollos de 10.15 m, ver Tabla No. 9.

TABLA No. 9

VELOCIDAD DE COMBUSTIÓN Y COLOR DE LOS DIFERENTES TIPOS DE IGNITACORD.

Tipo	Velocidad de combustión	Color
A	Intermedia (8 seg./ft)	Verde
B	Lenta (16 seg./ft)	Rojo
C	Rápida (4 seg./ft)	Negro

3.4.3. RELES DE RETARDO.

Son artificios que intercalados entre el cordón detonante interrumpen la detonación del mismo durante 15 a 20 milisegundos, creando en las voladuras conexiones con el cordón detonante un efecto de retardo similar al conseguido con el uso de los detonadores eléctricos de microrretardo.

Se usa cuando por la proximidad de líneas eléctricas de alta tensión, corrientes errantes, tormentas, etc., es peligroso el uso de detonadores eléctricos; mediante el empleo de relés en el cordón detonante y un detonador ordinario con mecha lenta, se puede conseguir la secuencia de tiro deseada.

También son muy útiles cuando hay la necesidad de disparar un número muy elevado de barrenos y no se dispone del explosor adecuado. Fig. No 6. Asimismo, en barrenos de taqueo que se suelen empalmar todos con cordón detonante, es aconsejable intercalar algunos relés para limitar la onda aérea y conseguir una mejor fragmentación.

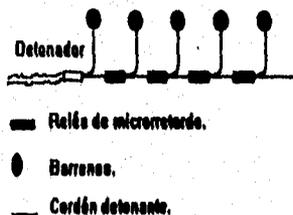


Fig. No. 6 Relés de retardo.

El empalme de los relés al cordón detonante es muy semejante al de los detonadores ordinarios a la mecha lenta.

El relé tiene que estar muy limpio y los cortes del cordón perpendiculares y procurando que los extremos no se vacíen de explosivo (pentrita).

También hay que apretar el relé al cordón con unas tenazas similares a las que se usan con la mecha y detonador ordinario.

Hay que efectuar las conexiones con el máximo cuidado y atención, pues si son defectuosas existe el riesgo de fallos en la voladura.

2.5 SU MANEJO Y PROTECCION

La inutilización de pólvoras y explosivos que por inadecuado almacenamiento han sido alterados por la humedad y el calor, es a veces necesario e incluso, muy urgente, si las alteraciones han llegado hasta la descomposición. Lo más seguro y radical es la combustión en estado suelto (extendida) y a campo abierto.

En caso de autocalentamiento y consiguiente peligro de explosión, cuando no es prudente perder el tiempo en desembarcar, queda como último recurso la sumersión en aguas de las cajas (en el mar o en el río a varios metros de profundidad).

El almacenamiento de los explosivos se clasifican en:

- a) Depósitos especiales, para cantidades abastecedoras o suministradoras.
- b) Depósitos de consumo, destinados a almacenamiento de productos explosivos para el servicio exclusivo de los consumidores habituales.
- c) Depósitos de ubicación temporal, con capacidad máxima de 5000 kg.
- d) Depósitos móviles, con capacidad máxima de 5000 kg, construidos sobre vehículo.

La capacidad máxima de almacenamiento de cada depósito es de 50 kg. de explosivo a 500 detonadores.

Almacenes permanentes. Se clasifican en 3 categorías, según el peso máximo de explosivos que pueden almacenarse:

1. Se llaman almacenes de primera categoría si pueden recibir más de 250E kg.
2. La segunda categoría, si pueden recibir de 50 a 250 E kg. de explosivos.
3. La tercera categoría, si no pueden recibir más de 50 E kg.

E = Es un coeficiente de equivalencia que tiene los siguientes

Clase I.- Coeficiente $E=1$; dinamita goma y otros explosivos a base de nitroglicerina.

Clase I Bis.- Coeficiente $E=1$; explosivos percloratos plastificados.

Clase II.- Coeficiente $E=2$; pólvora negra al nitrato de potasio o de sodio distintos de las de la clase IV.

Clase III.- Coeficiente $E=1$; explosivos cloratos o percloratos.

Clase IV.- Coeficiente $E=10$; pólvoras negras comprimidas de densidad superior a 1.50, en cartuchos de menos de 250 gr. en vueltos cuidadosamente con papel fuerte de buena calidad.

Clase V.- Coeficiente $E=2$; explosivos al nitrato amónico.

Estos coeficientes se aplican a los explosivos encartuchados o contenido en recipientes impermeables y cerrados.

Las distancias de los depósitos entre sí, y respecto a núcleos de población, complejos industriales, líneas de comunicación, etc., serán las siguientes:

Entre sí:

- Distancia mínima entre dos depósitos de explosivos 8.0 m
- Distancia mínima entre un depósito de explosivo y otro de detonadores 15.0 m

Distancia a:

- Núcleos de población 125 m
- Complejos industriales, nudos de comunicación y lugares históricos o monumentales 100 m
- Líneas de comunicación, transporte y edificaciones aisladas 75 m

Además hay que situarlos en una determinada posición y protegerlos con defensas de tierra, en el caso de su instalación al aire libre, al objeto de conseguir y mantener las debidas condiciones de protección y seguridad.

El explosivo y los detonadores se transportarán en distintos vehículos. Nunca se utilizarán vehículos con motor de explosión.

El explosivo y detonadores irán en sus envases de origen, bien estibados para que no se produzcan golpes ni fricciones.

En las operaciones de carga y descarga, se adoptarán las siguientes medidas:

- Si fuera necesario depositar el explosivo en el suelo, se realizará con cuidado, evitando situarlo detrás del tubo de escape.
- El motor del vehículo estará parado, las llaves de contacto en poder del conductor y si lleva aparato de radio estará desconectado.
- Antes de proceder a la carga o descarga de detonadores, se conectará el vehículo a un dispositivo de puesta a tierra.
- No se fumará ni encenderá ningún tipo de fuego.
- Antes de iniciar las operaciones de carga y descarga de detonadores, el conductor del vehículo procederá a descargarse de la electricidad estática (contacto a tierra con una de hierro).
- Los explosivos se transportarán en sus envases y embalajes de origen o en sacos y mochilas de buen cierre y con capacidad máxima para 25 kg. Los detonadores y demás accesorios explosivos se transportarán en sus envases de origen o en cartucheras adecuadamente con cierre eficaz, acondicionadas para que no pudes producirse choques entre los mismos ni queden fuera de ellas los hilos de los detonadores eléctricos.

Precauciones que deben tomarse en cuenta al emplear detonadores eléctricos para que no ocurra la autodetonación:

• **Electricidad extraña (Fig. No. 7):**

- ◆ **Tormentas (a distancia menor de 15 km.).**
- ◆ **Vías de ferrocarril.**
- ◆ **Antenas de radio y TV.**
- ◆ **Emisoras fijas y portátiles en vehículos.**
- ◆ **En inmediaciones de líneas de A.T y B.T.**
- ◆ **Transformadores.**
- ◆ **Electricidad estática en automóviles, ropa de fibras sintéticas, plásticos, etc. . .**

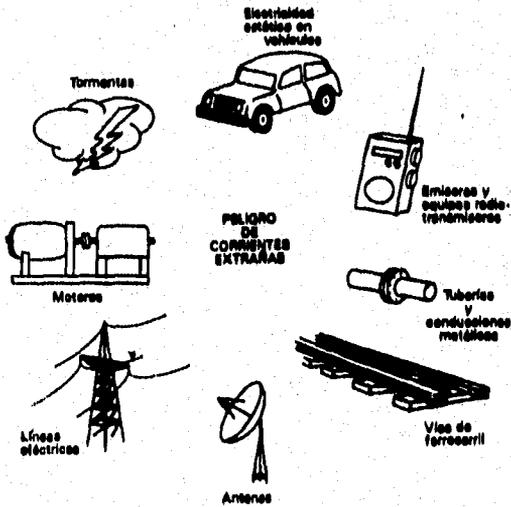


Fig. No. 7

2.5.1. PRECAUCIONES DURANTE EL TRANSPORTE DE EXPLOSIVOS.

- Obedecer leyes y reglamentos federales, estatales y locales.
- Verificar que cualquier vehículo que se utilice para transportar explosivos esté en buenas condiciones de trabajo y equipado con piso de madera o de metal que no produzca chispas, con redilas y extremos suficientemente altos para evitar que los explosivos se calga. La carga en un camión abierto debe de estar cubierta con una lona impermeable y resistente al agua, y no se debe permitir que los explosivos entren en contacto con cualquier fuente de calor, como por ejemplo el tubo de escape. Todo el alambrado tiene que estar perfectamente aislado para evitar cortocircuito.
- No permitir que los metales, excepto los cuerpos metálicos aprobados para camiones, estén en contacto con las cargas de los explosivos.
- No fumar.
- Cuando se cargue y se descargue los explosivos hacerlo cuidadosamente.
- Ver que los otros explosivos, incluyendo el cordón detonante, se encuentran separados de los fulminantes y/o de los estopines eléctricos en aquellas ocasiones en que se les permita el transporte en el mismo vehículo.
- No conducir los camiones con explosivos a través de las gasolineras, restaurantes, talleres, es decir procurar evitarlos.

2.5.2. PRECAUCIONES DURANTE EL ALMACENAMIENTO.

- Almacenar los explosivos en un polvorín que este limpio, seco, bien ventilado, bastante fresco, localizado en un lugar adecuado.
- No almacenar fulminantes o estopines eléctricos en la misma caja.
- No almacenar explosivos, mecha, o encendedores de mecha en un lugar mojado o húmedo, o cerca de aceite, gasolina, soluciones limpiadoras o solventes, ni cerca de radiadores, tubos de vapor, o cualquier fuente de calor.
- No fumar dentro o cerca del polvorín.
- No permitir que se acumulen hojas, pasto, o basura, dentro de cierto límite del polvorín.

2.5.3. PRECAUCIONES DURANTE EL EMPLEO DE EXPLOSIVOS.

- Nunca utilizar herramientas que produzcan chispas.
- No fumar.
- No colocar los explosivos en lugares donde puedan quedar expuestos a la flama, calor excesivo, chispas o impactos.
- No llevar los explosivos en las bolsas de la ropa o en cualquier parte de su persona.
- No insertar en el extremo abierto de un fulminante nada que no sea mecha de seguridad.
- No golpear, jugar o intentar retirar el contenido de un fulminante o de un estopín eléctrico, ni intentar jalar los alambres de un estopín.
- No manejar, ni utilizar explosivos durante la formación de una tormenta eléctrica. Las personas deben retirarse a un lugar seguro.
- No utilizar explosivos o sus accesorios que estén deteriorados o dañados.
- No intentar utilizar mecha, fulminantes, estopines eléctricos, o cualquier otro explosivo que haya estado empapado con agua, aunque ya estén secos. Consultar al fabricante.

ANEXOS

TABLA N° 1

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

Indica el número de cartuchos de determinada fuerza necesarios para igualar un cartucho de diferente fuerza.

TABLA N° 2

CLASES DE DINAMITA:	2.22 x 20.32 cms	2.54 x 20.32 cms	2.857 x 20.32 cms	3.175 x 20.32 cms	5.17 x 40.64 cms	6.35 x 40.64 cms	7.62 x 40.64 cms
	(7/8 x 8")	(1 x 8")	(1 1/8 x 8")	(1 1/4 x 8")	(2 1/4 x 16")	(2 1/2 x 16")	(3 x 16")
Dinamita Extra 40%	242	184	151	121	20	14	10
Dinamita Extra 60%	242	184	151	121	20	14	10
Gelatina Extra 30%	193	151	123	98	15	12	8
Gelatina Extra 40%	196	153	126	99	16	12	9
Gelatina Extra 60%	207	164	135	108	16	12	9
Gelatina Extra 75%	216	171	143	112	21	16	11
Gelamex # 1	236	180	150	121	21	16	11
Gelamex # 2	261	198	165	134	20	16	11
Mexobel 2	—	248	201	165	25	20	14
Duramex G	309	248	204	—	25	20	14

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

TABLA N° 3

CLASES DE HIDROGEL	DIAMETRO		LONGITUD DEL CARTUCHO					
	cms.	plgs.	20.3 cms.	8 plgs.	30.5 cms.	12 plgs.	40.6 cms.	16 plgs.
Tovex 100	2.5	1	209		139		105	
Tovex 100	2.9	1 1/8	165		110		83	
Tovex 100	3.2	1 1/4	137		90		68	
Tovex 700	4.4	1 3/4					32	
Tovex 700	5.0	2					24	
Tovex 700	6.4	2 1/2					17	
Tovex Extra	10.2	4					4	
Tovex Extra	12.7	5					3	
Tovex Extra	15.2	6					2	
Tovex Extra	20.3	8					1	
Tovex P	12.7	5					3	
Tovex P	15.2	6					2	
Tovex P	20.3	8					1	
Godyne	2.2	7/8	290					
Godyne	2.5	1	210					
Godyne	3.2	1 1/4	136					
Godyne	3.7	1 1/2	45					
Godyne	5.0	2					25	
Godyne	6.4	2 1/2					19	
Godyne	7.6	3					14	
Godyne	12.7	5					3	
Godyne	15.2	6					2	
Godyne	20.3	8					1	

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

TABLA N° 4

DINAMITAS			AGENTES EXPLOSIVOS			HIDROGELES	
Gelatina Extra	40%	1.57	"Mexamon"	SP	0.81	Tovex 100	1.10
	60%	1.44		SP-LD	0.70		
	75%	1.39					
Dinamita Extra	40%	1.23	"Mexamon"	C	0.85	Tovex 700	1.18
	60%			C-LD	0.84		
Dinamita Esp.	45%						
Gelamex	No. 1	1.28	"Super Mexamon"	D	0.65	Tovex P	1.20
	No. 2	1.16					
Gelatina Alta velocidad							
Geomex	60%	1.47	NA-AC		0.80	Tovex Extra	1.35
Duramex	G	1.00	Anfomex "X"		0.80	Godyne	1.20
Dinamex	A	1.23	Anfomex "BD"		0.65		
Total		1.60					

Densidad de explosivos en g/cm³

TABLA N° 5
CARGA DE BARRENOS

DIÁMETRO		VOLUMEN	KILOGRAMOS DE EXPLOSIVO POR METRO LINEAL DE BARRENO PARA UNA DENSIDAD DADA.								
Pigs.	Cms.	cm ³ /ml	60gr/cm ³	65gr/cm ³	75gr/cm ³	80gr/cm ³	1.10gr/cm ³	1.20gr/cm ³	1.29gr/cm ³	1.35gr/cm ³	1.60gr/cm ³
	7/8	2.22	0.232	0.252	0.290	0.310	0.426	0.465	0.499	0.523	0.619
1	2.54	506.71	0.404	0.329	0.380	0.405	0.557	0.608	0.654	0.684	0.811
1	1/4	3.18	794.23	0.477	0.516	0.596	0.635	0.874	0.953	1.025	1.072
1	1/2	3.81	1140.09	0.684	0.741	0.855	0.912	1.254	1.368	1.471	1.539
1	3/4	4.45	1555.29	0.933	1.011	1.166	1.244	1.711	1.866	2.006	2.100
2	5.08	2026.83	1.216	1.317	1.520	1.621	2.230	2.432	2.615	2.736	3.243
2	1/2	6.35	3166.93	1.900	2.059	2.375	2.534	3.484	3.800	4.085	4.275
3	7.62	4560.38	2.736	2.964	3.420	3.648	5.016	5.472	5.883	6.157	7.297
3	1/2	8.89	6207.18	3.724	4.035	4.655	4.966	6.828	7.449	8.007	8.380
4	10.16	8107.34	4.864	5.270	6.081	6.486	8.918	9.729	10.458	10.945	12.972
4	1/2	11.43	10260.85	6.157	6.670	7.696	8.209	11.287	12.313	13.236	13.852
5	12.70	12667.72	7.601	8.234	9.501	10.134	13.935	15.201	16.341	17.101	20.268
5	1/2	13.97	15327.94	9.197	9.963	11.496	12.262	16.861	18.394	19.773	24.525
6	15.24	18241.51	10.945	11.857	13.681	14.593	20.066	21.890	23.532	24.626	29.186
6	1/2	16.51	21408.44	12.485	13.915	16.056	17.127	23.549	25.690	27.617	34.254
7	17.78	24824.72	14.897	16.139	18.622	19.863	27.312	29.794	32.029	33.519	39.726
7	1/2	19.05	28502.36	17.101	18.527	21.377	22.802	31.352	34.203	36.768	45.604
8	20.32	32429.35	19.458	21.079	24.322	25.943	35.672	38.915	41.834	43.771	51.887
8	1/2	21.59	36609.70	21.966	23.796	27.457	29.288	40.271	43.932	47.227	49.423
9	22.86	41043.40	24.626	26.678	30.783	32.835	45.148	49.252	52.946	55.409	65.669
10	25.40	50670.87	30.403	32.936	38.003	40.537	55.739	60.805	65.363	68.406	81.073
11	27.94	61311.75	36.787	39.853	45.984	49.049	67.443	72.574	79.092	82.771	98.099
12	30.48	72966.05	43.780	47.428	54.725	58.373	80.263	87.559	94.126	98.504	116.746

TABLA N° 6

SELECCION Y PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS MAS COMUNES EN LA CONSTRUCCION

TIPO	AGENTE EXPLOSIVO	FUERZA	VELOCIDAD	RESISTENCIA AL AGUA	EMANACIONES	USO
Dinamita NG ^o	NG ^o	---	Alta	Buena	Exceso de gases	Trabajos a cielo abierto
Extra	NG ^o y Amoniaco	20 a 60%	Alta	Regular	Exceso de gases	Trabajos a cielo abierto
Granulada	Amoniaco	25 a 65%	Baja	Muy mala	Exceso de gases	Trabajos a cielo abierto (canteras)
Gelatina	Amoniaco	30 a 75%	Muy alta	De Buena a Excelente	De muy pocos gases a nulos	Sismologia. Trabajos submarino y subterráneo
ANFO	Amoniaco	---	Alta	Ninguna	Muy pocos gases	Trabajos a cielo abierto y subterráneo
Hidrogeles	Amoniaco	40 a 75%	Muy alta	Excelente	Muy pocos gases	Trabajos a cielo abierto y subterráneo

* NG = Nitroglicerina.

CAPITULO III

SONDEOS, BARRENOS Y TAQUEO

3.1 SONDEOS.

La finalidad del sondeo y la toma de muestras del suelo o de roca es obtener información que dé una representación exacta y verdadera de las condiciones del subsuelo.

Se han desarrollado muchos métodos diferentes para hacer este trabajo entre los cuales podemos mencionar los siguientes:

3.1.1.- SONDEOS POR PERCUSIÓN

3.1.1.a.- SONDEOS A PROFUNDIDAD MUY PEQUEÑA:

SONDEO CON BARRENA:

La barrena para suelos es la herramienta más simple para hacer un agujero de poca profundidad en el terreno y obtener muestras del material del suelo en condiciones de gran alteración. Hay varios tipos de barrena: la barrena de cepa, que se usaba originalmente para hacer agujeros para colocar dinamita debajo de cepas y boleas; es útil para hacer agujeros hasta 3m de profundidad y alrededor de 4 cm de diámetro. La barrena más efectiva es la posteadora, que consiste en dos hojas curvas que retienen el suelo que cortan, las hay en tamaños desde 5 hasta 15 cm. de diámetro. Las barrenas pequeñas están equipadas generalmente con un mango para poder hacerlas girar a mano y se les puede adicionar extensiones al mango para llegar a profundidades hasta 10 m. Hay barrenas movidas por motor capaces de hacer agujeros, en algunos suelos, hasta de 25 m. de profundidad en unos minutos.

La barrena mecánica puede perforar sin interrupción y las espiras de la barrena traerán finalmente el suelo a la superficie. Sin embargo, el tiempo transcurrido desde que se corta el suelo hasta que aparece pulverizado en la superficie es demasiado grande para estimar a qué profundidad se ha extraído ese suelo. Por lo tanto, es necesario barrenar cada vez de 1.0 a 1.5 m. y sacar la barrena. La profundidad de los estratos se puede determinar por la cantidad de suelo retenido entre las espiras de la barrena comparándola con la profundidad que se barrenó.

Las barrenas tienen la ventaja de que el agujero está seco hasta que se llega al nivel freático, lo cual permite un rápido y fácil reconocimiento visual de los cambios en la composición del suelo. Por otra parte, es difícil usarlas en arcilla blanda y gravas gruesas e imposible en la mayoría de los suelos por debajo del nivel freático.

Las barrenas de mano no son generalmente económicas para profundidades mayores de 6 m.

La muestra que se obtiene con la barrena es una mezcla muy alterada de todos los materiales penetrados; es suficiente en la mayoría de las exploraciones en excavaciones para préstamos

3.1.1.b. SONDEOS A PROFUNDIDADES MEDIAS Y GRANDES

SONDEOS POR INYECCIÓN DE AGUA:

Los sondeos por inyección de agua se usaron ampliamente en los trabajos de exploración del suelo y todavía se usan cuando se requiere una limitada información, como la profundidad de un estrato duro. El suelo se perfora combinando la inyección de agua con el corte, usando una broca en forma de cincel unida a una barra de sondeo hueca. El agua se bombea a través de la barra y de la broca para aflojar el suelo y arrastrar a la superficie del terreno los detritos de suelo que fueron cortados. Los detritos se recobran en una vasija. Estos fragmentos son una mezcla de las partículas más gruesas de todos los estratos perforados y dan sólo una idea de la naturaleza de los materiales penetrados. La dureza del suelo se puede estimar por la velocidad de perforación. Sin embargo, determinar las características del suelo por los detritos (muestra lavada), resultaría imposible determinarlas.

3.1.2. PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR:

La prueba de penetración estándar es el método más ampliamente usado para las exploraciones de los suelos. Consiste en dos etapas: perforar para abrir un agujero en el suelo y tomar muestras en seco para obtener una muestra intacta que sea apropiada para la inspección visual y los ensayos de humedad, clasificación y hasta de compresión sin confinar.

La perforación se hace con barrena, inyección de agua o sondeo rotatoria usando un taladro giratorio de alta velocidad y circulando agua para extraer los detritos, de la misma manera que en el sondeo por inyección de agua.

El muestreador, llamado también tomamuestras partido, es un tubo de acero de paredes gruesas partido longitudinalmente. El extremo inferior está unido a un anillo cortante y el superior a una válvula y pieza de conexión a la barra de sondeo. Los tamaños normales son de 3.50 a 3.70 cm. de diámetro interior 5.00 cm. de diámetro interior, por 6.30 cm. de diámetro exterior y de 6.30 por 7.60 cm.

La prueba de penetración estándar es el método más ampliamente usado para obtener datos con respecto a la profundidad, espesor y composición de los estratos de suelo y una información aproximada de la resistencia de los suelos. El método es económico, rápido y aplicable a la mayoría de los suelos (excepto grava gruesa) y hasta las rocas blandas.

3.1.3. SONDEO POR ROTACIÓN.

Cuando al sondear un suelo se encuentra un material tan duro que la resistencia a penetración excede de 100 golpes en la prueba estándar, es difícil o imposible continuar la perforación con el equipo de sondeo de suelos. A esta resistencia se le llama rechazo y es indicación de suelo muy compacto, boleó o roca.

El sondeo rotatorio se usa para perforar esos materiales duros y determinar si lo que indicaba el rechazo era una lente dura, un boleó asentado sobre material blando o una roca sana.

Los testigos de pequeño diámetro que se extraen, permiten determinar la composición, la firmeza y los defectos de la roca a grandes profundidades y a un costo moderado.

3.1.3.a. SONDEO CON BROCA DE DIAMANTES:

Es el método más comúnmente usado para obtener testigos de pequeño diámetro. El muestreador es un tubo de acero endurecido de 0.60 a 3.0 m. de longitud con una broca unida a su parte inferior. La broca tiene corrientemente diamantes negros, aunque a veces se usa, para perforar rocas blandas, carburo de tungsteno u otros materiales duros y resistentes.

