



DIFUSION LIMITADA

OR5-405

MANDO DE ADIESTRAMIENTO Y DOCTRINA
DIRECCIÓN DE DOCTRINA, ORGÁNICA Y MATERIALES

ORIENTACIONES

EXPLOSIVOS Y DESTRUCCIONES. PROCEDIMIENTOS ESPECÍFICOS

FECHA DE ENTRADA EN VIGOR: 3-7-2000

DEROGA: "MANUAL. EXPLOSIVOS Y DESTRUCCIONES.
INGENIEROS". M-4-7-5

GRADO DE CLASIFICACIÓN: DIFUSIÓN LIMITADA

PARA USO EXCLUSIVO DE CUADROS DE MANDO

DIFUSION LIMITADA

EDITA:



MINISTERIO
DE DEFENSA

EJÉRCITO
DE TIERRA

DIRECCIÓN
DE SERVICIOS
TÉCNICOS

IMPRIME: Centro Geográfico del Ejército.

PRECIO DE VENTA: 100 pesetas (0,60 euros).

Publicación de ámbito interno de la Administración del Estado

MANDO DE ADIESTRAMIENTO Y DOCTRINA
DIRECCIÓN DE DOCTRINA, ORGÁNICA Y MATERIALES

Publicaciones y Reglamentos

Resolución 552/01229/00

Cód. Informático: 2000000046

Se aprueba la Publicación Militar del Ejército de Tierra: “Orientaciones. Explosivos y destrucciones. Procedimientos específicos (OR5-405)”, que entrará en vigor el día 3 de julio de 2000, quedando derogada a partir de esa fecha la Publicación Militar del Ejército de Tierra: “Manual. Explosivos y destrucciones. Ingenieros (M-4-7-5)”, aprobada por Orden Circular 11-X-76, de 11 de octubre de 1976.

La Imprenta del Centro Geográfico del Ejército, encargada de la edición, realizará la distribución general, remitiendo gratuitamente a las Unidades, Centros y Organismos (UCO,s.) el número de ejemplares que determine la Dirección de Doctrina, Orgánica y Materiales del Mando de Adiestramiento y Doctrina.

Las UCO,s. y componentes de las Fuerzas Armadas que particularmente deseen esta publicación, podrán adquirirla al precio unitario de 100 pesetas, solicitándola directamente al Centro Geográfico del Ejército.

Grado de clasificación: Difusión limitada.

Nivel de difusión: Para uso exclusivo de Cuadros de Mando.

Granada, 14 de enero de 2000.

El Teniente General Jefe
del Mando de Adiestramiento y Doctrina,
VÍCTOR RODRÍGUEZ CERDIDO

 (CÓDIGO)

 (TÍTULO)

PROPUESTA DE MEJORA

A fin de mejorar la calidad de esta Publicación se ruega a los usuarios comuniquen al MADOC. (DIDOM.) cualquier error, sugerencia o cambio, citando claramente la página, párrafo, línea o lámina a que se refieran.

Página	Párrafo, línea o figura	OBSERVACIONES

AUTOR DE LA SUGERENCIA:

Empleo:

Nombre:

Destino:

Dirección, teléfono o fax de contacto:

Remitir a:

EXCMO. SR. GENERAL SUBDIRECTOR DE DOCTRINA
 DIRECCIÓN DE DOCTRINA, ORGÁNICA Y MATERIALES
 ACUARTELAMIENTO "LA MERCED", 18071 GRANADA

ÍNDICE

Páginas

CAPÍTULO I

EXPLOSIVOS

1.1.	Definiciones	1-1
1.1.a.	Sustancia explosiva	1-1
1.1.b.	Mezcla explosiva	1-1
1.1.c.	Explosivo	1-2
1.1.d.	Detonación	1-2
1.1.e.	Propiedades de los explosivos	1-3
1.1.f.	Descomposición de las sustancias explosivas	1-9
1.1.g.	Categorías de cuerpos explosivos	1-10
1.2.	Clasificaciones de las sustancias explosivas	1-10
1.2.a.	Desde el punto de vista de su comportamiento en contacto con el hierro al rojo	1-10
1.2.b.	Desde el punto de vista de su empleo	1-11
1.2.b.(1).	Clasificación de los explosivos progresivos	1-11
1.2.b.(2).	Clasificación de los explosivos iniciadores	1-12
1.2.b.(3).	Clasificación de los explosivos rompedores	1-12
1.3.	Explosivos propulsores	1-12

	Páginas
1.3.a. Pólvoras negras	1-12
1.3.b. Pólvoras sin humo	1-13
1.3.b.(1). Pólvoras de simple base	1-14
1.3.b.(2). Pólvoras de doble base	1-14
1.3.b.(3). Pólvoras de triple base	1-15
1.3.b.(4). Pólvoras esféricas	1-15
1.4. Explosivos iniciadores	1-15
1.4.a. Especies químicas	1-15
1.4.b. Mezclas iniciadoras	1-17
1.5. Explosivos rompedores	1-17
1.5.a. Generalidades	1-17
1.5.b. Especies químicas explosivas	1-18
1.5.c. Mezclas explosivas	1-22
1.5.c.(1). Mezclas explosivas convencionales	1-23
1.5.c.(2). Agentes explosivos	1-34
1.6. Cualidades de los explosivos militares	1-36
1.7. Empleo de los explosivos	1-37
1.8. Empaque y presentación de los explosivos	1-37

CAPÍTULO 2

ARTIFICIOS

2.1. Definición y clasificación	2-1
2.1.a. Artificios pirotécnicos	2-1
2.1.b. Artificios eléctricos	2-1
2.2. Elementos componentes de los artificios	2-2
2.2.a. Encendedores	2-2
2.2.b. Mecha lenta u ordinaria	2-3
2.2.c. Detonador militar de mecha M-1	2-4
2.2.d. Petardo-cebo	2-5
2.2.e. Cordón detonante	2-5
2.2.f. Detonadores eléctricos	2-6
2.2.f.(1). Generalidades	2-6

	Páginas
2.2.f.(2). Características eléctricas	2-8
2.2.f.(3). Detonador eléctrico instantáneo E-1	2-9
2.2.f.(4). Detonadores eléctricos con retardo	2-10
2.2.f.(5). Detonadores eléctricos especiales	2-10
2.2.g. Explosores	2-14
2.2.g.(1). Generalidades	2-14
2.2.g.(2). Explosor de manivela ZEB/C	2-14
2.2.h. Conductor eléctrico	2-18
2.3. Artificios completos	2-20
2.3.a. Detonador completo	2-20
2.4. Elementos auxiliares	2-21
2.4.a. Bolsa de artificiero	2-21
2.4.b. Equipo de artificiero de sección	2-21
2.4.c. Bobina para cable	2-21
2.4.d. Conectores rápidos	2-22
2.4.e. Pilas y acumuladores	2-22
2.4.e.(1). Pilas	2-22
2.4.e.(2). Acumuladores	2-22
2.4.e.(3). Agrupamiento de pilas y acumuladores	2-23
2.4.f. Regletas graduadas para destrucciones	2-24
2.4.f.(1). Regleta 1. Materiales pétreos	2-24
2.4.f.(2). Regleta 2. Maderas y metales	2-25
2.4.f.(3). Regleta 3. Cables y redondos	2-26

CAPÍTULO 3

PREPARACIÓN Y FORMA DE DAR FUEGO A LAS CARGAS

3.1. Generalidades	3-1
3.1.a. Unión de mecha lenta a detonador	3-1
3.1.b. Unión de cordón detonante a detonador	3-2
3.1.c. Empalmes de mecha lenta	3-3
3.1.d. Unión de mecha lenta a cordón detonante	3-4
3.1.e. Empalmes de cordón detonante	3-5

	Páginas
3.1.e.(1). Derivaciones	3-6
3.1.f. Reactivado de cordón detonante	3-7
3.2. Forma de dar fuego a las cargas	3-7
3.2.a. Procedimientos pirotécnicos	3-8
3.2.b. Procedimientos eléctricos	3-9
3.3. Iniciación de cargas con cordón detonante	3-14
3.4. Circuitos de encendido y estados de preparación	3-15
3.5. Unión del artefacto a la carga	3-16

CAPÍTULO 4

CÁLCULO Y EMPLEO DE CARGAS ADOSADAS

4.1. Preparación y organización de las cargas adosadas	4-1
4.1.a. Generalidades	4-1
4.1.b. Cargas concentradas	4-2
4.1.c. Cargas alargadas	4-2
4.1.c.(1). Para apertura de brechas en alambradas y campos de minas	4-2
4.1.c.(2). Para rotura de piezas metálicas	4-3
4.1.d. Cargas en par	4-4
4.1.e. Cargas en oposición	4-5
4.1.f. Empleo de bombas, proyectiles o minas	4-5
4.2. Rotura de maderas	4-7
4.2.a. Cálculo de la carga	4-7
4.2.b. Árboles y rollizos	4-10
4.2.c. Rotura de maderas a distancia	4-11
4.2.c.(1). Destrucción simultánea de varias piezas de madera dentro del agua con una sola carga	4-12
4.2.c.(2). Roturas de pilotes debajo del agua	4-12
4.2.d. Destrucción de una empalizada	4-13
4.3. Roturas metálicas	4-14
4.3.a. Rotura de hierros	4-14
4.3.b. Cálculo de la carga	4-16
4.3.c. Perfiles laminados	4-17
4.3.d. Vigas armadas	4-21

	Páginas
4.3.e. Barras de sección cuadrada o circular	4-22
4.3.f. Roturas de cables metálicos, tubos, verjas y alambradas	4-22
4.3.f.(1). Cables de acero y cadenas	4-22
4.3.f.(2). Tubos o columnas huecas de hierro	4-24
4.3.g. Verjas metálicas	4-24
4.4. Destrucciones de obras de fábrica	4-26
4.4.a. Brechas en muros de mampostería o ladrillo	4-26
4.4.a.(1). Por cargas alargadas	4-26
4.4.a.(2). Por cargas concentradas	4-27
4.4.b. Destrucción de obras de hormigón	4-28
4.4.c. Destrucción de obras de hormigón armado	4-28
4.4.d. Por cargas en oposición	4-30

CAPÍTULO 5

CARGAS INTERIORES

5.1. Cargas concentradas	5-1
5.1.a. Hornillos	5-1
5.1.b. Embudos	5-4
5.1.c. Clasificación de los hornillos	5-5
5.1.d. Cálculo de la carga de un hornillo ordinario	5-6
5.1.e. Hornillo recargado y subcargado	5-12
5.1.f. Humazo máximo	5-13
5.1.g. Profundidad aparente del embudo	5-14
5.1.h. Distancia entre los centros de hornillos contiguos ...	5-15
5.1.i. Comparación entre los efectos debidos a la pólvora y otros explosivos rompedores	5-15
5.1.j. El atraque	5-15
5.2. Cargas alargadas. Barrenos	5-18
5.2.a. Rotura de árboles y pilotes	5-18
5.2.b. Voladuras en roca a cielo abierto	5-19
5.2.b.(1). Generalidades	5-19
5.2.b.(2). Excavación mediante procedimiento de banqueo y explosivo industrial	5-21

	Páginas
5.2.b.(2).(a). Generalidades	5-21
5.2.b.(2).(b). Cargas	5-24
5.2.b.(2).(c). Consumos específicos	5-25
5.2.b.(2).(d). Aperturas de bancos	5-25
5.2.b.(2).(e). Fragmentación de la roca	5-26
5.2.b.(2).(f). Taqueo	5-28
5.2.b.(2).(g). Proyecciones	5-30
5.2.b.(3). Excavación mediante petardos reglamentarios de trilita	5-31
5.2.b.(3).(a). Carga de los barrenos	5-32
5.2.b.(3).(b). Excavaciones rectangulares	5-33
5.2.b.(3).(c). Excavaciones circulares	5-37
5.2.c. Voladuras de interior con barrenos	5-37
5.2.c.(1). Generalidades	5-37
5.2.c.(2). Avance de galerías	5-38
5.2.c.(3). Cuele	5-39
5.2.c.(4). Contracuele	5-41
5.2.c.(5). Destroza	5-42
5.2.c.(6). Contorno	5-42
5.2.c.(6).(a). Precorte	5-44
5.2.c.(6).(b). Recorte	5-47
5.2.c.(6).(c). Consideraciones prácticas	5-49
5.2.c.(6).(d). Formas de carga	5-49
5.2.c.(7). Zapateras	5-52
5.2.c.(8). Avance de la pega	5-52
5.2.c.(9). Proyecciones	5-53
5.2.c.(10). Cueles. Cálculos y esquemas	5-54
5.2.c.(10).(a). Generalidades	5-54
5.2.c.(10).(b). Cueles de barrenos paralelos	5-54
5.2.c.(10).(c). Cueles en cuña	5-57
5.3. Posibilidades de los ingenios de perforación ..	5-57
5.3.a. Ahoyador	5-57
5.3.b. Motocompresor	5-59
5.3.c. Martillo automotor	5-60
5.3.d. Otro material de perforación	5-61
5.3.d.(1). Martillo de mano	5-62

Páginas

CARGAS PREFABRICADAS Y DE EXPLOSIÓN DIRIGIDA

CAPÍTULO 7

7.1.	Destrucción de edificios	7-1
7.1.a.	Destrucción de fachadas	7-2
7.1.b.	Edificios de planta circular	7-2

		Páginas
7.1.c.	Edificios a prueba	7-2
7.1.d.	Destrucción de edificios con caída controlada	7-3
7.1.e.	Destrucción de elementos estructurales con caída controlada	7-4
7.1.e.(1).	Cimentaciones	7-4
7.1.e.(2).	Muros de mampostería y hormigón	7-4
7.1.e.(3).	Pilares	7-5
7.1.e.(4).	Losas	7-5
7.1.e.(5).	Cubiertas	7-5
7.1.e.(6).	Torres y chimeneas	7-5
7.1.e.(7).	Vigas	7-6
7.1.e.(8).	Puentes	7-7
7.2.	Destrucción de abrigos	7-7
7.3.	Destrucción de túneles	7-7
7.3.a.	Cálculo de las cargas	7-8
7.4.	Destrucción de carreteras	7-9
7.4.a.	Cálculo de las cargas	7-10
7.4.b.	Explanación a media ladera	7-10
7.4.c.	Explanación en terraplén	7-12
7.4.d.	Explanaciones en desmonte	7-14
7.4.e.	Explanaciones con pavimentos de hormigón	7-14
7.5.	Destrucciones diversas	7-15
7.5.a.	Destrucción de puertas y barreras	7-15
7.5.b.	Material fijo ferroviario	7-16
7.5.c.	Material móvil ferroviario	7-18
7.5.d.	Alambradas	7-18
7.5.e.	Armamento y material de artillería	7-19
7.5.f.	Proyectiles de artillería	7-20
7.5.g.	Depósitos superficiales	7-21
7.5.h.	Depósitos enterrados	7-21
7.5.i.	Vehículos	7-22
7.5.j.	Aviones	7-22
7.5.k.	Helicópteros	7-22
7.5.l.	Embarcaciones	7-22
7.5.m.	Infraestructura de telecomunicaciones	7-23
7.5.n.	Hielo	7-23

		Páginas
7.6.	Creación de obstáculos	7-24
7.6.a.	Embudos en vías de comunicación	7-24
7.6.b.	Barricadas	7-25
7.6.c.	Talas	7-25
7.6.d.	Foso contracarro	7-25

CAPÍTULO 8

DESTRUCCIÓN DE PUENTES

8.1.	Normas generales	8-1
8.2.	Tipos de puentes	8-2
8.3.	Puentes fijos	8-2
8.4.	Destrucción de soportes de puentes fijos	8-3
8.4.a.	Estribos	8-3
8.4.b.	Soportes intermedios	8-5
8.4.b.(1).	Pilas de hormigón y mampostería	8-5
8.4.b.(2).	Cálculo de las cargas	8-9
8.4.b.(2).(a).	Cargas en el interior	8-9
8.4.b.(2).(b).	Cargas adosadas	8-11
8.4.b.(3).	Tipos de pilas y elección de cargas	8-12
8.4.b.(3).(a).	Lámina 8.1	8-12
8.4.b.(3).(b).	Lámina 8.2	8-13
8.4.b.(3).(c).	Lámina 8.3	8-13
8.4.b.(3).(d).	Lámina 8.4	8-13
8.4.b.(3).(e).	Lámina 8.5	8-18
8.4.b.(3).(f).	Lámina 8.6	8-18
8.4.b.(3).(g).	Lámina 8.7	8-18
8.4.b.(3).(h).	Lámina 8.8	8-18
8.4.b.(4).	Destrucción de pilas de madera	8-23
8.4.b.(5).	Destrucción de pilas metálicas	8-23
8.5.	Destrucción de estructuras de puentes fijos. ...	8-23
8.5.a.	Puentes de madera	8-23
8.5.b.	De vigas de acero o perfiles laminados	8-25
8.5.c.	De vigas de acero-hormigón (mixtas)	8-26
8.5.d.	De losas de hormigón armado	8-26

		Páginas
8.5.e.	De vigas de hormigón armado y pretensado ..	8-27
8.5.f.	De vigas tubulares de hormigón y de vigas cajón	8-28
8.5.g.	De vigas metálicas de celosía	8-29
8.6.	Colocación de las cargas en puentes fijos	8-31
8.6.a.	Puentes de tramo simple (biapoyados)	8-32
8.6.a.(1).	Destrucción parcial	8-32
8.6.a.(2).	Destrucción total	8-32
8.6.b.	Puentes de tramos continuos	8-33
8.6.c.	Puentes de tramos en voladizo (cantilever)	8-35
8.6.d.	Puentes de arco	8-36
8.6.d.(1).	Puentes de arco de mampostería y hormigón en masa	8-36
8.6.d.(1).(a).	Cargas colocadas en la clave	8-38
8.6.d.(1).(b).	Cargas colocadas en los riñones	8-40
8.6.d.(1).(c).	Cargas colocadas en los arranques	8-40
8.6.d.(2).	Puentes de arco de estructura de hormigón armado	8-41
8.6.d.(3).	Puentes de arcos de acero	8-41
8.6.e.	Puentes colgantes y atirantados	8-42
8.6.f.	Puentes móviles	8-43
8.6.f.(1).	Puente de tramos giratorios	8-44
8.6.f.(2).	Puente basculante	8-44
8.6.g.	Puentes flotantes	8-45

CAPÍTULO 9

MANIPULACIÓN, CONSERVACIÓN, ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y DESTRUCCIÓN DE MATERIAL EXPLOSIVO

9.1.	Generalidades	9-1
9.2.	Reglas de seguridad en el manejo	9-1
9.2.a.	Generales	9-1
9.2.b.	Mecha pirotécnica	9-3
9.2.c.	Detonadores pirotécnicos	9-3

		Páginas
9.2.d.	Detonadores eléctricos	9-4
9.2.e.	Explosivos	9-6
9.3.	Entrega y recepción	9-6
9.4.	Conservación y almacenamiento	9-6
9.4.a.	Glosario de términos	9-7
9.4.b.	Grupos de riesgo	9-8
9.4.b.(1).	Generalidades	9-8
9.4.b.(2).	Definiciones de los grupos de riesgo	9-8
9.4.c.	Grupos de compatibilidad	9-10
9.4.c.(1).	Principios generales	9-10
9.4.c.(2).	Clasificación	9-11
9.4.c.(3).	Notas sobre los grupos de compatibilidad	9-12
9.4.c.(4).	Almacenamiento mixto	9-12
9.4.d.	Esquema de clasificación de explosivos	9-13
9.5.	Generalidades sobre distancias de seguridad ..	9-13
9.5.a.	Condiciones de almacenamiento de los depósitos provisionales y de campaña	9-14
9.6.	Transporte	9-15
9.7.	Destrucción del explosivo	9-16
9.7.a.	Métodos	9-16
9.7.b.	Responsabilidades	9-17
9.7.c.	Normas	9-17
9.7.c.(1).	Destrucción por explosión	9-19
9.7.c.(2).	Destrucción por combustión	9-20
9.7.c.(3).	Destrucción por disolución	9-21
9.7.c.(4).	Destrucción del cordón detonante	9-21
9.7.c.(5).	Destrucción de detonadores	9-22

CAPÍTULO 10

FICHA DE OBSTÁCULO Y ÓRDENES DE DESTRUCCIÓN

10.1.	Ficha de Obstáculo (Stanag 2123)	10-1
10.2.	Órdenes de Destrucción (Stanag 2017)	10-14
10.2.a.	Acuerdo	10-14

		Páginas
10.2.b.	Generalidades	10-14
10.2.c.	Procedimiento	10-15
10.2.d.	Transferencia de una destrucción	10-16
10.2.e.	Instrucciones para la preparación de la orden de destrucción	10-17

ANEXO A

ÓRDENES PARA EL JEFE
DEL DESTACAMENTO DE PROTECCIÓN

ANEXO B

ÓRDENES PARA EL JEFE DEL EQUIPO DE DESTRUCCIÓN

ANEXO C

FORMATO DE LA ORDEN DE DESTRUCCIÓN

ANEXO D

TRANSFERENCIA DE LA DESTRUCCIÓN

APÉNDICE I

RELACIÓN DE ABREVIATURAS, SIGNOS
Y TÉRMINOS UTILIZADOS

APÉNDICE II

BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO 1

EXPLOSIVOS

1.1. DEFINICIONES

1.1.a. SUSTANCIA EXPLOSIVA

Es toda especie química o mezcla de especies químicas cuya combinación o descomposición da lugar a un brusco desprendimiento de la energía química acumulada en el sistema que forman.

En una sustancia explosiva se pueden encontrar dos tipos de componentes: los ingredientes y los correctores.

Los *ingredientes* son aquellos productos, explosivos o no, que, solos o mezclados, forman una sustancia explosiva. Pueden ser especies químicas explosivas, como la trilita o el hexógeno, o especies químicas no explosivas con carácter oxidante o reductor, como el nitrato potásico y el aluminio.

Los *correctores* son aquellos productos cuyo objeto fundamental es modificar alguna propiedad de los ingredientes o de su mezcla, tal como la estabilidad, la sensibilidad, la velocidad de combustión, el color, etc., sin que su misión sea la de actuar sobre el poder explosivo.

1.1.b. MEZCLA EXPLOSIVA

Es toda sustancia explosiva en cuya composición entra a formar parte más de un ingrediente, los cuales pueden separarse por procedimientos físicos.

1.1.c. EXPLOSIVO

Un explosivo es un compuesto determinado o una mezcla de cuerpos que, por la influencia de una excitación conveniente, puede sufrir una descomposición muy rápida que se propaga con formación de productos más estables, liberación de calor y creación local de una alta presión, como consecuencia de la influencia del calor sobre los gases producidos o vecinos.

Un explosivo puede ser *sólido*, como la trilita; *líquido*, como la nitroglicerina, o *gaseoso*, como el acetileno.

Los explosivos militares son, en general, sólidos o están constituidos por mezclas dosificadas de tal forma que a temperatura ordinaria se presentan bajo forma de sólidos, a veces deformables como el explosivo plástico.

1.1.d. DETONACIÓN

Es la transformación, en un tiempo extremadamente corto, de un explosivo, con producción de grandes cantidades de calor y un volumen de gas considerable, acompañado de ruido y efectos mecánicos violentos.

El volumen y temperatura de los gases dependen de la composición química del explosivo.

Los efectos mecánicos, que es el fin que se persigue, dependen de la velocidad de detonación del explosivo.

La velocidad de detonación depende de la naturaleza, densidad y grado de compresión del explosivo.

Los efectos mecánicos violentos consisten en:

- Rotura de aquello que se encuentre dentro del radio de acción en el que las presiones sean lo suficientemente altas y proyección de los fragmentos de estas roturas.
- Igualmente causa la muerte o lesiones graves a las personas que estén sometidas a dichas presiones con suficiente intensidad.
- En cuanto al ruido, también puede originar lesiones en las personas, tales como rotura de tímpano y otras.

Para que puedan producirse las diversas transformaciones anteriormente detalladas, es preciso que concurren determinadas circunstancias que permitan su iniciación.

Aun cuando puede darse el caso de que esta iniciación sea espontánea, generalmente se necesita una excitación exterior que haga entrar en reacción, cuando interese, al explosivo; es lo que se llama “iniciar” un explosivo.

Cualquier acción iniciadora efectuada sobre el explosivo (roce, rozamiento, fuego, onda explosiva, etc.) se transforma en calor, siendo éste, pues, el verdadero iniciador, que hace alcanzar al explosivo la temperatura adecuada (temperatura de detonación) para entrar en reacción.

1.1.e. PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS

Los factores que determinan el carácter de un explosivo son tres:

- **Sensibilidad.** Es la facilidad que presenta un explosivo para desarrollarse en régimen de detonación debido a causas externas. Se puede definir también como el mayor o menor grado de energía que necesita que se le comunique para que se produzca su explosión.

Disminuye, en general, con la compresión, humedad y especialmente si se mezcla el explosivo con alguna sustancia líquida o viscosa inerte que hace de envoltura protectora (flegmatizar).

La sensibilidad no siempre es la misma, ya que dependerá de la causa externa que consideremos; así, se tomará con respecto al detonador (mínima masa de explosivo iniciador necesaria para asegurar su reacción completa), al choque, al rozamiento, al impacto de bala, a la temperatura, a la llama, a la chispa, a la mecha, al hierro candente, a la explosión, etc.

- **Potencia.** Es la capacidad que tiene un explosivo para producir un trabajo. Nos da idea de los efectos mecánicos que podemos obtener de él. Podría definirse también como el efecto mecánico producido por la reacción explosiva.

- **Estabilidad.** Es la tendencia o facilidad de un explosivo para conservar su constitución química inalterada, tanto ante agentes externos como internos.

Los agentes pueden ser químicos o físicos como el calor, el frío, la humedad, la congelación, etc. Existe otra clase de estabilidad, que es la balística, la cual se aplica sólo a las pólvoras.

Las pérdidas de estabilidad se pueden dar por almacenamientos prolongados en locales con mala ventilación y condiciones adversas de humedad y temperatura. La falta de estabilidad repercute en el explosivo modificando algunas de sus propiedades, como la velocidad de detonación, sensibilidad al choque y onda expansiva, resistencia al agua, etc.

Los explosivos de consistencia frágil son estables, más que los plásticos y mucho más que las dinamitas, que son muy peligrosas por las exudaciones de nitroglicerina.

Además de estos tres factores determinantes hay que considerar otras propiedades importantes de los explosivos que influyen en los anteriores, así como en la adecuada elección y empleo del explosivo para cada misión. Estas propiedades son:

- **Densidad de la carga explosiva.** Se llama *densidad absoluta real* o peso absoluto de un explosivo, al peso de 1 cm³ del mismo, puro y cristalizado sin intersticio alguno del aire, expresado en gramos. Ésta es la máxima densidad, densidad de cristal, que puede tener un explosivo.

Se denomina *densidad de carga* a la relación que existe entre el peso del explosivo y el volumen del recipiente en que se verifica la explosión (recámara del arma, barrenos, bombas). Es prácticamente imposible que la densidad de una carga efectuada por compresión con un explosivo más o menos pulverulento o fundido, alcance el valor de la densidad absoluta o densidad de cristal, pues para ello serían necesarias altas presiones.

Densidad gravimétrica es el peso de 1 litro de explosivo en condiciones normales.

La importancia de la densidad del explosivo, y en consecuencia de la densidad de carga (que, a igualdad de las características, depende de aquélla), es muy grande.

Densidad de encartuchado es el peso de explosivo por volumen de encartuchado. En densidades menores a 1, los cartuchos flotan en el agua.

- **Energía potencial o calor de detonación.** La energía potencial es el trabajo máximo que teóricamente pueden realizar los gases procedentes de la explosión, que es el equivalente mecánico del calor de explosión a volumen constante.
- **Temperatura de explosión.** Se denomina temperatura de explosión la que alcanzan los gases de la explosión por efecto del calor liberado en la misma. Las temperaturas de explosión de los explosivos rompedores están comprendidas entre los 2.000 °C y los 8.000 °C, lo que se manifiesta en el color de la llama producida. En una detonación de 2.800 °C es rojiza; en cambio, la de la panclastina, cuya temperatura de detonación es de 8.000 °C, es blanca deslumbrante.
- **Velocidad de detonación.** La velocidad de detonación, junto con la densidad de carga y la energía potencial, es uno de los principales factores de que depende la fuerza destructora de un explosivo, denominada corrientemente *poder rompedor*, y es la característica más típica e impresionante de los explosivos. Se mide en m/s, y significa la rapidez con que la onda de detonación, o sea, la descomposición violenta del explosivo, se propaga en la masa de éste.

La velocidad de detonación de los explosivos más utilizados está comprendida entre los 2.000 y los 8.000 m/s, denominándose explosivos *ultrarompedores* o *nobles* los que tienen una velocidad de detonación superior a 7.000 m/s (correspondiente ésta a la del ácido pícrico o trinitrofenol).

La velocidad de detonación no es constante para un mismo explosivo, sino que tiene variaciones por causa de diversos factores: densidad, diámetro del cartucho e intensidad de la iniciación.

En las especies químicas definidas, puras y cristalizadas, la velocidad de detonación es máxima al hacerse máxima su densidad. Por el contrario, en las mezclas explosivas con nitrato amónico y adiciones coloides, la máxima velocidad se presenta entre una densidad media y otra superior, rebasada la cual, la velocidad desciende.

En cuanto al diámetro del cartucho, la propagación segura, uniforme y máxima de la detonación requiere, en cada explosivo, un espesor mínimo del cartucho, a partir del cual la velocidad de detonación se va haciendo cada vez más lenta hasta llegar a extinguirse. Este diámetro se llama *diámetro crítico* y es una característica de cada explosivo.

Respecto a la intensidad de la iniciación, si ésta no es la suficiente, puede suceder que la velocidad de detonación no tome el valor máximo, al menos en las primeras fracciones del explosivo. Una forma de aumentar la velocidad de detonación de un explosivo es aplicar el fenómeno de la multiplicación medular o de remolque de ondas, que consiste en atravesar en sentido longitudinal un petardo o carga alargada de explosivo de velocidad de detonación relativamente pequeña, con un multiplicador medular de un explosivo noble; la detonación pasa por este multiplicador con su gran velocidad, y todas y cada una de sus secciones rectas se convierten en focos de iniciación del explosivo lento, en el que la onda avanza en dirección perpendicular un espacio muy corto, por lo cual la duración de la explosión del petardo o carga es prácticamente la misma del multiplicador.

Como la potencia de un explosivo aumenta con la velocidad de detonación, es la multiplicación medular un buen procedimiento para obtener explosiones potentísimas con explosivos que de por sí no lo son, por su pequeña velocidad de detonación.

- **Tamaño y duración de la llama.** Estas características tienen interés en razón de que se desee o no producir incendios de materiales circundantes al explosivo. La facilidad de incendio es directamente proporcional al tamaño y duración de la llama, por lo que según los propósitos se emplearán diferentes explosivos, conociendo el valor de esas características.

Mediante la fotografía se han hecho precisas determinaciones. El ácido pícrico da llamas de 2 m; la pólvora negra, de 1,5 m, y los explosivos de seguridad contra el grisú, de menos de 0,1 m.

- **Resistencia al agua.** El comportamiento de los explosivos ante la humedad varía sensiblemente con su composición. A medida que aumenta la proporción de sales oxidantes disminuye la resistencia al agua, especialmente en el caso del nitrato amónico, por ser este producto muy higroscópico. Por el contrario, proporciones crecientes de nitroglicerina o la presencia de aditivos especiales en la composición del explosivo, contribuyen a mejorar su resistencia al agua debido al efecto impermeabilizante de dichos productos. Por esta razón las gomas y los hidrogeles se comportan mucho mejor en ambientes húmedos o bajo agua que los explosivos pulverulentos. No obstante, estos últimos pueden mejorar considerablemente su resistencia al agua con ciertos aditivos.
- **Resistencia a las bajas temperaturas.** Los explosivos que contienen nitroglicerina tienden a congelarse a temperaturas inferiores a 8 °C. Para evitar este inconveniente, que puede hacer su manejo muy peligroso, llevan una determinada proporción de nitroglicol, que hace que su punto de congelación sea inferior a -20 °C.
- **Humos.** Se designa con esta palabra al conjunto de los productos resultantes de la explosión, entre los que se encuentran gases, vapor de agua y productos sólidos finamente divididos.

Si los humos contienen gases nocivos, como monóxido de carbono o vapores nitrosos, su empleo subterráneo puede ocasionar molestias o intoxicaciones graves al personal, por lo que sólo se recomienda el uso de tales explosivos en trabajos a cielo abierto. Para los trabajos subterráneos la composición del explosivo debe tener una proporción suficiente de oxígeno capaz de asegurar una combustión completa. Un explosivo con exceso de oxígeno se denomina sobreoxigenado, lo que favorece la eliminación del monóxido de carbono que puede producirse en los gases de explosión a alta temperatura. Sin embargo, un balance de oxígeno excesivamente positivo tiende a formar vapores nitrosos, igualmente peligrosos.

Algunas de las características de los explosivos más comunes se reflejan en la tabla 1.1, en la página siguiente.

TABLA 1.1. Características de los explosivos

EXPLOSIVOS	VELOCIDAD DE DETONACIÓN	DENSIDAD	PODER ROMPEDOR RELATIVO	INFLAMACIÓN	SENSIBILIDAD				GASES PRODUCIDOS
					AL CHOQUE	A LA FRICCIÓN	A LA HUMEDAD	A LA DETONACIÓN	
Algodón pólvora	6.950	1.3		Arde sin detonar	Muy sensible estando seco	Muy sensible estando seco	Higroscópico	Húmedo, muy insensible	Tóxico
Amonal	4.660	1.2	0.4		Insensible	Insensible	Muy higroscópico		
Chedita	3.800	1.8 a 1.9	1.4	Fácilmente inflamable	Sensible	Muy sensible	Higroscópico	Reducida a baja temperatura	No lóxico
Dinamita	7.500-7.600	1.5 a 1.6	1.10	Detona a 150°C	Sensible	Sensible	Sensible		Tóxico
Dinamita goma	7.600-7.800	1.5 a 1.6	1.40	Detona a 180°C	Sensible	Sensible	Poco sensible	Sensible	Tóxico
Hexógeno	8.300	1.5 a 1.75	1.90	Arde sin detonar	Poco sensible	Insensible	No higroscópico		Tóxico
Fulminato de Hg	5.400	3.5 a 4	0.80	Muy sensible	Muy sensible	Muy sensible	Muy sensible	Muy sensible	Tóxico
Nitruro de Pb	5.400	4 a 4.6	0.80	Detona	Muy sensible	Muy sensible	Sensible	Muy sensible	Tóxico
Plásticos	7.500-7.800	1.5	1.30	Arde sin detonar	Ninguna	Insensible	Insensible	Poca	Tóxico
Pentrita	8.180	1.5 a 1.74	1.50	Arde difícilmente	Poco sensible	Poco sensible	Insensible	Sensible	Tóxico
Picrinita	7.050	1.63	0.50	Arde sin detonar	Poco sensible	Poco sensible	Sensible	Sensible	Tóxico
Pólvora negra	400	1.2 a 1.7	0.50	Detona	Sensible	Sensible	Muy sensible	Sensible	Tóxico
Terralita	7.600	1.73	1.20	Arde sin detonar	Insensible	Insensible	Insensible	Sensible	Tóxico
Trilita	6.900	1.5 a 1.63	1.00	Arde sin detonar	Insensible	Insensible	Insensible	Poca	Tóxico

1.1.f. DESCOMPOSICIÓN DE LAS SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

La descomposición puede desarrollarse según cuatro procesos diferentes:

- **Descomposición térmica:** Es el fenómeno resultante de la acción prolongada del tiempo sobre los explosivos, combinada con la temperatura, los agentes atmosféricos, las impurezas, etc., los cuales pueden producir una alteración más o menos pronunciada que se manifiesta por la pérdida de estabilidad, por la exudación, por la variación de sensibilidad y por otras, que pueden llegar a ocasionar accidentes o inutilidad. Lo presentan en general todos los explosivos, aunque en grado muy variable.
- **Combustión ordinaria:** La combustión ordinaria es una reacción viva de oxidación, con emisión de luz y calor, que se propaga con velocidad moderada por conductividad térmica.
- **Deflagración:** La deflagración es una combustión acelerada por un crecimiento local de la presión y la temperatura. La velocidad de transformación es menor de 2.000 m/s.
- **Detonación:** La detonación es un fenómeno explosivo que se propaga a muy alta velocidad por el mecanismo de la onda explosiva, en el que se asocian un fenómeno físico (onda de choque) y un fenómeno químico (reacciones de descomposición u oxidación), manteniendo un fenómeno al otro. La velocidad de transformación es mayor de 2.000 m/s.

La combustión y la deflagración pertenecen, en general, al campo de la balística interior. Los compuestos o mezclas deflagrantes se llaman comúnmente *pólvoras*, y su empleo en los dispositivos de destrucción no puede ser más que excepcional: la energía se libera en un tiempo relativamente largo, el efecto es progresivo y produce una presión sin choque.

Por el contrario, la detonación libera una gran cantidad de energía en un tiempo corto y produce efectos de destrucción sobre los medios que lo rodean.

Solamente los explosivos detonantes se tomarán en consideración en estas Orientaciones.

1.1.g. CATEGORÍAS DE CUERPOS EXPLOSIVOS

El origen del desprendimiento de calor producido en la descomposición rápida de una sustancia explosiva permite distinguir dos categorías de cuerpos explosivos:

- **Compuestos endotérmicos:** No contienen oxígeno; en ellos el desprendimiento de calor sólo tiene por origen la descomposición de la molécula en sus elementos. Éste es el caso del nitruro de plomo.
- **Mezclas y compuestos exotérmicos:** Comprenden elementos comburentes asociados con elementos combustibles, para los que el desprendimiento de calor tiene por origen una reacción química de oxidación; es el caso de la mayor parte de los explosivos que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno ligados al nitrógeno bajo forma de radicales; en los productos de detonación, el nitrógeno se encuentra libre, mientras que el carbono y el hidrógeno se han oxidado; el desprendimiento de calor corresponde a la diferencia que existe entre los calores de formación de los productos de la detonación y la del explosivo inicial.

La mayoría de los explosivos industriales pertenecen a esta segunda categoría. Ciertas descomposiciones de mezclas o compuestos de formación endotérmica que comprende elementos comburentes asociados a elementos combustibles pueden también ir seguidas de reacciones con desprendimiento de energía. Es el caso del fulminato de mercurio, en el que los elementos puestos en libertad durante la descomposición dan lugar, a continuación, a descomposiciones por combustión del óxido de carbono.

1.2. CLASIFICACIONES DE LAS SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

1.2.a. DESDE EL PUNTO DE VISTA DE SU COMPORTAMIENTO EN CONTACTO CON EL HIERRO AL ROJO

Se clasifican en explosivos primarios y secundarios:

- **Explosivos primarios o de cebado:** Son los que adquieren muy rápidamente el régimen detonante en contacto con un hierro al rojo; prácticamente no pueden hacer otra cosa que detonar.

- **Explosivos secundarios:** Son los que deflagran en contacto con un hierro al rojo; no pueden detonar más que cuando se ceban convenientemente (onda de choque); la onda de choque inicial la proporciona generalmente una pequeña cantidad de explosivo primario; puede crearse accidentalmente por un choque mecánico violento (impacto de bala de fusil), por aceleración o, en ciertas condiciones de confinamiento (masa importante o recipiente resistente), por una autocombustión, etc.

1.2.b. DESDE EL PUNTO DE VISTA DE SU EMPLEO

Se clasifican en explosivos propulsores, iniciadores y rompedores:

- **Explosivos propulsores o progresivos:** Normalmente se descomponen por deflagración. Por tener una velocidad de descomposición suficientemente lenta y regulable, se emplean en las cargas de proyección de las armas y en la confección de mecha lenta.
- **Explosivos iniciadores:** Son aquellas sustancias explosivas o mezclas que entran en régimen de detonación mediante una pequeña acción física, que puede ser mecánica, térmica, etc.
Comprenden este grupo los explosivos y mezclas que se emplean en artificios, cápsulas, estopines, detonadores, etcétera.
- **Explosivos rompedores:** Normalmente se descomponen por detonación. Su elevado poder rompedor los hace apropiados para confección de petardos, cargas explosivas de proyectiles, etc.

1.2.b.(1). Clasificación de los explosivos progresivos:

- Pólvoras negras.
- Pólvoras sin humo:
 - De simple base.
 - De doble base.
 - De triple base.
 - Esferoides.

1.2.b.(2). Clasificación de los explosivos iniciadores:

- Especies químicas explosivas.
- Mezclas explosivas.

1.2.b.(3). Clasificación de los explosivos rompedores:

- Especies químicas explosivas.
- Mezclas explosivas.

1.3. EXPLOSIVOS PROPULSORES

Aquellas mezclas explosivas que se transforman con una velocidad relativamente pequeña (400-600 m/s) y cuya descomposición presenta los caracteres de una combustión o deflagración más o menos rápida, son conocidas en general con el nombre de pólvoras y tienen su aplicación como explosivos de propulsión o proyección.

Muchas veces se emplea la fuerza viva de los gases para producir la rotura en cierto modo lenta, y así ocurre, por ejemplo, en las pólvoras de mina, y aun con las pólvoras ordinarias de guerra, que empleadas con atraque producen por presión la rotura o resquebrajamiento del medio resistente que las rodea.

1.3.a. PÓLVORAS NEGRAS

Composición: Nitrato potásico, carbón vegetal y azufre.

Siendo los dos primeros componentes fundamentales y el azufre complementario. El carbón es el combustible y el nitrato potásico el comburente. El azufre aporta las siguientes ventajas: actúa como cemento que aglutina la mezcla, impermeabiliza la mezcla y da regularidad a la combustión. La pólvora negra de guerra lleva 75 por 100 de nitrato potásico, 15 por 100 de carbón y 10 por 100 de azufre. Las pólvoras de minas, 62 por 100 de nitrato potásico, 18 por 100 de carbón y 20 por 100 de azufre. Éstas se fabrican en diferentes tipos, siendo los principales los siguientes: de mina núm. 1, para lugares húmedos; de mina núm. 2, para lugares secos, y de mina comprimida

en cartuchos. La pólvora de mina no es reglamentaria ni conveniente, en general, para los usos militares; tiene su mejor empleo en los trabajos de explotación de canteras. Es muy lenta y más débil que la de guerra, y aunque menos higroscópica es más inflamable y de manejo más peligroso por la mayor proporción de azufre y carbón que contiene.

La pólvora de guerra debe tener un color homogéneo, grisáceo más o menos brillante. El color azulado o negro es indicio de que la pólvora está húmeda o de que contiene carbón en exceso. Los puntos blancos indican florescencias de salitre, que hace defectuosa la pólvora.

Los granos serán duros; no deberán deshacerse ni agruparse al apretarlos entre los dedos. No debe desprender "polvorín" (polvillo fino de pólvora) al hacerla resbalar por la mano.

La buena pólvora no debe teñir el papel al resbalar sobre él y después de arder; no debe dejar mancha ni partículas de escoria. Es sensible al rozamiento y a la percusión y se inflama fácilmente. La pólvora no detona, sino que tan sólo arde con rapidez (deflagra), y su velocidad de combustión llega, como máximo, a los 400 m/s. Es muy higroscópica y los gases de la explosión son tóxicos.

Se utiliza para fabricar las mechas lentas u ordinarias en hornillos, en el terreno y en barrenos para la destrucción de roca. Su utilización como explosivo exige sólidos atraques.

Las pólvoras negras cloratas se obtienen sustituyendo el nitrato potásico (NO_3K) por el clorato potásico (ClO_3K_2), obteniéndose una pólvora más potente, menos higroscópica y más fácil de iniciar, con el inconveniente del peligro en su elaboración, tornándose muy sensible al roce, golpe, llama, etc.

1.3.b. PÓLVORAS SIN HUMO

Son productos químicos de elevada energía empleados para producir la impulsión de todo tipo de proyectiles en las armas convencionales.

Están formadas por sustancias gelatinizadas cuyo elemento base es la nitrocelulosa, a la que se agregan otra serie de aditivos cuya finalidad es mejorar su estabilidad, propiedades mecánicas, características balísticas, etc.

Estos productos se fabrican por laminación o extrusión, operación en la cual se logra su completa gelatinización, a la vez que se les da la forma volumétrica adecuada a cada uso específico, bien en láminas cuadradas, bien en granos cilíndricos con una o varias perforaciones axiales.

Su combustión se realiza en capas paralelas con una velocidad constante dependiente de la presión, pudiendo modificarse en determinados casos mediante tratamientos superficiales específicos.

Combinando la forma geométrica, es decir, la superficie de combustión, con la composición química y con el tratamiento superficial, se puede modificar a voluntad la progresividad de combustión de las pólvoras.

Las pólvoras sin humo se pueden dividir, atendiendo a su composición y a su utilización balística, en los siguientes grupos:

- De simple base.
- De doble base
- De triple base.
- Esferoidales.

1.3.b.(1). **Pólvoras de triple base**

Esta clase de pólvoras, además de los elementos fundamentales ya citados, pueden incluir en su composición 2,4 dinitrotolueno, con objeto de reducir su temperatura de combustión y evitar erosiones excesivas en el tubo del cañón.

Todas estas pólvoras se venden envasadas a granel o en forma de cargas de proyección.

1.3.b.(2). **Pólvoras de doble base**

Se diferencian fundamentalmente de las pólvoras de simple base en que, con el fin de aumentar su contenido energético, se les incorpora a su composición la nitroglicerina.

Su proceso de fabricación y el resto de sus componentes son similares a los de las pólvoras de simple base, aunque, en este caso concreto, tiene especial importancia el posible empleo de aditivos balísticos con el fin de modificar su ley de combustión.

Estas pólvoras se emplean en diversos tipos de munición y calibres, tanto en morteros como en cañones y en lanzagranadas.

Se venden envasadas a granel y se emplean en cargas de proyección de morteros: cartuchos y suplementos.

1.3.b.(3). Pólvoras de triple base

Son pólvoras frías, de bajo poder de erosión, compuestas generalmente a base de nitrocelulosa, nitroglicerina y nitroguanidina, con los que se aumenta apreciablemente la vida útil del arma.

Este tipo de pólvoras es aconsejable en los modernos cañones de tiro rápido, y en los usados en vehículos armados en los que el problema del fognazo en la recámara tiene una especial importancia.

Con el empleo de la nitroguanidina se eliminan casi totalmente los fognazos tanto en la boca como en la recámara del cañón del arma, así como el humo.

1.3.b.(4). Pólvoras esféricas

Son pólvoras de simple o doble base cuya producción se realiza en dispersión acuosa, lo que les confiere una gran seguridad durante el proceso de fabricación.

En algunos casos, los gránulos de pólvora esférica se someten a un proceso de laminado con el fin de aumentar su vivacidad.

Su aplicación está restringida a la munición de las armas de pequeño calibre, comprendido entre 5,56 y 20 mm.

1.4. EXPLOSIVOS INICIADORES

1.4.a. ESPECIES QUÍMICAS

Componen este grupo aquellos explosivos que, por su violenta detonación, son capaces de producir la de los explosivos de los otros grupos. Los explosivos iniciadores deben unir, a su violencia, una sensibilidad no excesiva, por cuya razón se emplean únicamente mezclados con otros cuerpos.

Los explosivos incluidos en este grupo no se almacenan ni transportan mas que ya confeccionados en cápsulas fulminantes o detonantes (cebos), formando parte de los artificios de los cuales son elementos componentes. Los artificios se almacenan siempre con independencia de cualquier otro explosivo, excepto los que forman parte de los disparos completos.

Los principales explosivos componentes de este grupo son el fulminato de mercurio y el nitruro de plomo.

Fulminato de mercurio

Este explosivo de iniciación es la sal resultante de la reacción del alcohol sobre el nitrato ácido de mercurio $[\text{Hg}(\text{CNO})_2]$.

Se presenta en forma de polvo cristalino, de color blanco ligeramente amarillento y sabor dulce. Es venenoso y muy sensible al choque y al rozamiento, especialmente si está seco; su manipulación es peligrosa y detona con facilidad.

Cuando está húmedo se descompone lentamente, y si además se encuentra en contacto con metales, como el cobre, del que pueden estar formadas las vainas de los cebos o cápsulas, forma el fulminato cúprico, mucho más insensible al choque, lo que explica el fallo del cebo.

Se emplea sólo o mezclado. La mezcla con el 15 al 20 por 100 de clorato potásico, por resultar más barata y más enérgica, es, por lo general, más aceptada que el fulminato puro.

Constituye la carga de los cebos eléctricos y cápsulas ordinarias. Las cápsulas para espoletas contienen una mezcla compuesta de clorato potásico, sulfuro de antimonio y fulminato de mercurio.

Nitruro de plomo

Se obtiene por reacción del nitruro sódico sobre el nitrato de plomo $[\text{Pb}(\text{N}_3)_2]$.

Tiene el aspecto de polvo cristalino blanco, es poco soluble en el agua y venenoso, y aunque haya absorbido mucha humedad, detona enérgicamente. Es poco sensible a los cambios de temperatura, tiene gran estabilidad y es sensible a los choques y rozamientos, si bien en grado menor que el fulminato de mercurio.

Ataca al cobre de las vainas de los cebos, y el nitruro de cobre que se forma es de gran sensibilidad y de peligroso manejo, por lo que es aconsejable cargar el nitruro con cebos cuyas vainas sean de aluminio.

Si está comprimido, tiene poder rompedor muy grande.

Se emplea en cebos y cápsulas.

Trinitrorresorcinato de plomo

Se presenta en cristales de color naranja oscuro, con gran sensibilidad térmica.

Posee un relativamente pequeño poder iniciador, por lo que se suele usar mezclado con otros iniciadores.

Es insoluble en agua y se emplea en mezclas para la fabricación de cápsulas y detonadores.

1.4.b. MEZCLAS INICIADORAS

Generalmente, los explosivos iniciadores no suelen emplearse solos, sino mezclados con determinadas sustancias u otros explosivos, destinados a influir en alguna de sus características.

Uno de estos cuerpos es el clorato potásico, sustancia de color blanco altamente sensible a las acciones mecánicas (roces, choques, etc.), por lo que es peligroso su manejo.

Una mezcla muy empleada es la compuesta por: fulminato de mercurio, clorato potásico, sulfuro de antimonio, goma laca y vidrio molido.

1.5. EXPLOSIVOS ROMPEDORES

1.5.a. GENERALIDADES

Son aquellos que se descomponen por detonación y que por su gran potencia producen grandes efectos rompedores, por lo que se emplean para destrucciones, bien en forma de cargas o petardos aplicados directamente, bien en proyectiles que inciden en el objetivo a destruir.

1.5.b. ESPECIES QUÍMICAS EXPLOSIVAS

Trilita

La trilita es el 2, 4, 6 trinitrotolueno, de fórmula química $C_6H_2-CH_3(NO_2)_3$, en sus calidades industriales. Se presenta en forma de escamas, polvo, cristales, etc., de color amarillo claro los grados I y II, y amarillo de cualquier matiz para el grado III. Se conoce por los nombres: trilita, TNT y tolita, en Francia; tritolo, en Italia; trotyl y trinol, en Alemania; también por tri, tutol y tritón.

La trilita de grado I se emplea para aplicaciones que exigen un alto grado de pureza; la de grado II, para carga de proyectiles y confección de petardos, y la de grado III, exclusivamente para confección de petardos.

La trilita funde al baño María a 81 °C, propiedad que se aprovecha para la carga de proyectiles, que debe hacerse lentamente para evitar la formación de oquedades al solidificar y para favorecer la expulsión del aire. En proyectiles de gran capacidad es aconsejable cargar con trozos prensados de trilita y rellenar con trilita fundida para evitar la formación de dichas oquedades, que dan lugar a explosiones incompletas; esta carga debe hacerse en varias etapas, colocando capas de trozos de trilita prensada y rellenando los huecos con trilita fundida.

Posee gran estabilidad química y poca sensibilidad al choque y al rozamiento, por lo que puede manejarse sin peligro. Esta propiedad se aprovecha para serrar proyectiles cargados con trilita, con objeto de comprobar la no existencia de oquedades en su interior; no obstante, es aconsejable hacerlo en instalaciones de seguridad por si hubiese algún otro explosivo en su interior.

Arde sin explosionar, a no ser que se trate de grandes cantidades almacenadas. Los gases procedentes de la explosión son venenosos, por lo que no puede emplearse en la guerra subterránea ni en trabajos en galerías de mina. Su estabilidad aumenta considerablemente con el tiempo y las condiciones higrométricas, lo que hace necesario emplear multiplicadores para evitar que el petardo se trocee sin hacer explosión.

La trilita a granel se conservará siempre en sus envases de origen.

Debe evitarse su exposición a los rayos solares, ya que pueden ocasionarle alteraciones sensibles.

Es el mejor de los explosivos militares.

Se emplea como constituyente básico de multitud de mezclas explosivas.

Tetralita

La tetralita es la trinitro 2, 4, 6 fenil-metil-nitramina (tetranotrometil-anilina), de fórmula $(\text{NO}_2)_3 \text{C}_6\text{H}_2 (\text{NCH}_3) \text{NO}_2$, en sus calidades industriales. Presenta color amarillo. Se conoce con los nombres de tetralita, tetryl, pironite, CE y tetra.

Se clasifica en dos grados: la tetralita de grado I puede almacenarse; la de grado II debe emplearse inmediatamente.

Se utiliza para la carga de cebos, y con la trilita, en granadas y torpedos.

Tiene gran estabilidad química, aunque debe conservarse al abrigo de la luz, igual que la trilita.

Es poco sensible al choque, aunque más que la trilita, y es difícilmente inflamable. No hace explosión por incendio, a no ser que se halle almacenada en grandes cantidades.

Es tóxica y produce dermatosis si se la manipula en contacto directo con la mano.

Se comprime bien con máquina automática, lo cual permite prensarla sin peligro para formar cargas, como es su empleo normal.

Es un explosivo rompedor más potente que el ácido pícrico y la trilita.

Dado lo elevado de su punto de fusión, resulta peligroso fundirla; por eso se emplea prensada o disuelta en otro explosivo fundido, como la trilita.

Es muy sensible a la iniciación. Por su sensibilidad al cebo y por su potencia, se emplea mucho para multiplicadores y cebos.

Ácido pícrico

Es el trinitrofenol, de fórmula $(\text{NO}_2)_3 \text{C}_6\text{H}_2\text{OH}$ en sus calidades industriales. Es un sólido de color amarillo cristalino. Se conoce con los nombres de: trinitrofenol, ácido pícrico, picrina, pertita, lyddit, TNF y melinita.

Se emplea para carga de proyectiles y petardos y para trenes detonantes.

Ataca a los metales, formando peligrosos picratos. Por ello no debe ir en contacto con metal, sino separado de él por una buena capa de barniz. Por este motivo se ha restringido su uso y se emplea solamente, fundido o prensado, para cargas de destrucción y elaboración de petardos.

De los metales corrientes, el más estable frente al ácido pícrico es el estaño. Por eso se usa, siempre que sea preciso, el empleo de algún metal en su manejo, como en mechas rápidas, recipientes, etc.

El metal que da lugar a la formación de sales más peligrosas con el ácido pícrico, especialmente en presencia de humedad, es el plomo, hasta tal punto que el picrato de plomo es más sensible que el fulminato de mercurio.

Cristalizado o pulverizado detona bajo la acción de un choque violento o un detonador de fulminato; en cambio, fundido se hace insensible al choque y no detona más que bajo la influencia de un detonador potente.

Tetraleno

Es una mezcla de binitro, $C_{10}H_6(NO_2)_2$, y trinitronaftaleno, $C_{10}H_5(NO_2)_3$, con pequeñas cantidades de tetranitro y mononitronaftaleno en sus calidades industriales. Se presenta como un sólido terroso. Se le conoce con el nombre de tetraleno y se fabrica en Francia y España.

Se emplea para la confección de petardos denominados números 1, 2, 3, 4 y 5, de pesos 92 g, 92 g, 190 g, 450 g y 900 g, respectivamente, que van recubiertos por una envuelta de papel impermeabilizado.

Los petardos números 1 y 2, aunque tienen igual peso, se diferencian por su forma: el número 1 es un prisma de sección cuadrada, y el número 2 tiene, igual que los demás, sección rectangular.

Se emplea en agricultura por su bajo precio. Mezclado con trilita para facilitar su detonación. En mezclas, tetramones y tetramonales.

Es muy estable químicamente y poco sensible.

Nitroguanidina

Es el compuesto de fórmula $H_2NC(=NH)NHNO_2$ en sus calidades industriales. Se presenta como sólido cristalizado en agujas blancas. Se le conoce con los nombres de nitroguanilina, nigu, picrit y guanita.

Hexógeno

Es la ciclotrimetilentrinitamina simétrica, de fórmula $(\text{CH}_2\text{N}-\text{NO}_2)_3$ en sus calidades industriales. Se presenta en cristales blancos o polvo fino incoloro e inodoro. Se le conoce con los nombres de hexógeno y T4; en Estados Unidos, con el de cyclonite, y en Inglaterra, con el de RDX.

Se emplea:

- Como explosivo rompedor en mechas rápidas, multiplicadores, espoletas y cebos.
- En la composición del explosivo plástico.
- En la carga de granadas, bombas de aviación y minas submarinas, sólo o mezclado con otros explosivos.

Es muy estable, más sensible al choque y de elevado poder rompedor.

Su punto de fusión está próximo a la temperatura de descomposición, por lo cual se recurrió a fabricar cargas prensadas, aunque es operación peligrosa; para ello se emplea flegmatizado.

Por sus elevadas características de potencia y velocidad de detonación, es el explosivo más adecuado para fabricar explosivos plásticos (explosivo XP, composiciones A y C).

Pentrita

La pentrita es el tetranitrato de pentaeritrita, de fórmula $\text{C}(\text{CH}_2\text{ONO}_2)_4$ en sus calidades industriales. Se presenta en cristales blancos o ligeramente amarillentos. Se le conoce con los nombres de pentrita, pent, pentryl, penta, nitropenta, niperyt y pentaryth.

Se emplea en mechas rápidas, espoletas, multiplicadores y cebos, y en la fabricación de algunos explosivos plásticos. También para la carga de granadas, bombas de aviación y minas submarinas, bien sola o mezclada con otros explosivos.

Es muy estable y más sensible al choque que el hexógeno. Sometida a la acción de la llama, arde sin explosionar.

Se emplea, flegmatizada y prensada, para la fabricación de multiplicadores, por su alta sensibilidad a la iniciación y elevada velocidad de detonación.

Nitroglicerina

Es el trinitrato de glicerina o éster nítrico de la glicerina, de fórmula $\text{C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3$ en sus calidades industriales. Es un líquido oleoso,

incolore, o débilmente amarillento, en el grado I, pudiendo ser más oscuro en el grado II. Se le conoce con los nombres de nitroglicerina, trinitroglicerina o las abreviaturas Ngl. y NG.

Se clasifica en dos grados: la nitroglicerina de grado I se emplea en la fabricación de pólvora, y la de grado II, en la de explosivos industriales.

Picrato amónico

Es el compuesto de fórmula $C_6H_2(NO_2)_3ONH_4$ en sus calidades industriales. Se presenta como sólido cristalizado de color amarillo. Se le conoce con los nombres de picrato amónico y explosivo D.

Se emplea, prensado, para la carga de proyectiles y la fabricación de pólvoras.

Es muy insensible al choque y muy sensible a la acción de la humedad, que lo inestabiliza. Por la acción de la llama, arde sin explosionar.

1.5.c. MEZCLAS EXPLOSIVAS

Las mezclas explosivas pueden ser homogéneas, cuyos componentes no tienen acción peligrosa entre sí; su sensibilidad al choque suele ser inferior a la de los componentes y la reacción explosiva es de tipo detonante, de gran velocidad y potencia. Constituyen este grupo las mezclas a base de trilita, tetralita, hexógeno y pentrita.

Las mezclas explosivas heterogéneas, por distintas causas, no tienen mucha estabilidad ni condiciones para un largo almacenamiento. El ambiente, el calor y la humedad ejercen excesiva acción sobre las mezclas explosivas de este grupo, pudiendo alterarlas hasta hacerles perder eficiencia o seguridad. Constituyen este grupo las mezclas a base de sales de amonio, sodio y potasio.

Para su almacenamiento requieren ambiente seco, empaques herméticos y no estar en contacto con los metales; la humedad es su peor enemigo.

Los envases que hayan contenido explosivos a base de nitrato amónico no podrán utilizarse para contener explosivos clorados, ya que el contacto puede dar lugar a la formación de compuestos que se descomponen espontáneamente, con explosión.

En resumen, se puede decir que las mezclas explosivas pueden estar formadas por:

- Mezclas explosivas convencionales, que son la mezcla de varias sustancias explosivas, que pueden, incluso, llevar otras no explosivas o la mezcla de una sustancia explosiva con una o varias que no lo son.
- Agentes explosivos, que son la mezcla de sustancias no explosivas aisladamente salvo algún caso excepcional, pero que, reunidas en determinada proporción, sí lo son. Los principales son: ANFO, ALANFO, HIDROGELES, EMULSIONES y el ANFO pesado.

1.5.c.(1). Mezclas explosivas convencionales

Amonal

Se denominan así mezclas a base de nitrato amónico aluminio, que también suelen contener otros aditivos. Las composiciones más generalizadas son:

COMPONENTES	DESIGNACIÓN COMERCIAL		
	Trinolita 1 %	Trinolita 2 %	Amonal I %
Nitrato amónico	76	73	92,4
TNT	13,5	4	
Silico-aluminio	10	7	
Di-nitrotolueno	0,5	2	
Nitrato potásico		14	
Carbón vegetal			6,6
Aluminio en polvo			1

Se presenta como sólido amarillo-grisáceo. La designación oficial es amonal, y por ser explosivos industriales se les conoce con las designaciones comerciales de trinolita número 1, trinolita número 2 y amonal I.

DIFUSION LIMITADA

Se emplea para la carga de bombas. Industrialmente se emplea para demoliciones en terrenos de consistencia media y secos.

Son mezclas a base de nitrato amónico con pequeña cantidad de trilita (inferior al 15 por 100 en las trinolitas y nula en el amonal I), aluminio y otros componentes, cuyas composiciones más generalizadas se han expuesto en el cuadro anterior.

Amatol

Se denominan así las mezclas de nitrato amónico-trilita, cuyas composiciones más generalizadas son:

DENOMINACIÓN	Nitrato amónico %	TNT %
Amatol 8-20	80	20
Amatol 50-50	50	50

Se presenta como sólido amarillento.

Se emplea para la carga de proyectiles.

Por dificultades en la carga, se usa más corrientemente la composición 50-50.

El nitrato amónico es insoluble en la trilita fundida, y la mezcla se hace elevando previamente la temperatura de ambos componentes a 90 °C.

El amatol es muy higroscópico, y en presencia de la humedad corroe el cobre y sus aleaciones.

Su elevada potencia lo hace apto para la carga de proyectiles y bombas en tiempo de guerra.

Nitramita

Se denominan así las mezclas de nitrato amónico-trilita, que se diferencian de los amatoles por llevar en su composición algún compuesto corrector, y de los amonales, por no llevar aluminio.

DIFUSION LIMITADA

Sus composiciones más generalizadas son:

COMPONENTES	DESIGNACIÓN COMERCIAL			Explosivo
	Sabulita "O" %	Sabulita "OI" %	Nitramita 1 %	FE. 3 %
Nitrato amónico	78	69	68	65
TNT	8	8	17	25
Siliciuro cálcico	14	12		
Perclorato potásico		8		
Ceresina		1		
Serrín		2		
Fosfato disódico			15	10

Se presenta como sólido de color amarillo. La designación oficial es nitramita, si bien, por ser explosivos industriales, se les conoce con diversas designaciones comerciales.

Se emplea en cargas, de granadas de mano, mortero y proyectiles. Debido a su higroscopicidad, deben llevar cierre hermético. Industrialmente se emplea para demoliciones en terrenos duros (granitos, esquistos, etc.).

Tritonal

Se denominan así las mezclas de trilita-aluminio en polvo, cuya composición más generalizada es:

- Trilita: 80%.
- Aluminio en polvo: 20%.

Se presenta como mezcla sólida de color plata.

Se emplea en la carga, por fusión, de proyectiles.

Su sensibilidad a la fricción y al impacto es análoga a la de la trilita, así como su estabilidad.

Su potencia es el 97 por 100 de la de la trilita.

Tetritol

Se denominan así las mezclas de tetralita-trilita, cuya composición química más generalizada es:

- Tetralita: 70%.
- Trilita: 30%.

Se presenta como una mezcla sólida de color amarillento. Se conoce con los nombres de tetricol y tetrylol.

Se emplea como explosivo para demoliciones y carga de bombas.

Es una mezcla muy estable y de características explosivas superiores a la trilita.

Pentolita

Se denominan así las mezclas pentrita-trilita, cuya composición más generalizada es 50-50.

Se presenta como sólido amarillento.

Se emplea para cargas fundidas y prensadas.

La mezcla trilita-pentrita con 86,5 por 100 de trilita es la eutéctica (su punto de fusión es de 77 °C.); por ello, la pentolita 50-50 contiene el 57,8 por 100 de mezcla eutéctica y el 42,2 por 100 de pentrita.

No es higroscópica. Produce una fragmentación equivalente al 131 por 100 de la producida por la trilita.

La prueba en el bloque Trauzl da valores del 122 por 100 de los de la trilita.

Su calor de explosión es el 132 por 100 del de la trilita.

A temperatura superior a 50 °C puede sufrir exudaciones, debido a que una de las impurezas que acompaña en ocasiones la pentrita es el dipentaeritrol-hexanitrato, que forma con la trilita una mezcla eutéctica que solidifica a 57,9 °C.

Picratol

Se denominan así las mezclas picrato amónico-trilita, cuya composición más generalizada es:

— Picrato amónico: 52%.

— Trilita: 48%.

Se presenta como una mezcla sólida de color amarillo.

Se emplea en la carga de proyectiles por fusión a 90 °C.

Este explosivo ha sustituido al picrato amónico (explosivo D) en la carga de proyectiles, que exigía presiones de prensado de 700 a 840 kg/cm². El picratol se carga por fusión a 90 °C.

Su potencia es análoga a la de la trilita, así como su velocidad de detonación.

Su estabilidad a temperatura ordinaria es análoga a la de sus componentes; en cambio, a temperatura superior a 100 °C, la estabilidad del picratol es inferior a la de sus componentes.

Hexolita

Se denominan así las mezclas hexógeno-trilita, cuyas composiciones más generalizadas son:

DENOMINACIÓN	TNT	Hexógeno	Cera	Polisobutileno
Hexolita 60 / 39 / 1.	39.5 ± 2.3	59.5 ± 2	1 ± 0.3	
Composición B....	40	55.2	3.6	1.2

Se presenta como un sólido amarillo que, al fundirse, se oscurece. Se conoce con los nombres de hexolita y composición B. La composición denominada hexolital lleva, además, aluminio en polvo.

Se emplea en la carga de proyectiles.

El hexógeno forma con la trilita una mezcla eutéctica que se solidifica a 79 °C, y contiene 95,48 por 100 de trilita y 4,16 por 100 de hexógeno.

Es ligeramente más sensible que la trilita, pero mucho menos que el hexógeno.

Se puede mecanizar, refrigerando, para evitar elevaciones de temperatura superiores a 200 °C.

La prueba Trauzl y la fragmentación dan resultados superiores al 130 por 100 de los de la trilita.

A temperatura ordinaria corroe ligeramente el cobre y sus aleaciones, pero no el hierro, los aceros ni el aluminio.

Composición A-3

Es una mezcla explosiva cuya composición es:

- Hexógeno: 91 ± 0,7.
- Cera de abeja: 9 ± 0,7.

Se diferencia de las composiciones A y A-2 en la granulometría del hexógeno y en el método de fabricación.

Se presenta en gránulos cuyo color depende de la cera empleada como flegmatizante. Se le conoce con el nombre de composición A-3.

Se emplea en la carga de proyectiles.

A base de pentrita

Es una mezcla de pentrita, parafina y nitrocelulosa gelatinizada con oftalato de dibutilo, en distintas proporciones.

Es insensible al rozamiento y al choque. En pequeñas cantidades, por la acción de la llama, arde al aire libre, sin detonar. Tiene gran estabilidad, es inalterable a la humedad y no es tóxica ni ataca a la piel. Su plasticidad permite que pueda amasarse y moldearse con las manos. Es de fácil manejo y segura, y se adapta a cualquier forma de superficie. Tiene una potencia aproximadamente doble que la de la trilita.

Su coloración es rosácea. La colocación del cebo puede hacerse en el punto de la carga más conveniente, simplemente por presión. El cebo más adecuado es el reglamentario o comercial del número 8.

Se emplea en cargas concentradas, alargadas y huecas. Amasado en forma de cordón, puede sustituir al cordón detonante en la explosión simultánea de varias cargas.

Tetramonal

Se denominan así las mezclas de tetraleno-nitrato amónico-aluminio, cuya composición más adecuada es 40-50-10, respectivamente.

Se presenta como sólido gris. La composición denominada tetramón no contiene aluminio.

Por la higroscopicidad del nitrato amónico, debe prepararse a 60 °C. y preservarse posteriormente de la humedad.

Se emplea en la fabricación de petardos.

Algodón pólvora

El piroxilo, piroxilina y algodón pólvora, resultado de la acción de una mezcla sulfonítrica sobre la celulosa, toma el nombre químico de nitrocelulosa. Ésta admite diferentes grados de nitración, cuyo máximo parece corresponder a la celulosa endecanítrica $[C_{24}H_{29}(NO_2)_{11}O_{20}]$, llamada fulmicotón.

Este explosivo tiene el aspecto de algodón en rama; es áspera al tacto, no se descompone en el agua y, una vez humedecido, resiste bien los choques y los rozamientos. Su manipulación no es peligrosa y se puede aserrar, comprimir y perforar sin ningún riesgo, pero es sensible al choque de un proyectil. Cuando está seco es muy sensible

a los choques y rozamientos, lo que hace conveniente conservarlo humedecido con agua, sin que ésta exceda de un 5 a un 6 por 100. Si fuera mayor el grado de humedad, se haría insensible al cebo, lo que haría necesario, para hacerlo detonar, el empleo de cápsulas especiales o el uso, como intermediario, de un cartucho-cebo de algodón-pólvora seco. Es algo menos potente que la trilita. Los gases que produce la explosión, a base de óxido de carbono, son venenosos.

Debido a su excesivo coste, sólo se emplean como ingredientes de las pólvoras sin humo y de las gelodinamitas.

Cordita

No disolviéndose el algodón-pólvora en la nitroglicerina, necesita para la gelatinización un disolvente, que ordinariamente es la acetona. Se denomina cordita por la forma que adquiere (hilos o macarrones) al salir de unos moldes de diámetro variable, donde se la introduce en estado pastoso. Su fuerza explosiva y su velocidad de combustión son relativamente grandes.

Grisutina

Es un explosivo de baja temperatura de explosión que se emplea para evitar los accidentes debidos a la explosión del grisú en las minas de carbón.

Cheditas

Son mezclas de clorato potásico o sódico con una sustancia (aceite mineral, vaselina, parafina) que proporciona el combustible, atenúa la sensibilidad a los choques del clorato, da a la mezcla cierta plasticidad y ejerce al propio tiempo una acción proyectante.

Las cheditas son siempre sensibles a los choques y fácilmente inflamables, tienen color gris verdoso, son untuosas al tacto y tienen tendencia a aglomerarse. Son bastante higroscópicas y tienen suficiente estabilidad. A baja temperatura, su sensibilidad es reducida, por lo que necesitan el empleo de multiplicadores para asegurar la detonación. Son de potencia análoga a la de la picrinita. No se pueden emplear en terrenos húmedos ni bajo el agua.

Los gases de la explosión no son venenosos.

Los explosivos cloratados son muy económicos, pero lo suficientemente peligrosos para que se prescinda de su empleo.

Explosivos plásticos

Son de composiciones diversas y presentan una consistencia pastosa que permite darles la forma en el momento de emplearlos. Se adhieren y adaptan perfectamente a las superficies del sólido que se pretende destruir; se moldean con las manos, formando cargas del peso y de la forma que se quiera, en las que el cebo se introduce, por simple presión, en el punto que se desea y con las que el llenado de los hornillos se hace a hueco lleno.

No detonan por la acción de las balas; se sueldan consigo mismas y pueden separarse partes de ellas sin gran esfuerzo para formar cargas plásticas, compactas, del peso que convenga; no deben adherirse a las manos, pero sí adherirse, en cambio, con fuerza suficiente sobre la superficie de los medios a destruir, tales como hormigones, hierros, etcétera.

Entre los explosivos plásticos pueden citarse los siguientes:

- *Explosivo XP*: Se denomina así el explosivo plástico a base de hexógeno, cuya composición más generalizada en España es: hexógeno, 85; caucho virgen, 5,5; aceite de transformador, 9,5.

Se presenta como sólido plástico, de color verde claro; en Estados Unidos existen las composiciones C, C-2, C-3 y C-4 a base de hexógeno, aceites y poliisobutileno.

Se emplean en petardos, cargas huecas y multiplicadores.

Son mezclas menos sensibles que la trilita y de mayor potencia que ella.

- *Explosivo PG-2*: Es un explosivo plástico como el XP, aunque contiene más caucho, con lo que posee más adherencia.

El empleo es el mismo que el XP.

Es un sólido plástico de color blanco.

- *Lámina explosiva*: Está constituida por una mezcla de pentrita, caucho y plastificante.

Es poco sensible al choque y a la fricción.

Se presenta en planchas de 1.000 x 100 x 6,5 mm, pudiéndose cortar con un cuchillo para adaptarse a la superficie a destruir. Una de sus caras lleva una lámina autoadherente.

Es especialmente apta para la rotura de metales, pudiéndose superponer.

- *Plasdina*: Es una mezcla de la siguiente composición: tetranitrometilánilina, 75 por 100; nitrocelulosa, 2 por 100, y mononitrobenzeno, 23 por 100.

Su poder explosivo es superior al de la trilita, lo que permite una economía en peso del 35 por 100. Su color es amarillo.

Tiene gran estabilidad y es insensible al choque, a la percusión y a la llama, lo que hace su manejo seguro.

Por su adaptación fácil a los elementos que se trata de destruir, se consigue una gran economía de tiempo en la colocación de la cargas.

Es un explosivo muy apto para la formación de cargas huecas, pértigas explosivas y cualquier otra forma de carga.

Explosivos gelatinosos

Son explosivos de consistencia gelatinosa a base de nitroglicerina mezclada con nitrocerulosa y otras sustancias oxidantes y combustibles. Actualmente la proporción de mezcla de nitroglicerina y nitrocerulosa en los explosivos gelatinosos oscila entre el 30 y el 35% de la masa total del explosivo.

- *Dinamitas*: Las dinamitas son mezclas explosivas cuyo componente principal es la nitroglicerina, $C_3H_5(NO_3)_3$. Las demás sustancias que componen las mezclas son absorbentes, llamadas bases, y su objeto principal es evitar las exudaciones peligrosas de la nitroglicerina y disminuir su sensibilidad.

Las mezclas se llaman de base activa si el cuerpo absorbente toma parte en la reacción explosiva (por ejemplo, la gelatina explosiva), o de base inerte si no interviene (por ejemplo, la dinamita de Kieselguhr). Otros cuerpos absorbentes participan en parte en la reacción explosiva y en parte no, se llaman entonces de base mixta (por ejemplo, la dinamita gelatina del núm. 1 y del núm. 2).

Las dinamitas comerciales de base inerte se catalogan con los números 1, 2 y 3, según que el contenido de nitroglicerina

DIFUSION LIMITADA

sea del 75, del 50 ó del 30 por 100. Su potencia está en razón directa de esta proporción de nitroglicerina. La base inerte está formada generalmente por arcilla, polvo de ladrillo, cenizas, caolín o sílice poroso natural.

La pasta obtenida de la mezcla con la nitroglicerina es homogénea, blanda, untuosa al tacto y de color variable, según el absorbente empleado. Se le da forma comprimiéndola en cilindros huecos y cortándola según el tamaño y la carga que han de tener los cartuchos. Éstos se confeccionan envolviendo la dinamita en papel parafinado que lleva las indicaciones relativas al peso, fecha de fabricación, etc.

Es un explosivo muy potente. El agua lo descompone, y por depositarse la nitroglicerina, su manejo resulta muy peligroso. En buen estado de conservación se maneja sin riesgo, procurando no someterlo a choques; pero cuando exuda nitroglicerina, el más ligero rozamiento puede hacerlo detonar. Al aire libre, y en pequeñas cantidades, arde en contacto con la llama; sin embargo, es peligroso aproximarle una cerilla en el momento de su ignición. Amontonado y encerrado en grandes cantidades puede hacer explosión. Es menos estable que la trilita. Por efecto del calor, la nitroglicerina líquida se desprende de la base absorbente y produce una exudación muy peligrosa. Por efecto del frío se congela, siendo también peligroso su manejo. Deberá calentarse al baño María para descongelarla antes de su empleo. No es un explosivo reglamentario en el Ejército, pero se emplea como explosivo de trabajo debido a su abundancia en el comercio y a ser de menor precio que la trilita.

Las dinamitas de base activa pueden ser de varias clases, según la naturaleza de la base empleada: dinamita a base de nitratos, dinamita a base de cloratos y gelatina explosiva, también llamada dinamita goma, que es la nitroglicerina gelatinizada por el nitrato de celulosa, sin la adición de ningún ingrediente.

La dinamita goma es un explosivo muy enérgico, se expende en el comercio en cartuchos poco sensibles al choque, es más difícil de congelar que la dinamita ordinaria y no rezuma

al deshelarla, lo que hace con más rapidez que aquélla. Si está envejecida, es necesario utilizar un petardo-cebo.