3.1.3.b. SONDEO CON BROCA DE GRANALLA:

Está constituido por un simple tubo de acero de 100 a 350 mm. de diámetro con una hendidura en la parte inferior. Mediante la corriente de agua que atraviesa el vástago de la sonda, se hace llegar a la broca de granalla de acero templada, que ataca incluso los materiales más duros. El tubo de granalla se desgasta poco a poco y debe sustituirse de vez en cuando. La granalla de acero está constituida por granos de 1.5 a 4.0 mm. de diámetro. Estos granos trabajan tanto bajo la corona como sobre las paredes interiores y exteriores.

El consumo de granalla es grande: de 1.0 a 4.0 kilogramos por metro perforado. El tubo también se desgasta mucho (varios milímetros de desgaste por metro lineal de perforación).

La extracción del testigo se realiza acuñándolo en el tubo sacatestigos mediante granos de cuarzo que se añaden al agua de inyección, cuya presión se hace aumentar. La velocidad de rotación de la sonda es del orden de 100 vueltas/minuto.

3.1.3.c. SONDEO CON BROCA DE DIENTES.

En las rocas blandas, margas y arcillas duras se sustituye la broca de granalla por una broca de dientes de acero especial.

En el caso de formaciones muy blandas, en que el testigo podría ser destruido por el rozamiento con el interior del tubo, se emplea un aparato de doble tubo. El tubo interior que recorta el testigo se mantiene inmóvil con él, y el tubo exterior que lleva el útil o broca gira en el taladro.

POSIBILIDADES DE LOS SONDEOS ROTATORIOS.

Las brocas de diamantes que son especialmente adecuadas para terrenos duros tienen la ventaja de permitir la ejecución de perforaciones en todas direcciones, incluso horizontales y en dirección ascendente. Tienen el inconveniente de su elevado costo de adquisición y de exigir un personal muy práctico, para evitar la pérdida de piedras en terrenos difíciles.

Las brocas de granalla son adecuadas para la ejecución de sondeos en terrenos rocosos de cualquier índole, incluso agrietados.

Su inconveniente es que sólo pueden utilizarse con perforaciones verticales o que no formen con la vertical un ángulo de más de 45°. Para ángulos más acentuados la granalla ya no actúa y es necesario, si el terreno no permite la broca de dientes, volver al sondeo con diamantes, más costoso y menos rápido.

En terreno no rocoso las brocas de granalla no son adecuadas. La granalla desaparece en el terreno. En tales casos se emplea la broca de dientes.

Los sondeos rotatorios permiten la ejecución de perforaciones de 30 a 350 mm. dando testigos de 40 a 300 m. Incluso se fabrican útiles de granalla que dan orificios de 1 m. de diámetro y más.

La profundidad que es posible alcanzar depende de la potencia y de las dimensiones del aparato. Para sondas corrientes de 100 a 250 mm. se alcanzan fácilmente los 300 m.; con aparatos mayores pueden alcanzarse de 1500 a 2000 m.

La velocidad de avance para perforaciones de 100 a 200 mm. alcanza de 0.20 m/hora para rocas muy duras (gres, cuarcita) a 1 m/hora para rocas blandas (caliza) para perforaciones hasta 300 m. de profundidad.

3.1.4. SONDEOS EN EL MAR O EN LOS RÍOS.

Se instala el aparato de sondeo sobre una plataforma sostenida por dos barcazas o en voladizo en la parte trasera de un buque.

Para los sondeos importantes, sobre todos si hay corrientes o agitación, puede convenir establecer andamios fijos por ejemplo sobre pilotes de madera.

La medida de las profundidades se hace mediante una sonda de plomo o una sonda de banda para terrenos poco consistentes (fango).

3.1.4.a. SONDEOS CON LANZA:

Si solamente se trata de determinar la presencia de roca bajo una capa de arena, se sondea con un tubo hueco por cuya parte superior se envía una fuerte corriente de agua con una bomba. Esta agua a presión, saliendo a través de la arena en la parte inferior, excava un paso para el tubo que se hunde hasta que encuentra terreno sólido.

3.1.4.b. SONDEOS ACÚSTICOS.

Los sondeos de profundidad mediante un plomo de sonda son largos y no dan más que indicaciones puntuales. Pueden ejecutarse los sondeos de una manera rápida por métodos acústicos utilizando el eco de ondas sonoras o ultrasonoras contra el fondo cuya profundidad se quiere medir.

Los aparatos de sondeo de este tipo se componen de un emisor que produce en el agua una vibración hacia abajo que, después de reflejada en el fondo, se recibe en un receptor apropiado. La medición del tiempo transcurrido entre la emisión del tren de ondas y su recepción después de la reflexión da la profundidad buscada.

TABLA No. 1
METODOS DE SONDEO DE EXPLORACION.

Sondeo con barrena	Barrenar mecánicamente o a mano extrayendo el material a intervalos regulares cortos.	Identificación de los cambios en la textura del suelo por arriba del nivel freático. Localización del agua subterránea.	Tritura las partículas blandas; no penetra roca.
Prueba de penetración estándar	Hacer perforación, tomar muestras a intervalos con muestreador partido de 3.5 cm a 5.0 cm, hincado 45 cm a intervalos de 7.5 a 15 cm con maza de 64 kg. cayendo 76 cm. Bajo el agua mantener equilibrio hidrostático con fango.	Identificación de textura y estructura; apreciación de compacidad o consistencia en suelo o en roca blanda.	Grava, vetas duras.
Muestreo continuo: suelo	Forzar y/o rotar un tubo dentro del suelo hasta que la resistencia impida avanzar. Sacar detritos con aire o con agua.	Identificar textura y estructura en suelos coherentes, sin interrupción.	Gravas, vetas duras, arena. Falsa compresión en algunas arcillas.
Agujero de sondeo, con cámara de T.V.	Vista interior del agujero de sondeo.	Examen de estratificación en el lugar, por arriba del nivel freático.	Cambios de textura confusos.
Muestreo continuo: roca.	Rotación con broca de diamantes para hacer agujero anular. Sacar detritos por agua circulante. Muestra retenida en el tubo por cuña cilíndrica. Mejor con un tubo interior estacionario que protege la muestra.	Identificación de estratos de roca y de defectos estructurales sin interrupción.	No se obtienen datos de vetas blandas, etc.

Los siguientes métodos de perforación se usan frecuentemente para hacer el sondeo en la prueba de penetración estándar y en el sondeo con muestra; algunas veces se usan estos métodos independientemente, para una exploración rápida, pero burda.

TABLA No. 1 BIS.

Sondeo dinámico.	Hincar una barra con una punta agrandada, desechable, en el extremo, con un peso cayendo una distancia fija, en incrementos de 15 a 30 cm.	Identificación de cambios significativos en la compacidad o consistencia de los materiales.	Información falsa en grava.
Sondeo estático.	Introducir en el suelo, forzándolo, un cono agrandado (cono holandés: diámetro 3.5cm, ángulo 60°) colocado en el extremo de una barra; mediante la resistencia a intervalos regulares.	Identificación de cambios significativos en compacidad o consistencias. Posible identificación del suelo por la relación entre la carga en la punta y la fricción lateral.	No penetra estratos duros, falsa información en grava.
Pozos, zanjas.	Excavar un pozo o una zanja a mano, con grandes barrenas o con excavadoras.	Examen visual de la estructura y de la estratificación, por arriba del manto freático.	Derrumbe de las paredes, agua subterránea.
Sondeo por inyección de agua; perforación rotatoria con agua.	Machacar con una broca de cincel o perforar por rotación de una broca con dientes. Los detritos son llevados a la superficie por agua circulante o por fango inyectado a través de la roca.	Identificación de los detritos de la fracción más gruesa, dureza por la velocidad de perforación.	Resultados falsos si la cantidad de finos es apreciable.
Perforación por golpe o cable.	Golpear y batir los boleos de suelo y la roca hasta convertirlos en pasta blanda, dejando caer una pesada broca de cincel en un agujero húmedo. Achicar la pasta blanda a intervalos.	Perforación e identificación de roca partida, etc., de los detritos.	Dificultad de definir los estratos. Las arenas se hacen movedizas.
Perforación por percusión.	Impacto, perforación con martillo perforador; extracción de los detritos con aire comprimido.	Identificación de la roca por los detritos, dureza por la velocidad de perforación.	Se tapa la perforación en suelo húmedo.

3.2. BARRENOS.

Denominamos barrenos a todo taladro cargado de explosivo y cebo, que al detonar provoca la voladura, arranque y fragmentación de la roca o mineral.

En todo barreno, distinguimos las siguientes partes:

- a) carga de explosivo (fondo y columna)
- b) cartucho cebo y
- c) retacado

a) CARGA DE EXPLOSIVO.

Es la que introducimos en el barreno, según los cálculos previamente efectuados. Esta carga, según el tipo de explosivo y pega, varía en su cantidad y colocación.

Normalmente se concentra en el fondo (carga de fondo) disminuyendo en potencia y cantidad hacia la superficie (carga de columna).

Si en el barreno hay agua deberá emplearse un explosivo adecuado nunca en polvo.

La carga, cuando se trate de explosivos encartuchados debe estar constituida por una fila de cartuchos en perfecto contacto.

En el caso de carga discontinua, se utilizará cordón detonante en toda la longitud del barreno.

Está prohibido introducir y aplastar los cartuchos con violencia para colocar el detonador (cartucho cebo).

Si en el barreno hubiera coqueras (cavidades) no se debe cargar a granel, para evitar una peligrosa concentración del explosivo.

En barrenos verticales, de gran diámetro, no es aconsejable dejar caer los cartuchos, sino descenderlos con suavidad mediante un hilo, que se pierde en cada cartucho, o colocarles una anilla y descenderlos con un gancho recuperable.

En caso de atascarse un cartucho en la caña del barreno, no hay que forzarlo ni empujarlo violentamente. Si utilizando el atacador de madera suavemente no se consigue desatacar, hay que abandonar el barreno, preparando otro paralelo, a la distancia de seguridad, como si se tratará de un barreno fallido.

b) CARTUCHO CEBO.

Es aquél en el que colocamos el detonador, para que provoque la explosión y haga detonar por simpatía el resto de explosivo confinado en el barreno. El cartucho cebo va siempre colocado con el detonador en dirección al resto de la carga explosiva. En la pega con mecha, irá siempre en la parte superior. En la pega eléctrica, en la parte superior o en la inferior, pero nunca en el medio de la carga. En las minas de interior con atmósfera explosiva, se situará en el fondo. Sólo se puede utilizar un cartucho cebo por barreno. El detonar se introduce en el cartucho con mucha precaución y si fuera preciso hacer hueco en la masa del explosivo, con una herramienta especial. El cartucho cebo se prepara inmediatamente a las operaciones de carga. ¡No antea!

Si se emplea cordón detonante a lo largo del barreno, el cordón sustituye el cartucho cebo. Entonces el detonador se adosará firmemente (con cinta aislante) al extremo del cordón detonante, en el exterior del barreno, con el fondo del detonador dirigido en el sentido de la carga del explosivo. Para barrenos de un diámetro superior a 50 mm se usará siempre cordón detonante.

INTRODUCCIÓN DEL EXPLOSIVO EN LOS BARRENOS (CARGA).

Nunca se deben realizar al mismo tiempo en un mismo tajo las operaciones de perforación y carga de barrenos. Tampoco se pueden recargar fondos de barrenos de otras pegas, ni reprofundizar en barrenos fallidos. Antes de la carga, el barreno debe estar perfectamente limpio. Para ello es aconsejable soplar con la manguera de aire comprimido antes de iniciar la carga. Lógicamente, el diámetro de los barrenos de explosivo debe ser ligeramente inferior al de los barrenos, para fácilmente ser introducidos y evitar atascos.

c) RETACADO.

El retacado, o taco, es la parte superior del barreno sin explosivo, que se rellena de una materia inerte, bien apretada o retacada (de ahí su nombre) que asegura el confinamiento del explosivo para su mejor aprovechamiento y evitar perder energía, que se produce cuando está mal retacado y el explosivo, al detonar, sale por la boca del barreno, en un efecto de similar al de un cartucho de escopeta.

La longitud debe ser igual a la de la línea de menor resistencia del barreno (distancia al frente libre) y nunca inferior a 20 cm. En barrenos de taqueo (los que se disparan para fragmentar bloques grandes desprendidos ya en otras voladuras), la longitud de retacado puede reducirse a la mitad. El retacado se hará con materiales suficientemente plásticos (lo mejor, arcilla húmeda), sin piedras, que no propaguen la llama y que sean antiestáticos. Actualmente, los fabricantes de explosivo suministran cartuchos de arcilla húmeda, de distintos diámetros, que facilitan un perfecto, rápido y cómodo retacado.

3.2.1. EQUIPOS DE BARRENACIÓN.

Los barrenos varían bastante en tamaño y tipo, se perforan utilizando diferentes clases de equipo, y en todas las direcciones posibles.

Los barrenos pequeños de 1" (2.54 cm.) a 2 1/4" (6.35 cm.) de diámetro y hasta 30 ft (9.14 m.) de profundidad se perforan usualmente con máquinas de tipo de percusión operadas por aire, tales como las pistolas neumáticas de pierna o de mano, pequeñas perforadoras montadas sobre orugas, carabinas y jumbos.

La pierna hidráulica que se utiliza con las pistolas ligeras ha recibido amplia aceptación. Este método de montaje es ahora popular para el trabajo de desarrollo en las minas subterráneas y también para la perforación de alta velocidad de túneles a contrato (en donde, en muchas ocasiones, se ha adoptado a jumbos de plataforma).

Los barrenos de pequeño diámetro más profundos se perforan hace tiempo empleando máquinas hidráulicas de rotación con brocas de diamante en donde se requieren profundidades de 100 ft (30.48 m.) o mayores. Estas brocas de diamante, por lo regular son accionadas por aire comprimido.

Han sido particularmente efectivas en el minado de minerales duros, pero también se adaptan en la ampliación de túneles en roca y, en forma limitada, para trabajos de cantera y de construcción. Las máquinas neumáticas con acero seccional han reemplazado a los equipos de diamante para barrenos largos con éxito considerable en minas subterráneas. La profundidad económica para este último equipo es, por lo general, de 50 ft. (15.24 m.) a 70 ft. (21.34 m.). Esto está directamente relacionado con la geología de la formación que se está perforando. Los barrenos cortos de pequeños diámetros que se perforan en materiales relativamente suaves, se hacen con gusanos neumáticos o eléctricos. Las formaciones adecuadas para estas máquinas son sal, potasa, yeso, arcilla, carbón y otros tipos de materiales suaves.

El equipo de perforación móvil para diámetros grandes se adopta especialmente a bancos de canteras de 40 ft. (12.90 m.) de altura y más. Los barrenos más grandes, en el rango de 9" (22.86 cm.), no siempre produce resultados satisfactorios con patrones de barrenación correspondientemente.

El equipo de perforación por percusión con barrenos de diámetro más pequeños de barrenación más cerrados permite una mejor distribución de los explosivos y, por lo tanto, mejor fragmentación. La categoría de barrenos de gran diámetro constituye un porcentaje sustancial en las canteras del país y en la mayoría de las minas a cielo abierto y descapotes de carbón, tanto antracítico como bituminoso. Los diámetros de los barrenos de estas operaciones generalmente varían de 6 1/2" (16.51 cm.) a 10 1/2" (26.67 cm.), con algunas localidades que utilizan equipo de 12" (30.48 cm.) a 15" (38.10 cm.).

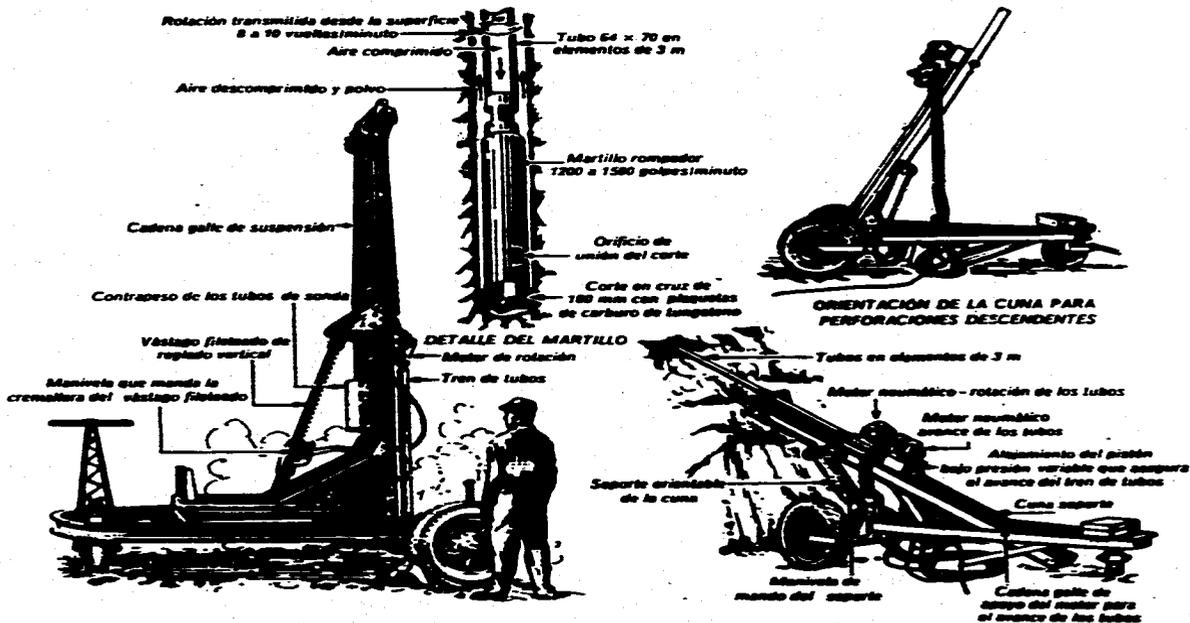
Los barrenos, por lo regular, son verticales o con una inclinación menor de 30° a partir de la vertical, excepto en descapote de carbón bituminoso, en donde se siguen utilizando gusanos horizontales.

El desarrollo del equipo de rotación ha contribuido a un fuerte mejoramiento de la eficiencia en operaciones de voladura en todo el país. Las máquinas rotatorias del presente pueden perforar barrenos de hasta 15" (38.10 cm.) de diámetro con profundidades de 100 ft (30.48 m.), y en algunos casos de hasta 150 ft (45.72 m.), y las capacidades en ft por turno exceden varias veces a las de las máquinas de pulseta, reduciendo fuertemente los costos. Otras ventajas del equipo de barrenación rotatoria en comparación contra los barrenos con pulsetas son:

- 1.- Menor variación en la posición del barreno
- 2.- Paredes más tersas, que hacen más fácil el cargado.

Se ha hecho un progreso considerable hacia la adaptación de las máquinas rotatorias o materiales más duros y más abrasivos, tales como la cuarcita, arenisca y roca trapeana, utilizando brocas con insertos de carburo.

El equipo de barrenación de percusión en el fondo ha recibido amplia aceptación. Este equipo, diseñado inicialmente para diámetros de 6" (15.24 cm.) a 6 1/4" (16.51 cm.), tiene un martillo sujeto al vástago, logrando, por lo tanto, una distancia constante entre el barreno y la broca, dando teóricamente una rapidez de penetración constante sin importar la profundidad. Ciertos tipos de roca, como el basalto y los depósitos sedimentarios con estratificación muy inclinada, pueden dispararse algunas veces de un modo más económico utilizando coyoteras en lugar de barrenación. El éxito de este método depende enteramente de las condiciones geológicas.



Perforadora Saut-du-Tarn.
para perforaciones verticales.

Perforadora Saut-du-Tarn.
para perforaciones inclinadas.

Fig. No. 1.a Equipo de barrenación.

ESTA FESIS NO PUEDE
SALIR DE LA BIBLIOTECA



Perforadora rotativa de aire comprimido montada sobre compresor.



Perforadora rotativa de aire comprimido montada sobre compresor vertical (Empire).

Fig. No. 1.b Equipo de barrenación

3.2.2. TIPOS DE BARRENOS:

3.2.2.a. BARRENOS SECANTEADOS.

En algunos tipos de material duro y abrasivo es muy costoso perforar barrenos de diámetro pequeño. En tales casos, el uso de barrenos secanteados en patrones de barrenación grandes puede ser el método más eficiente de voladura. El mismo procedimiento ha demostrado ser adaptable para pizarras finamente estratificadas, basalto, y materiales similares que requieren únicamente una cierta cantidad de desplazamiento producida por la voladura para poder rezagar.

La práctica de disparar con barrenos secanteados se utilizó ampliamente hace muchos años pero con el desarrollo de equipo de barrenación más eficiente, este sistema es poco común en la actualidad. Sin embargo se dará un pequeño procedimiento, así como los riesgos involucrados.

El secanteo se logra disparando una serie de cargas de dinamita, una después de la otra, en el fondo del barreno. La explosión de cada carga disparada de este modo incrementa el tamaño de la cavidad, y este incremento depende de lo grueso del material y del tamaño de la carga.

En pequeños barrenos, de 1¼" (3.81 cm.) a 3" (7.62 cm.) de diámetro, la primera carga no debe consistir de más de uno o dos cartuchos de 1¼" (3.175 cm.) por 8" (20.32 cm.) para evitar el derrumbe y el taponamiento del barreno por los efectos del disparo. Las siguientes cargas de secanteo pueden ser del orden de 3 a 4 cartuchos, después de 10 a 12, y de 20 a 25, respectivamente. Por lo que cada cartucho utilizado en el secanteo debe proporcionar suficiente espacio para acomodar de 6 a 8 cartuchos. Las cargas deben dispararse eléctricamente y nunca con fulminante y mecha, una carga de secanteo nunca debe dispararse junto o cerca de un barreno cargado, ya que el último puede detonarse por propagación a través de una fisura del terreno.

La carga debe cubrirse con algo de arena y cortaduras de barrenación antes de dispararse para aumentar el confinamiento y proteger el barreno contra daños.

Los barrenos verticales secanteados se cargan con mucha rapidez con uno de los tipos de material granulado como la pólvora negra que originalmente se utilizó casi por completo suplantado enteramente con una dinamita granulada y más recientemente con uno de los agentes explosivos por razones de seguridad y economía.

Quando se cargan dinamitas encartuchadas en barrenos secanteados, se rajan o cortan y atacan para llenar la cavidad tan compactamente como sea posible.

Obviamente, es necesario utilizar gelatina para este tipo de trabajo si los barrenos están húmedos. Sea cual fuere el explosivo utilizado, deben evitarse derrames alrededor de la boca del barreno.

3.2.2.b. BARRENOS ARRASTRADOS.

Ocasionalmente puede no ser posible perforar un banco desde la parte superior debido a terreno áspero, piedras sueltas o arcilla. En estos casos se utiliza este tipo de barrenación, perforados en el fondo del banco. Los barrenos deben ser suficientemente profundos y próximos entre sí con el fin de acomodar la carga requerida para mover el bordo.

Los barrenos arrastrados se perforan con un equipo de percusión, generalmente con brocas de 3" (7.62 cm.) a 4½" (11.43 cm.). Los barrenos por lo general, se arrancan de 2ft (0.61 m.) a 3 ft (0.91 m.) arriba del piso de la cantera y se perforan con profundidad de 25ft (7.62 m.) hasta 40 ft (12.19 m.), inclinados hacia abajo y hacia atrás y deteniéndose precisamente, o ligeramente abajo del nivel del piec. Los espaciamientos varían entre 5ft (1.52 m.) y 10 ft (3.05 m.). Los barrenos arrastrados también se utilizan a menudo para romper patas grandes, y se disparan antes de o con el disparo principal regular del banco.