Las ventajas más importantes de las dinamitas gomas son: su consistencia plástica, gran densidad y elevada resistencia al agua.

La dinamita goma C. V. submarina ha sido diseñada especialmente para su utilización bajo grandes presiones de agua. A profundidades superiores a los 700 m mantiene su máxima velocidad de detonación.

Pulverulentos

Son mezclas explosivas sensibilizadas con nitroglicerina pero con un porcentaje inferior al 15% y que tienen consistencia granular o pulverulenta.

- Gelamonita: Es una mezcla explosiva que contiene nitroglicerina, pero que por su alto contenido en nitrato amónico no se considera como dinamita, sino como explosivo pulverulento.

Por el hecho de contener nitroglicerina habrá que guardar las mismas precauciones como si se tratara de una dinamita, en cuanto a protección en el transporte, almacenamiento y las precauciones a tomar para evitar el rozamiento y el choque.

La resistencia al agua, en general, es mala, aunque en algunos casos soporta la humedad. Se pueden iniciar con detonador o cordón detonante y no es necesario un multiplicador.

La potencia es más reducida que la de la dinamita, aunque sigue siendo elevada.

Su empleo está indicado en la voladura de rocas semiduras y blandas que no contengan agua.

Se presenta en cartuchos de 26 y 32 mm con envuelta de papel parafinado.

Explosivo de seguridad

Son explosivos especialmente diseñados para evitar el riesgo de ignición en las minas de carbón donde el grisú y el polvo hacen prohibitivo el uso de otros explosivos. Se clasifican en dos grupos.

El primero es el que en su composición se encuentra un aditivo que juega el papel de inhibidor de la explosión.

Están compuestos de una mezcla de una proporción muy elevada de nitrato amónico sensibilizado con nitroglicerina, y todo ello con una proporción mayor o menor de cloruro sódico o cloruro potásico, cuya misión es la de bajar la temperatura de explosión inicial.

En cuanto a su comportamiento ante el agua, varía desde ser excelente a no poderse utilizar, por lo cual es imprescindible comprobar las prescripciones técnicas.

Su empleo, como ya ha quedado patente, es para la voladura en minas de carbón; no obstante, se pueden emplear también para la voladura de rocas blandas.

Se presenta en cartuchos de 36 y 32 mm con envuelta de papel parafinado.

El segundo grupo, de más reciente aparición y denominados de seguridad reforzada o de intercambio iónico, consiguen rebajar la temperatura de explosión mediante diversos ingredientes que al reaccionar en el momento de la detonación forman el inhibidor en ese mismo instante. Estos explosivos suelen estar constituidos por un pequeño porcentaje de nitroglicerina, un combustible, y el par salino nitrato sódico-cloruro amónico. En cualquier caso se evita la deflagración, que sería muy peligrosa en una atmósfera inflamable.

1.5.c.(2). Agentes explosivos

ANFOS

Son mezclas a las que al nitrato amónico, en forma granular, se le incorpora un combustible líquido. Se le puede adicionar un combustible metálico u otros aditivos que le confieran características especiales.

Son mezclas que ofrecen gran seguridad y por su naturaleza granular son apropiadas para la carga de barrenos mediante cargadora neumática.

Por su alto porcentaje en nitrato amónico son muy sensibles a la humedad.

Necesitan ser iniciados enérgicamente.

Un ANFO muy conocido se comercializa con el nombre de nagolita.

La nagolita se compone de nitrato amónico en forma granular y de un combustible líquido, normalmente gasoil, en la proporción conveniente para ajustar el balance de oxígeno.

No tiene ningún ingrediente sensibilizador como la nitroglicerina o TNT, con lo que este explosivo es bastante insensible, por lo que hay que iniciarlo con un explosivo potente tipo multiplicador de TNT o cartucho de dinamita. La aptitud para la propagación de la explosión de la nagolita es escasa, así que es conveniente que a lo largo del explosivo se instale cordón detonante.

Su presentación más común es en sacos de plástico a granel, lo suficientemente resistentes y herméticos para conservar sus propiedades por un largo periodo de tiempo o en cartuchos con envuelta de plástico flexible con un calibre superior a los 45 mm. Cuando se usa en grandes cantidades, en voladuras, lo más frecuente es transportarla a granel en camiones de bombeo.

Se emplea normalmente para la voladura de rocas blandas y secas como carga de columna, siendo imprescindible un explosivo enérgico para iniciarla.

Se desaconseja su utilización en interiores, ya que los gases de la explosión son altamente tóxicos.

Hidrogeles

Son mezclas dispersas en agua compuestas de un agente oxidante, generalmente nitrato amónico, y un combustible que actúa a la vez de sensibilizante y que puede ser: una sustancia explosiva, metales o aleaciones, o sales orgánicas no explosivas.

Se emplean, además, en su composición sustancias gelificantes que evitan la segregación del agua de los demás componentes.

Tienen una elevada seguridad y pueden bombearse directamente al barreno, llenándolos por completo.

Tienen una densidad superior al agua, por lo que pueden llenar barrenos cargados de agua expulsándola por completo.

Producen humos poco tóxicos, por lo que pueden emplearse en voladuras de interior.

Existen comercialmente una gran variedad de hidrogeles, que van desde los muy densos hasta los semilíquidos. Los primeros se presentan encartuchados con envuelta de plástico flexible y resistente y los segundos a granel para bombeo.

Para sensibilizarlos o para aumentar su potencia, se les agrega sustancias explosivas en pequeña cantidad (TNT, penitrita, pólvora sin

humo, etc.) o combustibles (aluminio, magnesio, ferrosilicio, etc.), que en algunos casos los sensibiliza para poder entrar en régimen de detonación simplemente iniciándolos con unos centímetros de cordón detonante, cuando está encartuchado y está muy denso; sin embargo, normalmente necesitan de un multiplicador enérgico para su iniciación.

Se emplean, dependiendo de su potencia, para volar rocas blandas, semiduras o duras, e incluso, por el mismo motivo, como cargas de columna o de fondo.

Emulsiones explosivas

Es un avance en el desarrollo de los hidrogeles; al igual que éstos, su composición básica es de elementos que intrínsecamente no son explosivos, pero que, mezclados adecuadamente e iniciados correctamente, reaccionan como explosivos potentes.

Poseen todas las características de los hidrogeles, pero que han sido mejoradas en su resistencia al agua y en su mayor poder energético.

Las distintas fórmulas de las que pueden estar compuestos pasan desde cartuchos de pequeño calibre sensibles al detonador, hasta aquellas que necesitan un multiplicador muy potente y pueden además introducirse en los barrenos mediante bombas, siendo por tanto bombeables.

Heavy ANFO

Se fabrica a base de mezclar, en diferentes proporciones, una emulsión explosiva con nagolita. Según las proporciones de la mezcla, las características del explosivo resultante se acercará más a las características de los ANFO o a las de las emulsiones. En España, se comercializan con el nombre de EMUNEX.

1.6. CUALIDADES DE LOS EXPLOSIVOS MILITARES

Los explosivos militares, para efectuar destrucciones o excavaciones, deben reunir las siguientes condiciones:

- Alta velocidad de detonación: Que es la velocidad con la que la onda de detonación pasa a través del explosivo.

- Aptitud para la propagación: Esta cualidad determina la posibilidad de transmitir la detonación de un petardo o masa explosiva a otro, en contacto con el primero, o bien a través de un medio interpuesto entre los dos.
- Alta potencia por unidad de peso: Ésta es la cualidad más importante de un explosivo, y se define como la energía disponible para producir efectos mecánicos.
- Alta densidad: Es también una cualidad muy interesante que depende en gran parte de la granulometría de los componentes sólidos y del tipo de correctores empleados en su fabricación.
- Relativa insensibilidad a los choques o rozamientos: Esta cualidad exige que no sean susceptibles de detonar por el impacto de los proyectiles de las armas ligeras.
- Estabilidad suficiente, para poder retener o conservar su utilidad durante un tiempo razonable y en cualquier clima.
- Aptitud para poderlos utilizar bajo agua y a bajas temperaturas.
- Tamaño y formas convenientes, para que la preparación de las cargas sea sencilla, fácil el manejo, cómodo el embalaje y seguro el transporte.

1.7. EMPLEO DE LOS EXPLOSIVOS

Los explosivos que las Unidades de Ingenieros tienen de dotación pueden emplearse:

- En cargas interiores, los rompedores o progresivos, con atraque; por ejemplo, en el interior de la mampostería.
- En cargas empotradas, con atraque y sin atraque.
- En cargas superficiales, colocándolas simplemente en contacto con el objeto a destruir, los rompedores.

1.8. EMPAQUE Y PRESENTACIÓN DE LOS EXPLOSIVOS

Para las necesidades militares, los explosivos se presentan en distintas formas, pesos, envueltas y cargas especiales.

DIFUSION LIMITADA

Trilita: Se presenta en bloques prensados de forma prismática o cilíndrica, con orificio para el alojamiento del cebo y envueltos en papel parafinado o de cobre electrolito de color rojo oscuro. Se utilizan los tipos cuyas características se indican en la tabla 1.2.

Puede también presentarse en forma de polvo o escama, viniendo entonces en saquitos de tela o en cajas de madera.

Picrinita: Se presenta en petardos de forma y dimensiones análogas a las de la trilita, de la que se diferencia por tener la envuelta de color amarillo.

Tetralita: Se presenta también en idéntica forma, pero con la envuelta de color azul o verde.

Dinamita: Se expende en el comercio, en cajas de madera llenas de cartuchos cilíndricos de 100 g envueltos en papel parafinado.

Plásticos: Se presentan en bloques prismáticos, envueltos en papel parafinado, con pesos de 100, 500 y 1.000 g. La envuelta presenta impresas cuatro rayas, para poder cortar el bloque en fracciones menores. El explosivo está coloreado en rosa si se trata de pentrita; en verde, si es a base de hexógeno, y en amarillo, si es plasdina.

Pólvora de mina: Se expende en cajas de 25 a 40 kg; cada kilogramo va encerrado en un bote de cartón revestido de papel parafinado.

Cargas especiales:

- Cargas alargadas y mangueras explosivas.
- Cargas huecas, planas y sus derivados.
- Cargas concentradas.

TABLA 1.2. Petardos reglamentarios de trilita

DENOMINACIÓN	FORMA	SECCIÓN	DIMENSIONES (mm)	PESO (g)
Petardo cebo	Prismática	Cuadrada	45 x 32 x 32	50
Petardo C-100	Cilíndrica	Circular	30 Ø x 100	100
Petardo P-250	Prismática	Rectangular	90 x 55 x 45	250
Petardo P-500	Prismática	Rectangular	90 x 90 x 55	500
Petardo P-1000	Prismática	Rectangular	180 x 90 x 55	1.000

CAPÍTULO 2

ARTIFICIOS

2.1. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Se denomina *artificio* el dispositivo o conjunto de medios empleados para provocar la explosión de una carga. Los artificios pueden ser de dos clases: pirotécnicos y eléctricos.

2.1.a. ARTIFICIOS PIROTÉCNICOS

Son los que emplean el fuego como medio iniciador.

Para que una carga haga explosión se necesita:

- Un petardo-cebo, cuando la carga es muy grande y el detonador aplicado directamente sobre ella no tiene la suficiente energía para iniciarla.
- Un detonador que transmita la explosión al petardo-cebo o a la carga directamente.
- La mecha lenta iniciadora del detonador.
- El encendedor para dar fuego a la mecha.
- Eventualmente, uno o varios trozos de cordón detonante.

2.1.b. ARTIFICIOS ELÉCTRICOS

Son los que emplean como medio iniciador el calor producido por la corriente eléctrica al pasar por una pequeña resistencia.

Los elementos necesarios para que eléctricamente se pueda dar fuego a una carga son:

- Un generador de electricidad.
- Unos conductores eléctricos.
- Un detonador eléctrico.

Al igual que en el encendido pirotécnico, deberá emplearse el petardo-cebo si la cantidad de la carga lo hiciera necesario, así como eventualmente uno o varios trozos de cordón detonante.

2.2. ELEMENTOS COMPONENTES DE LOS ARTIFICIOS

2.2.a. ENCENDEDORES

Es el elemento que produce la llama. Aunque a una mecha lenta puede dársele fuego por medio de fósforos, chisqueros, etc., existen medios seguros y eficaces para el encendido de la mecha lenta, denominados encendedores de mecha lenta.

El reglamentario en la actualidad es el EM-1 de la casa EXPAL, que funciona por la acción de un percutor sobre una cápsula fulminante.

Las características del EM-1 se detallan en la figura 2.1.

Para colocar la mecha se quita el tapón, se desenrosca el acoplador del portacápsulas y se introduce la mecha por el orificio hasta el tope existente en el interior. Al roscar de nuevo el acoplador, la junta tórica apretada impedirá que se salga la mecha.

Para su funcionamiento se apoya la cabeza del pulsador en la palma de la mano y las aletas en los dedos índice y corazón. Se quita el seguro y, haciendo presión sobre el pulsador, al cerrar la mano, este empuja al muelle, quedando comprimido contra la cabeza del percutor, que está apoyado en las tres lengüetas a 120° del manguito de retención; cuando la presión es suficiente, las lengüetas flexan, dejando libre al percutor, que es proyectado por su muelle contra la cápsula iniciadora, cuyo fogonazo inicia la combustión de la mecha. Para impedir una detonación por la presión de los gases, está previsto una

cámara entre el tope de la mecha y la cápsula, así como un conducto lateral o chimenea que permite la salida de los gases hacia la parte superior del interior del encendedor.

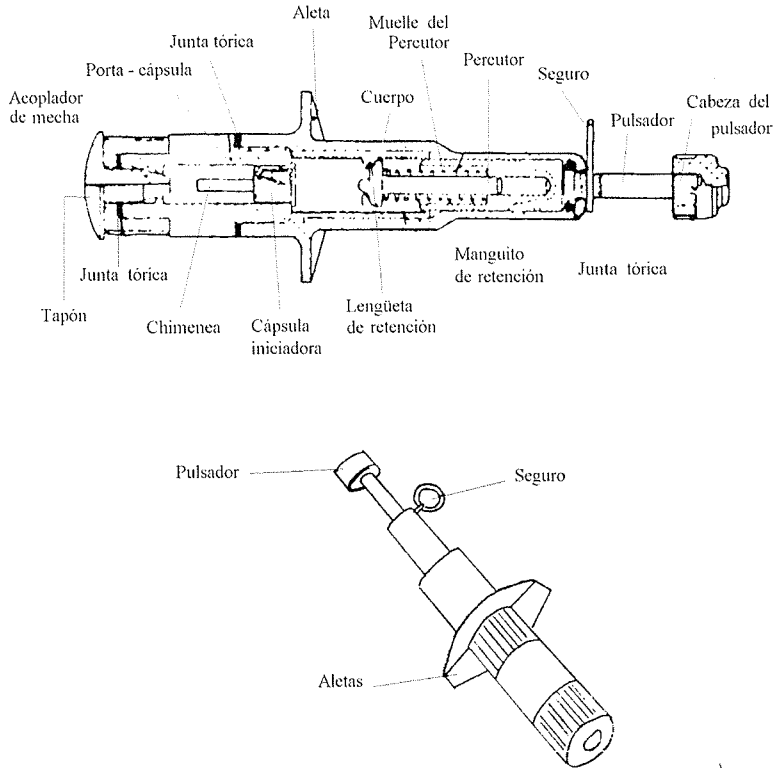


Figura 2.1.—Encendedor EM-1

2.2.b. MECHA LENTA U ORDINARIA

La mecha lenta se emplea para transmitir lentamente el fuego al detonador. Está constituida por un alma de pólvora negra de grano fino comprimida y una doble envuelta de hilos de cáñamo enrollados

en espiral, una doble capa de papel y, finalmente, una camisa de material plástico.

La velocidad de combustión al aire libre no es constante para los diferentes rollos, aun siendo de la misma procedencia. Es muy importante determinar su velocidad al empezar cada rollo. Las velocidades varían desde un metro en noventa segundos hasta un metro en ciento veinte segundos. La mecha reglamentaria tiene una velocidad de un metro en cien segundos.

La humedad suele producir fallos en los extremos del rollo, por lo que deben desecharse unos 10 cm del principio y del final. Si ha de emplearse bajo el agua, conviene hacer previamente la prueba de que la mecha no se apaga una vez sumergida. La mecha reglamentaria es de las denominadas submarinas y puede emplearse bajo el agua.

La industria civil utiliza mechas de seguridad, cuya diferencia esencial con la reglamentaria consiste en una envuelta exterior de cloruro de polivinilo, que les proporciona una gran flexibilidad y, a la vez, una mayor resistencia al agua. Su velocidad de combustión, así como su utilización, son iguales que la ordinaria.

La mecha lenta reglamentaria se denomina ML-1. Se presenta en rollos de 100 m, con ambos extremos herméticamente protegidos por casquillos de aluminio o de plástico. Cada rollo va introducido en una bolsa de plástico, con 15 casquillos terminales de repuesto para proteger el extremo del rollo que quede libre al cortar un trozo de mecha, y cada 10 bolsas en una caja de cartón parafinado.

2.2.c. DETONADOR MILITAR DE MECHA M-1 (fig. 2.2)

El detonador es el medio destinado a transformar una llama en una detonación que sirve de onda explosiva inicial para provocar la de otro explosivo. También se le denomina cebo.

Se compone de un tubo de aluminio, cerrado por uno de sus extremos, que contiene en su fondo un multiplicador de pentrita prensada (0,94 g), carga secundaria, y un opérculo o cápsula con un orificio, que contiene la mezcla fulminante, nitrato de plomo y trinitroresorcinato de plomo (0,6 g), carga primaria.

DIFUSION LIMITADA

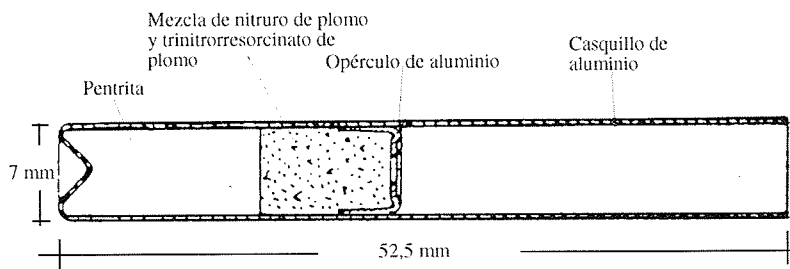


Figura 2.2.—Detonador militar de mecha M-1

2.2.d. PETARDO-CEBO

Este elemento sirve para aumentar la potencia de la detonación iniciada por el cebo. Es de trilita y pesa 50 g.

El petardo-cebo es de forma prismática con aristas redondeadas, de sección cuadrada (45 mm de alto y 29 mm de lado). Lleva taladros centrales de un diámetro de 5 mm, y recubiertas exteriormente de una capa de cobre electrolítico de 0,1 mm de espesor y barniz protector.

2.2.e. CORDÓN DETONANTE

Se utiliza para transmitir rápidamente una detonación a distancia o simultanear cargas; otras veces, como enlace entre el cebo y la carga, y otras, en grandes cargas, para asegurar la propagación de la detonación en toda la masa del explosivo.

El cordón detonante reglamentario MR-4 está constituido por un alma de pentrita, una envuelta de papel especial, tres de hilo, una de oxiasfalto y la exterior de PVC. Su diámetro exterior es de 5,5 mm y lleva 15 g de pentrita por metro lineal.

Se presenta en carretes de 50 m y cada embalaje contiene dos carretes dentro de una caja de cartón.

La velocidad de detonación es de 6.500 m/s.

Es muy flexible y se maneja con facilidad, sin ninguno de los inconvenientes de los antiguos con envuelta de plomo.

Es insensible al roce y al fuego. Por impacto de fusil puede detonar en determinadas condiciones.

La potencia de la detonación de este cordón es suficiente para provocar la de los petardos que se encuentren en contacto con él.

Transmite bien la detonación sin interrupción.

Además de la indicada anteriormente, en la industria civil se emplean cordones detonantes de carga reforzada, para iniciar explosivos de baja sensibilidad; cordón detonante submarino, apto para los trabajos submarinos, y cordón detonante submarino reforzado, que es igual que la anterior, pero reforzado con alambre como protección contra rozamientos (resacas, corrientes, etc.).

En las explosiones con cordón detonante, la industria civil, a veces, utiliza un relé de microrretardo, que es un artificio que, intercalado en el cordón detonante, interrumpe la detonación del mismo durante una fracción de 20 milésimas de segundo, creando en los barrenos un efecto similar al de los detonadores eléctricos de microrretardo.

2.2.f. DETONADORES ELÉCTRICOS

2.2.f.(1). Generalidades

Un detonador eléctrico está constituido por una cápsula metálica, de cobre o aluminio, cerrada por un extremo, en cuyo interior lleva: un inflamador, un explosivo iniciador o primario y un explosivo base o secundario.

El inflamador queda sujeto al casquillo mediante un tapón, normalmente de cloruro de polivinilo, fuertemente comprimido en la vaina, el cierre estanco se consigue mediante un engarce especial (véase fig. 2.3).

Cuando el detonador es de tiempo (retardo o microrretardo), lleva incorporado entre el inflamador y el explosivo primario un elemento retardador o relé de tipo pirotécnico, constituido por un casquillo metálico en cuyo interior se ha colocado una pasta retardadora de precisión.

DIFUSION LIMITADA

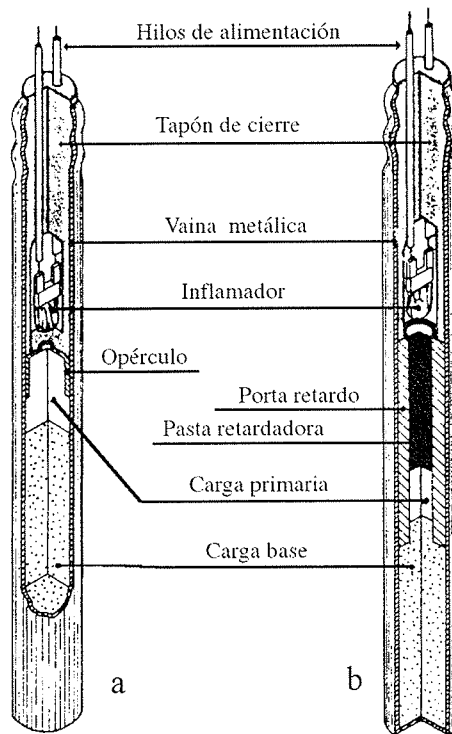


Figura 2.3

El inflamador está formado por dos electrodos separados por una pieza de plástico, cuyos extremos están unidos entre sí por un filamento metálico calibrado (puente de incandescencia), el cual está embebido en una composición inflamadora y protegido por un tapón de PVC antiestático. Los terminales de los electrodos del lado opuesto al puente, quedan conectados a los hilos de alimentación del detonador, los cuales llevan un recubrimiento especial antiestático.

La píldora o cerilla del inflamador recibe, a través de los dos hilos conductores, la energía necesaria para que al calentarse el puente de incandescencia se produzca su inflamación, provocando la explosión de la carga primaria y a continuación de la carga base, cuando el detonador es instantáneo.

Si el detonador es de tiempo, la ignición de la píldora del inflamador provoca el encendido de la pasta del elemento retardador, que arde con una velocidad característica para cada tipo de detonador. Al finalizar la combustión de la pasta retardadora, se inicia la carga explosiva primaria y ésta, a su vez, hace detonar a la carga base.

Las características de cada detonador dependerán de sus elementos constituyentes; así, mientras que las características eléctricas vienen dadas por su inflamador, las características de tiempo de retardo dependen del elemento pirotécnico incorporado al detonador, y las de potencia dependerán del explosivo base.

Los detonadores eléctricos pueden clasificarse en función de las siguientes características:

- Tiempos de detonación.
- Características eléctricas.
- Aplicaciones.

2.2.f.(2). Características eléctricas

Las características eléctricas de un detonador vienen dadas por las del inflamador correspondiente. Las que van a diferenciar unos detonadores de otros son:

- *Resistencia del puente*: Es la resistencia eléctrica propia del puente de incandescencia de cada detonador. Se expresa en ohmios.
- *Resistencia de los hilos conductores*: Es la resistencia eléctrica correspondiente a los dos hilos conductores del detonador. Se expresa en ohmios.
- *Resistencia total del detonador*: Es la suma de las dos anteriores.
- *Corriente de encendido*: Es la corriente eléctrica que, al atravesar el puente de incandescencia, produce en éste una elevación tal de temperatura, que inicia la composición inflamadora que lo rodea. Se expresa en amperios (A).
- *Corriente recomendada de encendido en serie*: Es la intensidad recomendada por el fabricante para la energetización de una pega eléctrica en serie, en el supuesto de que se realizase con corriente continua. Se expresa en amperios (A).

DIFUSION LIMITADA

- *Corriente de seguridad*: Máxima intensidad de corriente continua, capaz de atravesar el filamento durante cinco minutos sin producir la inflamación de la píldora. Se expresa en amperios (A).
- *Impulso de encendido o sensibilidad eléctrica*: Es la energía por unidad de resistencia eléctrica precisa para provocar la inflamación de la píldora del detonador. Se expresa en mJ/Ω o mWs/Ω .

2.2.f.(3). Detonador eléctrico instantáneo E-1 (fig. 2.4)

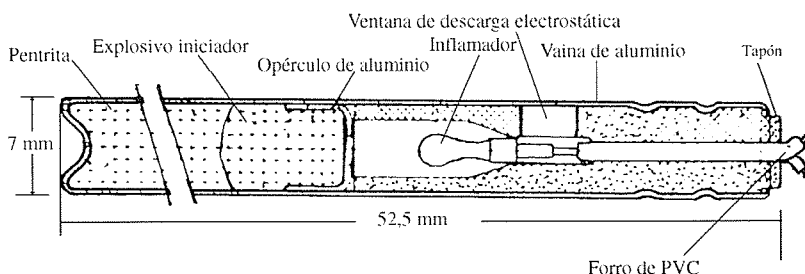


Figura 2.4.—Detonador eléctrico instantáneo E-1

Este detonador se compone de un tubo de aluminio cerrado por uno de sus extremos, que contiene en el fondo un multiplicador de pentrita prensada, carga secundaria y un opérculo o cápsula, con un orificio, que contiene la mezcla fulminante, carga primaria. La mezcla iniciadora rodea un filamento de niquelina soldado entre los extremos de dos conductores de cobre que atraviesan un soporte que los mantiene separados y aislados. Para hacer estanco el detonador, en la boca por donde sale los conductores, lleva un tapón de PVC.

Cuando una corriente continua de 0,8 A atraviesa el filamento, lo pone incandescente, produciendo la inflamación de la mezcla iniciadora que provoca la detonación de la carga primaria.

Como orientación, para series de cinco detonadores se precisan 0,9 amperios; para 20 detonadores, 1,2 A; para 50 detonadores, 1,5 A, y para 100 detonadores, 2 A.

Estos detonadores tienen una resistencia en frío de 1,5-1,7 Ω .

2.2.f.(4). **Detonadores eléctricos con retardo**

Permiten escalonar en tiempos varias explosiones. La detonación es retardada en el mismo cebo y se consigue interponiendo entre la mezcla iniciadora y la carga primaria una galleta de pólvora comprimida que retrasa la llegada del fuego al fulminante.

Para conseguir los mejores resultados en una voladura, es necesario que la secuencia de explosión tenga lugar en un orden predeterminado y con intervalos de tiempo definidos. La fragmentación, proyecciones, vibraciones del terreno y onda aérea, van a depender en gran manera de estos intervalos de tiempo.

Los detonadores temporizados pueden ser:

- *De retardo.* Explosionan con secuencia de 500 ms y la serie consta de 12 números. Se identifican por el color azul de uno de los hilos.
- *De microrretardo.* Pueden ser de 30 ms con una serie del 1 al 18 y se identifican por el color amarillo de uno de sus hilos o bien de 20 ms con series de 15 números con colores de los hilos iguales.

En la tabla 2.1 se pueden ver resumidos todos los retardos.

2.2.f.(5). **Detonadores eléctricos especiales**

Según su sensibilidad eléctrica, los detonadores pueden ser:

- Detonadores sensibles (S).
- Detonadores insensibles (I).
- Detonadores de alta insensibilidad (AI).

Detonadores sensibles (S)

Ningún detonador debe hacer explosión al ser atravesado por una corriente de 0,18 A, durante cinco minutos.

Conectando en serie cinco detonadores, deben hacer explosión todos ellos al ser atravesados por una corriente continua de 0,8 A.

El impulso de encendido debe estar comprendido entre 0,8 y 3 mws/ Ω . Con un impulso de 0,8 mws/ Ω , no debe hacer explosión ningún detonador y deben iniciarse todos al recibir un impulso de 3 mws/ Ω .

Se recomienda una intensidad de encendido mínima de 1,2 A.

TABLA 2.1 . Retardos de los detonadores eléctricos

SERIE DE RETARDO				SERIES DE MICRORRETARDO				
MARCA	RETARDO (s)	INDICACIÓN	MARCA	RETARDO (s)	INDICACIÓN	MARCA	RETARDO (s)	INDICACIÓN
0	0	Número grabado en el culote	0	0	Plaquita con el número en los conductores	0	0	Plaquita con el número en los conductores
1	0,5		1	0,02		1	0,03	
2	1		2	0,04		2	0,06	
3	1,5		3	0,06		3	0,09	
4	2		4	0,08		4	0,12	
5	2,5		5	0,1		5	0,15	
6	3		6	0,12		6	0,18	Uno de los conductores de color amarillo
7	3,5	1,5 m de conductor	7	0,14		7	0,21	
8	4		8	0,16		8	0,24	
9	4,5		9	0,18		9	0,27	
10	5		10	0,2		10	0,3	
11	5,5	Un hilo de color azul	11	0,22		11	0,33	
12	6		12	0,24		12	0,36	
			13	0,26		13	0,39	
			14	0,28		14	0,42	
			15	0,3		15	0,45	
						16	0,48	
						17	0,51	
						18	0,54	
El número 0 es en las tres series instantáneo								

Los detonadores de sensibilidad tipo S son los de uso más frecuente. Su utilización está indicada en aquellos lugares en que no existe peligro de corrientes estáticas, erráticas, inducida, o radiofrecuencias.

Su potencia es la equivalente al núm. 8.

Las longitudes de hilo normalizadas son 2, 3, 4 y 5 m, pudiéndose suministrar cualquier otra medida bajo pedido.

El color distintivo de los detonadores S es el rojo. Uno de sus hilos es, por tanto, siempre de color rojo. El otro color es el indicativo del tiempo nominal.

Detonadores insensibles (I)

Ningún detonador debe hacer explosión al ser atravesado por una corriente continua de 0,45 A, durante 5 minutos.

Conectados en serie cinco detonadores, deben hacer explosión todos ellos, al ser atravesados por una corriente de 1,5 A.

El impulso de encendido debe estar comprendido entre 8 y 16 mws/ Ω . Con un impulso de 8 mws/ Ω no debe hacer explosión ningún detonador y deben iniciarse todos al recibir un impulso de 16 mws/ Ω .

Para estos detonadores se recomienda utilizar una intensidad de encendido de 2,5 A.

Como característica fundamental, los detonadores de sensibilidad tipo I aportan una mayor seguridad ante el encendido intempestivo. Su impulso de encendido es cinco veces mayor con respecto a los detonadores convencionales, y su corriente de seguridad, superior al doble. Como seguridad adicional, los detonadores se entregan cortocircuitados en sus extremos mediante un dispositivo especial.

Los detonadores I ocupan un espacio intermedio a efectos de sensibilidad, entre los sistemas convencional y el de alta seguridad.

La utilización de estos detonadores resulta apropiada para aquellos casos en los que, a pesar de no ser previsible la existencia de fuentes de energía peligrosa, se desee contar con un margen de seguridad.

Su potencia es la equivalente al núm. 8.

La longitud normalizada es de 4 m, pudiéndose suministrar cualquier otra medida bajo pedido previo.

El color distintivo de los detonadores es el color rosa.

Uno de sus hilos es, por tanto, siempre de color rosa. El color del otro hilo es indicativo del tiempo nominal.

Detonadores de alta insensibilidad (AI)

Ningún detonador debe hacer explosión al ser atravesado por una corriente continua de 4 A durante 5 minutos.

Conectando en serie cinco detonadores, deben hacer explosión todos ellos al pasar por el circuito una corriente continua de 25 A.

El impulso de encendido de estos detonadores debe estar comprendido entre 1.100 y 2.500 mws/ Ω . Con un impulso de 1.100 mws/ no debe hacer explosión ningún detonador y con 2.500 mws/ Ω deben iniciarse todos.

Se recomienda utilizar corriente de encendido mínima de 25 A.

Los detonadores de sensibilidad tipo AI reducen considerablemente el riesgo de autoencendido e ignición prematura en aquellas zonas en las que existen, en sus proximidades, emisoras de radio, líneas eléctricas de alta tensión, etc.

El grado de sensibilidad de estos detonadores equivalen a la del grupo más insensible. Su impulso de encendido es de 300 veces mayor con respecto a los detonadores convencionales y su corriente de seguridad más de 20 veces mayor. Como seguridad adicional, se entregan cortocircuitados en sus extremos mediante un dispositivo especial.

Su potencia es la equivalente al núm. 8.

La longitud normalizada es de 4 m, pudiéndose suministrar cualquier otra medida bajo pedido.

El color distintivo de los detonadores es el verde.

Uno de sus hilos es, por tanto, siempre de color verde. El color de otro hilo es indicativo del tiempo nominal.

Según sus aplicaciones, los detonadores eléctricos pueden ser:

- *Detonadores de uso general.* Son los vistos hasta ahora. Tienen la cápsula de aluminio.
- *Detonadores sísmicos.* Se han diseñado para prospecciones sísmicas y es necesario que la ruptura del puente coincida exactamente con el momento de la detonación, por eso se fabrican con un tiempo de reacción inferior a 1 ms.
- *Detonadores para minas de carbón.* En ellos, tanto la cápsula como los hilos se fabrican de cobre en lugar de aluminio para evitar la inflamación del grisú y polvo de carbón.

- *Detonadores para grandes presiones de agua.* Se utilizan para demoliciones submarinas y tienen un cierre reforzado que les dan una hermeticidad que puede resistir presiones de hasta 100 kg/cm².

2.2.g. EXPLOSORES

2.2.g (1). Generalidades

Para enviar una corriente a varios detonadores eléctricos se puede utilizar una batería de pilas o acumuladores, o bien un explosor.

El explosor es una máquina eléctrica, dinamoeléctrica o, más corrientemente, magnetoeléctrica, que produce una corriente muy intensa, pero de corta duración, que es suficiente para hacer funcionar varios cebos. Los explosores pueden funcionar:

- Directamente a mano, girando una manivela que actúa sobre un sistema de engranajes.
- Por medio de un mecanismo de resorte al que se da cuerda previamente.

Los explosores modernos son capaces de hacer detonar un gran número de detonadores, montados normalmente en serie.

2.2.g (2). Explosor de manivela ZEB/C

Es el adoptado como reglamentario en nuestro Ejército.

Está constituido por un generador magnetoeléctrico de rotor magnético y estator bobinado. La corriente continua producida carga un condensador de gran capacidad que, cuando ha adquirido su carga total, se descarga automáticamente, por medio de un tubo de gas, en el circuito exterior de cebos. El funcionamiento del explosor se consigue por medio de una manivela y un sistema de engranajes.

El funcionamiento automático de este tipo de explosor de condensador hace que la tensión de la corriente de descarga sea independiente de la velocidad de giro de la manivela, por lo que no dispone de interruptor de fuego, que había que pulsar en los explosores anteriores cuando la tensión, indicada por el voltímetro, había adquirido cierto valor.

DIFUSION LIMITADA

El generador y el dispositivo de disparo van en una caja hermética de aleación ligera (fig. 2.5), provista de una carter de cuero con correa de transporte.

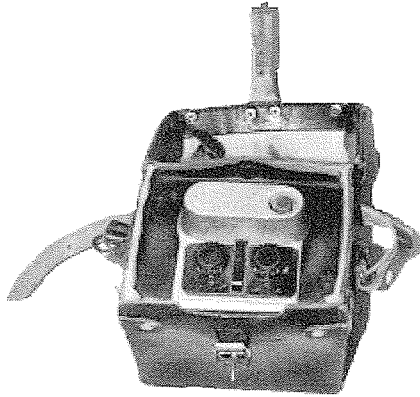


Figura 2.5.—Explosor

En la parte superior lleva un alojamiento para la inserción de la manivela, y una placa de ebonita con dos bornes del mismo material para la conexión de la línea de cebos.

Está provisto de un dispositivo de descarga de vacío que impide que el condensador quede cargado cuando se acciona la manivela sin conectar el circuito de cebos.

Para utilizar el explosor se abre la tapa de la carter de cuero, se conecta la línea de cebos a las bornes, se saca la manivela de la abrazadera que la mantiene sujeta a la tapa, se inserta en el explosor y por fin se la hace girar unas diez o doce vueltas hasta que se produce la explosión.

Las dimensiones y características del explosor son:

— Dimensiones:

- Medidas en la tapa: 100 x 125 mm.
- Altura: 155 mm.
- Peso: 2,6 kg.

— Características eléctricas:

- Capacidad del condensador: 16 F.
- Tensión en bornes: 550 V.
- Resistencia exterior máxima: 260 Ω .

La principal característica de los explosores modernos es que su potencia está expresada en función de la resistencia máxima del circuito de cebos montados en serie; basta medir o calcular la resistencia de este circuito para saber si el explosor tiene o no potencia suficiente.

Para ello, el explosor va dotado de un comprobador de línea independiente que consiste en una caja cilíndrica de baquelita, alojada en un estuche de cuero, que contiene un galvanómetro con visor de cruz de Malta, una pila de 1,5 V y una resistencia.

Exteriormente, en la tapa, presenta el visor y dos contactos para la conexión de la línea de cebos, según se aprecia en la figura 2.6.

El estuche está provisto de un mosquetón para colgarlo del asa del explosor.

El comprobador de línea se prueba previamente, poniendo en cortocircuito sus contactos. Si la cruz de Malta no se hace visible, es señal de que la pila está descargada; ésta se sustituye por la base inferior, que va sujeta con tornillos.

Una vez montada la línea de cebos, los extremos libres, antes de conectarlos al explosor, se conectan al comprobador, y puede ocurrir que:

- En el visor aparezca la cruz de Malta totalmente: esto indica que el circuito está bien y que su resistencia está dentro de los límites de empleo del explosor.

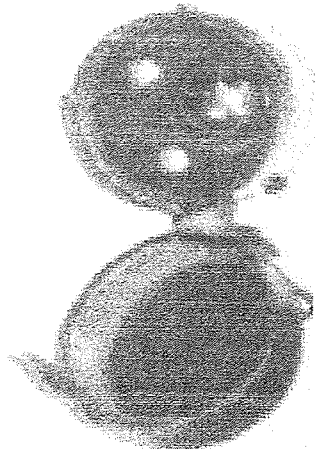


Figura 2.6.—Comprobador de línea

- En el visor aparezca la cruz de Malta parcialmente o sólo se inicie su aparición: esto indica que el circuito está bien, pero su resistencia es de más de $260\ \Omega$, por lo que el explosor no tiene suficiente potencia para hacer detonar los cebos.
- En el visor no aparece la cruz de Malta: esto indica que la línea está interrumpida, y no se producirá la detonación.

El comprobador también puede utilizarse aisladamente para la prueba de cebos.

Formando parte del equipo también se dispone de un comprobador del explosor que se utiliza para comprobar el buen funcionamiento del explosor.

Consiste en una caja de baquelita, similar a la anterior, encerrada en un estuche de cuero. Interiormente tiene un circuito de descarga y una lámpara de neón; en la tapa superior lleva dos bornes metálicos y una ventana, a través de la cual se ve la lámpara de neón, según se aprecia en la figura 2.7.

La comprobación del explosor debe hacerse periódicamente. Para ello se conecta directamente el comprobador al explosor, se acciona éste, y cuando se produce la descarga de corriente, la lámpara de neón emite un destello; si esto no ocurre, el explosor está averiado.

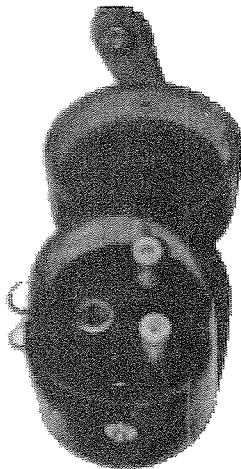


Figura 2.7.—Comprobador del explosor

2.2.h. CONDUCTOR ELÉCTRICO

Es el medio utilizado para conducir la corriente eléctrica desde la pila o generador al detonador.

El conductor eléctrico que se emplea normalmente es cable unifilar con envuelta de material plástico. Tiene una resistencia de 20 Ω /km. Eventualmente se emplea el cable ligero de campaña, el cable ordinario o el cable múltiple, los cuales tienen, respectivamente, una resistencia de 95, 34 y 40 Ω /km.

Tienen éstos por objeto conducir la energía eléctrica desde los generadores hasta el montaje de detonadores y provocar la detonación de éstos.

Las condiciones que deben reunir los cables conductores empleados en campaña son: gran conductibilidad eléctrica, gran resistencia a la tracción, gran flexibilidad para poder ser arrollado en bobinas y poco peso.

La resistencia total de la línea se calcula por la fórmula general:

$$R_1 = \rho \frac{L}{S}$$

ρ es la resistencia específica, dependiente de la clase de material, cuyos valores más corrientes figuran en la tabla 2.2; L , la longitud total de la línea (ida y vuelta), y S , la sección del conductor, en mm^2 (puede encontrarse, conociendo el diámetro d , con auxilio de la tabla 2.3).

Dispuestas las cargas en los lugares designados, se procede al tendido de la línea, procurando que el cable no quede ni tirante ni flojo. En los cruces de caminos se enterrará en una pequeña zanja, de unos 15 cm de profundidad, y se cubrirá bien con tierra. Cuando se emplee hilo desnudo, será indispensable hacer el tendido sobre postes y aisladores si éste es de gran longitud, o improvisar con botellas, estaquillas, etc., los aisladores si el tramo es corto.

Puede ocurrir que el cable de la bobina sea de longitud insuficiente, en cuyo caso habrá que empalmar los conductores con los de otra bobina. Hecho el tendido, se examina la línea, comprobando el estado de los conductores, que deberán estar perfectamente cubiertos por su envuelta aislante, y por medio del comprobador de línea se hace la comprobación eléctrica del circuito. A continuación se unen las deri-

DIFUSION LIMITADA

vaciones de los cebos que haya de tener la línea y se procede a activar las cargas. Se comprueba de nuevo la línea con el comprobador y, caso de que esta prueba dé resultados satisfactorios, se unen después de que el personal se haya retirado a lugar seguro.

TABLA 2.2. Coeficientes de resistividad

CLASES DE METALES	RESISTIVIDAD (ρ)
Alambre de latón (30% de cinc)	0,085 a 0,065
Aluminio	0,03
Alambre de hierro para telégrafo	0,135
Hierro	0,12 a 0,14
Bronce de aluminio (5% de cobre)	0,13
Bronce de aluminio (19% de cobre)	0,29
Cobre refinado	0,0162
Cobre alemán (blando)	0,0172
Cobre alemán (duro)	0,0175
Hierro refinado	0,104
Níquel	0,11 a 0,13
Niquelina	0,33 a 0,43
Cinc	0,059

TABLA 2.3. Equivalencia de superficie a diámetro (s a d)

d (mm)	s (mm) ²	d (mm)	s (mm) ²	d (mm)	s (mm) ²	d (mm)	s (mm) ²	d (mm)	s (mm) ²
0,11	0,01	0,277	0,06	0,67	0,35	1,5	1,8	3,57	10
0,12	0,012	0,299	0,07	0,72	0,40	1,6	2	4	12
0,13	0,014	0,32	0,08	0,76	0,45	1,79	2,5	4,3	14
0,14	0,016	0,34	0,09	0,80	0,50	1,96	3	4,6	16
0,15	0,018	0,357	0,1	0,88	0,60	2,10	3,5	4,8	18
0,16	0,02	0,4	0,12	0,94	0,70	2,26	4	5,1	20
0,17	0,025	0,43	0,14	1,01	0,80	2,4	4,5	5,7	25
0,19	0,03	0,46	0,16	1,07	0,90	2,5	5	6,2	30
0,21	0,035	0,48	0,18	1,1	1	2,77	6	6,7	35
0,226	0,04	0,51	0,20	1,2	1,20	2,99	7	7,2	40
0,24	0,045	0,57	0,25	1,3	1,40	3,20	8	7,6	45
0,25	0,05	0,62	0,30	1,4	1,60	3,39	9	8	50

Si no se dispone de cable de longitud suficiente para hacer un circuito de ida y vuelta, habrá que recurrir al circuito con vuelta por tierra, uniendo el cable conductor por un extremo a una de las rabizas del cebo, y la borna que queda libre del generador se une a piquetes o planchas de cobre, que se entierran y riegan con abundancia de agua, con lo que se cierra el circuito.

2.3. ARTIFICIOS COMPLETOS

Recibe el nombre de *artificio completo* la unión de un encendedor, un retardo pirotécnico o químico y un cebo pirotécnico. El conjunto de una mecha lenta y un cebo pirotécnico recibe el nombre de *detonador simple*.

2.3.a. DETONADOR COMPLETO

Es un artificio completo formado por un encendedor tipo EXPAL, un metro de mecha lenta y un detonador militar de mecha.

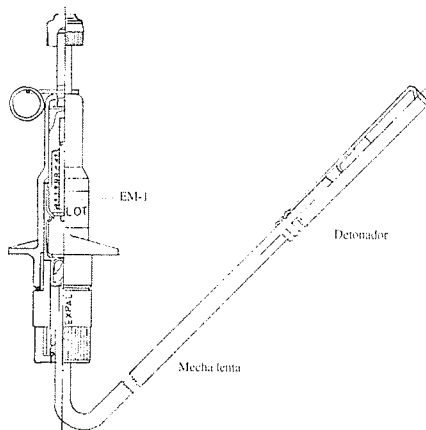


Figura 2.8.—Detonador completo

El conjunto viene encerrado en un tubo de PVC, la mecha queda arrollada en espiral, y en su interior aparece el encendedor y el detonador.

Para utilizarlo se coloca el detonador en el petardo y se acciona el encendedor. El tiempo de duración del retardo es de 100 a 130 s.

2.4. ELEMENTOS AUXILIARES

Lo constituyen las herramientas y los medios necesarios para la preparación de las cargas y el empleo de los artificios.

2.4.a. BOLSA DE ARTIFICIERO

Es de lona con refuerzos de cuero, y contiene:

- Una tenaza aprieta-cebos modelo TYCE IV.
- Un cuchillo de electricista.
- Un chisquero de mecha.
- Un estuche para cebos ordinarios.
- Un estuche para cebos eléctricos.
- Un rollo de cinta aislante.
- Una regla graduada para destrucciones.

2.4.b. EQUIPO DE ARTIFICIERO DE SECCIÓN

Es el de dotación en las Secciones de Zapadores. El equipo tiene unas cajas de madera que contienen:

- Un explosor con su comprobador y comprobador de línea.
- Dos líneas de cable eléctrico de 100 m.
- Un maletín de fibra de alta resistencia para transporte de cebos.
- Una pistola lanzaclavos para colocación de cargas.

2.4.c. BOBINA PARA CABLE

Es de chapa de acero y está provista de asa de transporte, que permite el giro para desenrollar el cable, y de una manivela para enrollarlo.

2.4.d. CONECTORES RÁPIDOS

Como quiera que hay que evitar que los empalmes estén en contacto con el suelo, pues pueden producirse pérdidas de corriente que originen fallos en algún detonador, especialmente en lugares húmedos o en rocas conductoras, la forma más ventajosa es efectuar las conexiones con “conectores rápidos”, que, además de reducir el tiempo de conexión, aíslan las derivaciones.

2.4.e. PILAS Y ACUMULADORES

2.4.e.(1). Pilas

En casos de emergencia pueden utilizarse pilas para enviar un corriente eléctrica a los detonadores eléctricos.

El generador, cualquiera que sea su tipo, destinado a proporcionar la energía eléctrica que acciona el dispositivo de fuego, debe poseer una fuerza electromotriz suficiente para vencer las resistencias que oponen al paso de la corriente la línea y el montaje de cebos elegidos, y hacer que cada detonador sea atravesado, por lo menos, por la intensidad mínima necesaria para provocar su detonación.

Existen numerosos tipos de pilas. Todas ellas deben mantenerse en perfecto estado de limpieza y montarse con pulcritud. No deben almacenarse más del tiempo fijado por los fabricantes y deben probarse siempre antes de su empleo.

2.4.e.(2). Acumuladores

Los acumuladores son también de fácil empleo, al igual que las pilas; su agrupación en batería resulta muy voluminosa y poco manejable. La capacidad de los acumuladores en amperios/hora es proporcional al peso de las placas: en los de plomo es de 20 a 30 A/h por kilogramo de placa.

Las características de los acumuladores de empleo más frecuente son las siguientes:

TIPO DE ACUMULADOR	F.E.M. (voltios)	RESISTENCIA INTERIOR (ohmios)
Acumulador de plomo	2	0,5 a 1,15
Acumulador de ferróníquel	1,2	1,15 a 1,5
Batería de automóvil	2 (por elemento)	0,1 (por elemento)

2.4.e.(3). Agrupamiento de pilas y acumuladores

Para obtener determinadas tensiones o intensidades de corriente, se asocian los elementos de pilas o acumuladores en sistemas adecuados.

Los tres sistemas principales de asociación son: en serie, en derivación o paralelo y mixto. Este último caso participa de los dos anteriores.

La energía mínima absorbida por un cebo reglamentario para poder detonar es:

$$W = r \cdot i^2 = 3 \cdot 0,7^2 = 1,47 \text{ vatios}$$

Para hacer detonar detonadores montados en serie, las baterías de pilas o acumuladores se agrupan siempre en serie, suponiendo, naturalmente, que todos los elementos tienen las mismas constantes. La intensidad de la corriente del conjunto es la misma que proporciona un elemento. La tensión de la batería es igual a la suma de las tensiones de cada uno de los elementos.

Si se trata de hacer detonar detonadores montados en derivación, se pueden montar los elementos de pilas o acumuladores (todos ellos de las mismas constantes) en series o en grupos de elementos en derivación, montados a su vez en serie. Los grupos de elementos montados en derivación producen una corriente cuya intensidad es la suma de las intensidades de los elementos que lo forman. La tensión es la misma que la de un elemento, y la capacidad es igual a la suma de las capacidades de los elementos que forman el grupo.

El montaje mixto o en cascada consiste en formar grupos de elementos en serie, montados a su vez en derivación. La corriente eléctrica que pueda proporcionar este montaje tendrá las características de intensidad, tensión y capacidad que resulten del número de elementos montados en serie y del número de grupos de éstos reunidos en derivación.

2.4.f. REGLETAS GRADUADAS PARA DESTRUCCIONES

Para el cálculo rápido de destrucciones de distintos elementos se emplean las “Regletas graduadas para destrucciones”, que figuran en la bolsa de artificiero.

Estas regletas son del tipo articulado; están formadas por láminas de aluminio de 20 cm de longitud entre articulaciones, y llevan inscripciones impresas en ambas caras.

El juego completo se compone de tres regletas, dispuestas en un estuche de cuero.

2.4.f.(1). Regleta 1. Materiales pétreos

De 2 m de longitud, con las dos caras grabadas. En el anverso para mampostería, roca y hormigón en masa, y en el reverso, para hormigón armado.

En ambas caras se consideran cuatro tipo de cargas.

- Carga A. Interior en el centro del material a destruir, con atraque.
- Carga B. Empotrada, sin atraque.
- Carga C. Adosada con atraque.
- Carga D. Adosada sin atraque.

En el anverso figuran dos escalas: la superior, para espesores de hasta 2 m, que se miden directamente con la regleta, y la inferior, para espesores comprendidos entre 2,1 y 4 m (en este caso, la regleta ha de suplementarse con un doble metro de carpintero o con una cinta al hacer la medición).

El cálculo de la carga expresado en kilogramos de trilita, se hace midiendo directamente con la regleta el espesor del elemento a destruir, si es accesible, o bien, si es inaccesible y de espesor conocido, marcando por medio de una cinta métrica sobre la regleta. Si se emplea explosivo plástico, el valor de la carga se multiplica por 0,6 para obtener el peso correspondiente.

El valor de la carga es el indicado en la regleta entre los dos trazos consecutivos que comprende la medición.

El valor de la carga dada por la regleta es para cargas concentradas; por ello, cuando se trate de elementos longitudinales donde su longitud es mayor a dos veces el espesor, para su destrucción hay que

emplear varias cargas concentradas, situadas a una distancia entre ellas igual o menor a dos veces el espesor.

Por ejemplo, para destruir una pila de mampostería de 14 m de longitud y 2,55 m de espesor, mediante una carga adosada sin atraque (tipo D), procederíamos de la siguiente forma:

Sobre la escala inferior, y con una cinta métrica, mediremos sobre la regleta 55 cm a partir del origen (extremidad izquierda); la medición quedará comprendida entre la segunda y tercera divisiones de la tercera lámina. En ella figura, para el tipo de carga D, un peso de 310 kg, que será el de cada carga. El número de cargas concentradas necesarias es:

$$N = \frac{L}{2E} = \frac{14}{5,1} ; \text{ por lo que se colocarán 3 cargas.}$$

El peso total de explosivo necesario será, por tanto, $310 \times 3 = 930$ kg de TNT.

En el reverso hay también dos escalas: la superior, para el cálculo de cargas para la destrucción de elementos sujetos a compresión tales como pilares, muros y elementos verticales, y la inferior, para vigas, dinteles, losas, o sea, elementos que trabajan a flexión. En este segundo caso no hay nada más que un tipo de carga: carga adosada con un atraque de altura mínima de 40 cm.

Por ejemplo, para destruir un puente de hormigón armado formado por una losa nervada con 10 nervios de 82 cm de altura y 15 cm de espesor de losa, procederíamos de la siguiente forma.

El espesor de cálculo es de $82 + 15 = 97$ cm. Se lleva este valor con una cinta métrica, sobre la regleta, y entre la última y penúltima división de la escala inferior encontraremos la carga necesaria, 32,5 kg.

Se coloca una carga encima de cada nervio, con un total de 325 kg, y se rodea cada carga con una doble fila de sacos terreros, y encima se coloca una triple capa.

2.4.f.(2). **Regleta 2. Maderas y metales**

Tiene las dos caras grabadas, el anverso para maderas y el reverso para vigas metálicas.

En el anverso hay dos escalas: la superior, para cargas interiores con atraque, y la inferior, para cargas adosadas. El cálculo de la carga se hace midiendo directamente con la regleta el elemento a destruir por su mayor dimensión.

El reverso tiene dos partes: la primera se utiliza para perfiles normales; y la segunda, para vigas compuestas, roblonadas o soldadas, dando cada lectura cuatro tipos de carga:

- Carga A. Vigas sin platabanda.
- Carga B. Vigas con una platabanda.
- Carga C. Vigas con dos platabandas.
- Carga D. Vigas con tres platabandas.

2.4.f.(3). **Regleta 3. Cables y redondos**

Es una pequeña regleta de 9 cm de longitud. En el anverso se expresan las cargas para la destrucción de cable y cadenas; en el reverso, para redondos.

Para su utilización, se mide el diámetro de la pieza a destruir y directamente da la carga necesaria en kg de TNT.

CAPÍTULO 3

PREPARACIÓN Y FORMA DE DAR FUEGO A LAS CARGAS

3.1. GENERALIDADES

La preparación para poder dar fuego a una carga explosiva necesita:

- La reunión de diversos artificios entre sí.
- La inflamación inicial de la mecha lenta (procedimiento piro-técnico).
- La activación de un detonador eléctrico (procedimiento eléc-trico).

La reunión de diversos artificios puede consistir en:

- Unión de detonador a mecha lenta.
- Unión de detonador a cordón detonante.
- Empalmes de mecha lenta.
- Unión de mecha lenta a cordón detonante.
- Empalmes de cordón detonante.
- Reactivado de cordón detonante.

3.1.a. UNIÓN DE MECHA LENTA A DETONADOR

El detonador es un artefacto de manejo peligroso, dada la sensibilidad de sus componentes explosivos. Cualquier manipulación deberá efectuarse cuidadosamente y con las debidas precauciones.



Figura 3.1.—Unión de mecha lenta a detonador

Para introducir la mecha lenta en el detonador deberá cortarse según una sección normal, manteniéndose la mecha con una de las manos en posición vertical y precisamente con el corte hacia arriba. Con la otra mano se cogerá el detonador, sacudiéndolo ligeramente, a continuación se introducirá suavemente la mecha hasta el fondo de la cápsula, cuidando de no imprimirle ningún movimiento de rotación; se fija en esta posición, haciendo una muesca con la tenaza aprietacebos (fig. 3.1.) en la vaina del detonador a 3 ó 4 mm de su boca, y para tener la seguridad de que el conjunto podrá resistir una ligera tracción, se consolida la unión con una segunda muesca, cercana a la primera.

Está prohibido fijar la mecha a la cápsula apretando ésta con los dientes, por los graves accidentes a que puede dar lugar.

3.1.b. UNIÓN DE CORDÓN DETONANTE A DETONADOR

Para la unión del cordón detonante al detonador se pueden realizar dos operaciones distintas según sea posteriormente su utilización.

Se puede realizar exactamente igual que si se tratara de mecha lenta y detonador, como se ha explicado en el apartado anterior, caso de querer reactivar o simultanear cargas en un momento determinado.

Se puede practicar un bastoncillo al cordón detonante y se coloca el detonador con el culote en el sentido de avance del fuego.

Siempre es conveniente cortar un trozo de cordón detonante, de 1 cm aprox., en su extremo para eliminar el explosivo que pudiera encontrarse en mal estado.

3.1.c. EMPALMES DE MECCHA LENTA

Aun cuando debe evitarse recurrir a este tipo de uniones, si alguna vez fuera necesario se hará de la siguiente manera:

- Efectuando cortes en ambas mechas hasta que quede al descubierto el polvorín, se ponen en contacto íntimo con él, y se unen perfectamente bien con cinta aislante o cuerda (fig. 3.2).



Figura 3.2.—Empalmes de mecha lenta

- Cortándolas en bisel muy prolongado, procediendo con las mismas precauciones que en el caso anterior. Puede añadirse un elemento rígido que inmovilice más la unión (fig. 3.3).

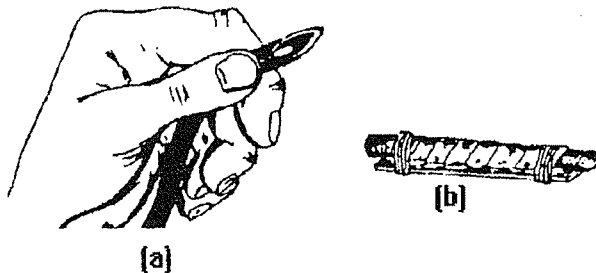


Figura 3.3.—Empalmes de mecha lenta

3.1.d. UNIÓN DE MECHA LENTA A CORDÓN DETONANTE

Para provocar la detonación de un cordón detonante, es precisa la detonación inicial de un detonador o un petardo-cebo.

El empalme de una mecha lenta a un cordón detonante no puede hacerse directamente.

Existen varios procedimientos:

— Unión por detonador.

El detonador provisto de una mecha lenta se adosa a lo largo del cordón detonante a unos 15 cm de su extremo, se liga la unión con cinta aislante según se indica la figura 3.4.

Conviene hacer un bastoncillo con el cordón detonante para que el detonador actúe correctamente sobre la mayor cantidad de explosivo posible. Es imprescindible colocar el culote del detonador en la dirección de avance del fuego (fig. 3.5).

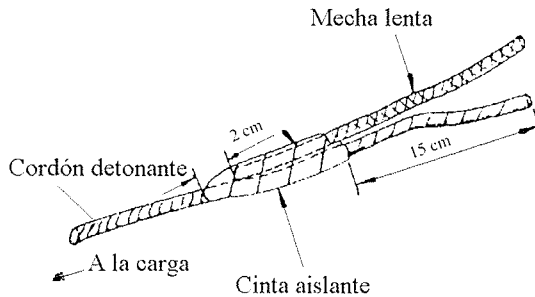


Figura 3.4.—Unión por detonador

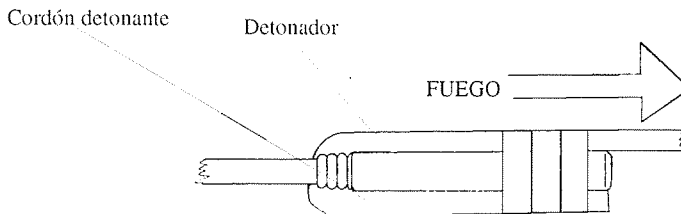


Figura 3.5.—Unión por detonador y bastoncillo

DIFUSION LIMITADA

- Unión por detonador y petardo.

Con el cordón detonante se practica un nudo ballestrinque doble o un entalingado según la figura 3.6.

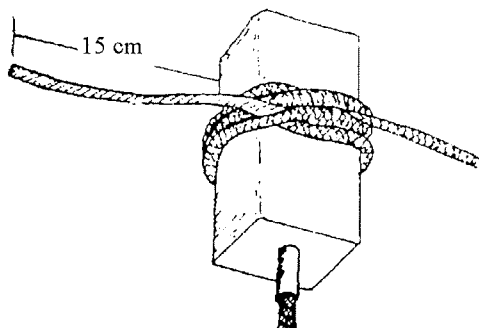


Figura 3.6.—Unión por detonador y petardo

3.1.e. EMPALMES DE CORDÓN DETONANTE

Con los extremos a empalmar basta con practicar un nudo plano, que se aprieta tirando de los dos cabos de cada lado; en los extremos libres se deja un trozo de unos 15 cm según se indica en la figura 3.7.

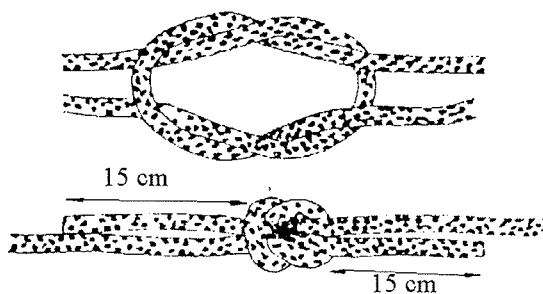


Figura 3.7.—Empalmes de cordón detonante

3.1.e.(1). Derivaciones

Derivaciones sencillas

Con la mecha derivada se hace un nudo prusik sobre la mecha maestra (fig. 3.8). La mecha derivada debe hacer un ángulo superior a los 90° , en sentido de la propagación de la detonación. También puede realizarse la derivación con cinta aislante, según se indica en la figura.

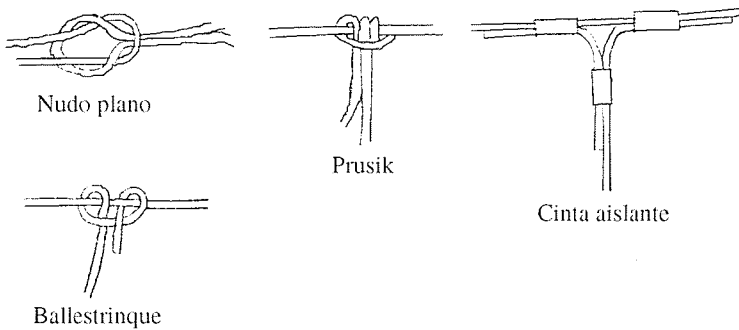


Figura 3.8.—Empalmes y derivaciones

En la figura 3.9 se muestra un esquema de la detonación simultánea de seis cargas utilizando derivaciones sencillas.

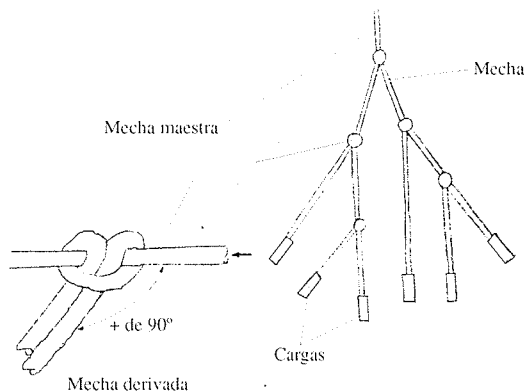


Figura 3.9.—Derivación sencilla

Derivaciones múltiples

Se une la mecha maestra a un petardo-cebo o a un petardo cualquiera, en la forma acostumbrada, y a lo largo de las caras del petardo y en toda su longitud se adosan los extremos de las mechas derivadas, ligándolas al petardo por medio de bramante o cinta aislante (fig. 3.10).

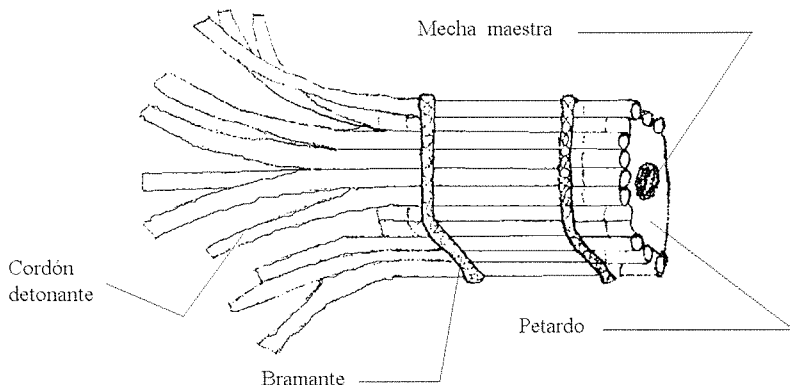


Figura 3.10.—Derivaciones múltiples.

En todos los empalmes, derivaciones o uniones de cordón detonante hay que dejar una rabiza de unos 15 cm de longitud para evitar que se corte en la unión sin transmitir la detonación.

3.1.f. REACTIVADO DE CORDÓN DETONANTE

Cuando la mecha maestra o las derivadas son excesivamente largas (más de 200 m), conviene reactivar la detonación utilizando un petardo-cebo intercalado en la mecha cada 200 m o el equivalente en explosivo plástico.

3.2. FORMA DE DAR FUEGO A LAS CARGAS

La preparación y aplicación de los artificios para dar fuego a las cargas ha de hacerse con sumo cuidado, pues hay que atribuir a descuidos o errores en la preparación la mayoría de los fallos.

3.2.a. PROCEDIMIENTOS PIROTÉCNICOS

Encendido de la mecha lenta: Para el encendido de la mecha lenta se utiliza normalmente un encendedor pirotécnico.

Cuando no se dispone de encendedores, puede utilizarse:

- El chisquero de mecha de que va provista la bolsa de artificiero.
- Yesca.
- En general, cualquier llama o cuerpo en ignición (fósforos, mecheros, etc.).

Para dar fuego a la mecha lenta se practica en el extremo de la mecha un corte longitudinal de 1 ó 2 cm de longitud, dejando al descubierto el polvorín del alma. Se abre con cuidado la mecha por el corte para que quede suelta la pólvora y se aplica sobre ella directamente el fuego.

Puede también utilizarse el siguiente procedimiento: se corta el extremo de la mecha en bisel y se presiona ligeramente en sentido transversal, con el dedo, para que se suelte la pólvora del alma. Se aplica un fósforo encima y a lo largo de la mecha (fig. 3.11), sujetando el conjunto con una mano, entre el índice y el pulgar, procurando que la cabeza del fósforo esté en contacto con el polvorín de la mecha; a continuación, con la otra mano se acciona el raspador de la caja de fósforos contra la cabeza del mismo hasta conseguir su inflamación.

La mecha lenta se aplica para dar fuego:

- A cargas poco alejadas del sitio en que se da fuego, directamente cuando son de pólvora, o utilizando un detonador si se emplea otro explosivo.
- A cargas alejadas, de pólvora u otro explosivo, por intermedio de cordón detonante, cebos y petardos-cebo.

Cuando se enciende la mecha lenta hay que tener en cuenta las siguientes precauciones:

- Evitar dirigir el extremo de la mecha hacia la cara.
- No mantener la mecha verticalmente, para evitar saltos de fuego.
- Asegurarse de que la mecha está encendida antes de retirarse.

DIFUSION LIMITADA

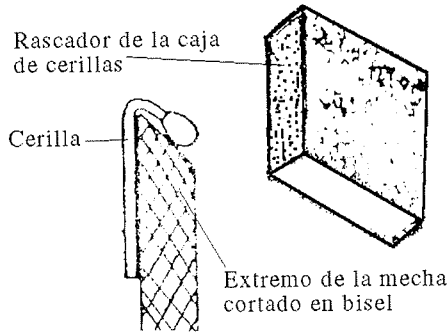


Figura 3.11.—Inflamación de la mecha lenta con cerilla.

3.2.b. PROCEDIMIENTOS ELÉCTRICOS

El procedimiento eléctrico para dar fuego a las cargas consta de: un generador o asociación de generadores de corriente; una línea conductora de uno o varios circuitos combinados, y el detonador o montaje de detonadores. Todo ello forma un sistema que requiere mayor número de elementos y de más delicado empleo que los medios piro-técnicos; pero que tiene sobre éstos las ventajas de facilitar una comprobación previa y, en consecuencia, la de garantizar la seguridad de funcionamiento y de evitar la confusión que producen los humos de las mechas y los fallos, difíciles de detectar, por corte de la pólvora de las mismas.

Los medios eléctricos se emplean para dar fuego a una sola carga o a varias simultáneamente.

La disposición, naturaleza y dimensiones de los elementos que forman la estructura a destruir determinan la situación de las cargas, y ésta, la de los detonadores necesarios para producir la explosión simultánea. El problema queda reducido a la forma de enlazarlos eléctricamente mediante un sistema conveniente para que la energía que haya de excitarlas llegue a cada detonador con las características que exige su funcionamiento.

La conexión en serie es la que normalmente se utiliza, por ser la única que permite la comprobación del circuito una vez colocadas las cargas y conectados los detonadores.

Se designan por:

- N , el número total de detonadores del montaje.
- p , el número de derivaciones del mismo.
- q , el número de detonadores montados en serie en cada derivación.
- i , intensidad mínima que debe atravesar cada detonador para que detone (en los detonadores reglamentarios: $i = 0,8$ amperios, como ya se ha indicado).
- I , intensidad mínima total que atraviesa el conjunto del montaje.
- r , la resistencia interior de cada detonador (en los detonadores reglamentarios, $r = 1,7$ ohmios, conforme se indicó).
- R , la resistencia total del conjunto del montaje; y
- V , la tensión mínima total en los extremos de entrada del montaje de los detonadores.

Montaje en serie: En este sistema (fig. 3.12), la corriente total que atraviesa el conjunto de detonadores es la misma que pasa a través de uno de ellos. La intensidad mínima necesaria ha de ser, por tanto, la suficiente para hacer detonar un detonador. La resistencia óhmica del conjunto es la suma de las resistencias interiores de los detonadores asociados. La tensión total en los extremos del montaje es la suma de las aplicadas a cada detonador asociado; luego, empleando la notación anterior:

$$\begin{aligned} I &= i; \\ R &= q \cdot r; \\ V &= R \cdot I = q \cdot r \cdot i \end{aligned}$$

Utilizando detonadores reglamentarios:

$$\begin{aligned} I &= i = 0,8 \text{ amperios;} \\ R &= 1,7 \cdot q \text{ ohmios;} \\ V &= q \cdot r \cdot i = 1,4 q \text{ voltios} \end{aligned}$$

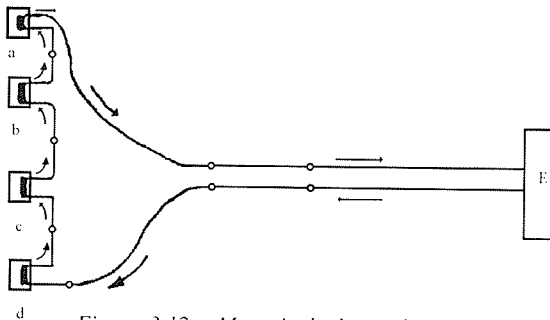


Figura 3.12.—Montaje de detonadores en serie

Montaje en derivación o paralelo: La intensidad total de la corriente que atraviesa el circuito (fig. 3.13) se deriva para pasar por las ramas en partes iguales. La resistencia total del sistema es la interior de un detonador dividida por el número de éstos. La tensión en los extremos del montaje es la común aplicada a cada detonador, y podemos escribir, con idéntica notación:

$$I = i \cdot p;$$

$$R = \frac{r}{p};$$

$$V = R \cdot I = \frac{r}{p} \cdot i \cdot p = r \cdot i$$

Empleando detonadores reglamentarios:

$$I = 0,8 p \text{ amperios};$$

$$R = \frac{1,7}{p} \text{ ohmios};$$

$$V = 1,4 \text{ voltios}.$$

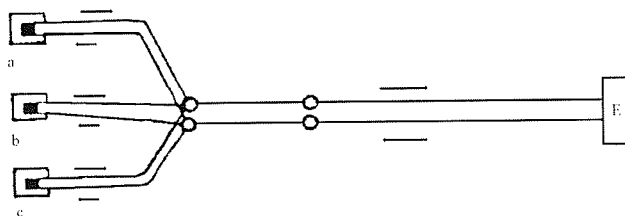


Figura 3.13.—Montaje de detonadores en derivación.

Montaje mixto o en cascada: Este sistema no es más que una combinación de los dos sistemas precedentes (fig. 3.14). La intensidad total de la corriente que atraviesa el montaje se divide en partes iguales para pasar por las ramas derivadas y debe ser la mínima, en cada una de éstas, necesaria para la detonación de un detonador. La resistencia total que ofrece el conjunto del montaje es igual a la compuesta en serie, que ofrece cada rama derivada dividida por el número de éstas. La tensión total en los extremos del montaje es igual a la compuesta en serie, común a cada rama.

Empleando la misma notación que anteriormente, y de acuerdo con las consideraciones expuestas:

DIFUSION LIMITADA

$$I = i \cdot p;$$

$$R = r \cdot \frac{q}{p};$$

$$V = R \cdot I = r \cdot \frac{q}{p} \cdot i \cdot p = r \cdot i \cdot q = \frac{N}{p} \cdot r \cdot i$$

Utilizando detonadores reglamentarios:

$$I = 0,8 p \text{ amperios};$$

$$R = 1,7 \frac{q}{p} \text{ ohmios};$$

$$V = 1,4 \frac{N}{p} \text{ voltios}.$$

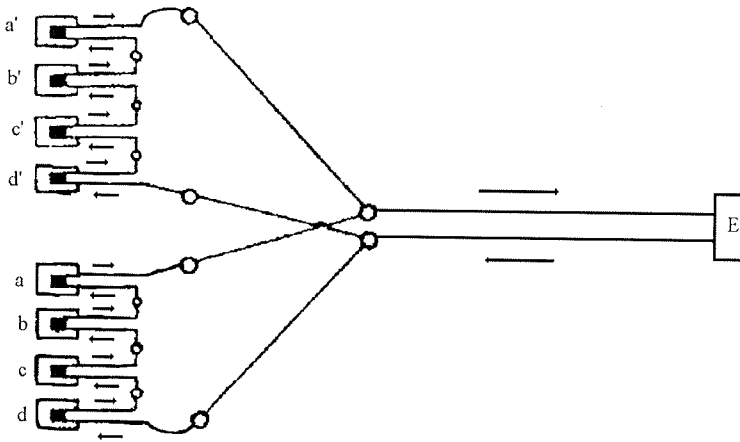


Figura 3.14.—Montaje de detonadores mixtos

Aconsejarán el montaje más adecuado para enlazar eléctricamente los N detonadores fijados de antemano, la forma y características de la obra a destruir, la economía en el empleo de cable conductor y las características del generador de corriente. El montaje en serie requiere el máximo de tensión y el mínimo de intensidad. Por el contrario, el montaje en derivación exige un máximo de intensidad con un mínimo de tensión. El montaje mixto proporciona valores intermedios entre

los dos anteriores, acercándose al de derivación o al de tensión, según sea mayor o menor el número de ramas en que se divida el total de detonadores. Permite, por tanto, obtener un montaje capaz de detonar con una tensión dada previamente, V , agrupando el número total de detonadores N en p derivaciones de igual cantidad de detonadores en serie cada una; según la fórmula, deducida de las anteriores:

$$p = N \cdot r \cdot \frac{i}{V},$$

y empleando detonadores reglamentarios:

$$p = 1,4 \frac{N}{V}$$

El montaje en serie, que es el que normalmente se utiliza, permite una fácil y rápida comprobación del conjunto, conectando el comprobador de línea en derivación en los bornes del montaje antes de conectar los hilos de líneas.

En el montaje en derivación la comprobación es complicada y lenta por tener que comprobarse independientemente cada rama derivada. Esta circunstancia hay que tenerla en cuenta al establecer el esquema del montaje, estudiando la colocación del comprobador.

La comprobación en el montaje mixto participa de ventajas e inconvenientes intermedios entre los de las anteriores.

En el caso de que en el montaje en serie haya algún detonador de resistencia diferente a la normal que impida que la corriente alcance la intensidad necesaria para producir la explosión, quedan sin detonar todos los demás cebos, sin que este defecto pueda ser acusado por el comprobador, ya que hay solución de continuidad en el circuito. En el montaje en derivación, en caso de fallar algún detonador, no quedan sin detonar los demás. En el montaje mixto quedan sin detonar todos los detonadores correspondientes a la rama del que ha fallado.