Cuando el banco es elevado, los barrenos se secantean y cargan fuertemente o se suplementan con 1 o 2 hileras adicionales, perforadas a una elevación superior. En tales casos, la primera hilera, arriba del fondo, puede barrenarse casi horizontalmente y la siguiente hilera inclinada hacia arriba con un ángulo de 20 a 30°. Tales voladuras, por lo regular, se cargan con un factor de 3 a 5 ton/lb de acuerdo con el tipo de roca.

3.2.2.c. BARRENOS QUEDADOS.

Cuando esto ocurre, casi siempre son causados por falta de cuidado en la preparación de los cebos y el cargado de los barrenos. El deterioro debido a un almacenamiento inadecuado, por supuesto, puede ser también un factor.

Después de esperar un mínimo de una hora, un disparo quedado debe manejarse como sigue:

- 1.- Retire el taco, con las manos o con una cuchara de madera (nunca use una herramienta metálica).
- 2.- Coloque un nuevo ceba contra la carga, vuelva a colocar el taco, y dispare el barreno del modo usual.

El método más seguro para eliminar un barreno quedado es dispararlo.

3.2.2.d. BARRENOS INCENDIADOS O DEMORADOS.

Muchos de los errores que causan barrenos quedados y parcialmente quedados puede también causar que toda la carga o parte de ella se incendie, y este incendio puede dar por resultado una explosión, lo que generalmente se conoce como una "explosión demorada". Si la detonación de una columna de dinamita en el barreno se interrumpe por la separación debida a las cortaduras de la barrenación, el resto de la carga puede incendiarse. Esto es más probable que suceda con algunos tipo de explosivos permisibles que con las dinamitas más densas y sensibles.

También las cargas quedadas pueden incendiarse por el calor de la detonación de barrenos adyacentes. Por esta razón nunca deben dejarse barrenos cargados fuera del disparo.

Otra causa posible de dinamita incendiada es el uso de una línea eléctrica para disparar uno o dos estopines eléctricos en un disparo secundario ocasional.

Si se ve, o se sospecha, la presencia de una carga incendiada, ninguna persona debe acercarse a ella durante, cuando menos, una hora, ya que los gases de la dinamita incendiada son muy tóxicos, de tal modo que el lugar o área tienen que estar bien ventilados antes de permitir el regreso del personal.

3.2.2.e. BARRENOS LARGOS.

Estos barrenos de pequeño diámetro son comparativamente largos, de 100 ft (30.48 m.) o más de profundidad, se emplean en diferentes sistemas de rebajes utilizados en minas subterráneas y pueden perforarse a cualquier ángulo. Es usual que los barrenos de 50 ft (15.24 m.) de profundidad se hagan con equipo de perforación especial.

Para barrenos más largos, se usa la perforadora de diamante tipo rotatoria y brocas de diamante de diferentes tamaños.

Los barrenos perforados hacia arriba, normalmente se limpian con el agua de barrenación. Por otra parte, pueden necesitar soplado o lavado adicional. Los barrenos horizontales y hacia arriba son los más difíciles de limpiar y, por lo general, requieren el uso de aire comprimido.

Para barrenos largos es necesario un dispositivo especial para atacar el explosivo, que sea práctico, se ha utilizado tubo de plástico con mucho éxito para atacar dinamita en barrenos largos.

Si los barrenos son suaves y uniformes, por lo regular pueden cargarse fácil y rápidamente. En los barrenos inclinados hacia abajo, es posible soltar varios cartuchos y seguir con el atacador para revisar su posición o atacarlos según sea el caso. Al cargar barrenos horizontales o hacia arriba pueden empujarse varios cartuchos a la vez y atacarlos suficientemente para mantenerlos en su sitio. Los barrenos ásperos presentan un problema más difícil. Aquí los cartuchos no deben rajarse y sólo se cargan uno o dos a la vez.

Para barrenos tercos, en donde se desee una alta densidad de cargado, una rajada de 10" (25.40 cm.) en el lado de un cartucho de 24" (60.96 cm.), servirá para obtener la compactación deseada. También, ayuda a conectar cartuchos largos para cruzar un lugar especialmente difícil del barreno.

Los barrenos largos de pequeño diámetro pueden cargarse muy convenientemente con uno o más de los agentes explosivos granulados, siempre y cuando se puedan obtener la densidad de carga y los rendimientos deseados.

3.2.2.f. BARRENOS HORIZONTALES.

La principal herramienta necesaria para colocar la carga es un atacador suficientemente largo para llegar hasta el fondo del barreno, por lo regular tiene un diámetro de 1½" (3.81 cm.) a 2" (5.08 cm.), y es de pino o de abeto con secciones de 20 ft. (6.10 m.)

Después de revisar el barreno con el atacador, para ver que éste limpio y abierto hasta el fondo, queda listo para el cargado. Se utilizan para este trabajo tanto agentes explosivos como explosivos normales.

Al cargar agentes explosivos encartuchados, la carga se empuja hasta el fondo en una o más unidades y cada unidad debe contener un cebo adecuado.

Generalmente, pueden empujarse hasta el fondo del barreno de 150 lb (68.04 kg.) a 200 lb (90.72 kg.) simultáneamente sin esfuerzo indebido, ya que los recipientes ofrecen muy poca fricción con las paredes del barreno.

Los barrenos horizontales se retacan con arena. La longitud del barreno que debe retacarse para confinar la carga depende del diámetro del mismo y de la cantidad de explosivos. Sin embargo, la longitud del taco rara vez es menor de 10ft (3.05 m.) a 12ft.(3.66 m.). Debe utilizarse más cuando se tienen bordos y cargas explosivas muy grandes.

3.2.2.g. BARRENOS DE DIÁMETRO GRANDE.

Antes de cargar barrenos verticales grandes, deben examinarse visualmente utilizando un espejo o luz artificial para localizar cualquier falla, caverna o rocas sueltas. Es indispensable medir y registrar las profundidades exactas, según se va cargando. Un barreno obstruido puede, en ocasiones, abrirse con el atacador o con una vara de acero que cuelgue de una cuerda o, en algunos casos, será útil usar el equipo de barrenación.

Es necesario retirar toda la roca suelta que esté cerca de la boca del barreno para evitar que entre material extraño durante el cargado. La perfecta limpieza del barreno asegura que llegue la carga hasta el fondo y acelera la operación de cargado en general.

Los barrenos de gran diámetro generalmente se cargan con los cartuchos de mayor diámetro posible para utilizar al máximo el diámetro del barreno. Una holgura de 1" es, por lo general, suficientemente y en donde los barrenos son uniformes y suaves, ½" (1.27 cm.). Si los barrenos están secos, los cartuchos pueden soltarse desde la boca, ya sea rajándolos o no, dependiendo del grado de compactación deseado.

Si el barreno contiene agua, los cartuchos deben bajarse hasta que la columna quede arriba del agua. El soltar los cartuchos bajo estas condiciones puede provocar que los cartuchos se deshagan en la superficie del agua, especialmente si el producto es suave y existe poca holgura a los lados.

Los cartuchos de gran diámetro que tienen cintas pueden bajarse mediante ganchos de bronce de autoliberación. Los barrenos de diámetro grande a menudo se inician con cordón detonante por razones de seguridad.

En donde los barrenos son suaves y buenas las condiciones de carga, una sola línea de cordón detonante es por lo regular suficientemente para asegurar una detonación completa, si se encontrara alguna dificultad en el cargado o existiera la posibilidad de que el cordón detonante se haya cortado o dañado, debe tenerse inmediatamente una segunda línea para la parte superior de la columna de explosivos. Para que esta funcione bien debe de estar separada de la primera, de preferencia en el lado opuesto del barreno.

No es aconsejable emplear en un barreno nudos entre cordones detonantes, ya que el agua a presión puede penetrar en los extremos opuestos y producir una falla en el nudo, y también porque los nudos se pueden desamarrar durante el cargado.

Después de cargar, es indispensable llenar por completo los barrenos de diámetro grande con material de taco siempre que sea práctico, preferiblemente con arena o roca limpia cribada. No es deseable utilizar un bloque atacador para fijar el taco, ya que estará suficientemente compactado por su propio peso. Bajo ciertas condiciones puede ser indeseable rellenar completamente con taco los barrenos de gran diámetro.

Debe tenerse cuidado, tanto durante el cargado como durante la colocación del taco, en evitar dañar el cordón detonante o los alambres del estopín o jalarlos hacia afuera del barreno. Después que el barreno se ha cargado completamente y cubierto con el taco, los extremos de cordón detonante deben levantarse del terreno y cubrirse con una caja vacía de dinamita o papel para protegerlos contra daños hasta que se cargue el resto de los barrenos.

3.2.2.h. BARRENOS DE PEQUEÑO DIÁMETRO.

La condición y profundidad de todos los barrenos deben revisarse cuidadosamente antes de intentar cargar explosivos. Cuando se perforan los barrenos hacia arriba, las cortaduras, por lo general, caerán por gravedad, si están secas, o saldrán con el agua de perforación cuando se utiliza este tipo de barrenación.

Tanto los barrenos verticales como los horizontales deben limpiarse para utilizar el espacio disponible para los explosivos con el fin de facilitar, en general, el cargado. El lodo o arenilla, que quedan dentro de los barrenos, son capaces de provocar una falla parcial o total del barreno debido a la separación de la carga, o por el daño provocado a la mecha de seguridad o a los alambres de los estopines.

Los barrenos pueden limpiarse con aire comprimido o agua o, si el lodo es pesado, mediante una combinación de los dos. A menudo es necesario un atacador construido adecuadamente para colocar la carga, el que también es útil para hacer una última revisión del barreno precisamente antes de cargar. El atacador es necesario que sea lo suficientemente largo para que llegue al fondo del barreno y no debe contener piezas de metal expuestas, salvo ciertos conectores apropiados para unir secciones. El mejor material para los atacadores es madera dura de grano recto; los atacadores deben ser redondos, o casi redondos, y ser de un diámetro suficientemente pequeño para entrar con facilidad en el barreno. Por lo general, el mejor tamaño para uso general es de 1½" (3.81 cm.) a 1¾" (3.81 cm.). El atacador debe conservarse en buena condición, y no permitirse que el extremo se astille o que adquiera punto producido por un uso excesivo.

Cuando se coloca la dinamita generalmente viene empacada en cartuchos que facilitan su cargado. Estos pueden ser de 8" (20.32 cm.), 12" (30.48 cm.), 16" (40.64 cm.) o 24" (60.96 cm.) de longitud, y varían bastante en diámetro, de acuerdo con el tamaño del barreno. Casi siempre es suficiente una holgura de ¼" (0.64 cm.) a ½" (1.27 cm.), aunque los barrenos ásperos necesitan más espacio, especialmente para los cartuchos más largos.

Al cargar barrenos verticales y horizontales, lo usual es no insertar más de dos cartuchos al mismo tiempo, si se desea obtener máxima densidad y la experiencia en el cargado dictarán el procedimiento adecuado.

El explosivo no debe sacarse de los cartuchos durante el cargado, a menos que el barreno esté, en parte, cerrado, haciéndose necesario recurrir a un procedimiento especial. En este caso, el riesgo del cargado aumenta ya que puede mezclarse el explosivo con las cortaduras en algunos casos, parte de la potencia explosiva se pierde al desechar el papel de la envoltura, y en otros, ciertos gases nocivos se incrementan después de la detonación. Este proceso se facilita mucho rajando el cartucho precisamente antes de cargarlo a menos que el papel ya venga perforado de fábrica. El rajado consiste en hacer dos cortes longitudinales, uno a cada lado, de 4" (10.16 cm.) a 5" (12.70 cm.) de longitud, que permitan que el cartucho se abra con facilidad dentro del barreno con un golpe relativamente ligero del atacador.

En barrenos ásperos de diámetro pequeño, tanto vertical como horizontal, los cartuchos más largos, de 12" (30.48 cm.), 16" (40.64 cm.) y 24" (60.96 cm.) de longitud, a menudo demuestran ser más fáciles y rápidos para cargar.

3.2.3. TIPOS DE CUÑAS.

Existen tres tipos generales de cuñas:

- a.- **La cuña en ángulo.** En la cual, los barrenos se hacen formando un ángulo con la frente para proporcionar la mayor libertad de movimiento que sea posible para la roca quebrada.
- b.- **La cuña quemada o fragmentada.** En la cual se hacen varios barrenos muy próximos entre sí y perpendiculares a la frente, y en que solamente algunos de ellos se disparan para romper hacia el espacio abierto proporcionado por los barrenos vacíos.
- c.- **Combinaciones de éstas dos.**

3.2.3.a. CUÑAS EN ÁNGULO.

Las cuñas en ángulo utilizan menos barrenos por disparo y usualmente su consumo de explosivos es menor por ft de avance. Una desventaja es que la "V" de roca formada por la cuña, puede salir lanzada desde el frente en piezas grandes que pudieran dañar el maderamen. El uso de anclas en lugar de maderamen ha reducido esta objeción a las cuñas en ángulo en muchas operaciones.

En donde sea necesario reducir el lanzamiento de roca grande y ayudar a romper una cuña en ángulo profunda, pueden emplearse pequeñas cuñas en "V".

La cuña en "V" es una de las más antiguas cuñas en ángulo y se utiliza comúnmente todavía. Cada "V" consiste de dos barrenos hechos a partir de dos puntos tan retirados como sea posible sobre la frente para juntarse o casi hacerlo en los fondos de los barrenos. (Fig. No. 2)

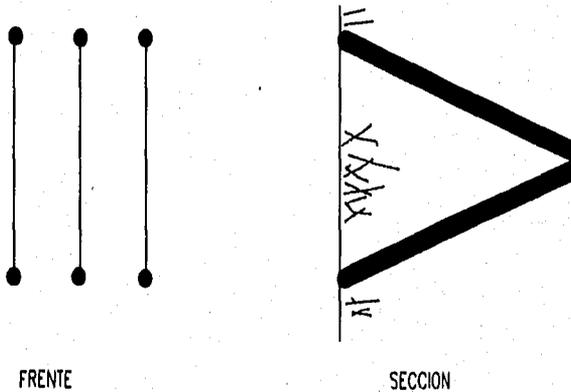
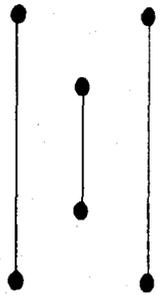


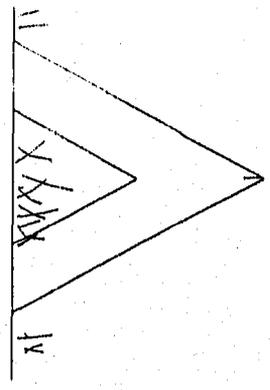
Fig. No. 2 Cuña "V" típica.

La cuña puede consistir de una "V" o varias "V" perforadas paralelamente una a la otra. Las cuñas en "V" en los cañones pueden ser horizontales o verticales, dependiendo de cuál posición permite el mayor ángulo entre barrenos, de la estructura o estratificación de la roca, y sobre el tipo de equipo de barrenación disponible. En barrenaciones más profundas o en rocas muy difícil de romper, las cuñas pueden ser dobles "V" (Fig. No. 3), conociéndose como cuña chica lo que está más adentro y la más pequeña. Una modificación de la cuña en "V", conocida como la cuña martillo, (Fig. No. 4). Esta localizada lejos del centro de la frente y a menudo los barrenos se hacen de modo que no se encuentren.

La cuña martillo, colocada en el fondo que se ilustra en la figura, es la más común, aunque puede encontrarse en la parte superior o a un lado de la barrenación. Es particularmente útil en pequeñas frentes (menores de 6ft x 6ft = 1.83 m. x 1.83 m.) donde la barrenación se hace con frecuencia con pistolas montadas en piernas, y en donde, debido a la falta de espacio, es difícil perforar una cuña en el centro de la cara. Además, cuando se utiliza una pistola montada sobre una barra horizontal o sobre una pierna, una cuña martillo es posible que se arranque desde la parte superior de la rezaga y la perforación y rezagado puede efectuarse al mismo tiempo.

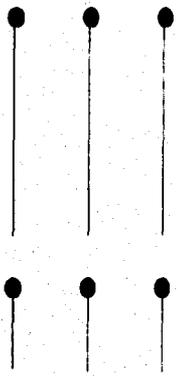


FRENTE

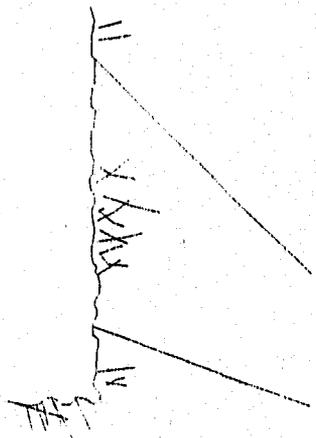


SECCION

Fig. No. 3 Cuña doble "V"



FRENTE



SECCION

Fig. No. 4 Cuña Martillo.

3.2.3.A CUÑAS PIRAMIDALES.

Estas consisten de 3 a 6 barrenos hechos para encontrarse en un punto común cerca del centro de la frente, (Fig. 5.a y Fig. 5.b). Estas raramente se utilizan en la actualidad habiendo sido suplantadas por las cuñas quemadas o barrenos extragrandes que actúan como cuña quemada.

Fig. No. 5.a Cuña piramidal de 3 barrenos.

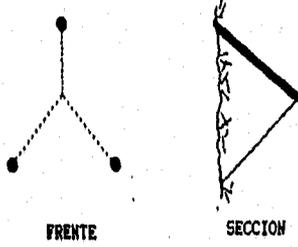
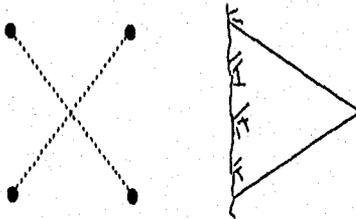


Fig. No. 5.b Cuña piramidal de 4 barrenos.



3.2.3.c CUÑAS QUEMADAS.

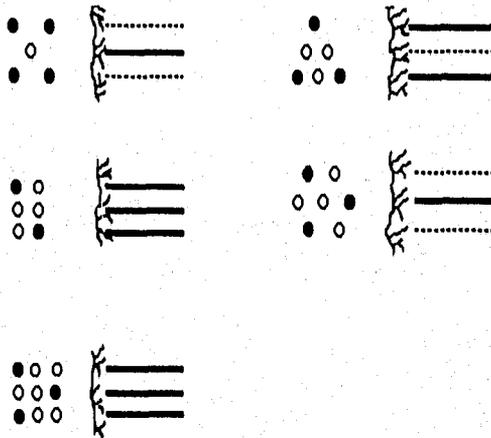
También se conocen como cuñas fragmentadoras. Las cuñas quemadas hacen posible aumentar la profundidad de la barrenación mucho más de lo que es posible con cuñas en ángulo. Es de lo más importante que los barrenos de una cuña quemada se hagan exactamente paralelos y a la distancia adecuada entre sí. También, la cuña quemada debe perforarse aproximadamente de 6" (15.24 cm.) a 12" (30.48 cm.) más larga que los otros barrenos de la voladura.

Las cuñas quemadas pueden perforarse en cualquier parte de la frente con los barrenos apuntando, según se desee, pero siempre paralelos uno con respecto del otro. Así, la roca quebrada que sale de la cuña puede dirigirse hacia el punto donde produzca el menor daño al maderamen.

Las cuñas quemadas, se diseñan para romper y pulverizar la roca, rompiéndola en pequeños fragmentos que salen lanzados por la voladura para dejar una abertura más o menos cilíndrica, las cuñas quemadas consisten de barrenos hechos paralelamente entre sí y a la línea de centros del túnel, así como a una distancia determinada entre sí. La Fig. No. 6 muestra varios de los patrones más comunes.

Se obtienen los mejores resultados cuando los barrenos cargados no disparan simultáneamente, ya que se obtiene mayor acción limpiadora si se utiliza algún tipo de disparo por retardos dentro de la cuña.

En algunos tipos de formaciones de rocas el abundamiento de la roca quebrada en la cuña puede ser excesiva, de tal modo que la cuña quemada se congele completamente. Esto puede causar una pérdida completa del disparo.



○ Barrenos que no deben cargarse.

● Barrenos cargados.

Fig. No. 6 CUÑAS QUEMADAS.

3.3. TAQUEO.

Es la operación de disparar los barrenos que se perforan o parches en los bloques grandes producidos en una voladura al objeto de fragmentarlos.

Actualmente el taqueo de los bloques gruesos producidos en una pega se efectúa generalmente con medios mecánicos, en ocasiones hay que utilizar explosivo.

Existen tres formas de fragmentación con explosivos:

- a.- **UTILIZANDO CARGAS CONFORMADAS.** Apenas se usa.
- b.- **PERFORACION CON BARRENO.**

En este caso se comprobará que no existe dentro del bloque resto de explosivo o cordón detonante como consecuencia de la pega y se perforará y disparará un barreno con las medidas de seguridad acostumbradas.

Hay que tener cuidado en no excederse en la carga de explosivo, porque la onda aérea (estampido) y proyección de piedras suele ser considerable.

- c.- **PARCHES.**

Es el método más rápido y eficaz, aunque tiene el inconveniente de un mayor consumo de explosivo.

La forma de efectuarlo es colocando un cartucho cebo, con explosivo tipo goma, adecuado al volumen del bloque adosado a su cara superior y perfectamente cubierto de arcilla pastosa (barro).

Si son varios los tacos y, para su disparo se utiliza la pega eléctrica, se tomarán las mismas precauciones que en una pega ordinaria.

Si se efectúa el disparo con mecha, hay que recordar que el número máximo de tacos será de seis.

También se puede empalmar todos unidos con cordón detonante y un solo detonador, para hacerlos explotar todos a la vez.

Tiene el inconveniente que la onda aérea es muy considerable.

3.3.1. TIPOS DE TAQUEO.

Generalmente es aconsejable, por razones de seguridad y eficiencia, confinar explosivos mediante un material inerte adecuado conocido como taco. Una de las funciones de éste es proteger a las cargas de explosivos contra la ignición o detonación accidental.

Esto es importante en donde se utilizan pólvoras negras, especialmente si se disparan con mecha de seguridad y el dinamitero está utilizando una lámpara de flama abierta. Aunque las cargas de dinamita no pueden encenderse tan fácilmente, deben también protegerse como taco, en particular, en barrenos verticales donde es mucho más fácil que entre fuego o chispas de una gran variedad de fuentes. Es obvio que nunca debe intentarse el cargado de explosivos en cualquier forma cuando están expuestos a la ignición producida por una fuente conocida de fuego o flama en la vecindad.

La función más importante del taco es confinar la carga y obtener la mejor eficiencia posible del explosivo. La pólvora negra produce presión de gas lentamente y esta presión puede fugarse a menos que la pólvora esté fuertemente atacada. Las dinamitas actúan con mayor rapidez, pero, a pesar de este hecho, las pruebas de laboratorio y la experiencia en el campo demuestran que en la mayoría de los casos su efectividad se aumenta mediante el uso de una cantidad adecuada del taco.

En barrenaciones verticales, tanto bajo tierra como a flor de ella, el resto del barreno, arriba de la carga, puede, por lo general, llenarse fácilmente con cortaduras de la barrenación que están cerca de la boca del barreno o con arena o roca finamente quebrada utilizada para este fin. Bajo estas condiciones, los barrenos deben estar siempre completamente retacados.

3.3.1.a. TACOS INERTES.

Los materiales convencionales que se utilizan en el taco se enumeran a continuación, según su efectividad:

- Una mezcla de arena y arcilla plástica (2:1)
- Arcilla
- Arena
- Tierra negra
- Agua

El uso de tacos inertes de este tipo es obligatorio en las minas de carbón para reducir al mínimo el riesgo de las explosiones de gas y polvo. Todos estos materiales sólidos deben utilizarse, de preferencia, humedecidos, ya que así son más cohesivos y por lo tanto más efectivos que cuando están secos.