El explosor reglamentario ZEB/C está calculado para producir la intensidad suficiente para hacer detonar un detonador y la tensión necesaria para hacer que esta corriente atraviese un circuito de 260 ohmios de resistencia. El montaje aconsejable con este explosor es solamente el circuito en serie, que permite la detonación del mayor número de detonadores.

DIFUSION LIMITADA

El número máximo de detonadores es para:

- r , resistencia de un cebo: 1,7 ohmios.
- r_c , resistencia de 200 m de cable: 4,00 ohmios.
- R , resistencia exterior del explosor: 260,00 ohmios.

$$n = \frac{R - 4}{1,7} = 150 \text{ cebos, con una línea bifilar de 100 m.}$$

En los petardos provistos de casquillo roscado se dispone el detonador ordinario o cebo eléctrico en el adaptador de detonadores; a continuación se enrosca el adaptador al petardo.

3.3. INICIACIÓN DE CARGAS CON CORDÓN DETONANTE

Las cargas explosivas también se pueden iniciar mediante cordón detonante, que a su vez debe iniciarse con un detonador eléctrico o pirotécnico. La iniciación de cargas de explosivo rompedor con cordón detonante es muy útil para aplicaciones militares, especialmente cuando se emplean las cargas interiores, pues el detonador debe quedar fuera del barreno u hornillo y por tanto la carga debe iniciarse por la explosión del cordón detonante.

Los procedimientos para iniciar diferentes tipos de cargas con cordón detonante se muestran en las figuras 3.15 y 3.16, y se basan en utilizar la cantidad suficiente de cordón detonante que asegure la detonación de la carga de explosivo.

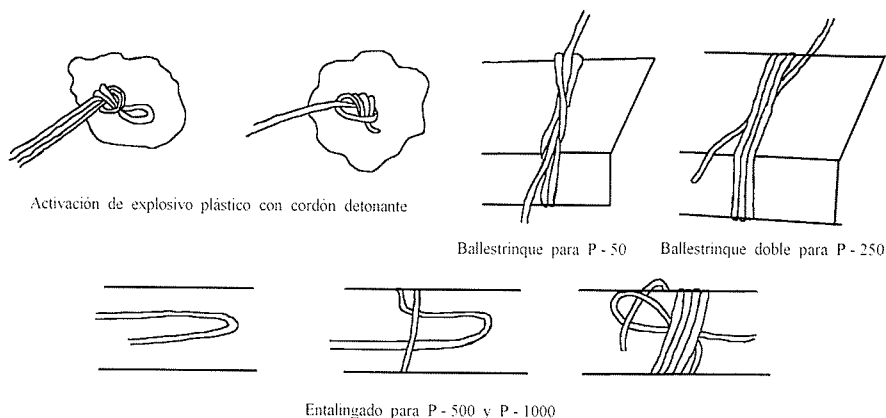
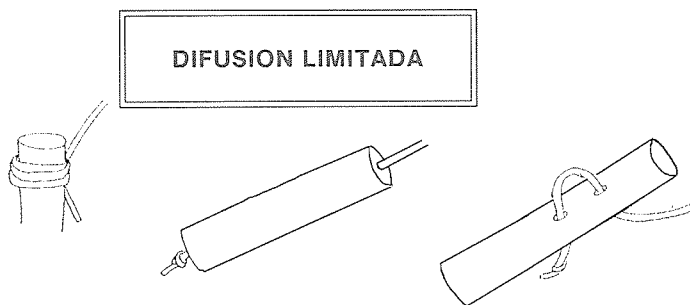
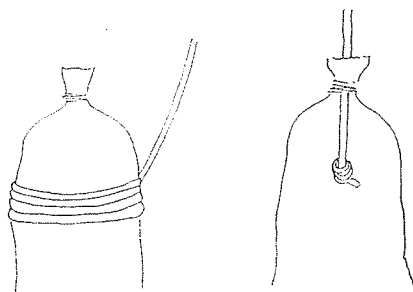


Figura 3.15.—Iniciación de petardos y explosivo plástico con cordón detonante



INICIACIÓN DE EXPLOSIVO INDUSTRIAL ENCARTUCHADO



INICIACIÓN DE HIDROGELES Y ANFOS

Figura. 3.16.—Iniciación de explosivo industrial encartuchado con cordón detonante

Estos nudos consiguen rodear con el suficiente explosivo a los petardos para hacerlos detonar. Por otra parte, se sujetan firmemente a ellos impidiendo que se suelten por tirones, quedando bien adheridos el cordón detonante y el explosivo.

En los petardos cebo y C-100 simplemente se puede hacer pasar el cordón por el orificio central de los petardos.

3.4. CIRCUITOS DE ENCENDIDO Y ESTADOS DE PREPARACIÓN

Ante la responsabilidad que supone, para el encargado de su preparación y ejecución, el dar fuego a las cargas para realizar una destrucción, se debe hacer todo lo necesario para que no se produzcan fallos en la explosión ni en la iniciación. Para ello, aparte de aplicar todas las normas a la hora de confeccionar las cargas y de su coloca-

ción en el objetivo a destruir, que vienen recogidas en estas orientaciones, es muy importante utilizar circuitos de encendido que aseguren la iniciación de las cargas.

Para ello es muy útil emplear como circuitos de encendido aros de fuego de cordón detonante (fig. 3.17). El aro de fuego se utiliza para dar fuego a varias cargas simultáneamente. Con este sistema se evita que el corte en cualquier punto del cordón produzca un fallo en el resto de las cargas.

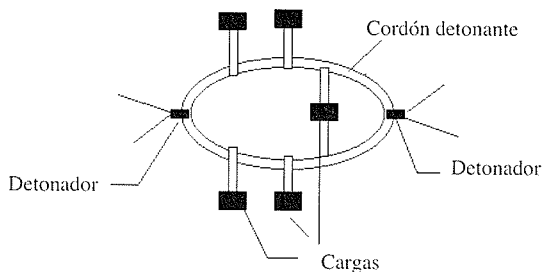


Figura. 3.17.—Aro de fuego de cordón detonante

Estos aros de fuego, además, deben llevar doble encendido, que puede ser pirotécnico, eléctrico o mixto. La forma de montar los aros de fuego puede variar, aunque sí es conveniente que lleve siempre encendido doble. A título orientativo se muestra en la figura 3.18 varios circuitos de encendido dobles.

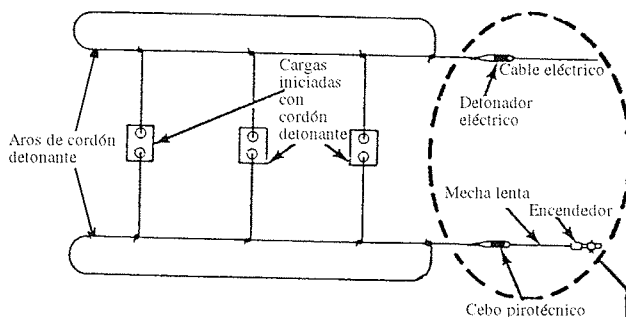
Respecto al estado de preparación de una destrucción y según el Stagnag 2017 y el AAP 19, se considera que ésta se encuentra en estado de preparación 1 (NO ACTIVADO) cuando las cargas y el circuito de encendido están colocados pero los detonadores no están instalados, y en estado de preparación 2 (ACTIVADO) cuando las cargas están colocadas y el circuito de encendido está completo y listo para la iniciación inmediata.

3.5. UNIÓN DEL ARTIFICIO A LA CARGA

La unión del arteificio a la carga es la última operación que se realiza antes de darle fuego a la misma. Dicha unión se puede realizar directamente si la carga es suficientemente pequeña, y a través de un petardo-cebo si la masa de explosivo de la carga es grande.

DIFUSION LIMITADA

1. CIRCUITO DE ENCENDIDO HORIZONTAL



2. CIRCUITO DE ENCENDIDO EN HORIZONTAL Y VERTICAL

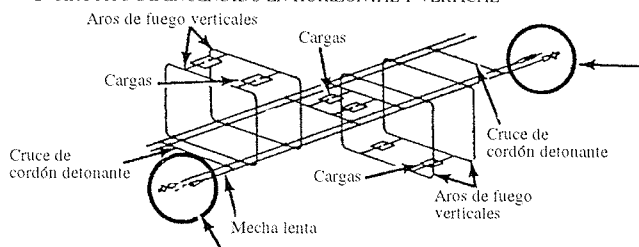


Figura. 3.18.—Ejemplos de circuitos de encendido

Para unir un cebo (pirotécnico o eléctrico) a un petardo de trilita se necesita un adaptador de cebo de los que se encuentran en las cajas de madera que contienen los petardos. Antes de la confección definitiva del artificio, se hace pasar un extremo libre de la mecha por el orificio del adaptador, y una vez confeccionado el artificio, cuando se vaya a realizar la unión a la carga, se enrosca el adaptador en el petardo correspondiente por el extremo de la rosca que tiene el mismo paso métrico (fig. 3.19).

Si no se dispone de adaptador de cebo, o el petardo de TNT es el petardo-cebo que carece de rosca, entonces la unión se fija mediante cinta aislante o cuerda bramante. Para ello se hace una coca con el bramante en la mecha lenta y se atan los extremos en el petardo. También puede realizarse introduciendo una astilla del tamaño adecuado entre el cebo y el petardo de forma que ambos queden acunados.

DIFUSION LIMITADA

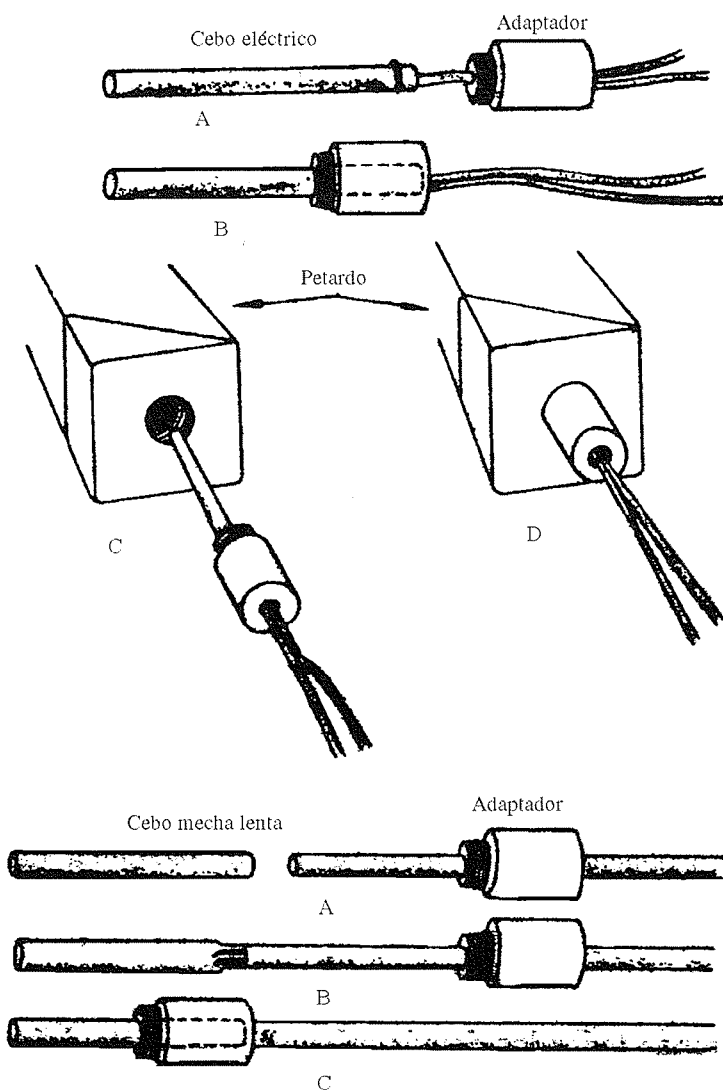


Figura. 3.19.—Unión de cebo a petardo mediante el adaptador de cebo

CAPÍTULO 4

CÁLCULO Y EMPLEO DE CARGAS ADOSADAS

4.1. PREPARACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LAS CARGAS ADOSADAS

4.1.a. GENERALIDADES

Los explosivos pueden estar colocados, con relación a los cuerpos sobre los que han de actuar, de dos modos distintos: dentro de la masa de estos cuerpos, en cuyo caso reciben el nombre de *cargas interiores*, o dispuestos sobre alguno o algunos puntos de su superficie, e incluso algo separados, tomando entonces el nombre de *cargas superficiales* o adosadas.

Por tanto, los explosivos pueden emplearse:

- Simplemente apoyados o adosados sobre la superficie del objeto a destruir.
- Colocados en el interior del objeto a destruir.

Las cargas adosadas se emplean normalmente sin atraque; por tanto, sólo pueden utilizarse explosivos del tipo de los rompedores. Es decir, petardos reglamentarios de trilita, explosivos plásticos o, excepcionalmente, la dinamita.

4.1.b. CARGAS CONCENTRADAS

Las cargas concentradas o cúbicas son aquellas en que los puntos superficiales de la carga equidistan sensiblemente del centro, y en consecuencia, son muy pequeñas las diferencias entre sus tres dimensiones.

Las cargas concentradas están constituidas por petardos reglamentarios apilados o envasados de forma que ocupen el mínimo volumen.

Se colocan, lo mejor posible, en contacto con el obstáculo que se quiera quitar o con el objeto que se quiera destruir.

4.1.c. CARGAS ALARGADAS

Las cargas alargadas o lineales son aquellas en que una de las dimensiones predomina con gran diferencia sobre las otras, aproximadamente iguales. Suelen ser prismáticas o cilíndricas.

El valor de una carga alargada viene expresado en kilogramos por metro lineal.

Para asegurar la transmisión de la onda explosiva a través de la carga hay que poner una pequeña cantidad de explosivo plástico por cada metro lineal de carga como mínimo. Las cargas se adosan entre sí por la cara de mayor superficie y se apoyan sobre un elemento rígido que permite el traslado de la carga con mayor facilidad. Los explosivos progresivos (pólvoras) no deben utilizarse nunca en cargas alargadas adosadas.

4.1.c.(1). **Para apertura de brechas en alambradas y campos de minas**

Existen cargas alargadas especialmente adaptadas para estas misiones (se describen en el capítulo 6: "Cargas prefabricadas y de explosión dirigida"); no obstante, pueden improvisarse cargas alargadas usando cualquiera de los siguientes procedimientos:

- 1.º Amarrar a lo largo de un listón los petardos de trilita.
- 2.º Llenar de petardos saquitos de tela de las dimensiones convenientes.

- 3.º Sujetar los petardos a lo largo de uno o varios cabos de cuerda de 10 mm de diámetro, sirviéndose de trozos de bramante, cinta de embalar o cinta aislante.
- 4.º Puede también rellenarse un tubo metálico de diámetro conveniente con explosivo plástico desprovisto de papel de envuelta, o bien hacer con este explosivo una salchicha con envuelta de tela.

En la figura 4.1 se expone la forma de amarrar los petardos en el primer procedimiento.

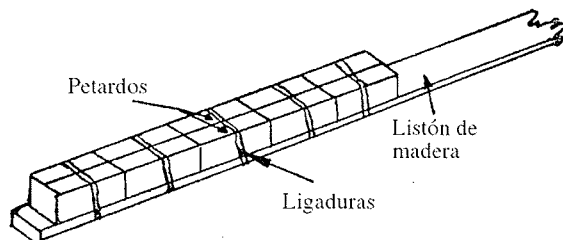


Figura 4.1.—Amarre de los petardos de trilita a un listón de madera

En la figura 4.2, los petardos amarrados a una cuerda, según lo expuesto en el tercer caso.

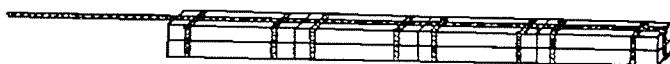


Figura 4.2.—Amarre de los petardos de trilita a uno o varios cabos de cuerda

4.1.c.(2). Para rotura de piezas metálicas

Se constituyen utilizando los petardos reglamentarios de trilita, bien unidos por sus cabezas en el sentido de la longitud, sobre toda la anchura de la pieza que se trata de romper y a lo largo de la sección de ruptura. El contacto entre la carga y la pieza metálica se hará todo lo perfecto posible.

Si se quiere repartir la carga de ruptura a uno y otro lado de la pieza, se disponen en par las dos cargas (fig. 4.3), uniéndolas con cordón detonante; su explosión simultánea producirá un efecto de corte.

Pueden constituirse utilizando explosivo plástico, que tiene la ventaja de que se puede moldear y adaptar exactamente a la forma de la pieza a destruir.

Se toma la cantidad de explosivo calculada para la ruptura de la pieza, y una vez desprovistos los petardos necesarios de su envuelta de papel parafinado, se amasan en forma de chorizo, de sección constante y de longitud igual a la anchura de la pieza a destruir en su sección de ruptura. Se coloca sobre la pieza y se aplasta sobre la superficie el chorizo explosivo, adaptándolo bien a todas las irregularidades del objeto, debiendo quedar la sección de aquél de forma semicircular.

Puede ser conveniente, siempre que sea posible, repartir la carga y colocarla en par.

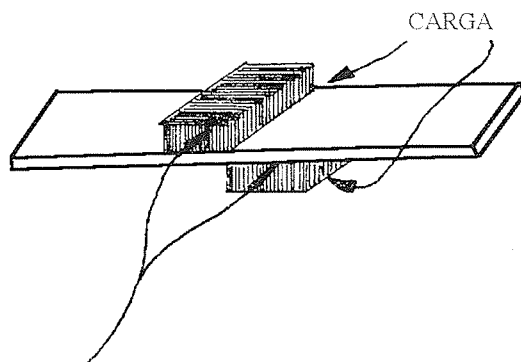


Figura 4.3.—Disposición en par de la carga

4.1.d. CARGAS EN PAR

La disposición de cargas en par consiste en colocar la carga en dos mitades en caras opuestas, con objeto de que la explosión haga el efecto de unas tijeras, para lo cual los bordes de las cargas deben coincidir con los lados mayores de la sección elegida.

4.1.e. CARGAS EN OPOSICIÓN

Consiste en un par de cargas idénticas en peso y forma, situadas diametralmente opuestas en las caras del elemento a destruir, con objeto de que sus respectivas ondas de choque se encuentren en su centro, dando origen a otras dos ondas reflejadas divergentes y de mayor amplitud que las primarias; se consigue así un efecto multiplicador de la potencia del explosivo. Las cargas en oposición se emplean solamente en medios pétreos.

Es fundamental tener en cuenta que este efecto se consigue solamente con una perfecta sincronización de la explosión de ambas cargas.

La simultaneidad de las detonaciones iniciales solamente se consigue con cordón detonante de idéntica longitud y del mismo rollo o mediante encendido eléctrico. Los fallos que en sus efectos pudieran presentarse hay que atribuirlos más que a la cantidad de explosivo empleado a defectos del sistema de fuego.

4.1.f. EMPLEO DE BOMBAS, PROYECTILES O MINAS

La utilización de bombas de aviación, proyectiles de artillería o minas para efectuar destrucciones es una solución que puede emplearse cuando se disponga de estos medios, principalmente los procedentes de recuperación.

La carga explosiva contenida en ellos es débil en comparación con su peso total; por otra parte, una fracción de la energía de la detonación del explosivo se pierde en la ruptura de la envuelta, lo que obliga a tenerla en cuenta en el cálculo teórico de la carga necesaria; también, por su forma, es difícilmente adaptable a superficies planas, por lo que es muy conveniente, cuando se emplean estos medios, utilizar el atraque.

No obstante, estos medios deben emplearse, cuando se disponga de ellos, para ahorrar explosivos de las dotaciones reglamentarias.

Conviene conocer el peso del explosivo que estos diversos medios contienen. En general:

- Una bomba de aviación contiene la mitad de su peso en explosivo.
- Un proyectil de artillería, el 15 por 100 de su peso.
- Una mina contracarro, el 50 por 100 si es de caja metálica o de plástico, y el 75 por 100 si carece de envuelta.

DIFUSION LIMITADA

Para tener en cuenta la energía absorbida por la ruptura de la envuelta, la carga teórica calculada para la destrucción se multiplica por el coeficiente 1,25, es decir, se aumenta en una cuarta parte.

En la tabla 4.1 se especifican algunos datos de proyectiles y minas.

TABLA 4.1. Algunos datos sobre proyectiles y minas

MUNICIÓN	TIPO	PESO TOTAL (kg)	PESO EXPLOSIVO (kg)	TIPO EXPLOSIVO	NACIONALIDAD
Bomba aviación	OFAB-100M	136	45	TNT	Rusia
Bomba aviación	OFAB-250M	268	88	TNT	Rusia
Bomba aviación	BRAB-220	238	38	TNT	Rusia
Bomba aviación	STRIN-21	410	160	TNT	Francia
Bomba aviación	SC-50	50	25	TNT	Alemania
Proyectil de Artillería (155 mm)	L15A2B1	43,35	11,3	RDX/TNT	Italia
Proyectil de Artillería	OE 105-60	21	2	Hexolita	España
Proyectil de Artillería	OE 90 F-1	8,95	0,945	Hexolita	España
Granada de Mortero (81 mm)	M512A2	4,10	1,03	TNT	Bélgica
Granada de Mortero (120 mm)	M62P1	12,60	2,25	TNT	Federación Yugoslava
Cohete de Lanzagranadas	PG-7	2,25	0,975	TNT	Rusia
Mina C/C	C-5	3,3	2,2	Composic. B	España
Mina C/C	TMA-3	7	6,5	TNT	Federación Yugoslava
Mina C/C	TMA-4	6	5,5	TNT	Federación Yugoslava
Mina C/C	M6A2	9,1	4,45	TNT	EEUU
Mina C/C	TMK-2	12,5	6	TNT	Rusia
Mina C/C	PRB M3	6,8	6	RDX-TNT	Bélgica
Mina C/C	VS-1.6	3	1,85	Composic. B	Italia
Mina C/C	P2 MK2	6,5	5	TNT	Paquistán
Mina C/C	TIPO 72	8,13	5	RDX/TNT	China
Mina C/C	MAT. 84-F5	10,3	9,3	Pentrolita	Chile
Mina C/C	PT Mi-U	9,41	7,108	TNT/RDX	Chequia
Mina C/C	MSM MK2	7,5	4	TNT	Finlandia

El activado de esta clase de proyectiles se realiza amarrando a ellos, en las proximidades del alojamiento de las espoletas, uno o varios petardos activados.

Como regla general, estas cargas serán de:

- Un petardo P-250 para proyectiles de artillería de calibre inferior a 100 mm, bombas de aviación de 10 kg y cualquier tipo de minas.
- Un petardo del P-500 para proyectiles de calibre de 100 a 200 mm y bombas de aviación de hasta 500 kg.
- Un petardo P-250 y otro P-500 para los proyectiles de artillería de calibre superior a 200 mm.
- Un petardo P-1000 para las bombas de aviación superiores a 500 kg.

4.2. ROTURA DE MADERAS

Para la rotura de maderas debe emplearse explosivo rompedor, que puede colocarse en cargas superficiales o empotradas, modalidad esta última aconsejable cuando se trate de romper piezas de grandes dimensiones.

Con las cargas empotradas se ahorra explosivo; con las cargas adosadas se ahorra tiempo.

4.2.a. CÁLCULO DE LA CARGA

Para madera escuadrada se emplea la fórmula:

$$C = M \cdot A \cdot a \cdot b$$

en la que C es la carga del explosivo rompedor en gramos; M , un coeficiente que depende de la clase de madera; A , un coeficiente de atracción, y a y b , las dimensiones de la escuadra de la pieza en centímetros.

Para explosivo plástico:

$$C = 7a \cdot b,$$

en la que C es la carga en kilogramos, y a y b , la anchura y el espesor de la pieza en metros.

En las tablas 4.2 y 4.3 se dan los valores de los coeficientes M y A .

TABLA 4.2. Valores del coeficiente M

CLASE DE MADERA	M
Blandas y secas	1,00
Blandas y verdes	1,25
Duras y secas	1,25
Duras y verdes	1,50

TABLA 4.3. Valores del coeficiente de atraque A

CLASE DE ATRAQUE	A
Simplemente adosada, sin atraque	1,00
Simplemente adosada, con atraque incompleto	0,75
Simplemente adosada, con atraque completo	0,50
Carga empotrada	0,15

Las cargas deben aplicarse siempre en la cara más ancha, de modo que queden los petardos a lo largo de la sección de ruptura de un modo homogéneo, y procurando que ningún trozo de cartucho rebase los bordes de dicha cara, según se señala en la figura 4.4.

La altura o grueso de la carga no debe exceder de la mitad del ancho de la misma; si la carga es tan grande que la condición anterior resulta difícil de cumplir, se aplica en par (fig. 4.5), o sea, en las dos mitades opuestas, con objeto de que la explosión haga el efecto de unas tijeras, para lo cual los bordes de las cargas deben coincidir con los lados mayores de la sección elegida.

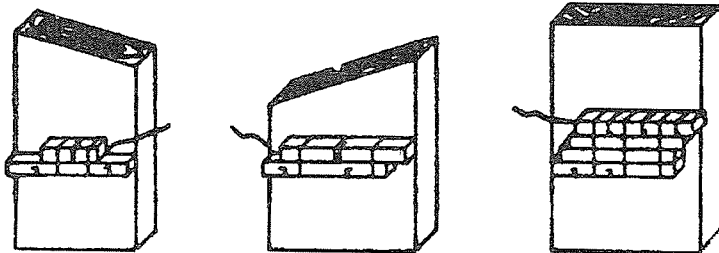


Figura 4.4.—Colocación de la carga

Los petardos se atan cuidadosamente a la pieza, para conseguir un íntimo contacto entre ellos y de la carga con aquélla. Para ello se emplean cuñas de madera, cuerdas, cordeles, alambres, el cordón de goma de la bolsa de artificiero o cinta aislante.

El detonador se coloca en el petardo central, y si hay varias tongadas de petardos, en el que ocupe el centro de la tongada exterior.

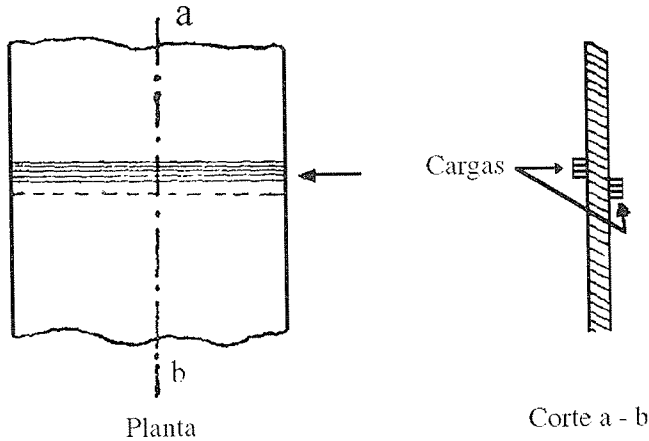


Figura 4.5.—Disposición de la carga formando par

En las disposiciones en par se simultanean las explosiones de las dos medias cargas, utilizando cuerda detonante o valiéndose de los procedimientos eléctricos ya expuestos en el capítulo 2.

Si la anchura de la cara donde haya de colocarse la carga es menor que la longitud de un petardo, se dispone éste oblicuamente (fig. 4.6).

En las maderas yuxtapuestas se calcula la carga por la fórmula general, como si fuera una sola pieza.

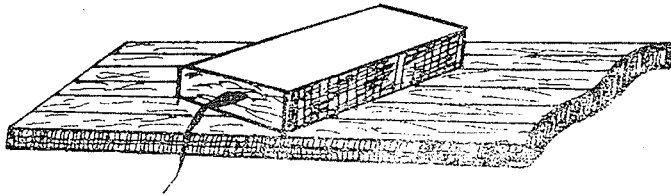


Figura 4.6

Si las maderas yuxtapuestas están separadas por tacos de madera, la carga se coloca en el espacio intermedio y se calcula por la fórmula general para romper la de mayor escuadría; de esta forma se rompen las dos.

Si la separación fuese pequeña y no permitiese la colocación de los petardos entre las maderas, se cuenta el espacio vacío como madera y se pone la carga en los dos lados, después de calcularla por la fórmula general.

Se clasifican como maderas blandas las de ciprés, abeto, alerce, álamo, pino, tilo, sauce, y como duras, las de acacia, encina, castaño, cerezo, fresno, arce, haya, olivo, olmo, nogal, plátano, manzano, peral, etc.

4.2.b. ÁRBOLES Y ROLLIZOS

La carga se calcula por la fórmula general, sin más que sustituir el producto de las dimensiones a y b por d^2 , siendo d el diámetro del rollizo a romper; son de aplicación también las tablas 4.2 y 4.3. Si se emplea explosivo plástico, las fórmulas serán:

$$C = 7 d^2 \text{ ó}$$

$$C = 0,70 p^2$$

C es la carga en kilogramos, d y p , el diámetro y el perímetro, respectivamente, en metros.

Para abatir árboles es de interés conocer que, al romperse por efecto de la explosión, caerán en la dirección en la que estuvo colocada la carga en el tronco y hacia este lado; por ello es preciso colocar la carga en el punto conveniente. Si es necesario hacer talas que sirvan de obstáculo al avance del enemigo, el dirigir la caída de los árboles ahorra mucho tiempo.

Si se trata de romper los árboles con cargas adosadas, se colocan éstas en forma de cargas alargadas rodeando el tronco, formando lo que se llama *rosario* (fig. 4.7), y para adaptar mejor los petardos al rollizo, se dan en la superficie de ésta algunos cortes con la azuela que alisen la superficie de contacto.



Figura 4.7.—Cargas adosadas en rosario

La carga se encierra en una envoltura de tela que se ata al rollizo, o bien se unen los petardos a ésta por medio de cuerdas, colocando, además, algunos clavos para sujetar los cartuchos.

Si esta salchicha fuese de mayor longitud que la circunferencia del tronco, se enrolla en hélice sobre éste.

El detonador se coloca en el petardo del centro, y si el número de petardos es grande, se coloca un detonador suelto o una pequeña cantidad de explosivo plástico en algunos de ellos; por ejemplo, en uno de cada cuatro.

Con cargas adosadas se precisan 133 gramos de explosivo rompedor por decímetro cuadrado de sección, y con cargas empotradas, 45 gramos por decímetro cuadrado de sección.

En la práctica no conviene dividir los petardos, sino colocar la carga por exceso.

4.2.c. ROTURA DE MADERAS A DISTANCIA

Para rotura de maderas a distancia se emplea la fórmula:

$$C = 0,06 M \cdot a (b + K \cdot l)^2$$

en la que C es la carga del explosivo rompedor en gramos; M es el coeficiente de la madera (tabla 4.2); a es la anchura, en centímetros,

de la pieza frente a la carga; b es el espesor de la pieza en centímetros; l , la distancia de la carga a la pieza de madera en centímetros (entre los centros de gravedad), y K es un coeficiente que depende del medio interpuesto entre la carga y la pieza a destruir, cuyos valores se dan en la tabla 4.4 a continuación:

TABLA 4.4. Valores del coeficiente K

MEDIO INTERPUESTO	K
Madera	0,4
Tierra	0,5
Aire	0,6
Agua	0,2

Si en lugar de romper una sola pieza se desea romper n piezas iguales, caso de un blindaje de rollizos, se multiplica el valor obtenido C por n .

Si fuese posible descubrir las piezas de madera en el caso de blindajes de rollizos, se obtendría una gran economía de explosivos al poder aplicar las cargas directamente sobre aquéllas y atracarlas después con las tierras extraídas. El cálculo de las cargas se haría entonces empleando la fórmula general para carga adosada, con atraque.

4.2.c.(1). Destrucción simultánea de varias piezas de madera dentro del agua con una sola carga

Se aplica la fórmula anterior, transformada en:

$$C = 1,5 \cdot 0,06 \cdot a (b + 0,2 L)^2,$$

Para cuyo empleo sirven también las tablas 4.2 y 4.3, tomando para L la distancia, en centímetros, de la carga a la pieza más alejada.

El agua constituye un atraque perfecto, siempre que la profundidad sea suficiente; conviene colocar la carga lo más profundamente posible y nunca a menos de medio metro de la superficie del agua.

4.2.c.(2). Roturas de pilotes debajo del agua

Sirve lo dicho al tratar de la destrucción de varias piezas de madera dentro del agua con una sola carga.

DIFUSION LIMITADA

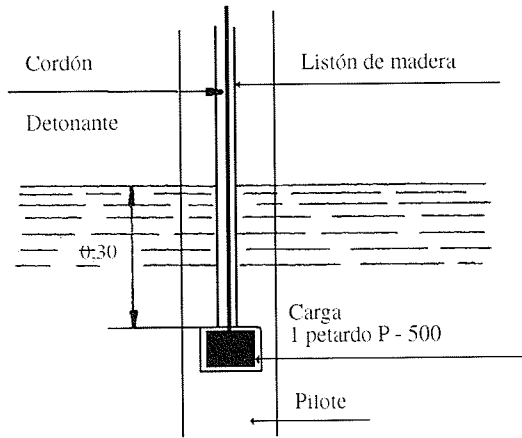


Figura 4.8.—Destrucción de pilotes

Pueden destruirse los pilotes adosándoles cargas de explosivo rompedor calculadas por las fórmulas generales del principio del presente capítulo, según se trate de piezas escuadradas o de rollizos, y sirviendo el agua de atraque.

Para cargas en contacto, $C = 10d^2$ da valores suficientes, C y d en kilogramos y en metros, respectivamente; se dispone la carga en el extremo de un listón de madera, según indica la figura 4.8.

4.2.d. DESTRUCCIÓN DE UNA EMPALIZADA

Dada la longitud de la brecha a formar y la dimensión media de los maderos de la empalizada, para obtener la carga necesaria se multiplica el n.º de piquetes o maderas que forman el trozo que se quiere derribar para destruir parte o toda la empalizada por el valor de la carga necesaria para destruir un solo piquete o madera obtenida por la fórmula general, según se trate de piezas escuadradas o rollizos:

$$C = M \cdot A \cdot a \cdot b \quad \text{ó}$$

$$C = M \cdot A \cdot d^2$$

Para destruir un piquete y por el número de los que forman el trozo que se quiere derribar para destruir parte o toda la empalizada.

4.3. ROTURAS METÁLICAS

4.3.a. ROTURA DE HIERROS

La destrucción de piezas metálicas, en general, es una operación que se realiza con mucha rapidez, pero que sólo da buenos resultados cuando la carga se coloca con todo cuidado. Deben emplearse exclusivamente explosivos rompedores, que trabajan por esfuerzo cortante durante su explosión, por lo que su efecto es sólo función de su naturaleza y de la escuadría de la pieza a romper.

Las precauciones que se deben observar al colocar las cargas son las siguientes:

- Íntimo contacto entre la carga y la pieza que se quiere destruir, de modo que el centro de gravedad de aquélla esté lo más próximo posible a ésta.
- Perfecto contacto entre los petardos de la carga, pues si no existiera, la destrucción puede ser incompleta y fallar, por tanto, el efecto mecánico buscado. Se obvia este inconveniente con el empleo de explosivos rompedores plásticos, en los que no existen soluciones de continuidad por constituir una masa homogénea adaptada a la pieza a romper.
- Sólida sujeción de las cargas a las piezas metálicas, de manera que las vibraciones producidas (por ejemplo, por la circulación en un puente) no las separen del contacto con el metal ni desbaraten las uniones y dispositivos de los artificios de inflamación. En este aspecto, también es ventajoso el empleo de los explosivos rompedores plásticos.
- La carga debe distribuirse proporcionalmente a la resistencia y a lo largo de la línea de ruptura, sin rebasarla. La propiedad de los explosivos plásticos de poder moldearse a mano permite realizar esta operación en las mejores condiciones.
- La carga tiene, en general, forma de paralelepípedo, con la dimensión mayor dispuesta según la anchura de la pieza a destruir, y a ser posible, igual a ésta. La experiencia ha demostrado que la relación que debe existir entre las menores dimensiones

de la carga (altura, n , y anchura, m) para que su centro de gravedad ocupe la posición más a propósito, es:

$$n/m = 1/2$$

- En piezas de espesor constante, una vez determinado el número de petardos que entran en una sección recta de la carga, deben agruparse de manera que dicha sección recta se acerque a la forma cuadrada, sin perjuicio de que el centro de gravedad de la sección se acerque lo más posible a la superficie de la pieza que se quiera romper. Si por emplear la sección cuadrada resultase el centro de gravedad demasiado alejado de la pieza, puede dividirse la carga en dos partes, siguiendo los principios anteriores, de manera que al obrar formen un par de ruptura que favorezca ésta. Deberán, pues, colocarse dichas dos partes (fig. 4.9) en distintos lados del plano normal a la pieza a lo largo de la línea de rotura.
- Aunque las cargas se calculan como superficiales, es muy conveniente, si es posible y hay tiempo, disponer encima de la carga atraques de sacos terreros, piedra, arena, tepes, etc. El petardo-cebo iniciador de la explosión, en cada carga concentrada, se colocará en el centro y sobre el petardo más alejado del objeto que se quiere romper, porque así los gases primeramente formados sirven de atraque y barrera a los siguientes, comprimiendo al mismo tiempo los petardos sobre el objeto y aproximándose, por tanto, a él el centro de gravedad de la carga.

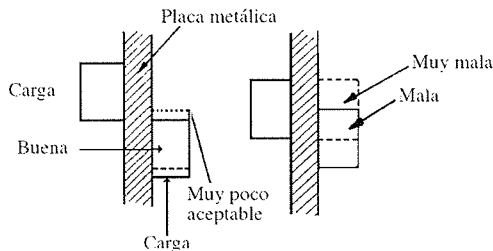


Figura 4.9.—Par de ruptura

- En las cargas alargadas de pequeña longitud se colocará un petardo-cebo central; en las comprendidas entre 1 y 2 metros, uno en cada uno de los extremos, y en las de mayor longitud se seguirá la regla de disponer un petardo-cebo cada metro.
- En todos los casos en los que se establezca un par de ruptura, hay que simultanear el fuego, utilizando un procedimiento eléctrico o cordón detonante.

Los petardos cebos pueden ser sustituidos en todos los casos por una cantidad equivalente de explosivo plástico.

4.3.b. CÁLCULO DE LA CARGA

La fórmula general es:

$$C = 25 S$$

en la que C es la carga en gramos de explosivo rompedor, y S , la sección transversal de la pieza, en centímetros cuadrados. En el caso de placas cosidas se toma como espesor el de la suma de los espesores de todas ellas.

Para explosivos plásticos, la fórmula general es la siguiente:

$$C = 15 a \cdot b = 15 S$$

donde se toma C en gramos; a y b , en centímetros, y S , en centímetros cuadrados.

Si el resultado de la aplicación de la fórmula no diese una carga que pudiese repartirse en un número exacto de petardos, no conviene dividirlos; es preferible que la carga vaya por exceso.

La tabla 4.5 está calculada para una anchura de 1 cm. Basta multiplicar la carga de la tabla por la anchura de la pieza de palastro a romper, en centímetros, para conocer la carga total de trilita necesaria.