El uso de las Bolsas de Agua Du Pont para taco está aumentando y han demostrado ser muy efectivas, ya que han sido clasificadas permisibles para su uso en minas de carbón bituminoso.

3.3.1.b. BOLSAS DE AGUA PARA TACOS.

Estas bolsas se encuentran en el mercado hechas con plástico PVC de 6 milésimas de pulgada, y con una válvula para el cerrado automático, estando clasificadas como un taco permisible, para su uso en minas de carbón bituminoso. El uso de las bolsas de agua para taco es cada vez mayor debido a:

- Seguridad
- Reducción de polvo
- Reducción de los gases
- Costo

También se encuentran en el mercado dispositivos operados a mano o por pedales para facilitar un llenado adecuado

3.3.1.c. BOLSAS PARA TACOS.

Estas bolsas están hechas de papel grueso y se utilizan como recipientes para arena, arcilla o cualquier otro material no combustible para tacos en los barrenos. Las bolsas se venden en los tamaños mostrados en la Tabla No. 2. Vienen empacadas en atados de 500, necesitando 10 para formar un fardo.

TABLA No. 2

BOLSAS DE AGUA PARA TACO DU PONT		
ANCHO	DIAMETRO DEL GUSANO	DIAMETRO NOMINAL DEL BARRENO
Pulgadas	De - A	
2	1.50 - 1.70	1 1/4
2 1/4	1.70 - 1.85	1 1/2
2 1/2	1.85 - 2.00	2
2 3/4	2.00 - 2.20	2 1/4
3	2.25 - 2.40	2 1/2
3 1/4	2.45 - 2.80	2 3/4

Además de los tamaños mostrados en la tabla, se venden dos tipos grandes de bolsas hechas con papel Kraft grueso, cuyas dimensiones son 3 1/4" x 16" (8.88 cm x 40.64 cm.) y 4 1/4" x 16" (11.43 cm. x 40.64 cm.). Cada fardo tiene 2000 unidades y pesa aproximadamente 19 lb (8.96 kg.) y 32 lb (14.51 kg.), respectivamente, por cada 1000 piezas. Se utilizan en barrenos horizontales de gran diámetro en trabajos de descapote.

3.3.1.d. TACO INCOMBUSTIBLE

El taco incombustible, ligero y seco, tal como el polvo de roca, es conveniente desde un punto de vista de seguridad, pero no proporciona un confinamiento eficiente.

3.3.1.e. TACO COMBUSTIBLE.

El taco combustible, como las cortaduras que produce la barrenación en carbón, bolsas de papel, trapos o aserrín, puede incendiarse y nunca deben utilizarse en operaciones de ningún tipo.

El material común de taco para barrenos pequeños debe estar libre de piezas gruesas de piedra para minimizar la posibilidad de dañar la mecha o los alambres del estopín.

Quando se emplean estopines eléctricos, se obtienen fallas cuando uno o los dos alambres se dañan completamente o si quedan en cortocircuito como resultado de la abrasión del aislamiento. Los cortes en la mecha son capaces de producir fallas debidas a la penetración de humedad en el núcleo de la pólvora y también puede permitir el quemamecha. Para barrenos horizontales o hacia arriba, el taco debe encartucharse, ya que así es más fácil retacar en el barreno que el material suelto y tiene menos tendencia para dañar la mecha o los alambres. Estos cartuchos de taco pueden prepararse llenando bolsas con material de taco o llenando tubos que se preparan enrollando hojas de papel sobre un mandril. Al atacar los cartuchos de taco en el barreno, el daño a la mecha o a los alambres pueden minimizarse sujetándolos tirantes contra el lado o la parte superior del barreno y evitando que se hagan cocas. También existen tapones de yeso, asbesto, etc., que satisfacen esta necesidad muy bien en diferentes áreas.

CAPITULO IV

APLICACIONES

4.1. MINAS.

MINAS DE CARBON.

Una gran proporción del carbón del país es producido por minas a tajo abierto, estos son depósitos naturales están cubiertos por espesores variables de material sin valor, tales como tierra, arcilla, pizarra o roca, que deben retirarse para poder llegar al carbón.

4.1.1. EQUIPO.

Por lo regular, se utilizan dos tipos de maquinarias excavadoras para retirar la sobrecarga en trabajos.

- 1.- Las palas frontales con capacidad desde 1.53 o 2.29 m³ hasta 137.61 m³.
- 2.- Las dragas con cucharones desde 19.11 a 152.90 m³.

4.1.2. BARRENACION.

Los barrenos verticales perforados en el manto de carbón se prefieren sobre barrenos horizontales en donde:

- 1.- La sobrecarga sea excesivamente grande
- 2.- Los lechos de roca estén mezclados con pizarra, y que las cargas se localicen en estos estratos duros.
- 3.- Sea deseable mantener un gran volumen de material disparando, adelantando al equipo de movimiento de tierra.

Varias operaciones de minado de carbón a cielo abierto siguen utilizando barrenos horizontales de gran diámetro principalmente donde:

- 1.- La sobrecarga es relativamente delgada y fácil de barrenar justo arriba del carbón.
- 2.- El equipo de movimiento de tierra de gran capacidad no requiera el grado de fragmentación y desplazamiento necesarios para equipos de excavación mas pequeños.
- 3.- La sobrecarga sea poco fácil de romper aunque las cargas estén localizadas en la parte inferior del banco.

Los barrenos horizontales, por lo regular, varían de 5" a 8" (12.70 a 20.32 cm.) de diámetro y son hasta de 30.48 m. de profundidad. Los espaciamientos entre barrenos se seleccionan y pueden variar desde 3.05 hasta 9.14 m.

4.1.3. EXPLOSIVOS.

La cantidad de explosivos requeridos por m³ de sobrecarga depende de:

- 1.- La capacidad y tipo del equipo de movimiento de tierras.
- 2.- Las características físicas de la sobrecarga.
- 3.- Las propiedades de los productos explosivos.

Los factores de carga que se utilizan varían desde un máximo de 16.865 m³/kg. de explosivos a 1.684 m³/kg.

Los barrenos mojados = Tovite

Los barrenos verticales = Hi-Cap

Para barrenación vertical, las voladuras están formadas por hileras múltiples de barrenos.

Los espaciamientos varían de 4.572 a 7.620 m. y hasta 12.192 m., dependiendo del tamaño del barreno.

Los factores de carga varían desde 1.684 hasta 16.865 m³/kg. de explosivos.

Se utilizan comúnmente el Tovite en tubos de espiral forrados con polietileno. Para facilitar el cargado, el diámetro del agente explosivo seleccionado tiene que ser aproximadamente 1" menor del diámetro del barreno.

Los barrenos horizontales pueden cargarse totalmente con un grado apropiado de dinamita y se ha encontrado que la Hi-Cap en cartuchos es la más satisfactoria para este fin.

4.1.4. AFLORAMIENTO DEL CARBON.

Para este fin se hacen barrenos de 2" a 2½" (5.08 a 6.35 cm.) ya sea con una pistola neumática o con gusano eléctrico, el espaciamento dependerá de acuerdo con la dureza del carbón, pero por lo regular, están en un rango de 1.83 a 3.05 m.

Los explosivos convenientes son:

- Mezclas de nitrato de amonio-aceite combustible para dar suficiente fragmentación.
- La dinamita Stripkatex, Galex 2 y la Red Cross, Extra 40 %, dependerá física del manto de carbón.

Los barrenos se disparan separadamente o en grupos, utilizando estopines eléctricos.

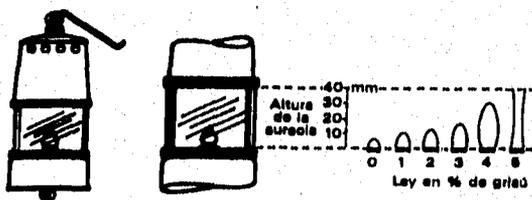
Cuando existe atmósfera explosiva en las minas con grisú y/o polvo de carbón. En todo momento, se prestara especial atención a lo siguiente:

- No cargar la pega cuando las condiciones de la atmósfera interior sobrepase los límites establecidos.

En minas de grisú cuando:

- a.- La lámpara de gasolina lo detecta.

Cuando utilizando detector , marca un porcentaje de grisú superior al 1 por 100.



Detección del grisú en lámpara de gasolina. A partir del 1 % la aureola de la llama empieza a subir.

Fig. No. 1

Las mediciones son obligatorias, antes y después de cada pega. No solo en el frente, sino también hay que hacerlo en el lugar de refugio desde donde se dispara.

- Utilizar siempre explosivos de seguridad. Esta prohibido (falta).
- Los detonadores, cordón detonante, explosores y comprobadores serán del tipo de seguridad.
- El cartucho cebo se colocara siempre en el fondo de la carga, con el detonador dirigido hacia la boca del barreno.
- El atacador se hará siempre con materiales plásticos, nunca que puedan arder. Junto con los tacos normales, se colocaran tacos especiales enfriadores de gases, llamas o partículas incandescentes.

El atacado deberá ocupar una longitud, al menos, de un tercio de la profundidad total del barreno, sin que exceda de 40 cm.

4.2. VIAS TERRESTRES.

CARRETERAS.

En proyectos de construcción tales como carreteras, aeropuertos y otras excavaciones al aire libre de tipo similar, las condiciones difieren de las de las minas y canteras en que la altura del banco cambia constantemente desde cero hasta su valor máximo, lo que significa que los esquemas de perforación dados en la Fig. No. 2 deben modificarse variando la piedra y el espaciamiento, lo cual hace mas complicado el diseño de las plantillas de perforación y pega de modo similar a lo que sucede en los bancos bajos.

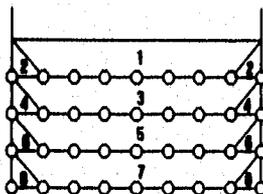
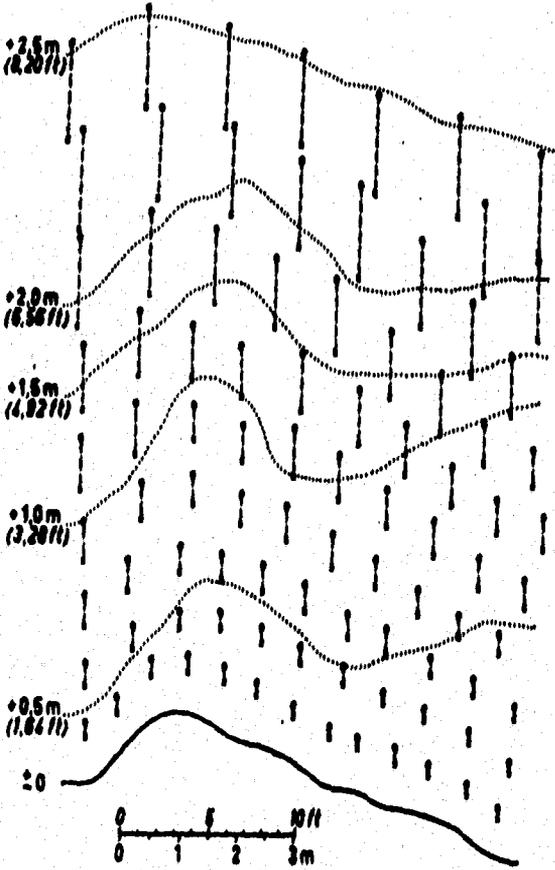


Fig. No. 2 Esquema de barrenación múltiple, dos retardos por hilera.

Si la altura (profundidad) del corte es menor de 10 m. puede ser excavada en un solo tramo; con alturas mayores el trabajo se efectúa mediante dos o mas bancos. Normalmente se obtiene las mejores condiciones para la perforación, voladura y excavación cuando se trabaja con alturas de banco entre 5 y 8 m. Cuando se dispara en roca dura, el diámetro de los barrenos es de $d = 32$ mm. con maquinas manuales y $d = 50-75$ mm. con equipo pasado. En este caso no deberían utilizarse diámetros mayores. En roca blanda y con grandes equipos de desescombro pueden utilizarse diámetros de hasta 125 mm., aunque se ha demostrado que aun con palas grandes, los diámetros pequeños de barrenos pueden ser mas económicos, ya que de esta forma aumenta la capacidad de excavación. Fig. No. 3 y 4.

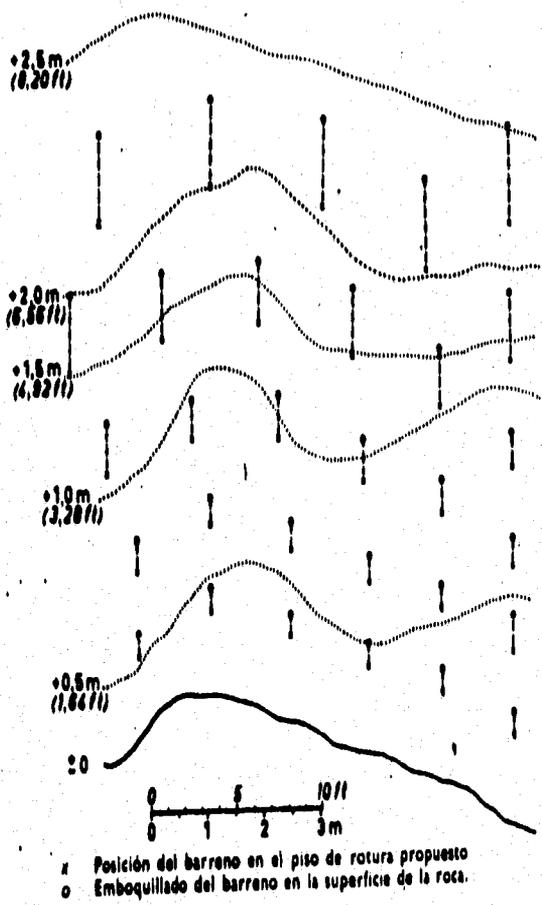
Debe prestarse especial atención a que las paredes obtenidas queden con una pendiente que elimine los riesgos de deslizamiento y con las caras recortadas sin quebrantar.



x Posición del barrero en el piso de rotura propuesto
 o Emboquillado del barrero en la superficie de la roca

Distribución de los barrenos en una voladura de demolición para carreteras.

Fig. No. 3



El corte anterior con barrenos de 63 mm, cargando el fondo con cargadora neumática d. cartuchos.

Fig. No. 4

4.2.1. EXPLOSIVOS.

Los tipos de explosivos que se pueden utilizar para disparos en carretera cubren un amplio rango. La Special Gelatin Du Pont 40 % o la Toval, para calizas duras, areniscas y pizarras, cuando la exposición al agua puede extenderse por varios días. La Red Cross, Extra son adecuados en material mas fácil de quebrar bajo condiciones secas. Para barrenos de hasta 3 1/4" (8.89 cm) de diámetro se utilizan las ya mencionadas anteriormente.

El Tovex y el Pourvax empaquetados, que son los explosivos licuados bombeados, se utilizan en caminos carreteros, particularmente en donde se encuentra agua en los barrenos de 3" (7.62 cm) de diámetro y mayores.

Como carga de columna se utilizan Nilito o ANFO si una porción del barreno esta seca.

El factor de carga de explosivos requeridos por m³ de roca quebrada depende del tipo de material, profundidad de los barrenos y tipo de explosivo, localización del disparo, tipo de corte, equipo, uso del material producido.

Factores.

Para un corte cajón	0.45 a 0.59 kg./m ³
Para pizarra	0.30 a 0.24 kg./m ³
Para granito e Igneas	0.89 kg./m ³

Las voladuras en frentes libres requieren menos explosivos, y el factor depende principalmente del tipo de roca, y no tanto de la profundidad de los barrenos. Los factores por lo regular están entre 0.30 a 0.59 kg./m³.

Las ventajas sobresalientes de los estopines MS son una mejor fragmentación y menos vibración.

Además, ayudan a controlar la dirección y cantidad de lanzamiento de roca quebrada y limitan el sobrerrompimiento.

4.3. BANCOS DE MATERIAL.

CANTERAS Y TAJOS ABIERTOS.

Una gran parte de las materias primas del país se producen en operaciones superficiales de muchos tipos diferentes. En donde el producto es roca, las operaciones se conocen como canteras. Si se involucran minerales metálicos, estas se llaman minas a tajo abierto o simplemente tajo, puesto que los procedimientos generales de operación y voladura son prácticamente los mismos.

La operación de la cantera consiste en el desarrollo de cuando menos una frente vertical, si la formación es suficientemente profunda, de varios niveles o bancos. La altura de estos bancos se fijan de acuerdo con el tipo de equipo, las características físicas y químicas de la roca y el producto, y la localización de los planos mayores de estratificación.

Los bancos de altura mayor por lo regular se explotan con equipo de barrenación de gran diámetro o en formaciones muy fáciles de barrenar.

En las canteras de ladera, la altura del banco generalmente la determinan la topografía y la altura seleccionada para el piso de operación.

El patrón de barrenación en estas formaciones, donde el corte en el piso no está auxiliado por separaciones naturales, queda por lo regular limitado por el área que pueda cortarse satisfactoriamente más que por la fragmentación en general.

Los barrenos de diámetro grande usualmente varían de 4½" a 9⅞" (11.43 a 25.08 cm.) de diámetro y son los más prácticos para alturas del banco, de más de 9.14 m., y en ocasiones los diámetros más pequeños se utilizan en bancos más bajos.

4.3.1. EXPLOSIVOS.

El Nitramon A y el Nitramite A son, por lo general, adecuado para cargas de fondo, utilizando para la carga de columna uno o más de los grados menos densos y más económicos.

Para trabajos seco, el Nitramite FR, el Nilite y las mezclas de nitrato de amoníaco-aceite combustible deben todos considerarse, dependiendo del tipo de la roca y de otras condiciones locales.

Los explosivos estándar se refieren a, las Special Gelatin 60 %, la Red Cross Extra 60 %, o la Gelex 1 son usualmente adecuados para cargar el fondo, empleándose la Red Cross Extra 40 % a la Hi-Cap, como explosivos para la columna. Todos estos explosivos ofrecen una amplia resistencia al agua para la gran mayoría de las condiciones de cantera, aunque deben seleccionarse únicamente gelatinas si se encuentra una severa exposición al agua.

Los factores de carga dependen de diferentes condiciones, tales como el tipo de roca y el producto deseado, altura del banco, número de hileras de barrenos, distribución, grado y potencia de los explosivos.

Los factores comunes utilizados son:

2 ton/lb.	Alto grado de fragmentación
5 ton/lb.	Mínimo de fragmentación fino
6 a 7 ton/lb	Excava con pala de gran capacidad

Los barrenos de pequeño diámetro son prácticos para alturas de banco de 15.24 cm. a 21.34 cm., los patrones de barrenación pueden ser cuadrados, variando desde 1.83 x 1.83 m. hasta 3.66 x 3.66 m., de acuerdo con el diámetro del barreno y el factor de carga requerido.

Los patrones típicos arreglados pueden variar entre 1.22 m. x 3.05 m. a 0.91 m. x 3.05 m. o 1.83 m. x 2.74 m., dependiendo del tipo de formación, factor de carga, diámetro del barreno y densidad del explosivo.

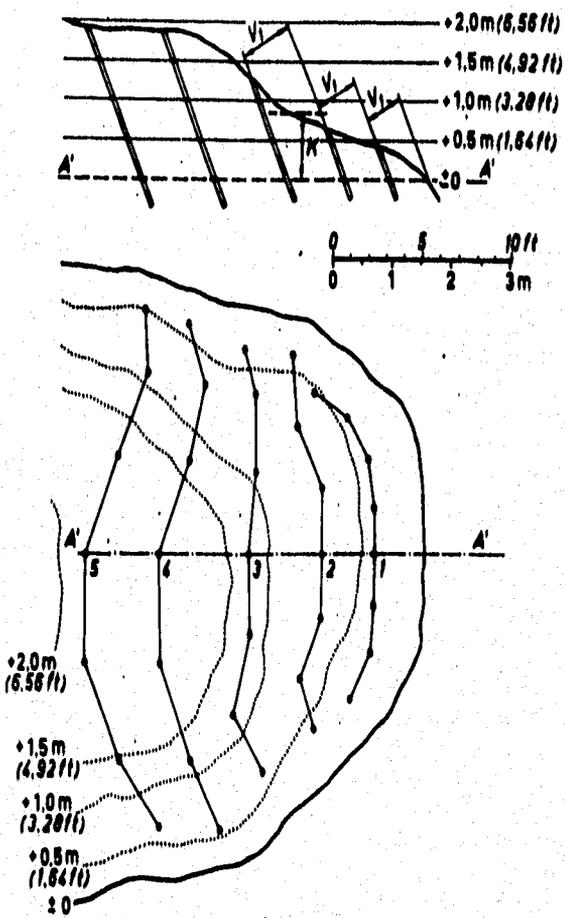
Los explosivos granulados y los licuados disponibles son muy populares para los disparos con pequeño diámetro. Estos comprenden el Nitramite FR, el Nilite y las dos mezclas de nitrato de amonio-acetate combustible para trabajo seco. En donde se encuentra agua, se utilizan dinamitas de alta resistencia al agua, tales como la Red Cross, Extra 1 o la Special Gelatin. Los explosivos licuados de pequeño diámetro son también utilizables en agua.

Las canteras y los tajos abiertos son minados en la misma forma general y el término será utilizado indistintamente.

4.3.2. BANCOS BAJOS,

Los bancos bajos se vuelan actualmente con barrenos perforados desde arriba, en lugar de hacerlos horizontales, siendo así posible la voladura continua de la roca en grandes superficies sin desazafre, lo que compensa el aumento del número de barrenos, se simplifica la perforación y se obtiene menor proyección de los fragmentos de rocas. La pendiente de los barrenos ha de ser 2:1.

Por bancos bajos se entiende aquellos cuya altura es menor 1.8 V; la razón para elegir este límite es que para bancos, con menor altura no hay espacio para la carga de fondo correspondiente a la piedra máxima adecuada al diámetro del barreno. Tabla No. 1 Por lo tanto la carga de fondo que puede colocarse en estos barrenos dependerá no solamente del diámetro sino también de la altura del banco, lo que puede verse en la Tabla No.2 La posición de barreno se marca directamente en la roca; pudiéndose marcar el nivel cero del piso propuesto, así como también el nivel a 1 m., por ejemplo. La primera hilera de barrenos se emboquilla detrás del contorno que indica el nivel cero a la distancia dada como piedra practica (V) en las Tablas No. 3 y No. 4 y en la Fig. No. 5



Situación de los barrenos en una voladura de banco bajo.

Fig. No. 5

El termino altura de banco se usa para designar la altura media de la parte de la roca que ha de ser arrancada por la carga. La piedra se medirá como la distancia mas corta entre dos líneas con la misma inclinación de los barrenos, la una como una continuación de barrenos y la otra que parte del nivel cero.

Para las hileras siguientes se mide la piedra como la distancia mínima entre las prolongaciones de los barrenos. Cuando se comprueba la situación de los barrenos en el lugar de trabajo, casi siempre se observara que la distancia entre dos barrenos ha sido medida sobre la superficie de la roca en vez de hacerlo en ángulo recto con un barreno y la prolongación del otro.

Con este tipo de voladuras, las hileras tienen generalmente salida libre lateral, y cada una puede iniciarse con un mismo tiempo de retardo.

TABLA No. 1

VOLADURA DE BANCO Y FRANQUEO.

Diámetro del barreno	Concentración de la carga de fondo	Concentración de la carga de columna	Piedra máxima	Carga de fondo total
d mm	l_f kg./m	l_p kg./m	V m	Q_b kg.
14	0.18	0.09	0.60	0.15
16	0.25	0.10	0.70	0.25
19	0.36	0.14	0.85	0.43
22	0.48	0.19	1.00	0.65
25	0.63	0.25	1.15	0.95
29	0.84	0.34	1.30	1.50
32	1.00	0.40	1.50	2.00
38	1.40	0.60	1.80	3.30
44	1.90	0.80	2.00	5.20
50	2.50	1.00	2.30	7.60
63	4.00	1.60	3.00	15.00
75	5.60	2.30	3.50	26.00
88	7.70	3.10	4.10	41.00
100	10.00	4.00	4.70	60.00
125	15.50	6.00	5.90	120.00
150	22.50	9.00	7.00	200.00
175	30.00	12.00	8.20	320.00
200	40.00	16.00	9.40	500.00
225	50.00	20.00	10.60	700.00
250	62.00	25.00	11.80	950.00
300	90.00	36.00	14.00	1600.00

Una hilera de barrenos. Cargas de fondo y columna y piedra máxima. Potencia relativa del explosivo $s = 1.0$. Pendiente 2.1. 3.1. Grado de retacado $P = 1.27$ (atacador). Espaciamiento $E = 1.25 V$. Perforación por debajo del nivel del piso $0.3 V$. La carga se extiende hasta una distancia V de la boca del taladro.

TABLA No. 2

PIEDRA MAXIMA EN LAS VOLADURAS DE BANCOS BAJOS

Altura del banco K	Piedra máxima V (metros)											
	d = mm l = kg/m	25 0.62	29 0.82	32 1.0	36 1.3	40 1.6	45 2.0	50 2.5	63 4	75 5.6	100 10	150 12
0.3		0.50	0.55	0.58	0.62	0.67	0.70	0.73				
0.45		0.60	0.62	0.66	0.70	0.78	0.84	0.90				
0.6		0.68	0.72	0.76	0.80	0.87	0.94	1.0	1.15	1.3		
0.9		0.85	0.87	0.90	1.00	1.05	1.10	1.20	1.35	1.5	1.8	
1.2		0.95	1.00	1.10	1.20	1.25	1.30	1.40	1.55	1.7	2.0	2.6
1.5		1.05	1.10	1.20	1.30	1.35	1.45	1.50	1.7	1.8	2.2	2.8
1.8		1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.8	2.0	2.3	3.0
2.1		1.15	1.30	1.35	1.45	1.55	1.70	1.80	2.0	2.2	2.5	3.2
2.4			1.35	1.45	1.55	1.65	1.80	1.90	2.1	2.3	2.7	3.4
2.7				1.5	1.60	1.75	1.90	2.00	2.2	2.4	2.9	3.5
3.0					1.65	1.80	2.00	2.10	2.3	2.5	3.0	3.6
3.3						1.85	2.00	2.10	2.4	2.6	3.2	3.8
3.6							2.05	2.20	2.5	2.8	3.3	4.0
3.9							2.10	2.25	2.6	2.9	3.5	4.2
4.2								2.30	2.7	3.0	3.6	4.4
4.8									2.8	3.2	3.8	4.6
5.4									2.9	3.4	4.0	4.8
6.0		1.15	1.35	1.5	1.65	1.85	2.1	2.3	2.9	3.4	4.2	5.0

Una sola hilera de barrenos. Talud de los taladros 2:1. Densidad normal de carga (P = 1.27) semejante a la obtenida en una carga cuidadosa con atacador. E = 1.25 V. Perforación bajo el nivel del piso 0.3 V, pero no menor de 10.0 d.

TABLA No. 3

VOLADURAS DE HILERAS MÚLTIPLES

Altura del banco	Profundidad del taladro	Diámetro en el fondo	Piedra máxima	Piedra práctica	Carga mínima/barrero
K	H	d	V	V _i	Q
m	m	mm	m	m	kg.
0.30	0.67	34	0.60	.065	0.09
0.45	0.80	34	0.70	0.65	0.14
0.60	1.00	33	0.77	0.70	0.20
0.90	1.35	33	0.92	0.85	0.34
1.00	1.45	33	1.00	0.95	0.45
1.20	1.65	33	1.10	1.00	0.60
1.50	2.00	32	1.20	1.10	0.85
1.80	2.40	32	1.30	1.20	1.10
2.10	2.70	31	1.35	1.25	1.30
2.40	3.10	31	1.40	1.25	1.60
2.70	3.40	30	1.40	1.25	1.70
3.00	3.80	30	1.40	1.25	1.80
3.30	4.20	30	1.40	1.20	1.90
3.60	4.50	29	1.35	1.15	1.90
4.00	4.90	29	1.35	1.15	2.00

Diámetro de las bocas de perforación 34-29mm. P = 1.27. Longitud del barrero 0.8 - 4.8m. Pendiente de los taladros 3.1 - 2.1. E = 1.25 V.

TABLA No. 4

LINEA DE MINIMA RESISTENCIA (V) EN LAS VOLADURAS DE HILERAS MÚLTIPLES.

Altura del banco K m	Profundidad del barreno para d=83mm. H m		Piedra práctica V					
			d = mm. l = kg/m	44 1.9	50 2.5	63 4.0	75 5.6	100 10.0
	Inclinación							
	3.1	2.1						
0.30				0.65	0.70			
0.45				0.80	0.85			
0.60	1.25			0.90	0.95	1.1		
0.90	1.60			1.05	1.15	1.3	1.40	1.70
1.20	1.90			1.20	1.30	1.4	1.50	1.90
1.50	2.30			1.30	1.40	1.6	1.70	2.10
1.80	2.60			1.35	1.50	1.6	1.80	2.20
2.10	2.90			1.60	1.60	1.8	2.0-2.1	2.3-2.4
2.40	3.10			1.60	1.70	1.9	2.1-2.2	2.5-2.6
2.70	3.50			1.70	1.80	2.0	2.2-2.3	2.6-2.8
3.00	3.80	3.90		1.80	1.90	2.1	2.3-2.4	2.7-2.8
4.00	5.00	5.20		1.80	2.00	2.3	2.5-2.7	3.1-3.3
5.00	6.00	6.30		1.80	2.00	2.4-2.5	2.8-3.1	3.3-3.6
6.00	7.30	7.60		1.70	1.9-2.0	2.4-2.6	2.8-3.1	3.4-3.9
7.00	8.30	8.70		1.70	1.8-2.0	2.3-2.5	2.7-3.1	3.6-4.0
8.00	9.40	10.00		1.60	1.7-1.9	2.2-2.5	2.6-3.0	3.5-4.1
9.00	10.50	11.00		1.50	1.7-1.9	2.1-2.4	2.5-3.0	3.4-4.1
12.00	13.50	14.00		1.40	1.5-1.7	1.8-2.3	2.2-2.8	3.0-4.0
15.00	17.00	18.00		1.20	1.3-1.6	1.6-2.1	1.9-2.7	2.5-3.8
18.00	20.00	21.00		1.0-1.1	1.1-1.4	1.3-2.0	1.6-2.5	2.1-3.7

Diámetro de la boca de perforación d=44, 50, 57,63,75,100 mm. Pendientes de los taladros 3.1-2.1. E=1.25V.

4.4. PANTANOS

4.4.1. CONSTRUCCION DE TERRAPLENES EN ZONAS PANTANOSAS

La construcción de terraplenes sobre zonas pantanosas siempre presenta el problema de los hundimientos, y es por ello por lo que deben, cuando es económicamente posible, evitarse. Sin embargo en muchas ocasiones de índole variada obliga a construir terraplenes en suelos pantanosos. Para la construcción de dichos terraplenes pueden seguirse diferentes procedimientos, algunos de los cuales se expondrán a continuación.

4.4.1.a. PROCEDIMIENTO POR SUSTITUCIÓN.

Este procedimiento consiste en excavar el material del pantano hasta llegar al estrato resistente y rellenarlo con material adecuado, este procedimiento es el presentaría menos problemas de asentamiento o ninguno, es una solución generalmente antieconómica.

4.4.1.b. PROCEDIMIENTO POR FLOTACION.

Este procedimiento consiste en hacer que el terraplén flote mediante el empleo, en el mismo de un material cuyo peso volumétrico sea menor que el del material del pantano. Se requiere el empleo de arenas volcánicas y por lo tanto su empleo no es común. Presenta el inconveniente de asentamiento con el tiempo.

4.4.1.c. PROCEDIMIENTO POR CONSOLIDACION.

Este procedimiento consiste en proporcionar al material del pantano cierta capacidad para sostener el terraplén. Ello puede obtenerse por:

- Desecación del pantano.
- Confinamiento del terraplén a ambos lados.
- Con sobrecargas laterales que aumentan la resistencia pasiva al desplazamiento.
- Por medio de drenes verticales de arena para acelerar la consolidación.

4.4.1.d PROCEDIMIENTO POR HUNDIMIENTO TOTAL DEL TERRAPLÉN.

Este procedimiento consiste en hundir el terraplén hasta hacerlo descansar sobre el fondo resistente que detenga el movimiento desplazando el suelo fangoso. Ello puede conseguirse por:

- D.1** Hundimiento del terraplén por medio exclusivo de la gravedad.
- D.2** Hundimiento del terraplén empleando fuerzas exteriores para acelerar el proceso (chiflones de agua o explosivos).

Haciendo hincapié en el último inciso sobre el procedimiento con explosivos.

D.2 HUNDIMIENTO DEL TERRAPLÉN EMPLEANDO FUERZAS EXTERIORES PARA ACELERAR EL PROCESO (CHIFLONES DE AGUA O EXPLOSIVOS).

El uso de explosivos es un procedimiento que ha dado magníficos resultados en la construcción de terraplenes, y en muchos casos resulta ser el procedimiento más adecuado y más económico.

Hay varios métodos de desplazamiento de turba y asentamientos de terraplenes mediante el uso de explosivos. Lo más comunes son:

- D.2.1.** Por colocación de la carga explosiva antes de construirse el terraplén.
- D.2.2.** Por colocación de la carga explosiva durante la construcción del terraplén.
- D.2.3.** Por colocación de la carga explosiva posteriormente a la construcción del terraplén.

A continuación se describe cada inciso:

D.2.1. POR COLOCACIÓN DE LA CARGA EXPLOSIVA ANTES DE CONSTRUIRSE EL TERRAPLÉN

Se emplea principalmente cuando el material con que se va a construir el terraplén contiene muchos fragmentos grandes de roca.

El primer paso consiste en quitar la capa superficial que generalmente son hierbas cuyas raíces dificultan el asentamiento

Esto se puede hacer por medios mecánicos. Una vez rota y desalojada esta capa vegetal, se procede a colocar las cargas de explosivos directamente sobre la porción expuesta del pantano.

Como en este procedimiento el explosivo tiene que permanecer bajo el agua durante algún tiempo, es de recomendarse el uso de dinamitas gomas.

Colocadas las cajas con dinamita, éstas se cubren primero con material fino y luego se le va tirando el terraplén para que las cajas con el explosivo vayan bajando juntos una determinada cantidad. Debe dejarse suficiente alambre libre en las conexiones para que no se vaya a producir su rotura al ocurrir el asentamiento. Hay que tener cuidado de que haya suficiente cantidad de relleno sobre los explosivos para que al producirse la explosión sea realmente desalojado el fango y no únicamente levantado el terraplén.

Según se vaya desplazando la capa subyacente de suelo, el relleno la sustituye; entonces puede dárseles al acabado correspondiente a la elevación y sección transversal requeridas.

D.2.2 POR COLOCACIÓN DE LA CARGA EXPLOSIVA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DEL TERRAPLÉN.

Cuando se coloca el explosivo al mismo tiempo que va avanzando la construcción del terraplén hay dos métodos a seguir:

D.2.2.1. Método de voladura de pie.

D.2.2.2. Método de voladura con torpedo.

D.2.2.1. MÉTODO DE VOLADURA DE PIE.

Este método como su nombre lo indica, desplaza mediante el uso de explosivos, el material pantanoso flojo en el pie de terraplén, es decir, se colocan las cargas explosivas transversalmente al camino, adelante y al pie del relleno terminado.

El relleno del pantano se lleva hacia adelante, se construye en su extremo una sobrecarga grande y se hacen unos taladros al frente del terraplén en fondo de V, y se coloca el explosivo.

Inmediatamente después se coloca más terraplén tan alto como sea posible para obtener la presión y confinamiento adecuado del explosivo. Al producirse la detonación, la fuerza explosiva tiende a empujar hacia el pantano que es la dirección de menor resistencia.

Tan pronto como el lodo es expulsado, el terraplén por su propio peso, se asienta en el lugar.

Este método ha tenido mucho éxito en pantanos hasta de 6 metros de profundidad.

D.3.3.2. MÉTODO DE VOLADURA CON TORPEDO.

El método de voladura con torpedo no es más que una modificación del método anterior, y consiste en llevar el relleno del pantano hacia adelante hasta arriba en la parte delantera del relleno se hace difícil de desplazar; en estas condiciones se hace necesario la introducción de torpedo en el material fangoso y abultado que se encuentra directamente frente al terraplén.

Un torpedo consta, aproximadamente, de 3 kg. de dinamita en cartuchos de poco diámetro, atacados a un bastón de madera de unos 4 metros de largo. Estos torpedos se empujan a mano adentro del material flojo del pantano a intervalos de unos 2 metros haciéndolos estallar a medida que se va asentando el relleno.

Este método se emplea en pantanos hasta de 12 metros de profundidad.

D.3.3. POR COLOCACIÓN DE LA CARGA EXPLOSIVA POSTERIORMENTE A LA CONSTRUCCIÓN DEL TERRAPLÉN.

El procedimiento de colocar cargas explosivas posteriormente a la colocación del terraplén es el más complicado de todos. Se requiere un estudio detallado del perfil de suelos para verificar la cantidad de relleno y su posición debido al asentamiento natural, así como las profundidades y espesores de los diferentes estratos que forman el perfil geológico.

Las perforaciones para la colocación de las cargas de dinamita se hacen sin una máquina perforadora o con un martinete que permita hincar tubos de acero de 6" (15.24 cm.). El entubado puede ser removido antes de disparar la carga de explosivos.

Una vez hechos los taladros y después de comprobada la profundidad exacta del sondeo, se procede a abrir un depósito para los explosivos ya sea picando con una barreta o con una pequeña carga de dinamita que permite abrir caja. Se procede luego a colocar las cargas pudiendo introducir de 15 a 20 cartuchos de dinamita en el depósito de una sola vez. Este procedimiento es adecuado en pantanos hasta de 6 m. de profundidad. Si la profundidad es mayor, puede necesitarse repetir el procedimiento.

4.4.2. MAQUINARIA.

Durante la operación, los geófonos, que están conectados al camión de registro mediante cables eléctricos, se colocan en las posiciones adecuadas. Mientras esto se efectúa, el camión de disparo se lleva hasta el punto de tiro. En este punto, se prepara y se cargan la carga explosiva. Algunas veces ésta puede bajarse y colocarse dentro del barreno. Con frecuencia, sin embargo, debe empujarse a través de varios materiales como lodo, grava y arenas movedizas. Para este fin se utiliza una serie de varas de madera, cada una de 10ft (3.05 m.) de longitud y con dispositivos de conexión. A una señal del camión de registro se dispara el explosivo.

Las brigadas que efectúan estos trabajos, por lo general, viven y operan en barcazas o chalanes, y el terreno es a menudo tan malo que el personal y el equipo deben transportarse mediante "carritos para pantanos" (marsh buggies) anfibios, otras brigadas encuentran económico el uso de helicópteros.

4.5. SUBTERRANEAS.

Tanto en minas de interior, como en túneles y trabajos subterráneos, hay unos factores de riesgo a los que hay que prestar especial atención, aparte de los generales en el uso de explosivos:

- a) Producción de gases tóxicos.
- b) Peligros de hundimiento y desprendimiento de bloques sueltos producidos por las pegas.
- c) Corrientes eléctricas extrañas que pueden hacer que exploten los detonadores súbitamente. Estas corrientes pueden llegar al frente por las tuberías de aire comprimido, agua, ventilación, etc.

Como norma general en los trabajos subterráneos, el disparo de las pegas se hará siempre a horas fijas y preestablecidas.

En la pega eléctrica, la línea de tiro se situará sobre aisladores, apartada de todo tipo de conducciones metálicas y si hubiera otra línea eléctrica, siempre por debajo y a más de 30 cm. de distancia.

No se puede utilizar como línea eléctrica, de tiro de cualquier circuito existente, aunque este fuera de uso.

En todos los casos, antes de iniciar la carga de los barrenos será necesario dejar sin corriente cualquier línea eléctrica en las cercanías, así como las máquinas y motores que estén situados en las proximidades del frente.

Respecto a los gases tóxicos producidos en la pega, no se podrá retomar al frente en tanto no estén completamente dispersos y disipados, el retorno nunca se efectuara antes de 15 minutos después del disparo.

Cuando exista ventilación secundaria, (empleo de ventiladores), se comprobará siempre, antes y después de la pega, el correcto funcionamiento de la instalación. No podrá retomarse al frente si, como consecuencia del disparo, la ventilación hubiera quedado interrumpida.

En lo que respecta al peligro de hundimientos y desprendimientos no solo deben extremarse las precauciones en lo referente al frente.

En los trabajos subterráneos hay que prestar especial atención al almacenamiento de explosivos y detonadores en el frente. Deben estar colocados en cajas distintas (una para explosivos y otra para detonadores) y separados entre sí, 10 mts. como mínimo.

En trabajos de interior el transporte de los explosivos se hará únicamente por personal autorizado. Nunca se efectuara el transporte a la entrada o salida de los relevos principales.

El transporte se hará separadamente para los explosivos y detonadores, conservando los envases de origen, o en sacos y mochilas de buen cierre y de capacidad máxima de 25 kg.

VOLADURAS DE TUNELES.

4.5.1. APERTURA DE TUNELES.

Este trabajo consiste en la perforación principalmente, o sea tratar de atravesar una montaña lo mas rápidamente posible con reducido paso y en condiciones climáticas (calor) que van empeorando a medida que se progresa.

No es de extrañar que con los trabajos de perforación haya alcanzado la técnica del "barrenado" y de los explosivos de alto grado de perforación que hoy se tiene.

La construcción de un túnel se empieza por las dos bocas con el avance de la galería de fondo, y una vez realizada la perforación (encuentro) se ataca la galería de clave hasta llegar a la excavación del perfil completo.

En el ataque de una galería se distinguen los barrenos centrales o de entrada y los de borde o de corona (barrenos de descarga). Estos últimos se subdividen a su vez en barrenos de clave, de solera y de parámetros.

Los barrenos de entrada, mas largos y mas cargados, tienen la misión principal de cuartear la roca y hacer saltar un embudo, facilitando el trabajo complementario de los barrenos de corona.

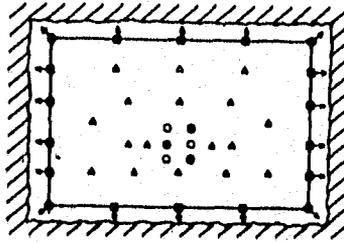
La calidad de la roca se debe evaluar dentro del contexto de la perforación y el uso de explosivos.

4.5.3. PATRONES DE BARRENACION.

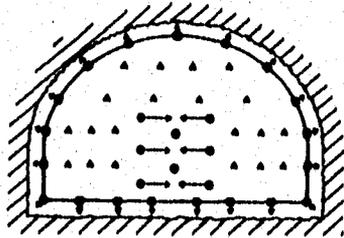
El número, distribución y profundidad de la excavación, los pesos de las cargas y la secuencia de encendido se deciden para ajustarse al tamaño, forma y condiciones particulares del túnel, el equipo disponible y las características detonantes de la roca.

El patrón básico de barrenado consiste de:

- 1.- Barrenos de cuña.
- 2.- Barrenos repartidores del corte.
- 3.- Barrenos perimetrales.
- 4.- Barrenos de piso.
- 5.- Barrenos de alivio.



CAJA TIPO DE CUÑAS QUEMADAS



CORTE DE CUÑA

- NO CARGADO ● BARRENOS DE CUÑA ▲ BARRENOS REPARTIDORES DEL CORTE
 ⊖ BARRENOS INCLINADOS ⊕ BARRENOS PERIMETRALES Y DE PISO
- Patrones de barrenado.

Fig. No. 6 Patrones de barrenación.

1.- LOS BARRENOS DE CUÑA.

El patrón se desarrolla alrededor del corte escogido con el fin de asegurar una fragmentación adecuada a los equipos que levantan los desechos y los eliminan. Los barrenos de cuña proporcionan primeramente una cavidad por la que se podrá romper el resto del frente. La precisión de barrenado es extremadamente importante.

a) *Cuñas quemadas (o barrenos paralelos de corte).*

Se prefieren para rocas duras, quebradizas y homogéneas, como las areniscas y las rocas ígneas, pero no son tan efectivas en rocas laminares, intemperizadas o con fallas. El corte típico comprende cuando menos 4 agujeros de pequeño diámetro, fuertemente cargado, y que rodean un agujero central sin carga. Dependiendo de la planta de barrenación de que se disponga se podrán incorporar agujeros adicionales cargados y sin cargar. Los agujeros sin cargar ayudan a debilitar la roca intermedia entre agujeros cargados.

Las cuñas quemadas se prefieren para un rápido avance y perforaciones de alta velocidad. No están restringidas por el tamaño del túnel.

b) *Corte en ángulo.*

Cortan una cuña o pirámide en la cara, pero su barrenado a un ángulo adecuado depende de que haya suficiente espacio en el túnel como para que el tramo excavado sea costeable. El ángulo incluido formado por la cuña podrá ser de 90 grados a 60 grados, pero mientras mas grande sea el ángulo, mas intensa será la carga requerida y puede necesitarse un barrenado de doble cuña.

Se consideran como mas confiables los barrenos en ángulo, pues producen menor vibración y utilizan menor cantidad de explosivos, siendo apropiados así mismo para una amplia variedad de condiciones.

2.- LOS BARRENOS REPARTIDORES DEL CORTE.

Ocupan un lugar intermedio entre los barrenos de cuña y los barrenos perimetrales.

3.- LOS BARRENOS PERIMETRALES.

Delimitan el perfil requerido del túnel; se perforan por lo común con un pequeño ángulo hacia afuera para reducir la incidencia de los puntos ajustados.

4.- LOS BARRENOS DE PISO,

Ocupan una o dos hileras inmediatamente sobre el nivel de piso, generalmente con un pequeño ángulo hacia abajo.

5.- LOS BARRENOS SIN CARGA.

Son barrenos adicionales para influir en la ruptura entre los barrenos cargados y se utilizan para limitar la sobre excavación.

4.5.3. EXPLOSIVOS.

Existen 2 categorías principalmente de explosivos autorizados:

Los "explosivos permitidos", que se pueden utilizar en condiciones donde predominen los gases, especialmente donde exista metano, y aquellos de uso general para utilizarse en situaciones donde no haya gases presentes.

En los túneles, son los explosivos gelatinosos y semigelatinosos los que tienen mayor uso, ya que poseen una alta resistencia al agua y una alta densidad (en el sentido de la concentración de la energía explosiva). se usan en barrenos largos de pequeño diámetro, la selección del grado determinado de explosivos dependerá en parte de la dureza de la roca y en parte de la humedad de la cara.

4.5.4. DETONADORES.

Se usan por lo común detonadores retardados, eléctricamente activados. Existen discrepancias sobre los méritos relativos de los detonadores de medio segundo o de milisegundo (0.025 a 0.075 seg.).

El retraso de medio segundo tiene la ventaja de que permite que la sucesiva "tracción" sobre la cara se desarrolle totalmente, a la vez que hace menor la desintegración en el perímetro, pero aumenta la posibilidad de que ocurra una detonación afin.

4.5.5. PROCEDIMIENTO DE CARGA.

Cuando se trataba de cargas espaciadas en donde no fuera necesario la máxima carga, se acostumbraba espaciar las cargas con cortos tramos de madera, pero ahora se considera mejor el uso de cargas semigelatinosas de baja densidad. Los explosivos gelatinosos siempre se atacan en el agujero utilizando una varilla de madera.