Para la rotura de hierros utilizando dinamita se emplean las fórmulas:

$C = 0,0063 a \cdot b^2$, para el cálculo de la carga adosada al lado mayor. Si se trata de hierro redondo, la fórmula es:

$$C = 0,0063 d^2$$

en ambos casos, C es la carga de dinamita en kilogramos; a y b , la anchura y el espesor de la pieza, en metros, y d , el diámetro en metros.

**TABLA 4.5 Valores de la carga (en gramos)
para romper palastros sencillos y cosidos**

ESPESOR (cm)	CARGA (g)	ESPESOR (cm)	CARGA (g)	ESPESOR (cm)	CARGA (g)	ESPESOR (cm)	CARGA (g)
0,30	7,50	1,40	35,00	2,60	65,00	3,80	95,00
0,35	8,75	1,50	37,50	2,70	67,50	3,90	97,50
0,40	10,00	1,60	40,00	2,80	70,0	4,00	100,00
0,50	12,50	1,70	42,50	2,90	72,50	4,20	105,00
0,60	15,00	1,80	45,00	3,00	75,00	4,40	110,00
0,70	17,50	1,90	47,50	3,10	77,50	4,60	115,00
0,80	20,00	2,00	50,00	3,20	80,00	4,80	120,00
0,90	22,50	2,10	52,50	3,30	82,50	5,00	125,00
1,00	25,00	2,20	55,00	3,40	85,00	6,00	150,00
1,10	27,50	2,30	57,60	3,50	87,50	7,00	175,00
1,20	30,00	2,40	60,00	3,60	90,00	8,00	200,00
1,30	32,50	2,50	62,50	3,70	92,50	9,00	225,00

Como dato práctico, para hierros de pequeña sección pueden tomarse de 30 a 50 gramos de dinamita por centímetro cuadrado de sección.

4.3.c. PERFILES LAMINADOS

Para romper hierros en perfiles laminados se calculan las cargas por las fórmulas generales, descomponiendo el perfil en partes equi-parables a simples palastros.

El resultado obtenido debe redondearse para tener un número exacto de petardos.

En perfiles de pequeñas dimensiones basta una sola carga para romper la parte que ofrece mayor resistencia.

Para el cálculo de las cargas se emplean las fórmulas generales:

$$C = 25 S \text{ para trilita;}$$

$$C = 15 S \text{ para plástico}$$

siendo S la sección total del perfil en el plano de ruptura, o sea, la suma de las secciones de cada una de las partes que forman el perfil (alas y alma).

Los petardos deben sujetarse bien al hierro, con goma o bramante, y acuñarse con cuñas de madera.

No pueden darse reglas fijas para la colocación de las cargas; se indican diferentes disposiciones en las figuras 4.10, 4.11 y 4.12, que sirven de orientación para aplicar en cada caso la mejor.

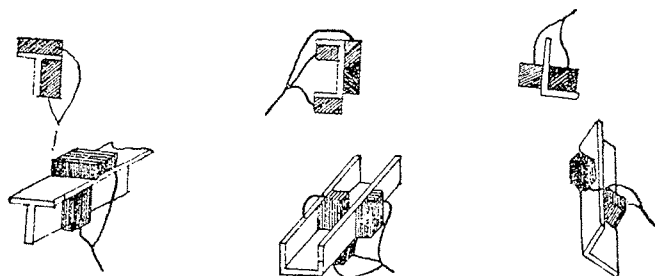


Figura. 4.10.—Disposición de las cargas en perfiles laminados

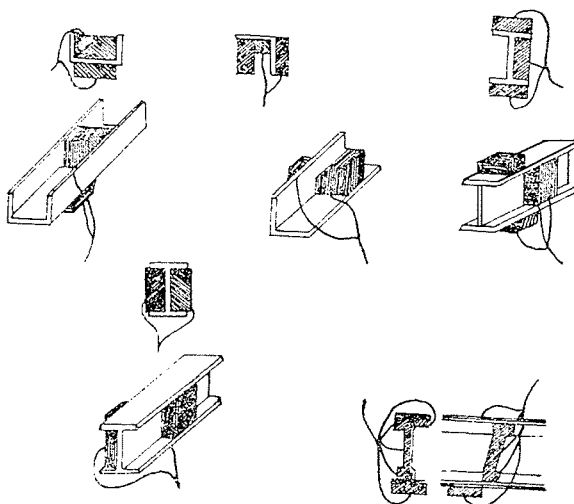


Figura. 4.11.—Diferentes posiciones de las cargas en perfiles laminados

DIFUSION LIMITADA

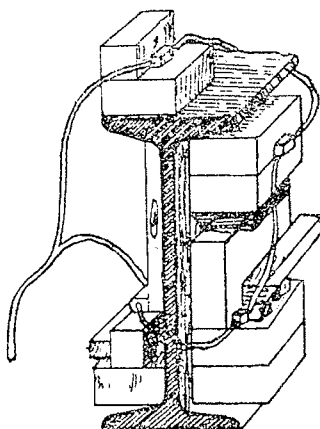


Figura 4.12.—Detalle de la colocación de las cargas en un perfil doble T

En la tabla 4.6 se exponen las dimensiones, sección y carga, en gramos, necesarias para la rotura con trilita de los perfiles más usuales.

Para emplear el explosivo plástico, las cargas que figuran en la tabla se multiplican por el coeficiente 0,6, es decir, se reducen casi a la mitad.

El explosivo plástico, desprovisto de su envuelta, amasado y formando cordón, debe estar bien adherido a las superficies, utilizando incluso ligaduras y cuñas (fig. 4.13); el espesor del cordón será proporcional al espesor de la superficie a la que está adosado.

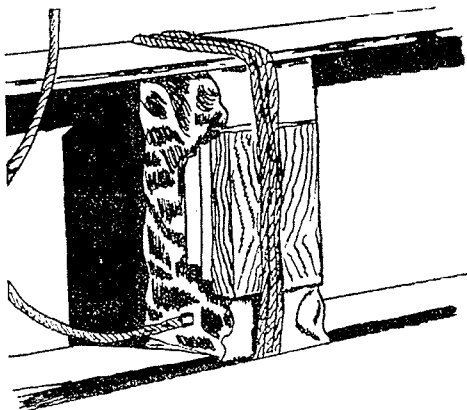


Figura. 4.13.—Adaptación del explosivo plástico a un perfil laminado

TABLA 4.6. Destrucción de perfiles diversos

[illegible]

La carga C para TNT. Para explosivos plástico, $C = 0,6 \text{ C}$

4.3.d. VIGAS ARMADAS

Las vigas armadas de palastro transversal se consideran divididas en varios elementos, para cada uno de los cuales se calcula la carga por la fórmula general. Estos elementos son los siguientes:

- La tabla superior, incluyendo las alas horizontales de los angulares.
- Las alas verticales de los angulares superiores más el espesor del alma de la vigueta comprendida entre ambas.
- El trozo del alma comprendido entre los hierros en el ángulo superior e inferior.
- Las alas verticales de los angulares inferiores y la parte del alma comprendida entre ambas, el alma horizontal del angular de la derecha y la mitad de la tabla inferior.
- El ala horizontal del angular inferior de la izquierda y la mitad de la tabla inferior.

Las cargas se disponen como en la figura 4.14. Se acuña sólidamente el conjunto por medio de tacos de madera, tablas, sacos terrosos, etc., y se mantiene fijo y suspendido de las alas mediante cepos de madera, flejes metálicos, pelladas de yeso, etc.

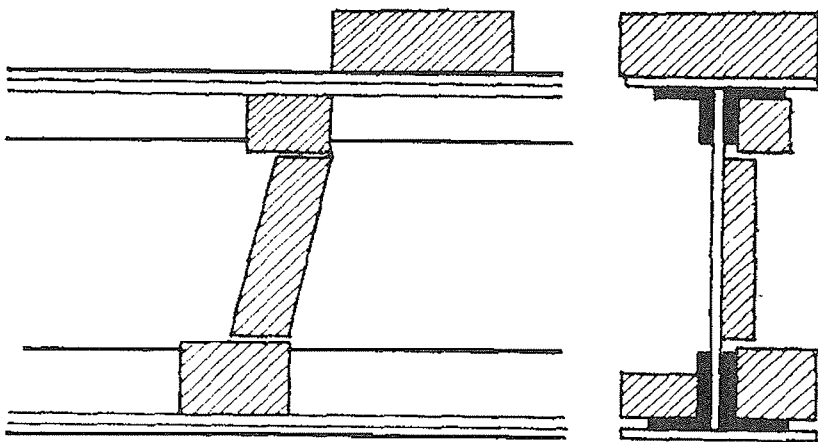


Figura. 4.14.—Disposición de las cargas en una vigueta compuesta I

4.3.e. BARRAS DE SECCIÓN CUADRADA O CIRCULAR

Para las primeras se aplican las fórmulas:

$$C = 25 S, \text{ para trilita;}$$

$$C = 15 S, \text{ para explosivo plástico.}$$

Para las de sección circular se emplean las siguientes fórmulas:

$$C = 25 d^2, \text{ para trilita;}$$

$$C = 100 d \text{ ó } C = 33 p, \text{ para explosivo plástico.}$$

siendo d y p , respectivamente, el diámetro y el perímetro de la barra, en centímetros.

El explosivo plástico se adapta a la barra según se indica en la figura 4.15.

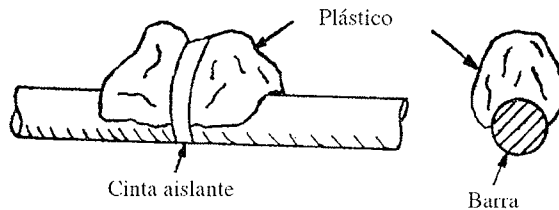


Figura 4.15.—Adaptación del explosivo plástico a una barra

4.3.f. ROTURAS DE CABLES METÁLICOS, TUBOS, VERJAS Y ALAMBRADAS

4.3.f.(1). Cables de acero y cadenas

El valor de la carga se calcula, en función del diámetro, por la fórmula:

$$C = 6,8 (d + l)^3, \text{ para trilita;}$$

$$C = 20 d^2 \text{ ó } C = 2 p^2, \text{ para explosivo plástico;}$$

C es la carga en gramos; d , el diámetro en centímetros, y p , el perímetro en centímetros.

La carga se divide en dos partes, que se aplican formando par.

DIFUSION LIMITADA

Los petardos se colocan bien unidos al cable y en el sentido de su longitud (fig. 4.16) y sujetos a él por capas concéntricas sucesivas.

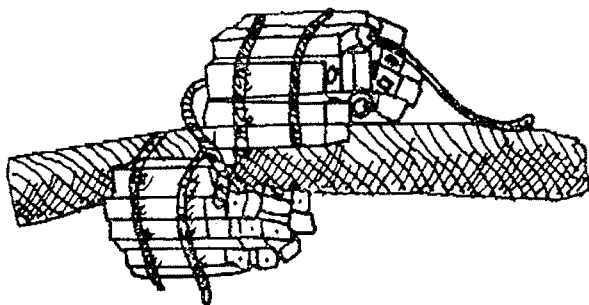


Figura 4.16.—Colocación de petardos en un cable metálico

Quando se emplea explosivo plástico, la carga se dispone en anillo, rodeando el cable; no debe emplearse menos de 100 gramos de este explosivo.

En la tabla 4.7 se da la carga de trilita necesaria para la rotura de cables de acero de diferentes diámetros.

TABLA 4.7. Carga de trilita necesaria para la rotura de cables de acero sin atraque

DIÁMETRO (cm)	CARGA (g)	DIÁMETRO (cm)	CARGA (g)
1,50	105	5,00	1.460
2,00	190	5,30	1.690
2,60	250	5,60	1.950
2,80	315	6,00	2.175
3,00	435	6,30	3.000
3,30	540	6,60	2.625
3,60	660	7,00	3.465
4,00	850	7,30	3.865
4,30	875	7,60	4.315
4,60	1.200	8,00	4.920

4.3.f.(2). Tubos o columnas huecas de hierro

La carga se calcula por la fórmula:

$$C = 25 \pi D e$$

en la que C es la carga, en gramos, de explosivo rompedor; D , el diámetro exterior del tubo o columna, en centímetros, y e , el espesor de la pieza en centímetros.

Si se trata de columnas o tubos de fundición, se toman los dos tercios del valor que se obtenga por la fórmula anterior.

En la tabla 4.8 viene la carga de trilita necesaria para destruir columnas de hierro y de fundición.

TABLA 4.8. Cargas de trilita sin atraque, necesarias para destruir columnas de hierro y de fundición

MATERIAL	DIÁMETRO EXTERIOR D (mm)	ESPESOR e (mm)	CARGA NECESARIA PARA LA ROTURA DE COLUMNAS, TENIENDO EN CUEN- TA EL MAYOR ESPESOR (en g)
HIERRO	60	3 a 5	300
	80	4 a 6	400
	100	5 a 7	500
	120	6 a 8	700
	100	10 a 16	900
FUNDICIÓN	120	12 a 20	1.300
	140	12 a 20	1.500
	160	14 a 22	1.900
	180	14 a 22	2.100
	200	16 a 28	3.000
	220	18 a 30	3.500
	250	18 a 30	4.000

4.3.g. VERJAS METÁLICAS

Se abren brechas en las verjas metálicas por medio de una o varias cargas alargadas colocadas horizontalmente contra los barrotes, a ser posible a lo largo de los travesaños (fig. 4.17).

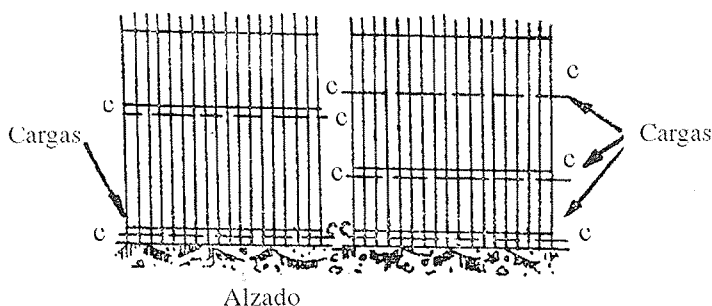


Figura 4.17.—Colocación de petardos en una verja metálica

Se amarra la carga a la verja por medio de alambre o bramante. La carga variará según el diámetro y la separación de los barrote, bas-
tando en general una carga de 2 a 4 kg por metro lineal.

Si la verja no es accesible, se amarra en la extremidad de una pértiga una carga concentrada de unos 50 kg, que se empuja hasta que quede en contacto con los barrote.

La carga se dispone, según indica la figura 4.18, provista de doble
circuito de encendido, con encendedores pirotécnicos o sistema eléc-
trico.

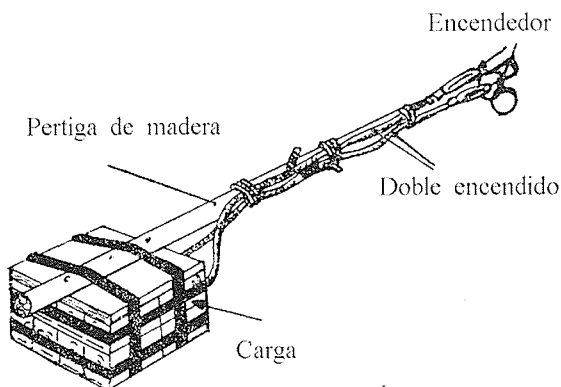


Figura 4.18.—Pértiga de una carga concentrada

4.4. DESTRUCCIONES DE OBRAS DE FÁBRICA

4.4.a. BRECHAS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA O LADRILLO

4.4.a.(1). Por cargas alargadas

Para abrir brechas en muros de espesores inferiores a 0,60 metros, se emplea una carga alargada de longitud igual a la de la brecha que se desee conseguir, colocada al pie del muro. Es conveniente, una vez colocada, cubrirla con tierra, que se apisona (figura 4.19).

La carga, en kilogramos por metro, se calcula por la fórmula:

$$C = 10 e^2$$

donde e es el espesor del muro, en metros.

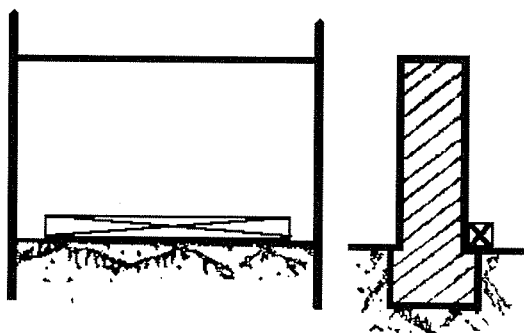


Figura 4.19.—Carga alargada, con un muro de mampostería o ladrillo

Si el muro es de mayor espesor, se coloca la carga en una zanja de 15 a 20 cm de profundidad, excavada al pie del muro, o bien se practica una roza en el mismo muro de unos 15 cm de profundidad y se coloca en ella el explosivo. Esta roza puede obtenerse haciendo detonar previamente una carga alargada de igual longitud formada por una fila de petardos C-100 o P-250 colocados adosados a un solo lado del perfil (caso de no ser accesible el otro).

La dinamita también se emplea en la destrucción de mamposterías. Las fórmulas para calcular la carga por metro lineal para muros de espesor comprendido entre 0,70 y 2,30 m son:

- Carga alargada adosada y suspendida de escarpías:

$$C = 11,45 \cdot e^2$$

- Carga alargada colocada adosada al pie del muro:

$$C = 10,82 \cdot e^2$$

C viene dado en kilogramos, y el espesor e , en metros.

4.4.a.(2). Por cargas concentradas

Se pueden utilizar cargas concentradas adosadas para muros de espesor inferior a 1,50 m.

Para cargas concentradas adosadas al pie del muro se calcula en kilogramos por la fórmula:

$$C = 50 \cdot e^3$$

siendo e el espesor en metros. Se distancian las cargas dos veces el espesor del muro (fig. 4.20).

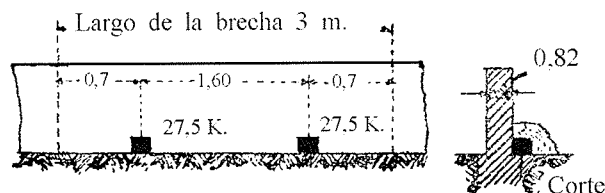


Figura 4.20.—Cargas concentradas y adosadas al pie de un muro

Si las cargas se colocan enterradas al pie del muro en hoyos de 15 a 20 cm de profundidad, su valor, en kilogramos, se calcula por la fórmula:

$$C = 10 \cdot e^3$$

distanciando las cargas dos veces el espesor también.

Si se emplea dinamita, las fórmulas para muros de espesor comprendido entre 0,70 y 2,30 m y cargas concentradas son las que se expresan a continuación:

- Si la carga se coloca concentrada adosada al muro y suspendida de escarpías, la fórmula es:

$$C = 53,6 \cdot e^2$$

- Si la carga se sitúa concentrada al pie del muro, sin enterrar:

$$C = 50,41 \cdot e^2$$

separando las cargas dos veces el espesor del muro.

4.4.b. DESTRUCCIÓN DE OBRAS DE HORMIGÓN

Se colocan las cargas y se calculan lo mismo que para muros de mampostería, utilizando las fórmulas siguientes para cargas alargadas, en kilogramos por metro lineal:

$$C = 15 e^2 \text{ para hormigón ordinario;}$$

$$C = 20 e^2, \text{ para hormigón de } 400 \text{ kg/cm}^2.$$

Estas cargas deben enterrarse al pie del muro.

4.4.c. DESTRUCCIÓN DE OBRAS DE HORMIGÓN ARMADO

Los explosivos rompedores, debido a sus efectos violentos, son los de empleo indicado para destrucciones de obras de hormigón armado.

Los efectos de la explosión de una carga de explosivo rompedor son más bien de disgregación y destrucción del hormigón que de corte de las armaduras. Si se desea una rotura total, es necesario poner cargas muy grandes y colocar el explosivo lo más cerca posible de las armaduras. En campaña, a menudo habrá que contentarse con la destrucción de la obra, aunque los hierros de las armaduras no resulten cortados. Siempre que sea posible, es conveniente hacer acanaladuras en el hormigón para favorecer y aumentar los efectos del explosivo.

La destrucción del hormigón armado se puede hacer en dos fases.

En la primera se destruye el hormigón, quedando las armaduras al descubierto. Se utilizan cargas alargadas, siendo el peso, en kilogramos por metro lineal:

$$C = 30 e^2, \text{ para hormigón de hasta } 300 \text{ kg/cm}^2;$$

$$C = 42 e^2, \text{ para hormigón de más de } 300 \text{ kg/cm}^2.$$

La segunda fase tiene por objeto la rotura de las barras de la armadura; la carga se calcula por la fórmula general especificada anteriormente para la de rotura de hierros.

Como norma general, siendo d el diámetro de las barras, se puede utilizar:

- Para $d < 30$ mm, una carga de 250 g de trilita.
- Para $30 < d < 50$ mm, una carga de 500 g de trilita.

Los petardos se acoplan formando par para barras menores de 40 mm de diámetro; para barras mayores se dispone la carga en un solo lado. En ambos casos, los petardos se amarran con alambre o bramante.

Cuando se trate de piezas sujetas a esfuerzos verticales: pilares, pilas de puentes, etc., basta con la primera fase, colocando las cargas en su base, pues las armaduras se flexarán por efecto de los esfuerzos que soportan.

Cuando se efectúa la destrucción en una sola fase, la principal dificultad que presentan las obras de hormigón armado es la de averiguar el número y disposición de las armaduras, la sección de los hierros que las constituyen y su distribución en la obra. Claro está que en aquellas obras cuya destrucción está preparada desde tiempo de paz se conocen perfectamente todas sus características y la voladura no presentará dificultad alguna.

En el caso de que se conozcan exactamente las armaduras, la fórmula que debe emplearse es la siguiente:

$$C = 6,75 \cdot b \cdot (d + 1)^2,$$

en la que C es la carga de explosivo rompedor, en gramos, por metro lineal; b , la anchura del elemento a destruir, en centímetros, y d , el diámetro del redondo de la armadura más el espesor de la pared del recipiente que contiene la carga, en centímetros.

Si no se conocen las armaduras y su disposición, la fórmula general es:

$$C = K \cdot a \cdot b,$$

en la que C es la carga de explosivo, en gramos; K , el coeficiente que indica la tabla 4.9, dado en función del atraque y clases de roturas para distintas piezas macizas de hormigón armado, y a y b , las dimensiones de la sección, en centímetros.

TABLA 4.9. Valores de K en función del atraque y clase de rotura

CLASE DE ATRAQUE	VIGAS, ARCOS	MUROS Y BÓVEDAS
Sin atraque	3,75	2,70
Con atraque	2,70	2,10

4.4.d. POR CARGAS EN OPOSICIÓN

El cálculo de las cargas en oposición se realiza por las fórmulas siguientes:

$C = 1,5 \cdot e$, para hormigón en masa, roca o mampostería;

$C = 2,25 \cdot e$, para hormigón armado

donde:

C = peso de cada carga, en kilogramos (trilita);

e = espesor del elemento a destruir.

En el caso de que el elemento a destruir sea de una longitud, L , varias veces mayor que su espesor, e , el número de cargas necesarias para su destrucción es:

$$N = \frac{L}{2e}$$

Y las cargas se distancian entre sí dos veces el espesor del elemento.

Ejemplo: Calcular la cantidad de trilita necesaria para practicar una brecha de 7 m en un muro de hormigón en masa de 0,82 m de espesor (fig. 4.21a y b).

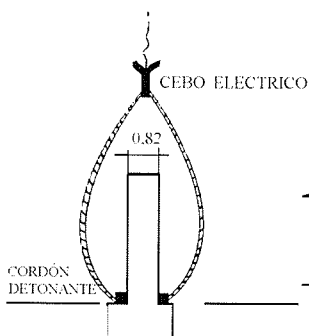


Figura 4.21a

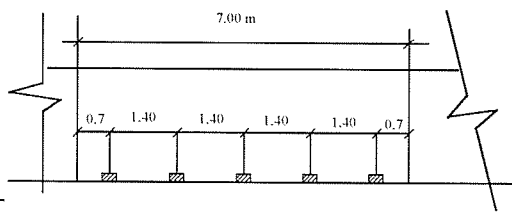


Figura 4.21b

DIFUSION LIMITADA

Cálculo de carga:

$$C = 1,5 \times 0,82 = 1,230 \text{ kg (trilita).}$$

Se adopta 1,250 kg para cada carga:

(1 petardo - cebo);

(1 petardo P-250);

(1 petardo P-1000).

Distancia entre cargas:

$$2e = 2 \cdot 0,82 = 1,64 \text{ m.}$$

Número de pares de carga:

$$N = 7/1,64 = 5 \text{ por exceso.}$$

Peso total del explosivo:

$$2 \cdot 5 \cdot 1,250 = 12,5 \text{ kg (trilita).}$$

La solución adoptada se indica en la figura mencionada.

Si se compara este ejemplo con el de la figura 4.20, donde para practicar una brecha similar se necesitaban 55 kg de explosivo, se observa que la carga dispuesta en oposición es casi la cuarta parte de aquella.

Si se emplea carga alargada, la cantidad de explosivo necesaria sería:

$$C = 10 e^2 = 10 \cdot 0,82^2 = 6,724 \text{ kg/m}$$

$$\text{Carga total} = 6,724 \cdot 7 = 47 \text{ kg}$$

Ejemplo (fig. 4.22): Destrucción de una pila con cargas en oposición.

Datos:

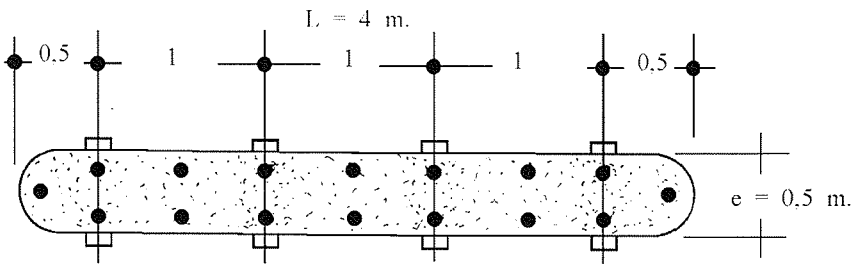


Figura 4.22

Cálculo de cargas:

$$C = 2,25 \cdot 0,5 = 1,125 \text{ kg por carga;}$$

$$N = 4/1 = 4 \text{ pares de cargas;}$$

- 8 petardos P-1000.
- 8 petardos P-250.
- 8 petardos-cebos.

La carga así formada es de 1,250 gramos, y la carga total sería:

$$\text{Carga total} = 4 \cdot 2 \cdot 1,250 = 10 \text{ kg}$$

Formación y aplicación de la carga (fig. 4.23):

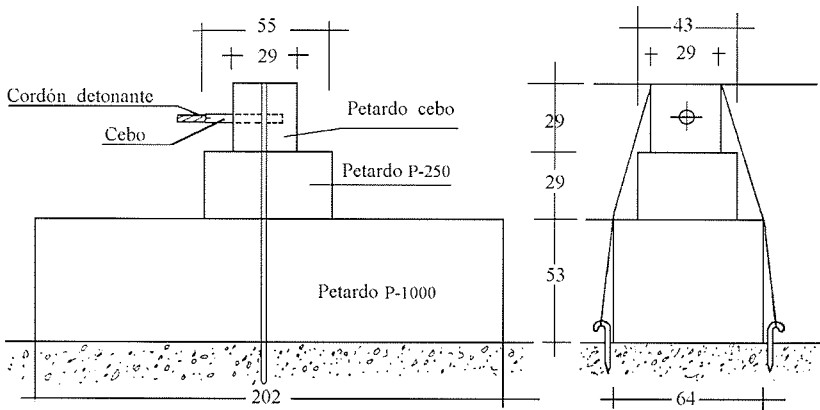


Figura 4.23

En las obras en construcción, los cáncamos o elementos anclaje pueden colocarse previamente.

Esquema de encendido (fig. 4.24):

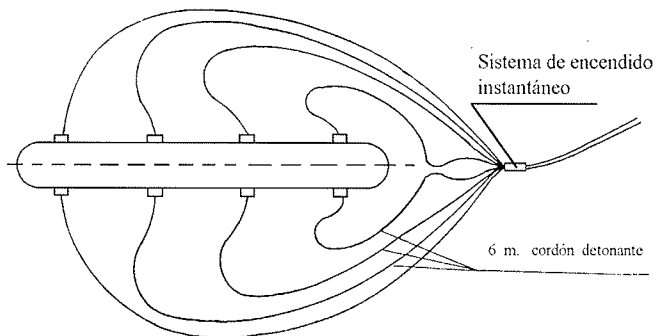
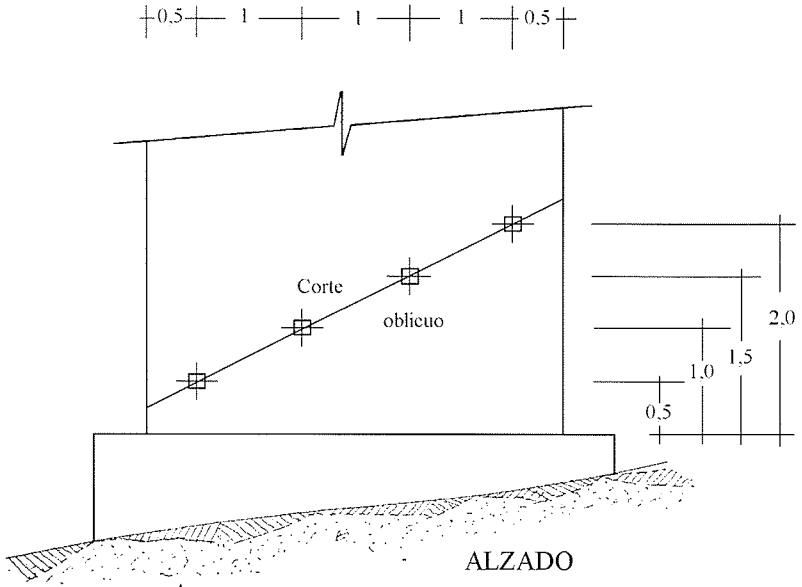


Figura 4.24

Disposición de las cargas (fig. 4.25):



Figur 4.25

Necesidades de material: $6 \cdot 8 = 48$ m de cordón detonante; 1 cebo de mecha lenta; 1 cebo eléctrico reglamentario.

Las cargas se disponen según la planta de la figura 4.24, y el alza-do, colocado de forma que se produzca un corte oblicuo, que facilita el derrumbamiento en la pila.

Las cargas en oposición permiten un ahorro considerable de explosivo.

El sistema de fuego de cada par se constituye, como se ha indica-do, activando las rabizas de mecha rápida de cada uno de ellos por medio de un cebo eléctrico y uno pirotécnico como segundo encendi-do, el cordón detonante hará detonar simultáneamente los pares de carga.

DIFUSION LIMITADA

CAPÍTULO 5

CARGAS INTERIORES

5.1. CARGAS CONCENTRADAS

5.1.a. HORNILLOS

A las cargas concentradas dispuestas en el interior de los medios resistentes se les da el nombre de *hornillos*.

Supuesta una carga concentrada colocada en el interior de un medio resistente homogéneo, compresible e indefinido, formado en hipótesis de capas concéntricas de igual espesor, al verificarse la explosión los gases rechazarán alrededor de la carga toda la materia que la envuelve; las primeras capas transmitirán el movimiento recibido a las capas inmediatas, las cuales lo harán a las que le siguen, y solamente se detendrá este movimiento de alojamiento de las moléculas del medio envolvente cuando se equilibren las fuerzas de la expansión de los gases y la resistencia del medio. Este alojamiento se habrá verificado de un modo uniforme alrededor de la carga, y, por tanto, el primer fenómeno que se observa es la formación de una esfera hueca llena por los gases de la explosión. Dicho equilibrio se producirá necesariamente porque la fuerza de los gases es limitada y el medio envolvente se ha supuesto indefinido.

En el espacio que rodea la esfera hueca, las capas inmediatas a ésta han sufrido una fuerte compresión y sus moléculas se han alejado de su centro y han ocupado un lugar de mayor superficie, con el resultado de sufrir una especie de laminación. Las capas siguientes habrán sufrido el mismo efecto en sentido radial, que les habrá hecho disminuir su espesor y extenderse en capas esféricas de mayor radio. Esta compresión disminuye gradualmente a medida que las capas distan más del centro de la carga, y se llegará a una en la que ya se haya dejado de sentir, por haberse llegado al equilibrio entre la fuerza expansiva de los gases y la resistencia del medio. Esta esfera recibe el nombre de *esfera de compresión* o explosión, porque en ella todas las capas del medio la habrán sufrido más o menos enérgica.

Si dentro de esta esfera hubiese existido un objeto de distinta materia que el medio, sus diversos puntos habrían tenido que seguir las mismas vicisitudes que las capas atravesadas, y por tanto, que resistir presiones más o menos enérgicas, según su distancia del centro. El objeto sufrirá una dislocación en su estructura, y para contrarrestarla no contará más que con sus condiciones de resistencia, pudiendo llegar hasta la ruptura. Por esta circunstancia, la esfera de compresión también se llama *esfera de ruptura*; su radio se llama *radio de explosión*.

Concéntrica con la esfera de compresión, se forma la esfera de friabilidad, de mayor radio y en la cual el medio, si bien no ha sufrido efectos de compresión, se resquebraja, pierde parte de su cohesión y presenta grietas más o menos apreciables. Por último, fuera de estas esferas, y sin que el medio se modifique en lo más mínimo, se notan los efectos de vibración, y éstos, en medio homogéneo, tienen lugar en otra esfera, que se llama *esfera de vibración*, de escasa importancia en la práctica.

Las cargas concentradas interiores se disponen en la cámara excavada en el interior del medio a destruir. Para excavar la cámara hay que partir de una de las superficies exteriores del medio (la que presente más facilidad para el trabajo) y practicar una perforación, que puede ser barreno, ramal, galería o pozo, según sea el volumen de la carga y la profundidad del hornillo.

Las perforaciones en ramal y en galería son sumamente costosas de realizar.

Las perforaciones en roca y en fábrica de ladrillo, hormigón o mampostería ordinaria, cuando la cámara ha de ser de poco volumen, pueden realizarse ventajosamente utilizando las barrenas reglamentarias. Se practica un barreno de longitud igual a la profundidad de la cámara y se introduce en su fondo uno o dos petardos cebos o C-100, cuya detonación producirá una cámara de hornillo (fig. 5.1) que puede agrandarse por explosiones sucesivas hasta obtener el volumen necesario.

La carga de estas cámaras hay que hacerla utilizando el mismo tipo de petardo o con explosivo plástico.

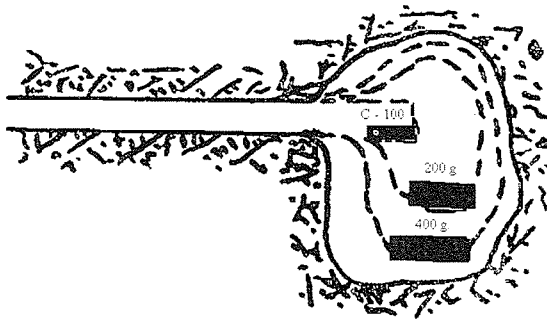


Figura 5.1.—Cámara de hornillo

Para cámaras de gran volumen será precisa una perforación de 0,40 por 0,40 hasta 1 m de profundidad, y de 0,65 por 0,80 para profundidades mayores. Estas perforaciones, cuando son horizontales, hay que practicarlas a mano.

Las excavaciones verticales, tanto en tierra como en los demás casos, pueden verificarse con máquinas perforadoras, que permiten la perforación de pozos de hasta 1,20 m de diámetro y de profundidades de hasta 100 m y mayores en muy poco tiempo.

Estas perforadoras pueden ser de dos tipos:

- Rotativas: Con útil helicoidal acoplado a una barra giratoria.
- Percutoras.

Ambos tipos van generalmente sobre plataforma remolcable o automotriz.

5.1.b. EMBUDOS

El caso corriente en la práctica es el del medio interior limitado por una superficie plana que lo separa de la atmósfera. Si la carga es lo suficientemente importante, esta superficie plana corta las esferas a que se ha hecho referencia y aparecen efectos exteriores. Mientras sólo corte el plano a las esferas de vibración o friabilidad, quedarán éstos reducidos a vibraciones y grietas más o menos sensibles, pero que en nada afectan a la forma exterior del medio.

Si el plano corta la esfera de compresión (fig. 5.2), se manifiestan efectos exteriores consistentes en la proyección de los materiales que constituyen el medio donde está colocada la carga, dando origen a la formación de un embudo. Una parte de los materiales lanzados cae sobre él, cubriéndolo en parte, por lo que queda con una profundidad menor que la real, formando el embudo aparente; otra parte de los materiales se acumula sobre el borde del embudo real, formando los labios del embudo.

Sea una carga de un peso C , de forma esférica o cúbica, de centro O , colocada a una profundidad OA igual a h , por bajo de la superficie del suelo XY , supuesto horizontal (fig. 5.2).

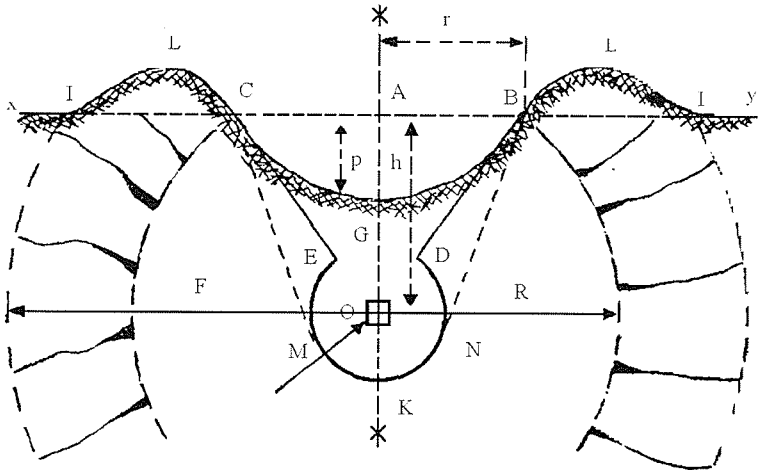


Figura 5.2.—Efectos interiores y exteriores

En ella se representan por:

- $OA = h$ = línea de mínima resistencia;
- CGB , embudo aparente;
- $CEMKNDB$, embudo real;
- $AB = r$ = radio del embudo;
- $OB = R$ = radio de explosión;
- $AI = f$ = radio del círculo de conmoción;
- $AG = P$ = profundidad del embudo aparente;
- $EMKND$, cámara de compresión, y
- F , radio de conmoción o de la esfera de friabilidad.

La tierra que cae alrededor del borde del embudo forma los labios del mismo, L .

5.1.c. CLASIFICACIÓN DE LOS HORNILLOS

La distancia del centro de la carga a la superficie del medio se denomina *línea de mínima resistencia*.

La relación r/h entre el radio del embudo y la línea de mínima resistencia se llama *índice del hornillo*, y se designa por n . A igualdad de carga, cuanto menor sea la línea de mínima resistencia, tanto mayor será el valor de n .