A veces se utiliza el ANFO, (mezcla de nitrato de amonio y un aceite de hidrocarburos) pero en áreas húmedas, como sucede con los explosivos de mas baja densidad. Se puede cargar dentro del agujero por medio de un equipo especial.

4.5.6. ELIMINACION DE LOS GASES.

Es necesario utilizar la ventilación forzada para eliminar los gases, el calor y el polvo en las áreas de trabajo.

El sistema mas adecuado dependerá de la totalidad del proyecto.

Se debe de tener un cuidado especial al encontrar gas metano ya que su presencia en el túnel constituye un riesgo debido a que forma una mezcla explosiva con el aire (cuando se esta trabajando con roca carbonaceas o en mantos carboníferos).

Para túneles con el llamado avance al techo seguido por la voladura separada de la parte del piso, la introducción de voladuras de microrretardo con pegas de hileras múltiples ha hecho posible efectuar esta parte del trabajo como una operación continua en la que la perforación, voladura y carga, pueden realizarse con completa independencia entre si. En este caso se tiene una altura de banco uniforme y, en consecuencia, unas condiciones favorables para la mecanización de la perforación. Cuando tal perforación, puede hacerse con pocos o ningún cambio, la capacidad de las maquinas perforación puede ser muy alta, a la par que dos o tres maquinas pueden ser manejadas al tiempo por un solo hombre, habiéndose llegado a perforar por hombre y relevo mas de 250 m. Como modelos de esquemas de perforación sirven las (Fig. No. 7, 8 y 9), la última figura da la mejor fragmentación y distribución de la roca arrancada.

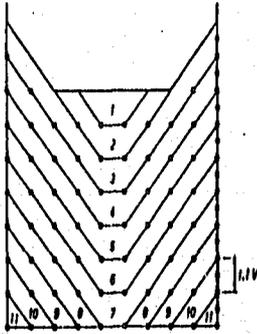


Fig. No. 7
Esquema de encendido y perforación.

Fig. No. 8
Esquema de encendido y perforación
con precorte de las paredes.

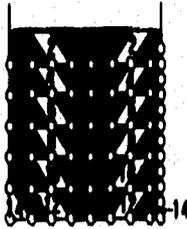
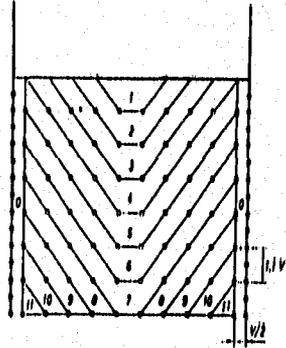


Fig. No. 9
Ejemplo de voladura con diferentes
barrenos de retardo.

Como la parte arrancada en la pega no puede hincharse lateralmente, la voladura se canales y bancos en los pisos de los túneles exige una mayor elevación de la roca para asegurar el hinchamiento.

Los ensayos de barrenos con una pendiente de 3:1 y voladura continua han fracasado en estos casos con altura de banco de 7 a 10 m y ha sido necesario variar la pendiente a 2:1 o 1.7:1, ambos valores dieron resultados satisfactorios. Cuando se perfora una gran extensión antes de efectuar la voladura, pueden encontrarse problemas en la zona de conjunción de las pegas a causa de roturas en la parte de atrás de la pega que ya ha sido perforada, dificultades que pueden reducirse variándose la pendiente de los taladros en los esquemas de perforación y con una menor concentración de la carga en la última hilera de barrenos.

El hinchamiento es el problema mas pronunciado en las voladuras de bancos en el piso de los túneles y puede ser conveniente perforar los barrenos mas abajo del fondo de lo que se recomienda para otros casos: si la perforación por debajo del piso se aumenta de 0.3 V a 0.6 V también se aumenta la parte de la carga que contribuye al hinchamiento en el fondo de la sección.

4.6. SUBMARINAS.

Las voladuras submarinas requieren mayor cuidado y experiencia que en las operaciones similares en la superficie.

La presión es mayor en todos los lados. Los riesgos de vibración son mas severos ya que las formaciones geológicas con agua son transmisoras muy efectivas de los ondas de choque. También, en general, la visibilidad en el área de operaciones submarina es pobre.

Los nitro-carbo-nitratos son importantes para la voladuras submarinas en donde no se desea la propagación entre cargas por los riesgos de vibración, y en donde existen restricciones gubernamentales sobre la cantidad de explosivos que pueden manejarse en las instalaciones terrestres. Estos productos ofrecen la ventaja adicional de seguridad en el manejo y almacenamiento durante la operación acuática.

Son aquellas que se realizan bajo columnas de agua, bien sea en rios, lagos naturales o artificiales, o en el mar.

En las voladuras submarinas podemos distinguir dos casos:

- a) Que las operaciones de perforación y carga de explosivo se realicen desde la superficie.
- b) Que las dichas operaciones se ejecuten directamente bajo la superficie del agua.

En el primer caso, los trabajos se efectúan a través de un buque o plataforma flotante, perforando el barreno mediante varillajes especiales con entubado y cargando el explosivo posteriormente a través de dicho entubado.

En este dicho tipo de actuación, con plataforma, se permite la existencia de explosivo sobre el buque, guardado en cofres adecuados, mientras se perfora. Sin embargo, los detonadores deberán estar fuera del buque.

En el caso de efectuarse la perforación bajo el agua mediante buzos, buceadores o campanas neumáticas, sólo podrá iniciarse la operación de carga del explosivo una vez haya concluido la perforación y retirada la maquinaria correspondiente.

El cebado de los barrenos, tanto si se realiza dentro o fuera del agua, será exterior a los mismos.

Sea cual sea el diámetro del barreno, se utilizará siempre cordón detonante en toda su longitud (caña).

En las conexiones entre detonadores y en las de la línea de tiro, se utilizarán siempre aisladores o conectores de seguridad.

En todos los casos de voladuras y utilización de explosivos en trabajos submarinos es obligatorio balizar la zona en un radio mínimo de 50 m.

Con anterioridad a la voladura se comprobará la ausencia de embarcaciones y bañistas y se tomarán las debidas precauciones para que las ondas de presión y oleaje generados no produzcan ningún tipo de riesgo.

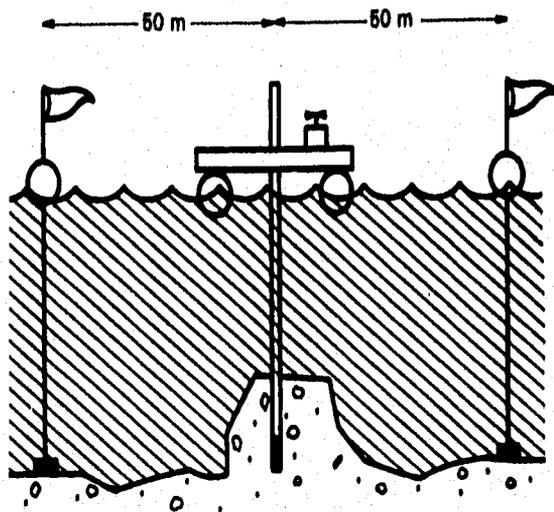
Después de cada voladura y una vez lo permita la visibilidad de las aguas se realizará una inspección de la zona volada, al objeto de detectar y recuperar los posibles restos de explosivo procedente de barrenos fallidos.

El explosivo recomendado en voladuras submarinas es la Goma I E - AGV, que soportan grandes presiones, y como cordón detonante el de tipo submarino normal o reforzado (color amarillo o gránate respectivamente).

Para grandes presiones de agua, deben utilizarse detonadores eléctricos tipo PA, con un cierre estanco que permite presiones hasta 100 kg./cm^2 (cables de color blanco).

Al objeto de facilitar la carga en voladuras submarinas, existe un tipo de encartuchado de plástico diseñado en forma de tubo rígido roscable que permite, por acoplamiento, obtener largas columnas de explosivo, facilitando la carga y una densidad homogénea en todo el largo del barreno.

Este tipo de encartuchado también se utiliza en los trabajos de prospección sísmica (Fig.No.10).



Ballizamiento en voladuras submarinas.

Fig. No. 10

TRABAJOS EN PUERTOS Y CANALES

4.6.1. PROFUNDIZACIÓN DE PUERTOS Y CANALES.

En donde el fondo del puerto o canal es roca, o arcilla muy dura, el material que debe retirarse debe quedar bien fragmentado y desplazado por las cargas explosivas antes que la draga pueda excavarlo eficientemente. El proceso de perforación de barrenos y carga de explosivos, así como el dragado y transporte del material excavado, requiere equipo especial.

Bajo ciertas condiciones, es posible sacudir la formación bajo el agua detonando cargas explosivas en la superficie de la roca en un patrón regular. Este método es más efectivo cuando el material duro es relativamente delgado y queda sobre un depósito más suave. También se utiliza con éxito en donde la formación por disiparse es relativamente suave, tal como el coral o la caliza, y se requiere retirar solo unos pocos metros.

Para ciertos tipos de excavación subacuática es más ventajoso hacer el trabajo en seco "seco". Primero se cierra el área con una ataguía. Se bombea el agua hacia afuera, se dispara la roca y el material se rezaga mediante métodos convencionales.

Si el trabajo se hace "en húmedos", un método es perforar y cargar los barrenos desde una plataforma soportada arriba del agua sobre patas para evitar el movimiento mientras se prepara la valadura.

Para trabajos de esta clase, que se extienden sobre una área considerable, es más práctico instalar el equipo de barrenación sobre una barca o chalan.

Cada barreno se carga tan pronto como se perfora y esto se hace desde la misma plataforma. Es práctica común utilizar varias máquinas de barrenación a lo largo de un lado de la barca o chalan, empleando desde 2 o 3 hasta 20. Las unidades de barrenación pueden colocarse en posiciones fijas y a espaciamientos predeterminados, o instalarse para moverse sobre vías a lo largo de la barca cuando se requiere una mayor flexibilidad.

Los barrenos tienen de 2½" a 6" (6.35 cm a 15.24 cm) de diámetro de acuerdo con el tipo de roca, profundidad del corte, y otras condiciones locales.

El punto más importante en voladuras submarinas es perforar los barrenos hasta la profundidad adecuada.

Una regla es conservar de igual valor los fondos de los barrenos abajo de la rasante y los espaciamentos entre ellos.

En trabajos submarinos se perforan todos los barrenos a 3.05 m. abajo de la rasante, sea cual fuera la profundidad del corte por efectuar. Los barrenos se colocan mas próximos entre si y el factor carga se aumenta substancialmente debido a la presión del agua.

El máximo espaciamento recomendado es de 3.05 m. centro a centro. Con todos los barrenos colocados a esa distancia abajo de la rasante, en general, se aseguraran buenos resultados, siempre y cuando los barrenos sean de suficiente diámetro. Para espaciamentos de 3.05 m., el tamaño mínimo de broca que por lo regular se necesita es aproximadamente de 5" (12.70 cm.).

La cantidad de explosivos necesaria en trabajo submarino depende de la dureza del material, la profundidad del agua, y la profundidad de los barrenos. Varían en un amplio rango.

En rocas mas suaves y en aguas poco profundas, 1 kg. de dinamita por m^3 de roca en algunas veces suficiente.

Con roca dura, en aguas profundas, y ciertos casos especiales, pueden requerirse 2.97 kg./ m^3 y aun mas, aunque el promedio es del orden de 0.91 kg. a 1.36 kg. de acuerdo con las profundidades perforadas.

La cantidad de explosivos por m^3 de roca obtenida depende naturalmente, en gran parte, de la profundidad de la excavación.

Deben emplearse los estopines eléctricos o cordón detonante resistente al agua para todos los disparos submarinos. En trabajos marinos de excepcional profundidad, puede ser aconsejable el uso de dos estopines por barreno.

Como regla, el cargado se hace a través de un tubo de carga de metal no productor de chispas que se extiende hasta la cubierta de la barca.

La Du Pont recomienda el "Hi-Velocity" Gelatin que se creo originalmente para trabajos submarinos. es recomendable para rocas, en extremo dura y bajo columnas de aguas, para roca caliza estratificada, pizarra, o rocas mas suaves se recomienda la "Gelex" D.

4.6.2. EXPLOSIVOS.

Debe utilizarse un explosivo que proporcione una detonación completa aun cuando tenga que permanecer cargado bajo agua el tiempo necesario hasta que se vuelve la pega. Hay que tener en cuenta que pueden producirse circunstancias imprevistas que se pueden prolongar algunos días, semanas, el tiempo proyectado cuando se planeo el trabajo.

Para distintos explosivos que pueden estar sumergidos en agua de 25 mm. de diámetro.

- La gelatina explosiva, que esta en la ultima columna, puede permanecer bajo agua durante un tiempo casi ilimitado sin que se destruya, lo que es muy conveniente en una voladura submarina ordinaria.
- Para una goma con 35 % NTC, el valor del ensayo de propagación baja después de 2 días de 25 a 23, después de 4 días a 21 y c de 7 días a 0.

Para una carga que esta fuertemente comprimida en un barreno, el tiempo será considerablemente mayor, ya que la superficie expuesta es comparativamente pequeña y el agua del taladro se satura en seguida con las sales del explosivo que son solubles en agua. En las voladuras en aguas profundas se precisan explosivos especiales cuando estos deben permanecer mucho tiempo bajo altas presiones.

Para la carga de los barrenos se emplean los cargadores neumáticos NAB y los de agua a presión, existe 2 tipos de cargadores, S y R, uno con tubo continuo de polietileno y el otro con tubos metálicos empalmados de 1.6 m.

- Con el cargador de polietileno, los diámetros en el fondo del barreno deben ser, al menos, de 37 a 40 mm. para poder cargar cartuchos de 22 y 25 mm. de diámetro.
- Para el tubo metálico de 30 y 33 mm.

La voladura submarina o, mas generalmente, la voladura afectada cuando la superficie de la roca se encuentra bajo agua, arcilla mezclada con agua o bajo una capa de tierra, implica numerosos problemas.

La fragmentación será mala y existirá un riesgo de rotura incompleta en el fondo, ya que una voladura convencional bajo agua se realiza en unas condiciones en las que existe un gran riesgo de transmisión de la detonación entre los diferentes barrenos. (Tabla No 5).

TABLA No. 5

Densidad y velocidad del sonido para diversos materiales.

Material	g/cm ³	m ³ /e	m.
Agua	1.0	1500	
Granito	2.7	3950	7
Gneis	2.1	5000	7
Cañiza	2.6	3700	6.4

4.7. EJEMPLOS.

4.7.1. VOLADURAS A CIELO ABIERTO.

4.7.1.a. FORMA DE CEBADO.

El cebado adecuado de un explosivo es de vital importancia para obtener una reacción completa del explosivo que se está detonando, esto es tanto en calidad como en cantidad de producto cebante.

Se debe tomar en cuenta que la presión de detonación del cabo deberá ser superior a la presión de detonación del producto cebado con el fin de obtener un cebado eficaz. Los cebados son más efectivos cuando se colocan de tal manera que la onda de detonación de los iniciadores y de la dirección hacia donde se desplazará la onda de detonación.

Identificación de los parámetros que intervienen en una voladura a cielo abierto. (Fig.No.11).

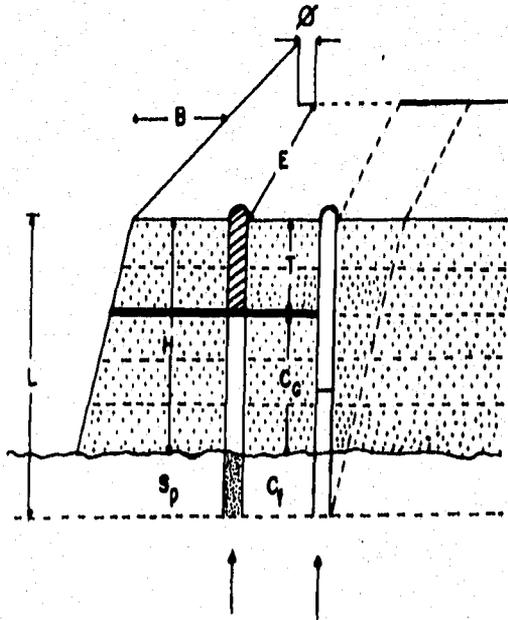


Fig. No. 11

Donde:

- \varnothing = Diámetro del barreno (pulgadas)
- B = Bordo (metros)
- E = Espaciamiento (metros)
- L = Longitud del barreno (metros)
- H = Altura del banco (metros)
- T = Taco (metros)
- S_p = Sub-perforación (metros)
- C_c = Carga de columna (m, kg.)
- C_f = Carga de fondo (m, kg.)
- F = Factor de carga (gr./m³ o gr./ton).

4.7.1.b. CÁLCULO DE LA CARGA EXPLOSIVA.

Esta se debe utilizar para romper una roca y puede variar desde 110 gr./ton. hasta 450 gr./ton., dependientes del tipo de roca, etc. Pero en términos generales podemos decir que la roca se explota entre 150 gr./ton. y 300 gr./ton., las grandes operaciones a cielo abierto han adoptado diámetros de entre 7 $\frac{1}{8}$ " (20.0 cm.) y 12 $\frac{1}{4}$ " (31.12 cm.), las operaciones medianas tienen diámetros entre 6" (15.24 cm.) y 7 $\frac{1}{8}$ " (20.0 cm.) y las operaciones más pequeñas cuentan con diámetros de 2 $\frac{1}{4}$ " (6.35 cm.) a 6" (15.24 cm.).

Las Tablas No. 6, 7 y 8 dan una idea general de cuales factores de carga típicos se recomiendan en varios tipos de roca para obtener buenos resultados de fragmentación, asumiendo que no existe ninguna condición geológica extraordinaria.

Los factores de carga proporcionados en las tablas, se refieren a explotaciones con cara libre, bancos altos y anchos y en barrenaciones de 2" (5.08 cm.) a 3 $\frac{1}{4}$ " (8.89 cm.) de diámetro, sin embargo, esto nos puede dar una idea clara de los posibles factores de carga a ser usados cuando se inicie una explotación. Es necesario mencionar que el factor de carga también está en función del tamaño de roca fragmentada que se pretende obtener, esto obedece al tamaño de la trituración, equipo de carga, acarreo, etc.

TABLA No. 6

ROCAS IGNEAS.

Roca	Factor de carga
	kg/m ³
Riolita y dacita	0.530 a 0.715
Granadiorita	0.590 a 0.800
Andesita	0.530 a 0.715
Diorita	0.530 a 0.770
basalto	0.590 a 0.770
Grabo, dolerita o diabasa	0.530 a 0.715

TABLA No. 7

ROCAS METAMÓRFICAS.

Roca	Factor de carga
	kg/m ³
No foliada	
mármol	0.475 a 0.770
Hornfels	0.475 a 0.715
Taconita	0.475 a 0.770
Gneis	0.475 a 0.715
Foliada	
Pizarra	0.290 a 0.475
Esquisto de clorita	0.350 a 0.600
Micasquisto	0.350 a 0.600

TABLA No 8

ROCAS SEDIMENTARIAS

Roca	Factor de carga
	kg/m ³
Conglomerado	0.350 a 0.660
Brecha	0.350 a 0.600
Arenisca	0.475 a 0.770
Caliza	0.290 a 0.475
Dolomita	0.290 a 0.475

NOTA:

Factor de carga.- Se define como la cantidad de explosivo utilizado por cada metro cúbico o por cada toneladas de roca y se expresa en gr./m³ o gr./ton.

4.7.2. Cálculo de plantillas de barrenación (apoyándonos en las Tablas No. 6, 7 y 8).

Suponiendo que queremos calcular el patrón de barrenación en un mineral de hierro (magnetita) con las siguientes características:

- Ø Diámetro del barreno = 9"
- δ Densidad = 4.2 ton/m³
- L Longitud del barreno = 11.5 m.
- H Altura del banco = 10.0 m.
- T Taco (por antecedentes) = 4.0 m.
- S_p Sub-perforación = 1.5 m.
- C. Carga de columna ANFOMEX "X" (densidad en el barreno = 0.85)
- C_r Carga de fondo GODYNE EXTRA (densidad en el barreno = 1.20)
- F. Factor de carga (por antecedentes) = 900 gr./m³

Partiendo de que un buen cebado de ANFO se requiere utilizar una relación alto explosivo: Agente explosivo de 20:80 (Fig. No. 12), se tiene:

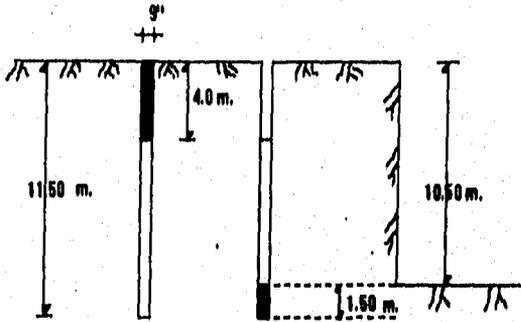


Fig. No. 12 Sección con distancias de los parámetros.

Para una combinación 20:80 y con un diámetro de perforación de 9" (22.86 cm.) tenemos que la carga de explosivo para cada barreno es como sigue:

Si consideramos una carga de 100 kg. tendríamos:

Godyne	20 kg.
Anfomex	<u>80 kg.</u>
Total	100 kg.

Luego debemos obtener la longitud que ocuparán los 100 kg. de explosivo en el barreno.

Para el Godyne.

20 kg. Godyne 1.2 (densidad Godyne) x 41.04 (carga por metro cúbico de barreno de 9" (22.86 cm) para un material explosivo de densidad de 1.0 g/cc. (Tabla siguiente).

Diámetro		Carga	
pulgadas	cm.	lb/pie	kg./m.
9	22.86	27.58	41.04

$$\text{Longitud} = \frac{20 \text{ kg.}}{1.2 \times 41.04} = 0.406 \text{ m.}$$

Para Anfomex "X"

$$\text{Longitud} = \frac{80 \text{ kg.}}{0.85 \times 41.04} = 2.29 \text{ m.}$$

$$0.406 \text{ m (de Godyne)} + 2.29 \text{ (de Anfomex)} = 2.696 \text{ m} = 2.7 \text{ m.}$$

Como la longitud del barreno que debemos llenar es de $11.5 \text{ m} - 4 \text{ m (Taco)} = 7.5 \text{ m}$ de columna a cargar, tenemos que:

$$\frac{7.5 \text{ m}}{2.7 \text{ m}} = 2.77 \text{ cargas de explosivos}$$

Por lo que:

$$2.77 \times 100 \text{ kg.} = 277 \text{ kg./barreno}$$

De los cuales:

$$\begin{aligned} 20 \% \text{ de } 277 &= 55.4 \text{ kg. de Godyne} \\ 80 \% \text{ de } 277 &= 221.6 \text{ kg. de Anfomex} \end{aligned}$$

Las cifras se deben cerrar para facilitar la operación.