Atendiendo a esta particularidad, los hornillos se clasifican en:

- Ordinarios (fig. 5.3), cuando r es igual a h , y por tanto, $n = 1$.
- Recargados (fig. 5.4), cuando $r > h$ y $n > 1$.
- Subcargados (fig. 5.5), cuando $r < h$ y $n < 1$.

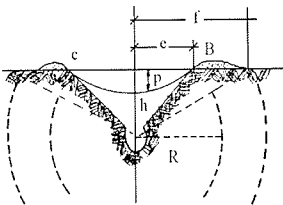


Figura 5.3.—Ordinario

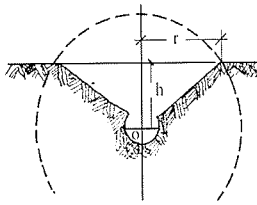


Figura 5.4.—Recargado

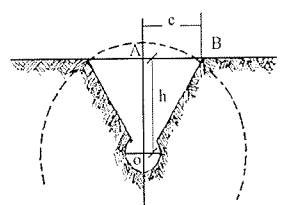


Figura 5.5.—Subcargado

En cualquiera de los tres casos:

$$R = \sqrt{h^2 + r^2}$$

Y como $r = n \cdot h$:

$$R = h\sqrt{1 + n^2}$$

5.1.d. CÁLCULO DE LA CARGA DE UN HORNILLO ORDINARIO

En un hornillo ordinario, la carga C viene determinada por la fórmula $C = \alpha \cdot m \cdot h^3$. En la que C viene expresada en kilogramos, y h , en metros; α y m son coeficientes cuyo valor depende de la naturaleza del explosivo empleado y del medio, cuyos valores se dan en las tablas 5.1 y 5.2, a continuación, y que han sido deducidos experimentalmente.

TABLA 5.1. Valores del coeficiente α

CLASE DE EXPLOSIVOS	α
Pólvora ordinaria	1,00
Dinamita	0,62
Picrinita	0,58
Pólvora negra	0,56
Trilita	0,25
Cordita	0,30
Balística	0,20
Gelatina explosiva	0,16
Tetralita	0,12
Pentrita y hexógeno	0,08
Plásticos	0,20
Amonal	0,70

TABLA 5.2. Valores del coeficiente m

NATURALEZA DEL MEDIO	m
Tierra ligera	1,20
Tierra ordinaria	1,50
Tierra vegetal	1,60
Tierra mezclada con cantos	2,45
Arena fuerte	1,75
Arena húmeda	1,90
Arcilla mezclada con toba	2,25
Mampostería mala	1,88
Mampostería húmeda	1,90
Mampostería mediana	2,50
Mampostería buena	3,00
Mampostería excelente	3,27
Mampostería antigua	3,63
Hormigón de cemento	4,24
Hormigón endurecido	7,00
Roca terrosa	2,50
Roca compacta	3,27
Roca dura	4,24
Roca hendida	5,60

NOTA. Cuando el terreno está removido por anteriores explosiones, debe tomarse para m un valor igual a los 2/5 del que le corresponde según la tabla 5.2

En medios heterogéneos (capas horizontales de roca, arena, arcilla, etc.) se toma para m un valor:

$$M = \frac{m_1 h_1^3 + m_2 h_2^3 + m_3 h_3^3 + \dots}{h_1^3 + h_2^3 + h_3^3 + \dots}$$

siendo M el coeficiente correspondiente a un medio homogéneo e ideal, y h_1, h_2, h_3, m_1 y m_2 , los espesores y coeficiente de las diversas capas.

DIFUSION LIMITADA

Por ser $n = 1$, la fórmula anterior se transforma en: $R = h\sqrt{2} = 1,41h$

Por la experiencia se sabe que en el hornillo ordinario: $p = h/3$ y que $F = R\sqrt{2}$

Sustituyendo en la expresión anterior: $F = R\sqrt{2} = h\sqrt{2}\sqrt{2} = 2h$, que indica que el radio de friabilidad es doble de la línea de mínima resistencia.

En la (fig. 5.3) $f = \sqrt{F^2 - h^2}$. Sustituyendo F por su valor, resulta: $f = h\sqrt{3} = 1,73h$

Para realizar embudos en material de mampostería, la fórmula a emplear es la misma pero los valores del coeficiente del material son los que se dan en la tabla 5.3.

Para la aplicación de los valores de la Tabla 5.3, especialmente en lo que se refiere a la situación de las cargas y su disposición, se deberán tener en cuenta las siguientes definiciones:

- *Carga interior:* Es la que, con atraque o sin atraque, se sitúa dentro del medio a destruir. En ambos casos, la línea de mínima resistencia puede variar entre un medio o un tercio del espesor de la obra (fig. 5.6a y 5.6b).
- *Carga empotrada:* Es la que, colocada en el interior de la obra a destruir, su línea de mínima resistencia es menor de un tercio del espesor de ésta. También puede colocarse con atraque o sin él, y el atraque, a su vez, puede ser exterior (fig. 5.6c y 5.6f) o interior (fig. 5.6d y 5.6e).

Para el atraque exterior se precisa un volumen de tierra en el que todas las dimensiones de la masa cubridora iguallen, por lo menos, el valor de h .

En el manual *USA. Engineers Field Data FM-5-34* se utiliza para esta clase de destrucciones la fórmula siguiente, una vez convertidas las unidades al sistema métrico: $C = 16 K \cdot t \cdot R^3$. Siendo $R = h$ y los valores de K y t son los de las tablas 5.4 y 5.5.

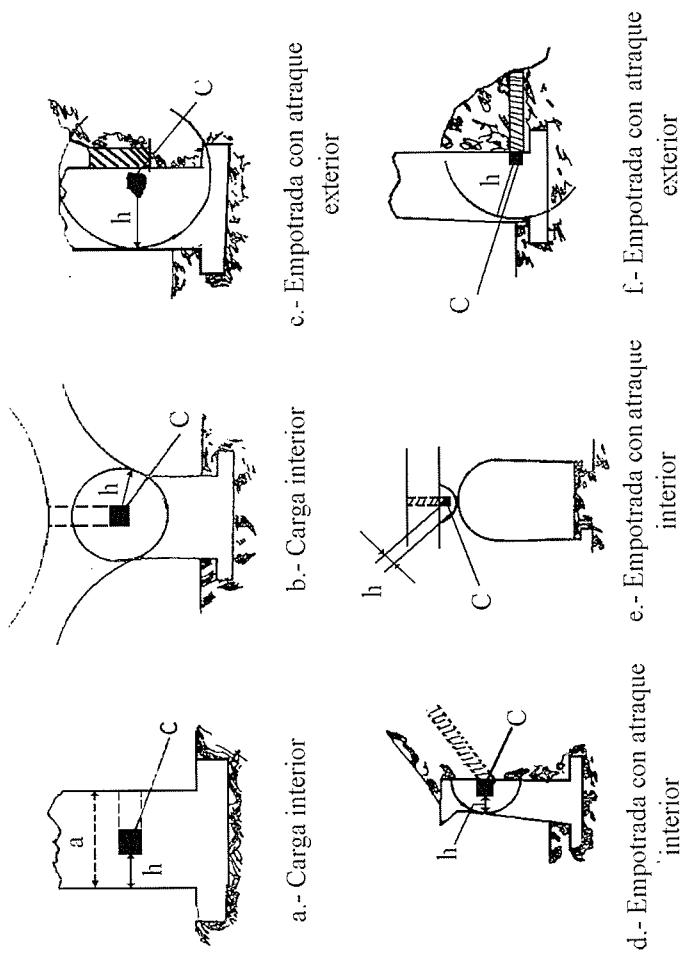


Figura 5.6. — Distintas situaciones de las cargas y homillos

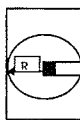
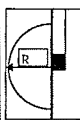
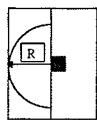
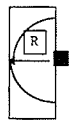
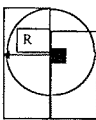
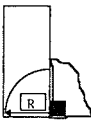
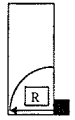
TABLA 5.3. Valores de los coeficientes de material para hornillos en mamposterías

COLOCACIÓN DE LA CARGA		CARGA INTERIOR		CARGA EMPOTRADA					CARGA EXTERIOR	
		Completo	Incompleto	Completo	Incompleto	Completo	Incompleto	Incompleto	Sin ataque	Sin ataque
TIPO DE ATAQUE	Valores de h									
	en m									
Material	Todos los valores	0,8	1,0	1,0	1,6	0,8	1,6	2,0	2,8	3,6
	Todos los valores	2,7	3,4	3,4	5,4	2,7	5,4	6,3	9,5	12
Mampostería buena calidad, pizarra y arcilla dura	$h < 1$	5,6	7,1	7,1	11,2	5,6	11,2	14,2	19,5	25,2
	$1 < h < 1,5$	4,5	5,6	5,6	9,0	4,5	9,0	11,2	15,8	20,2
Mampostería de 150 a 250 kg/cm ² , roca blanda	$1,5 < h < 2$	4,0	5,0	5,0	8,0	4,0	8,0	10,0	14,0	18,0
	$h > 2$	3,7	4,6	4,6	7,4	3,7	7,4	9,2	13,0	16,6
Sillería, hormigón de 250 a 350 kg/cm ² , roca dura	$h < 1$	7,2	9,0	9,0	14,4	7,2	14,4	18,0	25,2	32,4
	$1 < h < 1,5$	6,0	7,5	7,5	12,0	6,0	12,0	15,0	21,0	27,0
Hormigón de más de 350 kg/cm ² , armado o en masa, roca muy dura	$1,5 < h < 2$	5,3	6,6	6,6	10,6	5,3	10,6	13,2	18,6	23,8
	$h > 2$	4,5	5,6	5,6	9,0	4,5	9,0	11,2	15,8	20,2
	$h < 1$	11,2	14,0	14,0	22,4	11,2	22,4	28,0	29,2	50,5
	$1 < h < 1,5$	8,8	11,0	11,0	17,6	8,8	17,6	22,0	30,8	39,6
	$1,5 < h < 2$	8,0	10,0	10,0	16,0	8,0	16,0	20,0	28,0	36,0
	$h > 2$	6,9	8,6	8,6	13,8	8,9	13,8	17,2	24,2	31,0

TABLA 5.4. Valores del coeficiente K

MATERIAL	R (metros)	K
Tierra	Cualquier valor	0,07
Mampostería pobre, pizarra, madera buena y tierra de construcción	Menos de 1,5 m	0,32
	1,5 m o más	0,29
Mampostería buena, bloques de hormigón, roca	0,3 m o menos	0,88
	entre 0,3 y 0,9 m	0,48
	de 0,9 a 1,5 m	0,40
	de 1,5 a 2,1 m	0,32
	2,1 m o más	0,27
Hormigón en masa, mampostería de primera calidad	0,3 m o menos	1,14
	entre 0,3 y 0,9 m	0,62
	de 0,9 a 1,5 m	0,52
	de 1,5 a 2,1 m	0,41
	2,1 m o más	0,35
Hormigón armado (sin cortar la armadura)	0,3 m o menos	1,76
	entre 0,3 y 0,9 m	0,96
	de 0,9 a 1,5 m	0,80
	de 1,5 a 2,1 m	0,63
	2,1 m o más	0,54

TABLA 5.5. Valores del coeficiente t

ATRAQUE Y COLOCACIÓN DE LA CARGA	Interior	Enterrada	Agua a mayor profundidad que R	Adosada y elevada sin atraque	Agua a menor profundidad que R	Atraque exterior	Adosada y apoyada en el suelo sin atraque
ESQUEMA							
t	1	1	1	1,8	2	2	3,6

5.1.e. HORNILLO RECARGADO Y SUBCARGADO

La carga de un hornillo de esta clase de índice n distinto de 1, se obtiene multiplicando la carga $C = \alpha \cdot m \cdot h^3$, que a la misma profundidad h produce un hornillo ordinario, por un coeficiente N cuyo valor depende de n . Por tanto:

$$C_n = NC = N \alpha m h^3$$

$$N = \left(\sqrt{1+n^2} \pm 0,41 \right)^3$$

que, para valores de n comprendidos entre 0 y 3, da resultados concordantes con las experiencias prácticas.

La fórmula anterior puede ponerse, en definitiva, bajo la siguiente forma:

$$C_n = \alpha \cdot m \cdot h^3 \left(\sqrt{1+n^2} \pm 0,41 \right)^3 = \alpha \cdot m \cdot H^3$$

que indica que la carga de un hornillo recargado o subcargado de índice n , y cuya línea de mínima resistencia es h , es la misma que la de un hornillo ordinario cuya línea de mínima resistencia sea H ; siendo:

$$H = h \cdot \left(\sqrt{1+n^2} \pm 0,41 \right)$$

Los hornillos subcargados se emplean en la guerra subterránea; rara vez en las destrucciones.

Los hornillos ordinarios, para igual cantidad de explosivo, dan mayor rendimiento que los recargados, pero requieren más tiempo. A más trabajo, menos explosivos.

Los hornillos recargados son interesantes cuando se dispone de poco tiempo; son buenos para períodos de movimiento.

En los hornillos dispuestos en tierra se varía el índice N para producir el hornillo subcargado o recargado, según el efecto que se quiera obtener; en la práctica no conviene hacer $n > 3$ ni $n < 0,70$.

Para los hornillos colocados en un medio homogéneo (tierra, mampostería o roca), la fórmula $C = \alpha \cdot m \cdot h^3$ da valores de la carga necesaria para producir la rotura y proyección del medio.

En la práctica se da a n valores comprendidos entre 1,4 y 3; para hornillos practicados en carretera se toma $n = 1,5$, y se obtiene $C_n = 2,69 C$; en hornillos en arcos de puentes se da a n valores comprendi-

dos entre 1,40 y 1,80 (C_n resulta entre 2,25 C y 4,50 C), según la robustez y el radio del arco.

En las destrucciones de túneles, n variará entre 1,80 y 2,50 ($C_n = 4,50 C$ y $C_n = 11 C$), según el radio de curvatura de la bóveda. En los túneles hay que buscar los máximos efectos de destrucción. Si se trata de galerías hidroeléctricas, alcantarillas, etc., la carga se encuentra en condiciones más desfavorables y se debe aumentar n , tomando para el del ordinario el valor máximo.

La tabla 5.6 da para valores de n el correspondiente valor N , por el cual se debe multiplicar la carga calculada para el hornillo ordinario.

TABLA 5.6. Valores de N

n	N	n	N	n	N
0,10	0,21	1,10	1,25	2,10	7,00
0,20	0,23	1,20	1,52	2,20	8,10
0,30	0,26	1,30	1,86	2,30	9,25
0,40	0,30	1,40	2,25	2,40	10,50
0,50	0,36	1,50	2,69	2,50	11,00
0,60	0,45	1,60	3,22	2,60	13,40
0,70	0,53	1,70	3,80	2,70	15,07
0,80	0,66	1,80	4,50	2,80	16,80
0,90	0,82	1,90	5,25	2,90	18,63
1,00	1,00	2,00	6,08	3,00	20,80

5.1.f. HUMAZO MÁXIMO

Si en la fórmula $R = h\sqrt{1+n^2}$ se hace $n = 0$, resulta $R = h$, o sea, que la esfera de explosión es tangente a la superficie libre del medio resistente; la presión atmosférica equilibra la presión en la esfera de explosión, y se dice que hay humazo máximo (figura 5.7).

Haciendo $n = 0$ en la fórmula que dé el valor de H :

$$H = h(1 - 0,41) = 0,59 h$$

Y substituyendo este valor en la expresión que dé el valor de C_n :

$$C_n = (0,59)^3 \cdot \alpha \cdot m \cdot h^3 = 1/5 \alpha \cdot m \cdot h^3 = 1/5 C$$

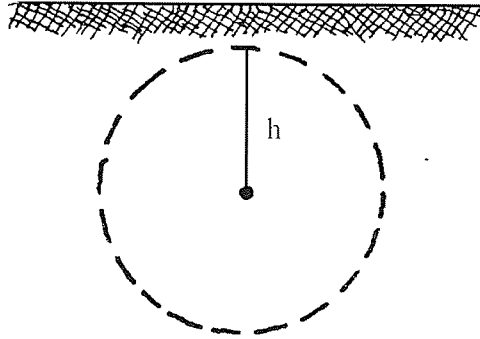


Figura 5.7.—Humazo máximo

Indica que, dada una carga C que a la profundidad h produce un embudo de radio r (hornillo ordinario del índice $n = 1$), para que haya humazo máximo, hay que disminuir la carga hasta $1/5$ de C .

Si se mantiene constante h (o se aumenta su valor), permaneciendo constante la carga $C/5$, sigue verificándose el humazo y no hay proyecciones al exterior; sólo efectos interiores.

La fórmula $C_n = \alpha \cdot m \cdot h^3 \left(\sqrt{1+n^2} \text{ I } 0,41 \right)^3$ y la relación $r/h = n$ permiten calcular C_n cuando son conocidos los valores de n y de h , y también determinar n y r , teniendo por datos C_n y h .

Si en las fórmulas:

$$F = 1,41 R;$$

$$f = \sqrt{2R^2 \text{ I } h^2}$$

Se sustituye R por su valor $R = h\sqrt{1+n^2}$, se tendrá:

$$F = 1,41 h \cdot \sqrt{1+n^2} \quad f = h \cdot \sqrt{1+2n^2}$$

5.1.g. PROFUNDIDAD APARENTE DEL EMBUDO

La profundidad del embudo aparente p está dada por la expresión:

$$p = 1/3 h (2n - 1)$$

Para explosivos progresivos, cuyos valores se satisfacen en la práctica para n comprendidos entre 1 y 3; y $p = r/2$ para explosivos rompedores y valores de n comprendidos entre 0 y 3.

5.1.h. DISTANCIA ENTRE LOS CENTROS DE HORNILLOS CONTIGUOS

La distancia entre los centros de los hornillos contiguos debe ser tal que las esferas de explosión respectivas se corten, o lo que es lo mismo, que la suma de los radios de explosión sea mayor que esta distancia. En la práctica, siendo h la misma para todos los hornillos, conviene tomar la distancia entre sus centros, comprendida entre 1,50 y dos veces h .

5.1.i. COMPARACIÓN ENTRE LOS EFECTOS DEBIDOS A LA PÓLVORA Y OTROS EXPLOSIVOS ROMPEDORES

La cámara de explosión producida por una carga C_r de trilita tiene una capacidad aproximada a la que se obtiene con una carga de pólvora 2,5 veces mayor.

Las experiencias realizadas han permitido deducir que los embudos obtenidos con una carga C_d de dinamita han sido de las mismas dimensiones que una carga de pólvora $C_p = 1,6 C_d$.

Llamando C_d a la carga de dinamita que produce los mismos efectos que una C de pólvora, podemos establecer:

$$C = 1,6 C_d \quad \text{ó} \quad C_d = 0,62 C$$

Las tablas calculadas para la pólvora son aplicables a la trilita y a la dinamita, haciendo las correcciones que las fórmulas determinan.

5.1.j. EL ATRAQUE

En las fórmulas empleadas se supone que los hornillos han sido dispuestos con el atraque necesario.

En el caso de emplear explosivos rompedores, el atraque, aunque no es imprescindible, es conveniente si se dispone de tiempo. En el

caso de utilizar explosivos progresivos, es necesario, y si no se dispone de tiempo para hacerlo, hay que aumentar la carga para conseguir los mismos efectos.

El atraque de un hornillo puede ser:

- Ordinario.
- Con agua.
- Mixto.
- Con hormigón de fraguado rápido.

El ordinario se hace con tierra, arena o tepes; si después de la explosión ha de quitarse el atraque, hay que tener en cuenta que los tepes retienen los gases deletéreos.

El atraque con agua se hace llenando el hornillo hasta alcanzar la altura deseada. Es eficaz con las cargas de trilita, es de ejecución fácil y presenta las ventajas de eliminar huecos y encerrar la carga dentro de un medio homogéneo e incompresible.

El atraque mixto se obtiene llenando el hornillo, hasta alcanzar un tercio o un cuarto de la longitud del atraque, con tierra o arena, y rellenando posteriormente con agua.

El atraque de hormigón de fraguado rápido se inicia poniendo una máscara de madera sobre la carga; después se le adosa el hormigón, en capas bien apisonadas de 30 a 40 cm de espesor.

Este atraque es eficaz, pero presenta el inconveniente de no disponer a menudo de dichos materiales.

Para elegir la clase de atraque hay que tener en cuenta el terreno en donde se ha practicado la cámara de mina, pues el atraque no debe tener menor resistencia que la del medio a destruir.

El atraque se realiza cerrando el barreno, ramal, galería o pozo practicado en el medio, desde la superficie hasta la cámara del hornillo. En estas perforaciones desaparece la resistencia del medio; el objeto del atraque es crear una resistencia por lo menos igual a la que ofrecía el medio antes de la perforación.

Suele hacerse por igual en toda la sección de la perforación, y su longitud teórica A se calcula por la fórmula:

$$A = \sqrt[3]{\frac{C}{a}}$$

donde C es la carga del hornillo en kilogramos, y a , un coeficiente de atraque (generalmente alrededor de 1,5).

DIFUSION LIMITADA

La longitud real del atraque se designa por A_l y se mide en línea recta de una extremidad a otra de la perforación (fig. 5.8).

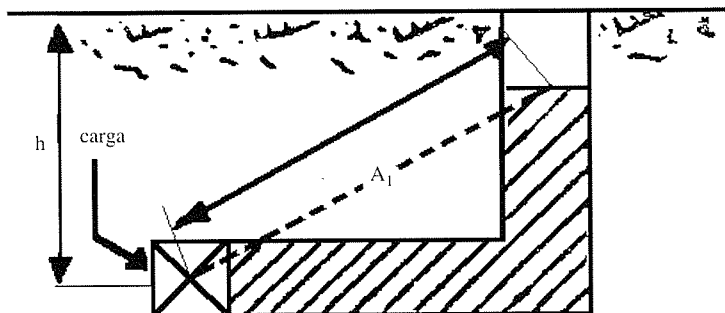


Figura 5.8.—Longitud real del atraque

En el atraque puede ocurrir que:

- 1.º La longitud de la perforación sea suficientemente larga para poder colocar el atraque teórico A (fig. 5.9 - 1.º). En este caso se aplica la carga calculada.

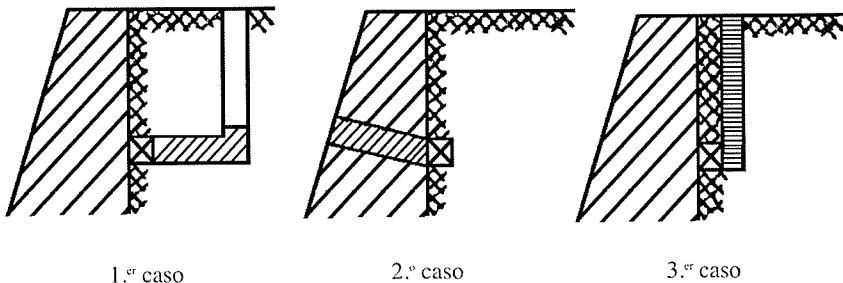


Figura 5.9.—Diferentes atraques

- 2.º La longitud de la perforación sea insuficiente para poder colocar el atraque teórico y está excavada en el medio a destruir (fig. 5.9 - 2.º). En este caso se multiplica la carga calculada por el coeficiente b dado por la tabla 5.7 para distintos valores de la relación A_l/A .

TABLA 5.7. Coeficiente b

	A_1/A	0	1/4	1/2	3/4
b	Explosivos progresivos	2	1,75	1,50	1,25
	Explosivos rompedores	1,25	1	1	1

3.º La longitud de la perforación es insuficiente y está excavada fuera del medio (fig. 5.9 - 3.º). Se multiplica la carga por el coeficiente b dado por la Tabla 5.8.

TABLA 5.8. Coeficiente b

	A_1/A	0	1/4	1/2	3/4
b	Explosivos progresivos	no se usa	7	4	1,25
	Explosivos rompedores	2,5	1,5	1	1

5.2. CARGAS ALARGADAS. BARRENOS

Un barrenó es un hoyo profundo y de escaso diámetro en el medio a romper en el que se introduce una carga alargada interior.

5.2.a. ROTURA DE ÁRBOLES Y PILOTES

Para ello se emplean cargas empotradas, dispuestos los petardos en uno o más taladros horizontales de 3 cm de diámetro, hechos con la barrena de dos manos y ensanchados luego con la barrena universal si se emplean petardos-cebo; si se emplean petardos P-250, es preciso ensanchar los taladros con el escoplo (fig. 5.10).

Para árboles de 40 cm de diámetro se practica un solo taladro de una profundidad igual a los tres cuartos del diámetro del árbol; en los de 40 a 60 cm, dos taladros paralelos u oblicuos; en los de diámetro superior a 60 cm, tres taladros simétricamente dispuestos y con los extremos interiores en contacto.

Se rellena de trilita de un tercio a un medio de su longitud, según se trate de madera blanda o dura. Se atraca con tierra o hierba.

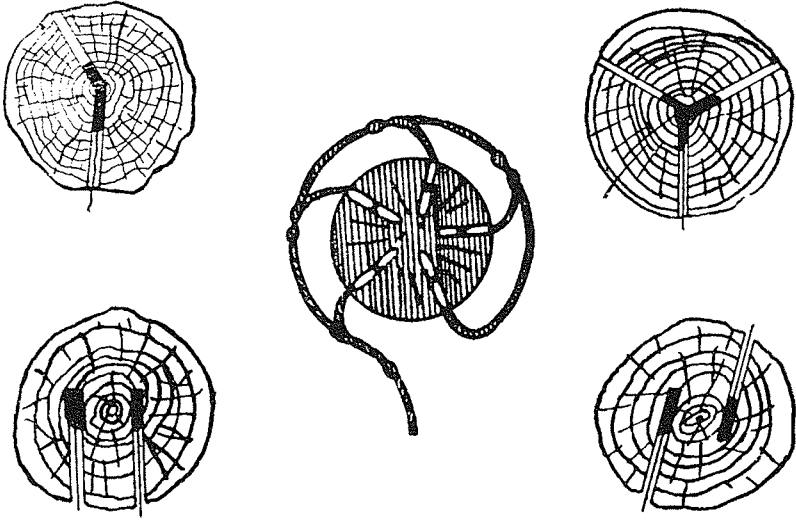


Figura 5.10.—Cargas empotradas para árboles

Los taladros se practican en la misma sección recta del tronco. Los petardos más adecuados para romper estos árboles son los C-100.

Pueden destruirse los pilotes bajo el agua empotrándoles cargas de explosivo rompedor calculadas por las fórmulas generales sirviendo el agua de atraque.

Como datos prácticos, se indica que en débiles profundidades se dispone una carga en un agujero hecho con barrena de $C = 3d$, siendo C la carga en kilogramos, y d , el diámetro en metros.

5.2.b. VOLADURAS EN ROCA A CIELO ABIERTO

5.2.b.(1). Generalidades

La mayoría de los explosivos industriales están diseñados para realizar movimientos de tierras y, por extensión, extracción de rocas.

El movimiento de tierras con explosivo se obtiene por la introducción de explosivo, de determinadas características, dentro de un barreno.

El explosivo se encuentra confinado en el interior del barreno y atracada la boca de éste con un material adecuado. Se le da fuego, preferiblemente en su parte inferior. Se produce la explosión, que en primer lugar produce una onda de choque que actúa sobre la roca que le rodea entre 3.000 y 7.000 m/s, según el tipo de explosivo, provocando un efecto de compresión hasta un punto que se convierte en un esfuerzo de tracción, lo que se traduce en un ligero ensanchamiento del barreno y unas fisuras más o menos perceptibles. En segundo lugar los gases producidos por la explosión se encuentran confinados a presión y temperatura muy elevadas tratando de expandirse. Los gases penetran por las fisuras, ensanchándolas empujando la roca fraccionada hacia el lugar donde menos resistencia se ofrezca, normalmente hacia arriba o hacia el lado que tenga menor espesor de roca alrededor, denominado *cara libre*.

Los trabajos de voladura que se realizan a cielo abierto exigen medios de perforación, carga y transporte del material volado, muy diferentes a los que nos es posible utilizar en voladuras en interior. El medio ambiente y las condiciones de trabajo de las obras de interior han de ser tenidos en cuenta, con problemas de toxicidad de gases o iniciación de atmósferas inflamables.

En voladuras a cielo abierto el empleo de grandes diámetros de perforación permite el uso de explosivos cargados a granel en el barreno.

Los factores que afectan al volumen de suelo removido son:

- La dureza de la roca a mover.
- El tipo de explosivo empleado.
- El atraque.
- Los huecos entre el explosivo y la pared del barreno.

La roca responde según su naturaleza de forma muy distinta a la explosión. Hay que determinar la dureza y fragilidad de la misma. Una roca dura y frágil reacciona muy favorablemente a una explosión, ya que la onda de choque primaria produce unas grietas de buen tamaño por las que se introducirán los gases, obteniendo una fragmentación y arranque muy buenos. Por otro lado, la roca blanda y

DIFUSION LIMITADA

elástica absorbe la onda de choque sin producir fisuras, lo que provoca una extracción sin apenas fragmentación.

En segundo lugar, cuanto más potente es el explosivo, mayor es el número de fisuras que provoca la onda de choque. La presión de detonación aumenta con el cuadrado de la velocidad de detonación. Otro factor a tener en cuenta es el de confinamiento y los huecos que pueda haber entre el explosivo y las paredes del barreno. Cuanto menores sean los huecos, mejores resultados se obtienen.

CLASIFICACIÓN	CLASE DE ROCA	PESO ESPECÍFICO (kg/m ³)
Muy dura	Cuarzo, basalto y granito fino	2.950 a 2.800
Dura	Granito de grano grueso, gneis, lava, mármol y esquistos duros	2.800 a 2.500
Semidura	Esquistos blandos, calizas duras y medias, y areniscas duras	2.700 a 2.300
Blanda	Calizas tiernas, yeso y areniscas blandas	2.500 a 1.800

5.2.b.(2). Excavación mediante procedimiento de banqueo y explosivo industrial

5.2.b.(2).(a). GENERALIDADES

La forma mas sencilla y corriente de ejecución de voladuras en exterior es mediante el sistema de banqueo.

Cada nivel corresponde a un banco de trabajo, generalmente de alturas iguales, utilizando los mismos simultáneamente como niveles de perforación, carga y transporte.

Un barreno se divide en tres partes: fondo, columna y atraque.

La figura 5.11 representa una fila de barrenos perforados en un mismo banco. La representación de un barreno perforado en un banco viene dada en la figura 5.12.

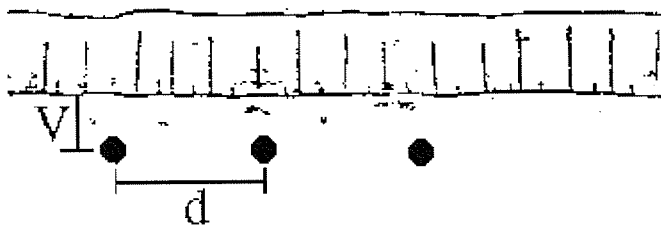


Figura 5.11

DIFUSION LIMITADA

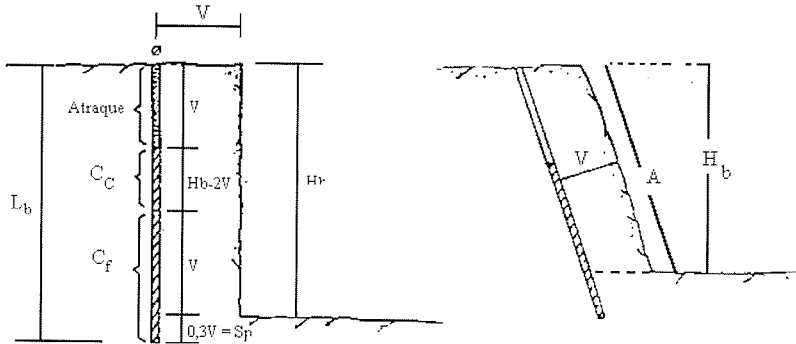


Figura 5.12

Los parámetros que se definen en esas figuras son:

- θ = Representa el diámetro de perforación del barreno.
- V = Representa la distancia del barreno a la cara libre.
- d = Representa la distancia entre barrenos de una misma fila.
- H_b = Representa la altura del banco.
- S_p = Representa la sobreperforación.
- r = Atraque.
- l_b = Longitud total de barreno.
- C_f = Carga de fondo.
- C_c = Carga de columna.

Por pendiente de los barrenos consideramos el ángulo formado por el barreno respecto a la horizontal (fig. 5.12).

Según Langefors, la fórmula básica de cálculo para voladuras de este tipo viene dada por:

$$V = \frac{\theta}{33} \sqrt{\frac{P \cdot s}{c \cdot f \cdot \left(\frac{d}{V}\right)}} \quad \text{para la rotura en fondo;}$$

V representa la distancia del barreno a la cara libre en metros para un diámetro de perforación expresado en milímetros en el fondo del barreno. V es, pues, proporcional al diámetro de perforación.

El valor de V teórica así obtenido se multiplica por 0,85 para obtener la distancia a la cara libre práctica.

P representa el grado de retacado del explosivo o densidad de carga del mismo en g/cc. P es, por lo tanto, función de la propia densidad del explosivo y de la forma de carga.

Los fabricantes de explosivo encartuchan los mismos a la densidad correspondiente a su mayor valor de potencia y velocidad de detonación, por lo que no parece lógico tratar de superar el valor de P por encima del valor de la densidad de encartuchado.

El valor de potencia relativa con relación a la goma pura del explosivos es representado por s , admitiendo por tanto que el valor de s es igual a 1 para la goma pura.

c representa la constante de roca, característica de la misma pero que no difiere en gran medida de unos tipos de roca a otros se le supone un valor de $0,4 \text{ kg/m}^3$, como valor inicial.

f representa el grado de fijación de los barrenos y es un coeficiente que depende de la forma de voladura (fondo cerrado o libre) y de la pendiente de los barrenos, disminuyendo al aumentar la pendiente de los barrenos.

Langefors da algunos valores del factor de fijación en el fondo que representamos en el cuadro.

	$\infty : 1$	$10 : 1$	$3 : 1$	$2 : 1$	$1 : 1$
f	1,11	1,075	1,00	0,95	0,83

En cuanto al factor d/V es generalmente usado el valor 1,25 para voladuras normales. En general este factor se eleva para ejecución de voladuras con gran fragmentación o se disminuye, para voladuras donde interese una obtención de mayores tamaños de rocas, manteniendo en ambos casos el producto $d \cdot V = \text{constante}$.

La fórmula anterior, conocido el diámetro de perforación en el fondo del barreno, la potencia del explosivo a utilizar, la inclinación de los taladros, aceptando $c = 0,4 \text{ kg/m}^3$ una relación prefijada de d/V (generalmente 1,25) nos da el valor de la distancia a la cara libre (V) máxima teórica a emplear para una voladura de varios barrenos para conseguir la rotura en su fondo.

Una simplificación práctica de la fórmula de Langefors viene dada para perforación hasta 6 – 61/2“ por la relación “ V en metros = θ en pulgadas” para unos primeros ensayos. Es decir, que si perforamos con un diámetro de perforación de 2”, la distancia teórica máxima V , en principio, sería de 2 m.

El barreno estará perforado por debajo de piso una profundidad adicional de 0,3 V .

5.2.b.(2).(b). CARGAS

La carga de explosivo que hemos de introducir como carga de fondo en el barreno de diámetro θ , perforado con una distancia a la cara libre V calculada, tendrá una potencia relativa s y obtendremos en su carga un grado de retacado P , luego será un explosivo definido, normalmente de una elevada densidad y potencia, ya que la rotura en el fondo precisa de una mayor energía, por realizarse a cizalladura, que en columna, donde se realiza a tracción.

La cantidad de explosivo, como carga de fondo en el barreno, vendrá dada por:

$$C_f = S_b \cdot l_{cf} \cdot P$$

$$S_b = \pi \left(\frac{\theta}{2} \right)^2$$

$$l_{cf} = (1 + 0,3) \cdot V$$

siendo C_f la carga de fondo del barreno, S_b la sección del barreno y l_{cf} la longitud de la carga de fondo del barreno.

La parte alta del taladro no lleva generalmente carga explosiva, sino que se rellena de material inerte (atraque) en una longitud aproximadamente igual a V .

Si tenemos un barreno de longitud l_b , $1,3 \cdot V$ metros estarán ocupados por la carga de fondo y V metros por el atraque, restándonos para carga de columna una parte de barreno.

$$l_{cc} = l_b - 2,3 \cdot V$$

Si $l_{bf} = 2,3 \cdot V$ no cabrá en nuestro barreno carga de columna, y si $l_{bf} < 2,3 \cdot V$ habría que suprimir carga de fondo.

A los bancos en los que ocurre una situación de este tipo se les denomina bancos bajos y para su tratamiento más consecuente deben ser perforados en diámetros de perforación más pequeños, que den lugar a una V que como límite cumplan $l_b = 2,3 \cdot V$ a efectos de evitar pisos irregulares y proyecciones excesivas.

En el caso de que tengamos aún disponibilidad para cargar en columna, esto es $l_{cf} > 2,3 \cdot V$, en esta parte del barreno se precisa de una potencia explosiva mucho menor que el fondo. Podríamos decir que:

$$P_c \cdot s_c = 1/2 \cdot P_f \cdot s_f$$

Lo más normal es utilizar para carga de columna un explosivo de más baja potencia y de menor densidad y a veces utilizar espaciadores.

Para carga de columna se emplea generalmente un agente explosivo (p. ej.: nagolita de $P = 0,8$ g/cc).

5.2.b.(2).(c). CONSUMOS ESPECÍFICOS

Se define el consumo específico de una voladura como el peso de explosivo de la misma dividido por el volumen total de roca arrancada.

Para una fila de barrenos, donde se produce la rotura por las líneas entre las cañas de los mismos, puede admitirse que el volumen arrancado por cada barreno es igual a $V_b = d \cdot V \cdot H_b$, y el consumo específico de explosivo viene dado por:

$$C_e = \frac{C_f + C_c}{d \cdot V \cdot H_b}$$

El consumo específico de explosivo es un dato muy relevante de la volabilidad de una roca y se eleva con el incremento del diámetro de perforación generalmente, aunque por otro motivo el costo total de la voladura descienda.

5.2.b.(2).(d). APERTURAS DE BANCOS

Al comienzo de una explotación o excavación, generalmente nos encontraremos con un perfil del terreno irregular, cuya preparación para banqueo hemos de iniciar, para dar entrada a equipos de perforación estables.

El trabajo a ejecutar consistirá, en principio, en la apertura de pequeñas secciones de anchura tal que permitan el paso por su base de un equipo mediano de perforación, generalmente un vagón de orugas, y un bulldozer o pala medianos. En general, suele ser de unos 3 m. aproximadamente.

En función de la forma de este perfil, tendremos diferentes formas de ejecutarlo.