Godyne de 55.4 kg. a 60.0 kg. (4 salchichas de 12 ½ kg.)
Anfomex de 221.6 kg. a 225.0 kg. (9 sacos de 25 kg.)
Total = 275.0 kg./barreno

Ahora tomamos en cuenta el factor de carga que se desea utilizar, tenemos que:

$$\frac{275.0 \text{ kg./barreno}}{0.900 \text{ kg/m}^3} = 305.6 \text{ m}^3/\text{barreno.}$$

Sabemos que $V = B \times E \times H$ y:

Considerando una plantilla donde $B = E$, tenemos que:

$$V = B \times B \times H$$

$$V = B^2 \times H$$

despejando B tenemos:

$$B = \sqrt{\frac{V}{H}}$$

Por lo tanto tenemos que:

$$B = \sqrt{\frac{305.6 \text{ m}^3}{10 \text{ m.}}} = 5.528 \text{ m} \approx 5.50 \text{ m.}$$

$$B = 5.50 \text{ m}$$

$$E = 5.50 \text{ m}$$

$$V = 5.5 \text{ m} \times 5.5 \text{ m} \times 10 \text{ m} = 302.5 \text{ m}^3$$

Para la plantilla rectangular donde la relación Bordo:Espaciamento es de 1:1.2 tenemos:

$$\begin{aligned} B \times E \times H &= V \\ B \times 1.2B \times H &= V \\ (B \times 1.2B) \times H &= 302.5 \text{ m}^3 \\ 1.2B^2 \times H &= 302.5 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$1.2B^2 = \frac{302.5 \text{ m}^3}{H}$$

Luego:

$$1.2B^2 = \frac{302.5 \text{ m}^3}{10 \text{ m}} = 30.25 \text{ m}^2$$

Tenemos que:

$$B = \sqrt{\frac{30.25 \text{ m}^2}{1.2 \text{ m}}} = 5.02 \text{ m} \approx 5.00 \text{ m}$$

$$\text{Bordo} = 5 \text{ m} \therefore B = 5 \text{ m}$$

$$\text{Espaciamento} = 1.2 (B) = 1.2 (5.0) = 6.0 \text{ m} \therefore E = 6 \text{ m}$$

$$\text{Volumen/Barreno} = 5.0 \text{ m} \times 6.0 \text{ m} \times 10.0 \text{ m} = 300.0 \text{ m}^3$$

4.7.3. Cálculo de plantilla de barrenación de una frente con las siguientes características:

Datos:

Diámetro de perforación: 1 7/8" (4.763 cm.)

Sección de la frente: 4 x 4 m.

Tipo de roca: Roca dura (granito)

Densidad de roca: 3.3 gr./cc.

Profundidad de barreno: 3.0 m.

Taco: 0.5 m.

Factor de carga: 1 kg./ton.

Carga de fondo: Godyne 1" x 8" (0.120 kg.).

Carga columna: Anfomex B.D.

1.- Selección de cuña:

Conociendo las características de la roca, se selecciona la cuña.

En este sistema se consideró utilizar una cuña cinco de oros, con un barreno de alivio al centro de 3" (7.62 cm.) de diámetro.

2.- Cálculo de la superficie de la frente:

Sección rectangular: $A = B \times h$

$$A = 4 \times 2 = 8 \text{ m}^2$$

Sección circular: $A = (\pi r^2)/2$

$$A = \pi(2.0)^2/2 = 6.28 \text{ m}^2$$

Superficie total: 14.28 m².

3.- Cálculo del volumen y tonelaje de roca a tumbar con explosivo.

$$V = 14.28 \text{ m}^3 \times 3.0 \text{ m} = 42.84 \text{ m}^3.$$

$$T = 42.84 \text{ m}^3 \times 3.3 \text{ ton/m}^3 = 141.37 \text{ ton}.$$

4.- Cálculo de la carga total de explosivo por barrenos considerando un taco de 0.50m.

Godyne 1" x 8" (2.54 x 20.32 cm.) (Densidad específica = 1.20 gr./cc).

Se necesitan 2.148 kg. de Godyne para llenar 1 m de columna en un diámetro de 1 7/8" (4.76 cm.), datos de la siguiente tabla.

Diámetro de barrenación	Carga (kg./m)
1 7/8" (4.76 cm)	1.79

Haciendo una regla de tres:

$$\begin{array}{r} 1.52 \text{ kg.} \quad \text{---} \quad 1.0 \text{ m} \\ x \quad \quad \quad \text{---} \quad 2.4 \text{ m} \\ \hline x = 3.715 \text{ kg.} \end{array}$$

Carga total por barrenos:

$$\begin{array}{r} \text{ANFOBD} + \text{GODYNE} \\ 3.715 \quad + \quad 0.120 \quad = \quad 3.835 \end{array}$$

5.- Cálculo de explosivo total utilizado en la frente:

$$\begin{array}{l} \text{Kg. de explosivo} = (\text{Factor de carga}) (\text{Toneladas tumbadas}) \\ = (1.0 \text{ kg./ton.}) (141.37 \text{ ton.}) \\ = 141.37 \text{ kg.} \end{array}$$

6.- Cálculo del número de barrenos necesarios en la frente:

$$\text{No. de barrenos} = \frac{\text{Kg. de explosivo / frente}}{\text{Kg. de explosivo / barreno}}$$

$$\text{No. de barrenos} = 141.37 \text{ kg.} / 3.835 \text{ kg.} = 36.863 \therefore 37 \text{ barrenos cargados.}$$

7.- Se procede a ubicar proporcionalmente los 37 barrenos cargados, (incluyendo los de la cuña) en la frente mencionada),

- a) Ubicar barrenos de la cuña y ayudantes de cuña.
- b) El resto de los barrenos se distribuyen en la superficie restante en forma proporcional. (Fig. No. 13)

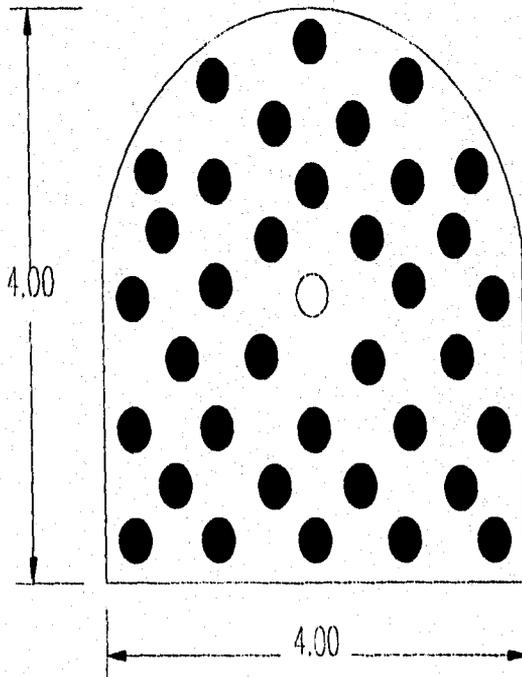


Fig. No. 13

4.7.4. Cálculo de voladura de precorte

Una roca que tiene un esfuerzo a la compresión promedio de 20,000 psi, para ser precortada con un diámetro de barrenación de 3" (7.62 cm).

Calcular:

- a) Diámetro de cartucho "Godyne" necesario para realizar este trabajo
- b) Separación entre cartuchos
- c) Espaciamiento entre barrenos

Datos:

Diámetro de barrenación = 3" (7.62 cm.)

Tipo de roca = Caliza

(Pb) dc = Esfuerzo a la compresión de la roca = 20,000 psi (Tabla No. 9)

(Pb) c = Presión de detonación del Godyne = 576,200 psi (Monograma Fig.No.14)

Datos:

Diámetro de barrenación = 3" (7.62 cm)

Tipo de roca = Caliza

(Pb) dc = Esfuerzo a la compresión de la roca = 20,000 psi (Tabla No. 9)

(Pb) c = Presión de detonación del Godyne = 576,200 psi (monograma Fig.No.14)

Cálculos:

- a) Diámetro del cartucho

$$(Pb) dc = (Pb)c (C.R.)^{2.4}$$

despejando C.R.

$$C.R.^{2.4}$$

$$= 20,000/576,200 = 0.0347$$

$$C.R. = (0.0347)^{1/2.4}$$

$$C.R. = 0.2465$$

$$C.R. = (\sqrt[3]{c} \text{ rc}/\text{rh})$$

Despejando rc:

$$\text{rc} = \frac{(C.R.) (\text{rh})}{\sqrt[3]{c}} = \frac{(0.2465)(1.5)}{\sqrt[3]{1}} = 0.3697''$$

$$\text{Diámetro} = 0.3697 \times 2$$

$$\text{Diámetro de cartucho} = 0.7394'' \approx 1''$$

b) Separación entre cartuchos

$$C.R. = (\sqrt[3]{c} \text{ rc}/\text{rh})$$

despejando c

$$\sqrt[3]{c} = (C.R.) \text{rh}/\text{rc}$$

$$\sqrt[3]{c} = (0.2465) 1.5''/0.5''$$

$$\sqrt[3]{c} = 0.7395$$

$$c = (0.7395)^3 = 0.5468$$

$$\frac{8''}{82 + S} = 0.5468$$

$$8'' = 0.5468 (8'' + S)$$

$$8'' = 4.3744'' + 0.5468 S$$

$$S = \frac{8'' - 4.3744''}{0.5468} = 6.63'' (16.84 \text{ cm.})$$

Separación entre cartuchos = 6.63" ≈ 7"

e) Espaciamiento entre barrenos

$$S = \frac{2r (Pb + T)}{T}$$

donde:

S = Espaciamiento entre barrenos (pulgadas)

r = Radio del barreno (pulgadas)

Pb = Presión de detonación del explosivo 576,200 psi (Monograma Fig. No. 14)

T = Esfuerzo de la roca a la tensión = 2133 psi (Tabla No. 9)

$$C.R. = \sqrt[3]{c r c / t h}$$

$$\sqrt[3]{1 \cdot 0.5 / 1.5} = 0.3333$$

$$C.R. = 0.3333$$

$$C.R.^{2.4} = 0.07159$$

$$(Pb)_{dc} = (Pb)_c \times C.R.^{2.4}$$

$$(Pb)_{dc} = 576,200 \times 0.07159$$

$$(Pb)_{dc} = 41254.54$$

Sustituyendo en la fórmula de espaciamiento entre barrenos.

$$S = \frac{3(41254.54 + 2133)}{2133} = \frac{130162.62}{2133} = 61.02''$$

$$S = 1.55 \text{ m. aproximadamente}$$

TABLA No. 9

Tipo de roca	Esf. compresión (psi)			Esf. a la tensión (psi)		
	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo
Granito	14,220	24,900	35,550	995	2,275	3,555
Caliza	4,266	20,000	35,550	711	2,133	3,555
Arenisca	2,844	13,500	24,175	560	2,059	3,550
Pizarra o Lutita	1,422	7,821	14,220	284	853	1,422

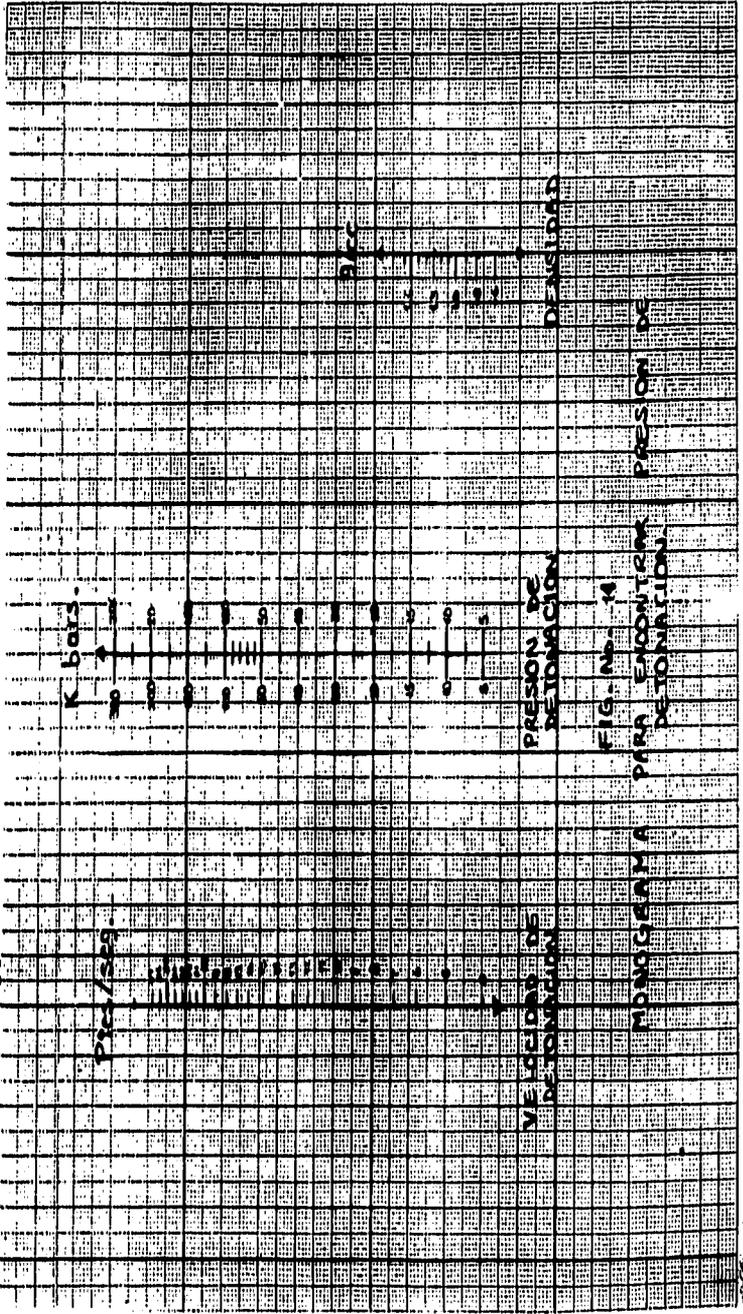


FIG. No. 14

MONOGRAFIA PARA EXPONER PRESION DE DETONACION

CAPITULO V

TRAMITES

5.1. ANTE QUE AUTORIDAD.

La aplicación de la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos corresponde a:

- El Presidente de la República
- La Secretaría de Gobernación.
- La Secretaría de la Defensa Nacional

5.1.1. SECRETARIA DE GOBERNACION.

Corresponde a las Secretarías de Gobernación y de la Defensa Nacional, dentro de las respectivas atribuciones que dicha Ley y su Reglamento le señalen, el control de todas las armas en el País, para cuyo efecto se llevará un Registro Federal de Armas y por conducto de estas Secretarías se informará al Ejecutivo de la Unión.

5.1.2. SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL:

5.1.2.a. LEY FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS.

REQUERIMIENTO LEGALES PARA EL USO DE EXPLOSIVOS

El 25 de enero de 1972, se publicó en el Diario Oficial la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos cuyo control corresponde básicamente a la Secretaría de la Defensa Nacional, quien a través de la Ley señala el control que ejerce tanto en productos químicos como explosivos y artificios.

ART. 41

Las disposiciones de este título son aplicables a todas las actividades relacionadas con las armas, objetos y materiales que a continuación se mencionan:

III. POLVORAS 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 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 Pentra Eritrita Tetranitrada

j) Trinitrotolueno

k) Fulminato de mercurio

l) Nitruros de plomo, plata y cobre

m) Dinamitas y amatoles

n) Estifanato de plomo

o) Nitrocarbonitratos (explosivos al nitrato de antonio)

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 QUIMICAS 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.

ART. 42

La propia Ley habla de Permisos específicos siendo facultad exclusiva del Presidente de la república el autorizarlos y no eximen a los interesados de cubrir requisitos que señalan otras disposiciones legales y/o municipales del lugar que ocupen las instalaciones.

Se establecen 3 tipos de Permisos: Generales, Ordinarios y Extraordinarios.

Generales.

Que conceden a negociaciones o personas físicas cuyas actividades sean de manera permanente.

Ordinarios.

Que se expiden en cada caso para realizar operaciones mercantiles entre sí o con comerciantes de otros países siempre y cuando cuenten con un Permiso General vigente.

Extraordinarios.

Que se otorgan a quiénes de manera eventual tengan necesidad de efectuar alguna de las operaciones que se mencionan en los Permisos antes mencionados.

NOTAS:

- a) Los permisos son intransferibles. (ART. 44)
- b) Debe rendirse un informe dentro de los primeros 10 días siguientes al fin de cada mes, reportando su inventario inicial más compras del mes, menos consumos, e inventario final (y ventas en casos de fabricantes y distribuidores de explosivos). (ART. 83 del Reglamento).

Los Permisos Generales se otorgan con vigencia de 1 año y para efectos de revalidación, ésta debe tramitarse 2 meses antes de su vencimiento.

Los Permisos Ordinarios y/o los Extraordinarios, tendrán la vigencia que la Secretaría de la Defensa Nacional señale en cada caso concreto.

Las fábricas, plantas industriales, talleres y comercios que se dediquen a las actividades reguladas deberán reunir las condiciones de seguridad, funcionamiento técnico, ubicación y producción que se señalan.

En el **TITULO CUARTO** de la **Ley Federal de Armas de fuego y Explosivos** se habla de las sanciones:

ART. 84

Se impondrá de 5 a 30 años de prisión y de 20 a 500 días de multa:

- I. Al que introduzca en la República, en forma clandestina, armas, municiones, explosivos y materiales de uso exclusivo de las fuerzas armadas o sujetos a control.
- II. A quien adquiera los objetos a que se refiere la fracción I para fines mercantiles.

ART. 85

Se impondrá de 1 a 8 años de prisión y de 20 a 500 días de multa:

- I. A los comerciantes en armas, municiones, y explosivos, que los adquieran sin comprobar la procedencia legal de los mismos.
- II. A quienes fabriquen o exporten dichas objetos sin el permiso correspondiente.

III. A los comerciantes en armas que sin dicho permiso vendan, donen o permuten los objetos a que se refiere la fracción I.

ART. 86

Se impondrá de 6 meses a 6 años de prisión y de 10 a 300 días de multa, a quienes sin el permiso respectivo:

I. Compren explosivos

II. Transporten, organicen, reparen, transformen o almacenen los objetos aludidos a esta Ley.

ART. 87

Se impondrá de 1 mes a 2 años de prisión y de 2 a 100 días de multa a quienes: (tomando en cuenta el inciso IV)

IV. Enajenen explosivos, artificios, a negociaciones o personas que no tengan el permiso correspondiente de la Secretaría de la Defensa Nacional.

ART. 88

Los objetos, explosivos y demás materiales decomisados se aplicarán a obras de beneficio social.

TRANSPORTE.

La transportación la consigna la Secretaría de la Defensa Nacional, en los Permisos Generales y/o Extraordinarios e incluye en paralelo la autorización de la S.C.T. (Dirección General de Autotransporte Federal, Carga especializada).

Las características en cuanto al interior de la carga son especiales, ya que entre otras cosas no debe haber cableado eléctrico, ni partes metálicas que provoquen chispa, estos aspectos son supervisados en la verificación que se hace del vehículo por la propia S.C.T.

ALMACENAMIENTO.

Hay 2 tipos de polvorines, fijos y/o móviles; éstos son autorizados por la Secretaría de la Defensa Nacional, quien inclusive señala las capacidades máximas de almacenamiento, así como la compatibilidad del producto y, por otra parte, es importante que estos tengan una ventilación adecuada (Tabla No. 1).

En los propios Permisos Generales y/o Extraordinarios incluyen el señalamiento de número de polvorines, capacidades de almacenaje y productos a almacenar.

Los Titulares de los Permisos Generales, Ordinarios y Extraordinarios, están obligados a conservar por el término de 5 años toda la documentación relacionada con dichos Permisos.

Toda persona que deberá realizar sus trámites de explosivos para cualquier actividad deberá realizar sus trámites en la Dirección General del Registro de Armas de Fuego y Control de Explosivos.

5.1.2.b. REGLAMENTO DE LA LEY FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS.

(Publicado en el "Diario Oficial" del 6 de Mayo de 1972).

CAPITULO IV De la Fabricación.

ART. 34

Establece la clasificación de explosivos mencionados en la fracción V del artículo 41 de la Ley.

ART. 35

Establece que aquellas personas físicas o morales que decidan dedicarse activamente a las actividades mencionadas en el artículo anterior deberán solicitar al Presidente de la República por medio de la Secretaría, el Permiso General, con los siguientes documentos:

- a) Solicitud
- b) Copia del acta de nacimiento (certificada), para los extranjeros su documento legal de estancia en el país.
- c) Explicación sobre lo que intenta fabricar y capacidad de producto.
- d) Dos planos, con las siguientes características:
 - Plano del sitio elegido para construir la planta, con un radio de 1000 metros, y a escala de 1:4000, con sus respectivos instalaciones Militares, vías de comunicación, líneas eléctricas, telefónicas, telegráficas, acueductos, oleoductos, gasoductos, construcciones para casas habitación, obras de arte, zonas arqueológicas, zonas históricas o instalaciones industriales.
 - Plano del proyecto de la planta industrial, para localización de sus instalaciones e especificaciones.
- e) Características y estado de uso de la maquinaria y equipo utilizar.
- f) Opinión favorable del estado donde se proyecte establecer.
- g) Certificado de seguridad del estado donde se proyecte establecer, así mismo la certeza de que las instalaciones, almacenes, etc., son los adecuados para prevenir y evitar accidentes y robos.

h) Establecer la procedencia de la materia prima a utilizar, en caso de ser extranjero indicar si la importación será permanente o temporal.

i) Copia del acta constitutiva (certificada) para sociedades mercantiles.

CAPITULO VIII. De la importación y exportación.

ART. 66

Cuando estos artículos excedan de la cantidad o no coincidan especificaciones mencionadas en el permiso dado por la Secretaría, el representante lo comunicara para que dicha dependencia resuelva las irregularidades.

Las aduanas no permitirán el retiro de la mercancía o que esta salga del país, hasta recibir las indicaciones correspondientes de la Secretaría de la Defensa Nacional.

CAPITULO IX. Del transporte.

ART. 68

Las personas físicas o morales que pretendan dedicarse permanentemente al transporte, tendrán que solicitar a la Secretaría el permiso general, adjuntando los siguientes documentos:

- a) Concesión o permisos por la S.C.T. (copias)
- b) Certificado que reúnen los requisitos de seguridad por la primera autoridad del lugar en que se proyecte establecer la matriz, las sucursales en donde se haga constar que tiene depósitos y polvorines para almacenar cuando sea necesario, y que dichas instalaciones no representan peligro y que están protegidas contra robos.
- c) Planos de los proyectos de los depósitos y polvorines mencionados en el inciso anterior.

ART. 69

Los establecimientos que tengan permiso general para transporte especializado, deberán colocar en ellos en forma visible, copia del permiso general concedido por la Secretaría y en caso del transporte especializado, el conductor vehículo traerá consigo copia autorizada de los permisos generales, ordinarios o extraordinarios.

CAPITULO X. Del almacenamiento.

ART. 72

Los permisos generales de compraventa, señalarán las cantidades máximas de almacenamiento permitido en los lugares de establecimientos comerciales abiertos al público, fijando las medidas de seguridad para evitar accidentes o robos.

ART. 76

En los permisos extraordinarios para la compra de pólvoras, explosivos, artificios y sustancias químicas, la Secretaría fijará las condiciones que se deberá sujetar el almacenamiento respectivo.

CAPITULO XI. Del control y vigilancia

ART. 82

Las personas físicas o morales con permisos generales o extraordinarios tendrán la obligación de dar aviso a la Secretaría dentro de las 72 hrs. hábiles, del extravío, destrucción o el robo que les ampare sus permisos así como la deacomposición de las materias y explosivos.

TRANSITORIOS

Artículo Séptimo.

Con el fin de que no se interrumpan las actividades industriales de quienes operan con permiso de uso o consumo de pólvoras, explosivos, artificios y sustancias químicas, estos deberán solicitar dentro de un plazo de 120 días a partir de que entre en vigor este reglamento los permisos extraordinarios correspondientes.

NOTA: Los artículos antes mencionados son los más útiles al propósito de este trabajo.

POLVORINES.

Lugar:

Deberán de instalarse a una distancia reglamentada por la Secretaría de la Defensa Nacional (Tabla No. 2) de seguridad de distancia-cantidad (material debidamente empacados o envasados).

Capacidad:

Será de acuerdo a necesidades del usuario y autorización de la Secretaría de la Defensa Nacional.

Producto almacenado:

Explosivos compatibles de acuerdo a lo estipulado por la Secretaría de la Defensa Nacional (Tabla No. 1); por ejemplo:

Estopín eléctrico = Estopín eléctrico
Mechas de seguridad = Cordones detonantes.

Construcción:

Cimentación: De mamposteo (piedra braza).

Muros: Tabicón de arena compactada con mezclado pobre de cemento reforzado lo anterior con castillos a cada 6 m. de distancia. De 45 cm x 45 cm, con alma de 4 varillas de 1" de diámetro. La altura deberá ser de 2.5 m.

Puertas:

Deberán ser de madera de 4" de grueso con bastidor de metal (tanto en la base de soporte como de todo el rededor de la puerta). Deberán tener una cerradura doble de pasador, con una longitud de 10 a 15 cm.

Techos:

A dos aguas, altura máxima al centro de 4 m, altura mínima a las orillas de 2.70 m, dejando respiradero entre la pared y el techo de 20 cm, el cual deberá ser protegido con algún tipo de malla metálica, para evitar que animales pequeños se introduzcan al polvorín. El material utilizado deberá ser de lámina de asbesto con recubrimiento asfáltico.

Farallón:

El polvorín deberá estar enterrado por la corteza de algún cerro, o en su defecto deberá contar con un farallón de 3 m de altura y 15 m de largo a terminar a flor de tierra, y teniendo entre el frente del polvorín al farallón 5 ó 6 m como mínimo.

5.2.TARIFAS VIGENTES DEL 1er DE ENERO AL 30 DE JUNIO DE 1996

	COSTO
Expedición y revalidación de permiso general para:	
Compra y consumo de materiales explosivos para la construcción.	\$3,427.00
La fabricación de explosivos o sustancias químicas relacionadas con estos, así como para las adquisiciones y almacenamientos de materia prima y productos terminados.	\$3,427.00
Compraventa, consumo o almacenamiento de explosivos o sustancias químicas relacionadas con estos.	\$3,427.00
Para el transporte especializado de material explosivo.	\$3,427.00
Expedición de permisos ordinarios y extraordinarios:	
Compra o venta de material explosivo.	\$114.00
Compra de sustancias químicas para la fabricación de artificios pirotécnicos	\$114.00

TABLA No. 2
TABLA DE SEGURIDAD DE DISTANCIA-CANTIDAD.
(Materiales debidamente empacados o envasados)

DESCRIPCION DEL MATERIAL	KILOS		DISTANCIAS EN METROS				
	De:	A:	EDIFICIOS HABITADOS	VIAS FERREAS	CAMINOS, CARRETERAS	LINEAS DE ALTA TENSION	ENTRE POLVORINES
1.- Dinamita, explosivos al nitrato, pólvora negra y sin humo.	000	500	128	100	100	100	11
		750	146	100	100	100	13
		1000	160	100	100	100	14
		1250	170	100	100	100	15
		1500	180	100	100	100	17
		2000	200	100	100	100	18
		3000	230	100	100	100	20
		4000	250	100	100	100	23
		5000	280	110	100	100	25
		6000	270	117	100	100	26
		7000	275	122	100	100	27
		8000	285	127	100	100	28
		9000	295	132	100	100	30
		10000	305	137	100	100	31
		12000	330	148	100	100	33
2.- Artificios: (fulminantes, estopines, conectores MS, cordón detonante, etc.).	14000	350	154	105	103	35	
	18000	370	160	110	105	36	
	18000	390	168	118	112	36	
	20000	405	173	121	118	39	
	25000	445	185	135	130	43	
	30000	480	200	145	140	46	
	35000	510	208	155	150	49	
	40000	535	218	160	155	53	
	45000	550	225	166	162	56	
	50000	565	240	169	166	63	
3.- Por lo que respecta a los "artificios", únicamente se autoriza el almacenamiento en cada polvorín lo equivalente a 4 Ton.	60000	575	250	171	168	66	
	70000	585	262	175	172	73	
	80000	605	274	182	178	80	
	80000	620	284	188	183	86	
	100000	635	294	191	188	93	
	100000	675	378	210	208	117	
	4.- Nitrocetoloseas (30-70) o sea 30 partes en peso por 70 partes del producto, con una nitración de 12.2% como máximo, cloratos, fluoratos, etc.	500	115	100	100	100	10
		750	135	100	100	100	12
		1000	145	100	100	100	14
		5000	235	100	100	100	23
25000		400	170	122	120	40	
80000		500	215	156	156	50	
75000		635	242	165	160	70	
100000		670	278	170	166	85	
125000	607	340	180	166	110		
5.- Trinitrotolueno, dinitrona, fulminatos, picratos, etc.	500	182	125	125	125	18	
	750	178	138	135	135	20	
	1000	182	156	156	145	25	
	5000	312	165	165	160	35	
	25000	530	222	180	175	56	
50000	675	268	200	200	75		
6.- Artificios pirotécnicos	A.- La cantidad de artificios pirotécnicos que pueden tener en existencia es de 56 gramos por cada m ³ de espacio libre en el depósito de almacenamiento, en la inteligencia de que los 56 gramos mencionados están incluidos la mezcla explosiva y la inerte, la capacidad total de seguridad será determinada según la ubicación de los depósitos y las dimensiones de los mismos.						
A.- Comercio:							

NOTA:

Las distancias arriba indicadas son para cuando los polvorines se encuentran protegidos por obstáculos naturales o artificiales en caso contrario las distancias aumentan en un 100%. En el interior de las fábricas, únicamente se autoriza el almacenamiento de nitrocetoloseas en una cantidad máxima de 5000 Kg. observando las distancias de la presente tabla, disminuidas en un 80%.

5.3. FORMATOS PARA LA ADQUISICION DE PERMISOS:

5.3.1. *Permiso General para la Compra-Venta de Material Explosivo.*

MODELOS PARA TRAMITES No. 1

(CON ANEXOS)

**REQUISITOS QUE DEBEN SATISFACER LOS PETICIONARIOS QUE SOLICITAN
PERMISO GENERAL PARA LA COMPRA VENTA DE MATERIAL EXPLOSIVO.**

1.- VER TABLAS 1 Y 2

**2.- ADEMAS DE LOS MODELOS ADJUNTOS Y REQUISITOS QUE DEBEN CUBRIR AL
REVERSO DE LA SOLICITUD DEBERAN ENVIAR EL RECIBO OFICIAL ORIGINAL
DE PAGO POR LA CANTIDAD DE \$3,427.00**

- * SOLICITUD DE PERMISO GENERAL.**
- * CERTIFICADO DE SEGURIDAD DE POLVORINES**
- * REFERENCIAS DE LOS POLVORINES.**

PAGO A LA OFICINA FEDERAL DE HACIENDA.

_____ A _____ DE _____ DE 19__.

DATOS DEL SOLICITANTE:

NOMBRE: _____

DOMICILIO: _____

C. JEFE DE LA OFICINA FEDERAL DE HACIENDA.

PRESENTE.

Me permito solicitar a Ud., me sea recibido el pago de \$ 1,300.00 (Mil trescientos pesos 00/100) que entrego en esta Oficina por concepto de servicios que presta la Secretaría de la Defensa Nacional en materia de Armas de Fuego y Explosivos, de conformidad con lo dispuesto en el Artículo 4/o. Fracción 5/a. del decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación el 17 de Julio de 1979.

SUPRAGIO EFECTIVO. NO REELECCIÓN

(POR CUADRUPPLICADO)

SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL
DIRECCION GENERAL DEL REGISTRO FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS
LOMAS DE SOTELO, D. F.

SOLICITUD AL C. PRESIDENTE DE LA REPUBLICA DE PERMISO GENERAL PARA DEDICARSE A LAS ACTIVIDADES REFERIDAS EN LOS ARTICULOS 36, 43 O 46 DEL REGLAMENTO DE LA LEY FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS. (FABRICACION, ORGANIZACION, O COMPRAVENTA).

A.- DATOS DEL SOLICITANTE.

Primer Apellido	Segundo Apellido	Primer Nombre	Segundo Nombre
Fecha de Nacimiento	Sexo	Lee Escribe	Profesión u Oficio
Nacionalidad			
Cargo en la Empresa: (Propietario, Gerente, Administrador o Apoderado).			

B.- DOMICILIO DEL SOLICITANTE.

Calle	Número
Ciudad, Población o Localidad	Zona Postal
Municipio o Delegación	Estado, Territorio o Distrito.
Referencias del Domicilio cuando los requiera.	

C.- DATOS DE LA NEGOCIACION.

Denominación o Razón Social.	
Calle	Número
Ciudad, Población o Localidad	Zona Postal
Actividad a la que se dedicará.	Teléfono

PROTESTO, QUE LOS DATOS ANOTADOS SON VERIDICOS, QUE LA FIRMA ES AUTENTICA Y LA UNICA QUE UTILIZARE EN LOS DOCUMENTOS QUE DIRIJA A LA SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL.

 LUOAR Y FECHA

 FIRMA

INSTRUCCIONES AL REVERSO.

SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL
DIRECCION GENERAL DEL REGISTRO FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS
LOMAS DE SOTELO, D. F.

REFERENCIAS DE LOS POLVORINES (O ALMACENES) DONDE EL SOLICITANTE ALMACENARA LAS ARMAS, OBJETOS O MATERIALES QUE UTILIZARA EN LAS OBRAS, OPERACIONES INDUSTRIALES O COMERCIALES, O EN LA EXPLOTACION MINERA QUE SEÑALA EN SU GESTION PETITORIA.

Denominación o razón social del peticionario.

POLVORIN (O ALMACEN) NUMERO _____

SITUACION EXACTA DEL POLVORIN (O ALMACEN):

Referida a puntos conocidos del terreno para facilitar su localización.

UBICADO EN:

Municipio o Delegación

Estado, Territorio o Distrito

TIPO:

Superficial

Semi-enterrado

Enterrado

Socavón de mina

DIMENSIONES INTERIORES:

Largo MTS. _____
Ancho MTS. _____
Alto MTS.

VENTILACION POR MEDIO DE:

MATERIALES DE CONSTRUCCION DE:

Cimientos

Muros

Piso

Puertas

Techo

DISTANCIAS MAS CORTAS DEL POLVORIN A:

Casas MTS. _____
Carreteras MTS. _____
Vías Férreas MTS. _____
Líneas MTS. _____
Eléctricas MTS. _____
Polvorin MTS.

*EXISTE O NO BARRERA DE PROTECCION A:

Casas MTS. _____
Habitación MTS. _____
Carreteras MTS. _____
Vías Férreas MTS. _____
Líneas MTS. _____
Eléctricas MTS. _____
Polvorin MTS.

CANTIDAD EN UNIDADES, METROS O KILOGRAMOS, SEGUN EL CASO DE ARMAS, OBJETOS O MATERIALES PARA ALMACENAR EN ESTE POLVORIN:

Tratándose de explosivos, se tendrá en cuenta: Capacidad y tablas de "Compatibilidad" y "Distancia-Cantidad".

Denominación o razón social de la Casa Proveedora

Permiso General Número

Lugar y Fecha

Firma del Solicitante

NOTA: "BARRERA DE PROTECCION", SIGNIFICA CUALQUIER ELEVACION NATURAL DEL TERRENO, MURALLA ARTIFICIAL DE ESPESOR NO MENOR DE UN METRO CONSTRUIDA CON TIERRA, ADOBES O SACOS TERREROS, O BOSQUES DE TAL DENSIDAD QUE LAS PARTES CIRCUNDANTES QUE REQUIERAN PROTECCION NO PUEDAN VERSE DESDE EL POLVORIN, AUN CUANDO LOS ARBOLES ESTEN DESPROVISTOS DE HOJAS.

5.3.2. Permiso Extraordinario para el Manejo de Material Explosivo.

MODELOS PARA TRAMITES No. 2

(CON ANEXOS)

**REQUISITOS QUE DEBEN SATISFACER LOS PETICIONARIOS QUE SOLICITAN
PERMISO EXTRAORDINARIO PARA EL MANEJO DE MATERIAL EXPLOSIVO.**

1.- VER TABLAS 1 Y 2

2.- RECIBO OFICIAL DE PAGO.

- * SOLICITUD DE PERMISO EXTRAORDINARIO PARA MANEJO DE MATERIAL EXPLOSIVO.
- * CERTIFICADO DE SEGURIDAD DEL LUGAR DE CONSUMO DE EXPLOSIVOS.
- * REFERENCIAS DEL LUGAR DONDE SE CONSUMIRAN LOS EXPLOSIVOS.
- * CERTIFICADO DE SEGURIDAD DE POLVORINES.
- * REFERENCIAS DE LOS POLVORINES

SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL
DIRECCION GENERAL DEL REGISTRO FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS
LOMAS DE BOTELO, D. F.

SOLICITUD DE PERMISO EXTRAORDINARIO PARA LA COMPRA DE POLVORA, DE EXPLOSIVOS, DE ARTIFICIOS O DE SUSTANCIAS QUIMICAS RELACIONADAS CON LOS MISMOS (ARTICULO 87 DEL REGLAMENTO DE LA LEY FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS).

A. DATOS DEL SOLICITANTE.

Primer Apellido		Segundo Apellido		Primer Nombre		Segundo Nombre			
Fecha de Nacimiento (d/m/a)		Sexo		Lee Escribe		Profesión u Oficio		Nacionalidad	
Calle						Número			
Ciudad, Población o Localidad						Zona Postal			
Municipio o Delegación						Estado, Territorio o Distrito.			
Referencias del Domicilio cuando los requiera.									

B. DATOS DE LA NEGOCIACION.

Denominación o Razón Social.			
Calle		Número	
Ciudad, Población o Localidad		Zona Postal	
Actividad a la que se dedicará.		Teléfono	
Cantidades y clases de materiales explosivos por comprar			

Tipo y clases de materiales señalados en el punto anterior

PROTESTO, QUE LOS DATOS ANOTADOS SON VERIDICOS, QUE LA FIRMA ES AUTENTICA Y LA UNICA QUE UTILIZARE EN LOS DOCUMENTOS QUE DIRIJA A LA SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL.

_____ LUGAR Y FECHA _____ FIRMA

INSTRUCCIONES AL REVERSO.

SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL
DIRECCION GENERAL DEL REGISTRO FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS
LOMAS DE BOTELO, D. F.

CERTIFICADO DE SEGURIDAD DEL LUGAR DE CONSUMO DE EXPLOSIVOS, ARTIFICIOS O
SUSTANCIAS QUIMICAS RELACIONADAS CON LOS MISMOS, EXPEDIDO POR LA PRIMERA
AUTORIDAD ADMINISTRATIVA.

EL SUSCRITO: _____ PRIMERA AUTORIDAD
(Nombre y Apellidos)
ADMINISTRATIVA DE: _____

HACE CONSTAR Y CERTIFICA:

QUE: _____
(Denominación o razón social)

CON DOMICILIO EN:

CALLE NUMERO CIUDAD, POBLACION O LOCALIDAD

MUNICIPIO O DELEGACION EDO., TERRITORIO O DISTRITO Z.P. TELEFONO

EMPLEARA LOS MATERIALES SIGUIENTES:

(Pólvora, Dinamita, Explosivos al Nitrato de Amonio, Artificios, Cloratos, Nitrocelulosas, etc.)

TRABAJOS QUE EFECTUARA PRECISAMENTE EN EL LUGAR DE CONSUMO UBICADO EN:

(Referencia a puntos conocidos del terreno para su fácil localización).

EL CUAL POR SU SITUACIÓN, NO REPRESENTAN PELIGRO PARA LA SEGURIDAD Y TRANQUILIDAD
PUBLICA.

_____ a _____ de _____ de 19 _____

SELLO Y FIRMA

SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL
DIRECCIÓN GENERAL DEL REGISTRO DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS
LOMAS DE SOTELO, D.F.

REFERENCIAS DEL LUOAR DONDE EL SOLICITANTE CONSUMIRÁ O USARA LOS EXPLOSIVOS, ARTIFICIOS O SUSTANCIAS QUÍMICAS RELACIONADAS CON LOS MISMOS, EN LAS OBRAS, OPERACIONES INDUSTRIALES O EXPLOTACIÓN MINERA QUE SEÑALA EN SU OESTIÓN PETITORIA.

(Denominación o razón social del peticionario)

SITUACIÓN EXACTA DEL LUOAR DE CONSUMO:

(Referencia a puntos conocidos del terreno para facilitar su localización).

UBICADO EN:

Municipio o Delegación

Estado, Territorio o Distrito

DISTANCIAS MAS CORTAS, EN SUS ALREDEDORES:

MTS. _____ MTS. _____ MTS. _____ MTS. _____ MTS.
Cassa Habitación Carreteras Vías férreas Líneas Eléctricas Polvorinos

EXISTE O NO BARRERA DE PROTECCIÓN A:

MTS. _____ MTS. _____ MTS. _____ MTS. _____ MTS.
Cassa Habitación Carreteras Vías férreas Líneas Eléctricas Polvorinos

Lugar y Fecha

Firma

NOTA: "BARRERA DE PROTECCIÓN", SIGNIFICA CUALQUIER ELEVACIÓN NATURAL DEL TERRENO MURALLA ARTIFICIAL DE ESPESOR NO MENOR DE UN METRO CONSTRUIDO CON TIERRA, ADOBES O SACOS TERREROS, O BOSQUES DE TAL DENSIDAD QUE LAS PARTES CIRCUNDANTES QUE REQUIERAN PROTECCIÓN NO PUEDAN VERSE DESDE EL LUOAR DE CONSUMO DE EXPLOSIVOS AUN CUANDO LOS ARBOLES ESTÉN DESPROVISTOS DE HOJAS.

5.3.3. Permiso General para la Fabricación de Artículos Pirotécnicos.

MODELOS DE TRAMITE No. 3

REQUISITOS QUE DEBEN SATISFACER LOS PETICIONARIOS QUE SOLICITAN PERMISO GENERAL PARA LA FABRICACION DE ARTICULOS PIROTECNICOS.

- 1. ADEMAS DE LOS MODELOS ADJUNTOS Y REQUISITOS QUE DEBEN CUBRIR AL REVERSO DE LA SOLICITUD, DEBERAN ENVIAR EL ORIGINAL DEL RECIBO OFICIAL DE PAGO.**

- * SOLICITUD DE PERMISO GENERAL PARA LA FABRICACION DE ART. PIROTECNICOS.**
- * CERTIFICADO DE SEGURIDAD DE POLVORINES.**
- * REFERENCIAS DE LOS POLVORINES.**

SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL
DIRECCION GENERAL DEL REGISTRO FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS
LOMAS DE SOTELO, D. F.

SOLICITUD DE PERMISO GENERAL PARA DEDICARSE A LA ACTIVIDAD REFERIDA EN EL ARTICULO 36 DEL
REGLAMENTO DE LA LEY FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS. (FABRICACION DE ARTICULOS
PIROTECNICOS).

A.- DATOS DEL SOLICITANTE.

Primer Apellido	Segundo Apellido	Primer Nombre	Segundo Nombre	
Fecha de Nacimiento	Sexo	Letras Escrito	Profesión u Oficio	Nacionalidad
Cargo en la Empresa: (Propietario, Gerente, Administrador o Apoderado).				

B.- DOMICILIO DEL SOLICITANTE.

Calle	Número
Ciudad, Población o Localidad	Zona Postal
Municipio o Delegación	Estado, Territorio o Distrito.
Referencias del Domicilio cuando los requiera.	

C.- DATOS DE LA NEGOCIACION.

Denominación o Razon Social.	
Calle	Número
Ciudad, Población o Localidad	Zona Postal
Actividad a la que se dedicará.	Teléfono

PROTESTO, QUE LOS DATOS ANOTADOS SON VERIDICOS, QUE LA FIRMA ES AUTENTICA Y LA UNICA QUE
UTILIZARE EN LOS DOCUMENTOS QUE DIRIJA A LA SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL.

_____ LUGAR Y FECHA _____ FIRMA

INSTRUCCIONES AL REVERSO.

5.4. QUIEN VENDE:

• DU PONT S.A. C.V.

• ATLAS DE MEXICO

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

El amplio mundo de los explosivos es extenso e importante y sumamente interesante; además dada la situación por la que atraviesa nuestro país, los brotes de violencia que han hecho su aparición hacen muy difícil o problemático encontrar información sobre los mismos.

Al iniciar la investigación e ir a los libros para recopilar datos e intentar avanzar para saber cuales son los trámites o licencias para su utilización, se encuentra uno ante una muralla, donde para obtener dicha información debemos solicitar ayuda a personas que puedan contar con alguna influencia y así obtener la información adecuada.

El uso y manejo de explosivos es sumamente peligroso si no se utiliza adecuadamente. Debe de realizarse una prueba del explosivo a utilizar para comprobar si las características dadas por el fabricante no varían con las condiciones reales del proyecto, por tal motivo se debe de contar con personal especializado o capacitado y que conozcan las normas y medidas de seguridad establecidas.

Cuando un explosivo se usa apropiadamente, consume mayor parte de su energía en forma útil, ya sea fracturando la roca o moviéndola de lugar. El resto de la energía se consume inútilmente, proyectando las rocas, lo cual es muy peligroso. El control de la energía se puede llevar a cabo mediante el tamaño de los barrenos, las separaciones entre los mismos y por el tipo de explosivo.

En cuanto a la obtención de material explosivo y artificios es conveniente llevar a cabo los trámites legales que se refiere la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos, ya que si se obtienen ilegalmente, se impondrán multas y sanciones que van de 2 a 500 días multa y de 6 meses a 30 años de prisión dependiendo cada caso específico.

Las compañías fabricantes de explosivo en México son Atlas de México y Du Pont S.A. de C.V.

La experiencia que tuvimos con respecto a la aplicación de los explosivos fue el asistir a la voladura de un cerro para la ampliación de la vialidad Adolfo Ruiz Cortínez ubicada el Lomas de Atizapán, Municipio de Atizapán de Zaragoza, Edo. de Mex.

En ella pudimos apreciar parte del proceso de la voladura, es decir desde la plantilla de barrenación, perforación de barrenos, cargado, retacado y conexión de estopines para que posteriormente diera inicio a la detonación controlada mediante una explosora tipo generador. Supervisada por Ingenieros expertos en la materia.

Como en la Secretaria de la Defensa, no fue posible adquirir información sobre el tiempo que se requiere para obtener cualquier permiso, ya sea para compra-venta y/o uso de explosivos, ésta surgió mediante un comentario con uno de los Ingenieros a cargo de dicha obra, estos trámites tardan en promedio un año.

El realizar este trabajo tiene como principal objetivo recalcar la importancia de los explosivos aplicados en la construcción pesada y deseamos que la información actualizada que se recopiló sea de gran utilidad para todo aquel que requiera conocer la gran variedad de explosivos utilizados en la Ingeniería Civil.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA:

1. TUNELES (PLANEACION, DISEÑO Y CONSTRUCCION)
Volumen I
T. M. Megaw, J. V. Bartlett
Editorial LIMUSA, S. A. de C. V.
México, 1988.

2. LOS EXPLOSIVOS EN LA CONSTRUCCION
Alcaraz Lozano Federico
Editorial FUNDEC A.C.
México, 1990.

3. MANUAL PARA EL USO DE EXPLOSIVOS
Du Pont de México
Editorial CONTINENTAL
México, 1973.

4. TRATADO DE PROCEDIMIENTOS GENERALES DE CONSTRUCCION,
MAQUINARIA GENERAL EN OBRAS Y MOVIMIENTOS DE TIERRA
Galabru Paul
Editorial REVERTE, S. A.
México, 1977.

5. POLVORAS Y EXPLOSIVOS

Stettbacher A.

Editorial G. GILLI, S. A.

Buenos Aires, 1952.

6. MANUAL DE USO DE EXPLOSIVOS EN MINAS, CANTERAS E INGENIERIA CIVIL.

Tuñon Suárez Carlos

Editorial OMEGA

España, 1988.

7. TECNICA MODERNA DE VOLADURA DE ROCAS

Langefors; Kinnstrom B.

Editorial URMO

España, 1976.

8. APUNTES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS

UNAM

Facultad de Ingeniería Civil

9. LEY FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS Y SU REGLAMENTO

Secretaría de la Defensa Nacional

México, 1995.

10. USO DE EXPLOSIVOS EN MEXICO

Atlas de México, S. A. de C. V.

Grupo ICI

México, 1988.