Para perfiles de muy difícil acceso para equipos de perforación autopropulsados, la perforación es realizada entonces en banqueo normal con martillos de mano y barrena integral, en los que no suele pasarse de la 3.^a barrena (2,4 m) con boca de 38 mm de diámetro.

La carga del explosivo suele hacerse entre 26 y 32 mm atracando a mano, con atraques que oscilan desde 1 m en los taladros de mayor longitud a 0,5 m en los más cortos.

La distancia a la cara libre (V) se calcula de igual forma que en las voladuras en banco, y para este diámetro de perforación se encontraría entre 1,25 y 1,50 m con espaciamiento entre filas entre 1,5 y 2 m. La sobreperforación por debajo de piso viene a ser de unos 50 cm.

5.2.b.(2).(e). FRAGMENTACIÓN DE LA ROCA

En el cálculo de una voladura en banco hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- Uso a que irá destinada la roca.
- Tipo de roca.
- Diaclasamiento, estratificación y en general estructura de la roca.

La granulometría deseada en una voladura es consecuencia inmediata del destino que se pretende dar a la roca volada y estos destinos exigen roca de muy diferente granulometría.

El tamaño máximo siempre está limitado por las propias diaclasas de la roca.

Además deberemos que tener en cuenta como limitaciones:

- La maquinaria o medios de transporte.
- El tamaño de boca de la machacadora.

El aspecto más importante de la voladura de rocas es la obtención de una fragmentación adecuada. A la fragmentación se la denomina comúnmente *troceo*.

El troceo depende de la carga específica; de la perforación específica; de la relación d/V , siendo mejor cuanto menor sea ésta y viceversa; de los detonadores, obteniéndose mejor troceo con microretardos; de las características geológicas y mecánicas de la roca, y del tipo de explosivo.

Para una misma carga específica, el troceo obtenido es mayor cuanto menor es V , es decir, menor es el diámetro, o lo que es lo mismo, mayor es la perforación específica.

En otros casos, como en la producción de escollera, el objetivo es gran tamaño y uniformidad de bloques. Para ello se puede actuar aumentando la altura de bancos; disminuyendo la relación d/V ; disminuyendo la carga de columna; iniciando la pega con detonadores instantáneos con rocas resistentes y poco fracturadas.

El aprovechamiento de la carga es tan grande en el fondo del barreno que el troceo de esta parte del barreno suele ser satisfactorio. Puede producirse algún bloque grande cuando se presentan fracturas en la roca. Zonas cercanas al barreno se pulverizan.

En la columna, con la carga acostumbrada, el troceo es menor al ser la carga específica de esta zona menor. Puede aumentarse la carga específica aquí y así influir, a conveniencia, sobre el troceo.

El atraque o parte sin carga influye negativamente en el troceo. En esta parte se forman bloques grandes que deben taquearse. Esto se puede evitar, o al menos paliar, mediante acortamiento de este espacio, colocando alguna carga aislada en él, o con perforación intercalada en la cuadrícula principal para trocear la parte superior.

El microrretardo tiene un efecto positivo en el troceo al permitir menor energía para la proyección, destinándose una mayor parte a mejor fin que es la fragmentación.

Al coeficiente que nos definía el tipo de roca le dimos anteriormente un valor fijo. Esto es admisible para un planteamiento teórico, pero la práctica demuestra que cada tipo de roca responde de forma específica a la fragmentación con el empleo de explosivos. Una idea de la capacidad de fragmentación nos viene dada por su resistencia al impacto. Rocas duras frágiles fragmentan bien. Rocas blandas elásticas fragmentan mal.

Una roca frágil puede ser volada con grandes diámetros y consecuentemente con grandes esquemas consiguiendo buenas fragmentaciones.

Para rocas blandas elásticas los diámetros y esquemas han de ser menores para conseguir una fragmentación similar.

En cuanto al diaclasamiento y estructura de la roca, es uno de los factores más importantes que pueden incidir en el arranque y fragmentación en una voladura.

En general, a un mayor consumo de explosivo para roca dada, corresponde una mayor fragmentación.

Para un mismo diámetro de perforación y esquema, la fragmentación será tanto mayor cuanto más elevada sea la carga del taladro, pero llegados a un extremo de carga máxima la única posibilidad de conseguir una mejora en la fragmentación será la de reducir el calibre de perforación disminuyendo el esquema.

Con ello no sólo aumentamos el consumo específico de explosivo, sino que el mismo queda mejor distribuido en el macizo a volar, los atraques son menores, con lo que el porcentaje de grandes tamaños procedentes del atraque serán también menores, y además se habrá aumentado la posibilidad estadística de que nos queden menos zonas de roca sin perforar entre diaclasas.

5.2.b.(2).(f). TAQUEO

Se llama *taqueo* o *fragmentación secundaria* a la operación de trocear los fragmentos de roca con un tamaño excesivamente grande que se producen en las voladuras para que puedan manipularse con los equipos de carga o ser introducidos en las trituradoras sin que den lugar a atascos.

El taqueo puede efectuarse por procedimientos mecánicos o mediante el empleo de explosivos. En el caso de empleo de explosivos se puede efectuar mediante cargas adosadas o con cargas interiores, normalmente barrenos.

El taqueo mediante barrenos se efectúa con martillos manuales abriendo barrenos de pequeño calibre con una longitud entre $1/2$ y $2/3$ del diámetro o dimensión mayor del bloque y paralelo a éste. Para

DIFUSION LIMITADA

bloques superiores a 2 m^3 se recomienda perforar dos barrenos y detonarlos al mismo tiempo.

El explosivo a utilizar puede ser cartuchos de trilita C-100, o explosivo gelatinoso. Si se emplea un explosivo menos potente, las cargas deberán aumentarse.

Cuando debido a la proximidad de edificios u otras estructuras que puedan ser dañadas por la explosión, se puede emplear un tipo de explosivo de alta densidad y potencia que permite la realización de minivoladuras, al perforarse los barrenos con un diámetro de 22 mm.

El explosivo es una gelatina compuesta por una mezcla de nitroglicerina/nitroglicol y nitrocerulosa con pentrita y nitrato amónico. Su densidad es de 1.55 g/cm^3 con una velocidad de detonación de 6.000 m/s con una excelente resistencia al agua.

Las cargas, de unos 80 g, están preparadas dentro de pequeñas vainas de plástico con un alojamiento interior para el detonador. El consumo específico usando este explosivo es del orden de 0.03 kg/m^3 .

Cuando la roca está enterrada, se debe desenterrar un parte de ésta para disponer de una cara libre y lograr así un mejor troceo de la misma.

La fragmentación con cargas adosadas se lleva a cabo con cargas concentradas de explosivo rompedor con un consumo específico de 700 a 1.000 g/m^3 .

El troceo de la roca puede efectuarse también introduciendo en los barrenos un producto que al mezclarse con agua produce una reacción de hidratación gradual y continua con una expansión del producto que desarrolla una presión de alrededor de 7.000 t/m^2 y que en el interior de una masa sólida produce el agrietamiento, fisuración y rotura del material, sin explosión, ruidos, vibraciones, polvo ni proyección de partículas. Su manejo es similar a un cemento.

Los factores que afectan a la presión son:

- La cantidad de agua en la mezcla.
- La temperatura del material.
- El tiempo de reacción.
- El diámetro del taladro.

Los diámetros de barreno aconsejables son entre 30 y 70 mm, con una profundidad del 90 al 95% del diámetro del bloque a demoler. La distancia entre barrenos será como máximo diez veces el diámetro de los mismos. Es imprescindible realizar un buen atraque.

Se debe utilizar agua potable como agua de amasado. Es un producto cáustico, por lo que debe utilizarse con guantes y con gafas de seguridad.

Los resultados se obtienen entre las 16 y 30 horas.

5.2.b.(2).(g). PROYECCIONES

La energía del explosivo es consumida en una voladura en los siguientes trabajos:

- Creación de fisuraciones iniciales en el entorno del barreno.
- Apertura de esas fisuras, arranque, lanzamiento y esponjamiento de la roca arrancada.
- Onda aérea, carente de importancia en explosivos confinados.
- Ondas sísmicas transmitidas a través del terreno al entorno del lugar de la voladura.

La energía contenida, pues, en un barreno, será función del propio explosivo que contiene, y para el mismo explosivo función de la cantidad del mismo.

Por la ley de conservación de la energía habrá de cumplirse:

$$E_A + E_B + E_C + E_D = E_{EX}$$

siendo E_{EX} tanto mayor cuanto mayor sea la cantidad de carga de explosivo.

Por tal motivo la disminución de uno de los sumandos de la igualdad anterior implicará el necesario incremento de algún otro para el mantenimiento de la constancia de la suma.

Si consideramos una voladura con un exceso de carga y consecuentemente de energía, se incrementarán los sumandos del primer miembro. La roca fragmentará más, arrancará mejor, será más esponjada y lanzada; pudiendo llegar a una situación en donde este exceso representa un lanzamiento peligroso de la roca.

Si consideramos una voladura con un exceso de distancia a la cara libre o defecto de carga tal que no pueda producirse el arranque de la

roca, la energía representada por este sumando será nula y habrá de transformarse fundamentalmente en energía sísmica. De aquí el elevado nivel de vibración producido por una voladura en la que concurre esta circunstancia.

Otro fenómeno que se produce en este caso es el provocado por los gases de la explosión, cuya presión, al no poder descargarse a través de los fragmentos de roca, lo hace a través de la boca de los barrenos arrastrando parte de roca de la cabeza del mismo junto con el atraque, dando lugar a proyecciones de gran alcance por el ángulo de salida y altura del punto origen.

En resumen, una voladura con defecto de carga puede generar también muy importantes proyecciones.

Cuando el defecto de carga es tan sólo en fondo, por defecto de sobreperforación o baja carga de fondo, pero no en columna, ésta fragmenta y vuelca, pero no rompe el fondo quedando en el frente un repié o pie de banco que es necesario eliminar con voladuras en zapatera, antes de proceder al disparo de nuevas voladuras en banco, pero este fenómeno no produce proyecciones excesivas.

5.2.b.(3). **Excavación mediante petardos reglamentarios de trilita**

En las excavaciones con explosivos, y para obtener el máximo rendimiento de la explosión, es preciso crear previamente en la parte central de la excavación una oquedad, denominada *cuelen*. En el *cuelen* se disponen dos, tres o más barrenos, que se dejan vacíos; próximos a ellos o intercalados en su línea o fila se disponen los barrenos provistos de detonadores instantáneos del núm. 0, y alrededor, una o más coronas con detonadores de retardo escalonados. Las líneas de barrenos equidistantes del *cuelen* se denominan *coronas*. Se hace detonar en primer lugar el barreno o barrenos del *cuelen*; a continuación, los contiguos a su periferia, y sucesivamente, los de la primera, segunda, etc., coronas, hasta llegar a los bordes de la excavación. Las detonaciones sucesivas de las distintas coronas progresan desde el centro de la excavación a la periferia. En las excavaciones a media ladera, donde el plano de la excavación corta el terreno, o en la explotación de canteras, no es preciso el empleo del *cuelen*; se crea una cara libre, disponiendo una fila de barrenos paralela a la intersección de estos

planos y se activan con detonadores instantáneos; las demás filas de barrenos paralelas a éstas se hacen detonar progresivamente. La detonación sucesiva de las filas debe alejarse de la cara libre. Estas detonaciones desfasadas se consiguen con detonadores eléctricos con retardo.

A continuación se desarrolla el modelo de perforación realizado con martillos de mano neumáticos y automotores, no empleando el ahoyador ya que el tamaño del barreno producido por la sarta de perforación tiene otras aplicaciones.

Las barrenas a emplear tienen un diámetro de alrededor de 1 pulgada, más concretamente entre los 27 y 38 mm. Tienen widia como elemento de corte. La velocidad de perforación depende de múltiples factores: el estado del material, la pericia del operador, etc; a grandes rasgos pueden tomarse como valores estimativos para un primer proyecto los valores siguientes:

- Roca muy dura 5 metros/hora.
- Roca semidura y blanda 8 metros/hora.

Estos tiempos incluyen los cambios de barrena, de cambios de posición, etc.

5.2.b.(3).(a). CARGA DE LOS BARRENOS

El radio de la esfera de explosión es directamente proporcional a la raíz cúbica de la carga e inversamente proporcional a la raíz cúbica de la resistencia del medio y al poder rompedor del explosivo. En función de este radio se determina la distancia entre barrenos para las distintas clases de rocas y para una misma clase de explosivo.

El ábaco 5.1 se ha calculado por la fórmula general del humazo máximo. En él se expone la distancia d máxima a la que han de colocarse los barrenos en las distintas clases de rocas, los volúmenes de roca removida en cada caso y la carga de explosivo, trilita necesaria, para diferentes profundidades de barreno. La carga está expresada en el número de petardos reglamentarios del núm. C-100 y en kilogramos. La misma carga puede utilizarse cuando se trate de dinamita "Goma pura" y "Goma núm. 1 especial" o de explosivos de similar poder rompedor.

La carga es función de la profundidad del barreno, y llena los 2/3; el 1/3 restante se utiliza para atraque.

La distancia entre barrenos es función de la resistencia del medio.

Ejemplo. Se dispone de un equipo neumático con barrenas de 2,4 metros de largo, para ejecutar una perforación en roca caliza dura. Calcular cuál es la cantidad de explosivo necesario para arrancar un trozo de roca de 2 metros de profundidad por 10 metros de frente.

Solución: Entrando por la parte inferior en el ábaco 5.1, con el dato de 2,2 (a pesar de que la barrena es de 2,4 no se puede utilizar completamente), se alcanza la línea de roca semidura y se obtiene el dato de que los barrenos han de estar separados una distancia de 1,40 m. Desde el punto de corte se lanza una línea recta hacia la regla izquierda y se obtiene que se mueven 4,5 m³ por cada barreno. Siguiendo desde la parte inferior hasta cortar la línea de mayor grosor (la de inclinación inversa), desde ese punto se lanza una línea hacia la derecha hasta cortar las reglas, donde se obtiene los siguientes datos: Se necesitan 15 petardos C-100 ó 1,5 kg de TNT.

El número de barrenos a realizar es:

- Por fondo; $2,2 \text{ m} / 1,4 \text{ m} = 1,57$; por exceso, 2 barrenos.
- Por frente; $10 \text{ m} / 1,4 \text{ m} = 7,14$ barrenos; por defecto, 7 barrenos.
- El total es $2 \times 7 = 14$ barrenos.
- El total de explosivo, $14 \times 1,5 = 210$ petardos ó 21 kg de TNT.

Si se dispone de explosivo industrial del tipo goma o hidrogel encartuchado de alta densidad y de reciente fabricación, se puede sustituir la cantidad de TNT por una cantidad igual de este tipo de explosivo. Los datos obtenidos están mayorados, por lo que no hay que introducir más cantidad. Existe el peligro de que si se aumenta la cantidad de explosivo se produzcan proyecciones peligrosas.

5.2.b.(3).(b). EXCAVACIONES RECTANGULARES

Las filas de barrenos se disponen paralelas a los bordes de la excavación, y los barrenos, dentro de cada fila, en columnas paralelas a los bordes laterales.

Las filas y columnas contiguas a los bordes se sitúan en primer lugar y a una distancia de $d/2$ de los mismos.

DIFUSION LIMITADA

La profundidad de los barrenos viene determinada por las cotas de solera de la excavación. La profundidad de cada barreno será igual a la de cada cota más un incremento de 30 cm, para evitar la formación de salientes entre barreno y barreno.

Ejemplo: Calcular las necesidades de explosivo y disposición de los barrenos necesarios para una excavación, según las dimensiones de la figura 5.13, en roca semidura.

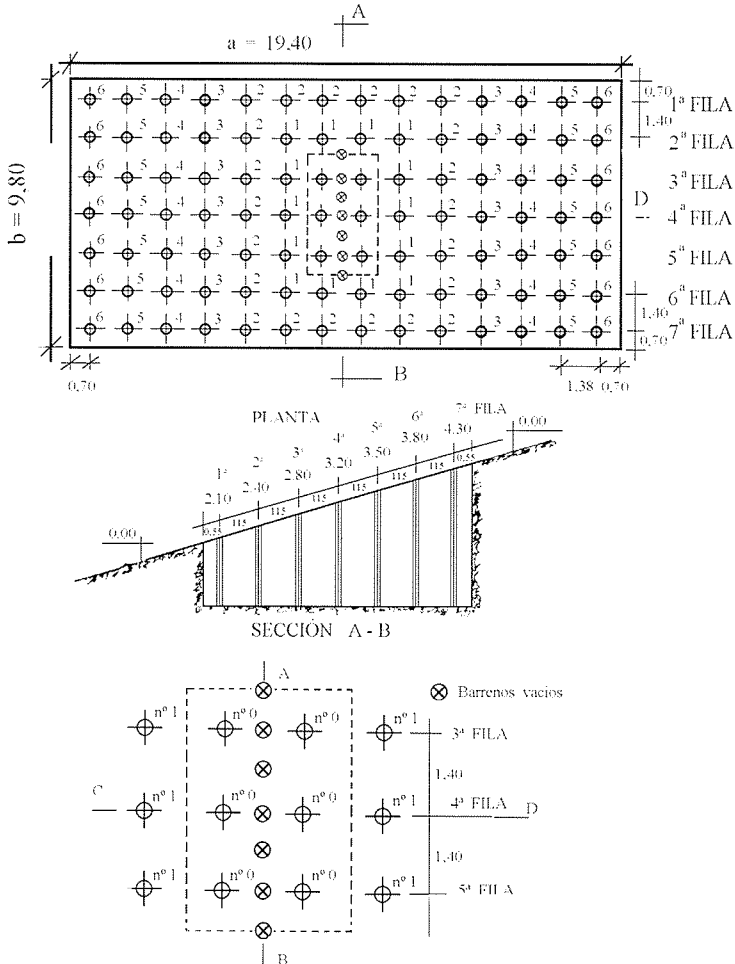


Figura 5.13

DIFUSION LIMITADA

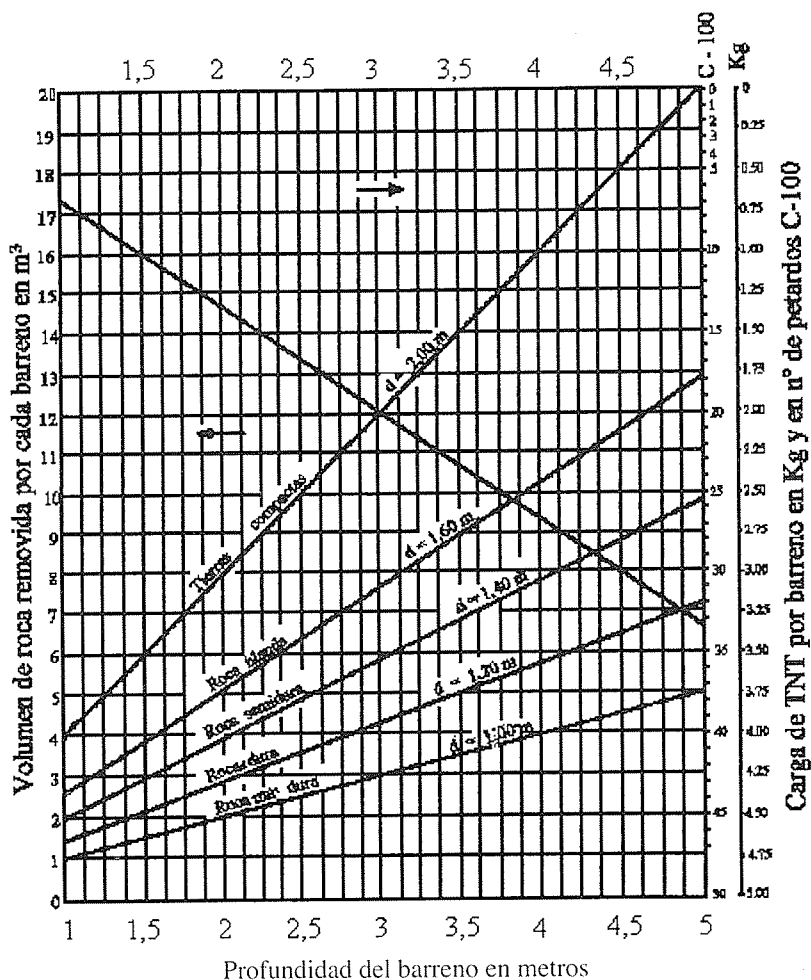
Por el ábaco 5.1, a este tipo de roca le corresponde una distancia entre barrenos:

$$d = 1,40 \text{ m}$$

Número de filas = $b/d = 9,80/1,40 = 7$ filas;

Número de columnas = $a/d = 19,40/1,40 = 14$ columnas;

Número total de barrenos: $14 \cdot 7 = 98$ barrenos,



Ábaco 5.1

DIFUSION LIMITADA

Se hace un croquis a escala y se distribuyen los barrenos.

Del croquis se deduce la profundidad de los barrenos, y en función de esta profundidad, incrementada en 30 cm de sobreperforación, la carga por barreno, haciendo uso del ábaco de carga.

El resultado se resume en la tabla 5.10.

TABLA 5.10. Profundidad y carga por barreno

FILA	PROFUNDIDAD (en m)	CARGA POR BARRENO (en kg)	NÚMERO DE PETARDOS
Primera	2.10	1.600	16 del núm. C-100
Segunda	2.40	1.800	18 del núm. C-100
Tercera	2.80	2.100	21 del núm. C-100
Cuarta	3.20	2.300	23 del núm. C-100
Quinta	3.50	2.500	25 del núm. C-100
Sexta	3.80	2.800	28 del núm. C-100
Séptima	4.30	3.100	31 del núm. C-100
Carga por columna.		16,200	162 del núm. C-100

Carga total = $14 \cdot 16.2 = 226,800$ kg. Equivalente a 2.268 petardos C-100.

El cuele, según se indica en la figura, está constituido por siete barrenos vacíos y seis barrenos cargados y activados con detonadores instantáneos.

La distribución de los detonadores de retardo de las diversas coronas se indica en la misma figura; el número correspondiente al retardo es el señalado en el cuadrante superior derecho de cada barreno.

Si el número de coronas excediese al de los detonadores de la serie completa, se le asigna el número 1 a la primera corona, el número 2 a la segunda y tercera, el número 3 a la cuarta y quinta, y así sucesivamente.

El número total de barrenos también puede determinarse de forma aproximada en función de los volúmenes.

Si se considera que la profundidad media de la excavación es la de cuarta fila (3,207), el volumen será:

$$V = 15.4 \cdot 9.8 \cdot 3.2 = 608 \text{ m}^3$$

El volumen de roca removido por cada barreno es, según el ábaco correspondiente, y a la profundidad de 3.20 m: $v = 6.20 \text{ m}^3$; número de barrenos = $V/v = 608/6.2 = 98$ barrenos.

5.2.b.(3).(c). EXCAVACIONES CIRCULARES

En las excavaciones circulares los barrenos se disponen en círculos concéntricos. La distribución se hace partiendo de los bordes de la excavación, trazando un círculo de radio:

$$r_n = R - d/2$$

donde R = radio de la excavación, y d = distancia entre barrenos. En el interior de este círculo se traza otro de radio igual a $r_n - d$, y así sucesivamente hasta el centro.

Sobre cada círculo se distribuyen los barrenos, tomando como cuerda la distancia d . El cuelen se dispone en el centro. Los círculos se enumeran de interior a exterior, y esta numeración coincide con la de los retardos de los detonadores respectivos.

Por el ábaco 5.1 se determina la carga necesaria para cada barreno.

5.2.c. VOLADURAS DE INTERIOR CON BARRENOS

5.2.c.(1). Generalidades

Las voladuras de interior son aquellas que se realizan en cualquier trabajo subterráneo. No obstante, es conveniente establecer dos grandes grupos.

- Trabajos similares o iguales a los definidos como voladuras de exterior.
- Trabajos específicos de interior, tanto en perforación como en voladura.

En el primer caso nos encontramos con trabajos iguales o muy similares a los que ya conocemos de cielo abierto. Un banqueo al piso en un rebaje de túnel es un trabajo similar al rebaje de cota en una carretera.

En estos trabajos veremos equipos similares a los empleados a cielo abierto, en cuanto a perforación se refiere, salvo pequeños detalles, como puede ser el empleo de deslizaderas más cortas, por problemas de dimensión.

Pero en todo caso, también los consumos específicos son mayores que a cielo abierto, pues son precisas granulometrías menores, general-

mente marcadas por los equipos de carga, y otras veces por el propio uso de la roca volada, que con frecuencia es usada para la fabricación de áridos para hormigones. Otras veces esa roca es un mineral que deberá ser molido para su beneficio, y en consecuencia tendremos de nuevo una limitación de tamaño por machacadora primaria.

En el segundo caso, tanto los sistemas de perforación como voladura, carga y transporte de escombros son específicos.

La rotura de la roca ha de conseguirse creando con una voladura una primera cara libre o cuele, apoyándonos bien en barrenos vacíos o bien en el propio frente de la roca. Es decir, la voladura principal va precedida de la apertura del cuele, aunque la diferencia de tiempo entre ambas sea tan sólo de milésimas de segundo.

Los equipos de perforación son también específicos. Aunque las perforadoras sean similares a las utilizadas a cielo abierto, son diferentes los chasis y brazos para adaptarse al tipo de trabajo.

Los esquemas son muy reducidos, por dos razones: la primera, por ejecutarse las voladuras con difícil salida, y la segunda, por ser necesario obtener granulometrías reducidas acordes con los medios de carga y transporte usados, aptos para interior.

También hay que considerar otra diferencia entre el conjunto de labores de interior y de exterior, y ésta es la toxicidad de los gases de las voladuras que adquiere en interior una gran importancia y en consecuencia selecciona el explosivo usado.

En cuanto a labores con ambiente explosivo, podemos decir que aparece una nueva selección del explosivo a usar (Explosivos de Seguridad) y que el avance de las labores se ve afectado por una legislación que limita las cantidades de explosivo por barreno y pega y la duración de la propia pega, además de las limitaciones de humos.

Por tal motivo, aunque trabajos de interior puedan ser parecidos o aparentemente iguales a algún trabajo de exterior, siempre existen matizaciones en pequeña o gran medida que establecen diferencias.

5.2.c.(2). Avance de galerías

Podemos definir esta labor como la creación de un hueco en la roca de importante longitud, con secciones variables, de pendiente

DIFUSION LIMITADA

variable, que se ejecuta con perforaciones de barrenos paralelos a su eje y, en consecuencia, con voladuras en fondo cerrado.

En cualquier galería o túnel cabe distinguir en la pega cinco partes fundamentales:

- A.- Cuele
- B.- Contracuele
- C.- Destroza
- D.- Contorno
- E.- Zapateras

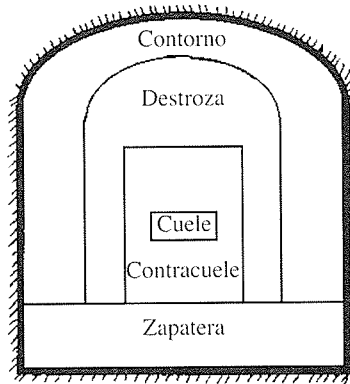


Figura 5.14.

5.2.c.(3). **Cuele**

Por cuele entendemos una parte de barrenos, cargados o no cargados, cuya misión será la de crear un hueco inicial en la galería, de forma que los barrenos posteriores encuentren ya en su disparo una cara libre inicial creada.

Este cuele puede situarse en cualquier posición en el frente, al piso, al techo o en hastiales, aunque generalmente se suele situar en el centro aproximado de la galería.

Supongamos ahora un solo barreno perforado en la galería paralelamente a su eje. Si dentro de ese taladro provocamos la detonación de una cantidad de explosivo, y recordamos el mecanismo de rotura de la roca, la onda de detonación producirá unas fisuraciones en el entorno del barreno, que se prolongarán hacia la cara libre (superficie

de la galería) más extensamente por el gran efecto traccional que se produce en ella por reflexión de la onda de choque.

Estas fisuras se extenderían formando un cono y la roca sería lanzada al exterior en forma de cráter.

Habríamos creado en efecto un hueco inicial, pero el aprovechamiento de la energía del explosivo estaría mal utilizada. Ese cráter no alcanzará nunca la profundidad del barreno. No obstante, veremos que el cuele en cráter se usa.

Si previamente al disparo de la carga de este barreno hubiéramos creado delante de él una fisura en la roca, esa fisura representa un plano de discontinuidad y, en consecuencia, una superficie útil (cara libre) donde la onda de detonación del explosivo será reflejada y podrá trabajar a tracción.

Ahora tenemos dos caras libres, la propia del frente y esa fisura previa. Esta fisura puede ser creada en la roca mediante un precorte. Éste es el fundamento del cuele en cremallera, de uso muy generalizado.

Si inclinamos el mismo, ofrecemos entonces una mayor superficie de cara libre, afectada por la onda de detonación (con propagación cilíndrica y no esférica). Esta disposición es la base del cuele en cuña o variables de cuele en abanico.

También podemos crear un frente libre perforando a su lado otro paralelo, de igual o mayor diámetro. La pared de este taladro actuará como cara libre sobre la que actuará el cargado. Éste es el fundamento de los cueles de barrenos paralelos, sistema que presenta un elevado número de variables.

Las características generales del cuele son una elevada perforación específica y un elevado consumo específico de explosivo.

Si en toda perforación es preciso prestar especial atención al correcto emboquille y dirección de los barrenos, ello es mucho más importante en los cueles, ya que el cuele es la primera apertura, que, bien ejecutada, producirá un buen rendimiento en el avance en galería.

Por las perforaciones tan próximas, los cueles sólo permiten el empleo de secuencias en microrretardo para evitar descabezamiento entre tiros, y cortes de cargas donde pueden apreciarse los descabeces de los barrenos por la detonación del barreno. Este fenómeno, malo para el arranque, es especialmente peligroso en labores donde existen ambientes de gases explosivos o polvos inflamables.

DIFUSION LIMITADA

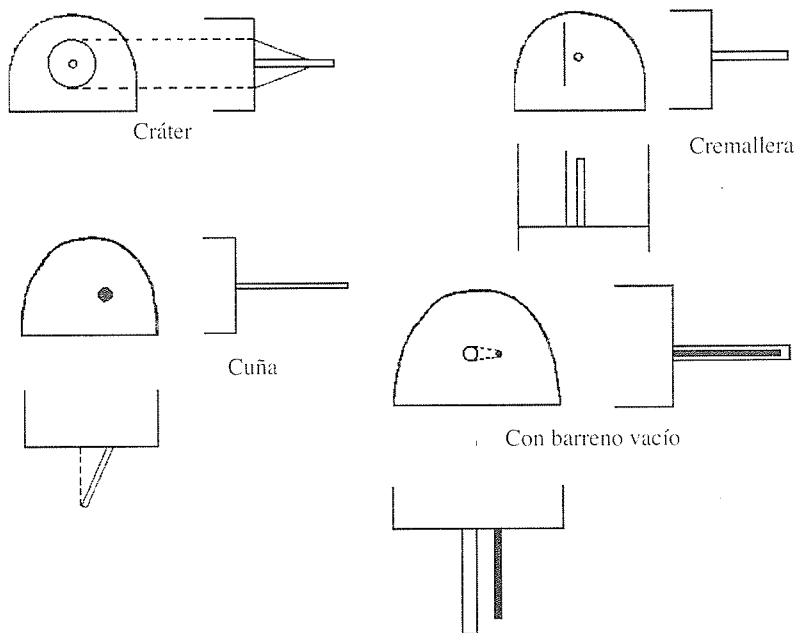


Figura 5.15

5.2.c.(4). **Contracuele**

Por contracuele entendemos la corona de barrenos que circunvala a los de cuele. En muchos casos se los considera como barrenos de cuele, pero merecen una matización diferente.

Mientras el cuele crea un primer hueco, el contracuele lo ensancha para preparar la cara libre a la destroza (que podríamos llamar voladura principal), con un mayor hueco que permita la evacuación del escombros de la misma.

En consecuencia, en el contracuele hay menos perforación específica y no hay barrenos vacíos, sino que todos son cargados, pero con menor consumo específico que el área del cuele, aunque son claramente sobrecargados.

Los barrenos, más separados, tienen distancias entre sí aun cortas, debiendo usarse secuencias de milisegundos entre barrenos.

5.2.c.(5). Destroza

Comprende el área de barrenos entre contracuele y límite de recorte.

Se les conoce también con los nombres de corona y contracorona cuando la destroza está formada por dos filas de barrenos.

Es la voladura principal (en cuanto a volumen de arranque en la galería). El esquema suele ser más abierto, con consumos específicos de explosivo menores que cuele y contracuele y es corriente usar en los barrenos carga selectiva (p. ej., goma y amonita), rebajando en los mismos el costo de explosivo.

El esquema utilizado en una destroza es función del tipo de roca, diaclasado, diámetro de perforación, profundidad de avance, tipo de explosivo, secuencia de encendido, granulometría deseada y geometría de la excavación.

Este último factor es pocas veces considerado y en muchas ocasiones es el más importante, pues un muy pequeño aumento de sección obliga a la inclusión de una nueva fila de destroza, con la que también podría abatirse una sección mucho mayor a igual costo.

5.2.c.(6). Contorno

Las voladuras de contorno se caracterizan por que la roca remanente queda muy poco afectada por los efectos de las explosiones de los barrenos. Después de una voladura normal, los contornos de la roca volada suelen quedar muy afectados, presentando perfiles muy desiguales, grietas y una gran sobreexcavación, todo lo cual debe ser evitado en ciertos trabajos en los que hay que procurar que el perfil volado se ajuste lo más posible al teórico. En el caso de túneles y galerías de mina, las voladuras de contorno son muy interesantes ya que, al quedar las paredes y bóveda poco fracturadas, disminuyen enormemente los trabajos de saneamiento, siempre lentos y peligrosos. Por otra parte, el trabajo de los operarios se realiza en condiciones mucho más seguras. Si la galería o túnel van hormigonados, además se consigue un ahorro considerable de hormigón al evitarse la mayor parte de la sobreexcavación. Cuando el perfil no se recubre de hormigón, sino que queda la roca al desnudo, también las voladuras de contorno son enormemente útiles, ya que permiten una colocación

más fácil y rápida de la entibación y dan lugar a menores costos de conservación, permitiendo muy frecuentemente eliminar totalmente dicha entibación, sustituyéndola por un bulonaje y/o gunitado, e incluso a veces, dejando el paramento de roca al aire.

Las voladuras de contorno también son utilizadas frecuentemente en obras a cielo abierto, sobre todo para conseguir los perfiles definitivos de los taludes de autopista y carreteras, así como de los bancos de las explotaciones mineras a cielo abierto, obtención de bloques para piedra de cantería, etc.

En obras públicas, autopistas y carreteras, la voladura de contorno puede modificar los taludes y, en consecuencia, disminuir los volúmenes de excavación; pero, además, la aplicación de esta técnica evita los sobrecostos que se derivan de la protección y mantenimiento de taludes mal terminados, que exigen empernados, mallazos, gunitados, etc., para su sostenimiento.

Lo mismo podríamos decir en cuanto a trincheras de ferrocarril se refiere. La mala terminación de algunos taludes ha dado lugar a derrumbes causantes de importantes accidentes.

Técnicas similares a las voladuras de contorno en la versión de recorte se usan para la obtención de bloques de roca con alto porcentaje de tamaños grandes. Estas voladuras son normales en las explotaciones de canteras para esolleras para puertos.

En resumen, se puede decir que las voladuras de contorno presentan las siguientes ventajas sobre las convencionales:

- Reducir el exceso de fracturación de la roca circundante a la excavación, dando como consecuencia un menor consumo de revestimiento de hormigón.
- Proporcionar en la roca cortes más limpios, disminuyendo por tanto el tiempo de saneo.
- Producir menos destrozos en la roca circundante, incrementándose por tanto el grado de seguridad y minimizándose el coste de soportes y mantenimiento.
- Posibilidad de reducir el nivel de vibraciones producido por la voladura principal.
- Disminuir los volúmenes de excavación y movimientos de roca.

5.2.c.(6).(a). PRECORTE

Esta técnica, sin duda la más eficaz de todas, consiste en la creación en la masa rocosa de una superficie plana o plano de cizallamiento, mediante la utilización controlada de los explosivos y sus accesorios en barrenos con una alineación y espaciamiento adecuado. Así pues, su objetivo es obtener un plano de fractura previa a la perforación y detonación de la pega principal, sin la presencia de una superficie libre al mismo.

Las numerosas ventajas de esta técnica están asociadas fundamentalmente con la reducción de los excesos de fracturación, cortes más limpios y la necesidad de un menor número de barrenos.

El precorte es un procedimiento de voladura que produce en la roca un plano de corte anterior a cualquier otra voladura. Este plano puede formarse en toda la profundidad del corte o hasta un nivel elegido previamente. El procedimiento general consiste en perforar un conjunto de barrenos paralelos y muy próximos los unos a los otros e introducir en ellos una carga débil de explosivo de forma que no quede afectada la roca remanente, pero sí que sea suficiente para originar una grieta a lo largo de la fila de barrenos.

El diámetro de perforación en teoría puede ser cualquiera. La elección del mismo viene condicionada sobre todo por la dureza de la roca y la mayor o menor exactitud que se desee alcanzar con el precorte. En general, cuanto mayor sea la dureza de la roca y mayor sea la exactitud exigida al precorte, tanto más deberá tenderse a reducir el calibre de perforación. De todas maneras, la experiencia práctica ha puesto de manifiesto que los mejores resultados se obtienen con barrenos de 62 a 75 mm de diámetro. El procedimiento a seguir consiste en perforar los barrenos a lo largo del plano de corte, estando espaciados entre 25 y 120 cm, separación que depende del diámetro de perforación, tipo de roca y tipo y cantidad de explosivo empleado. Muy importante es tener en cuenta que el éxito de las voladuras de precorte depende en gran parte del esmero con que la perforación haya sido efectuada. La longitud de los barrenos debe ser la del corte que se quiera obtener más una pequeña sobreperforación que normalmente oscila entre 40 y 50 cm, para poder asegurar buen paralelismo de los barrenos.

La carga es normalmente muy débil e interesa que esté repartida lo más uniformemente que se pueda a lo largo de la caña del barreno, para que su acción se ejerza por igual sobre toda la superficie del mismo. El explosivo generalmente utilizado es gelatinoso en calibres inferiores a los de perforación, tales como 22, 26, 29 o 32 mm, aunque a veces, cuando se trata de rocas blandas, se suelen emplear otros explosivos menos enérgicos y rompedores como la Amonita 2I en calibres similares. Modernamente se han puesto explosivos especialmente concebidos para esta técnicas de contorno como la Goma 2BD, Riogel o Riogur, es decir, Goma de baja densidad, que es un explosivo gelatinoso de características semejantes a las de la Goma 2 EC, pero de densidad muy inferior (1,1 g/cc frente a 1,45 g/cc), y que por tanto permite a veces dar precortes con carga continua sin necesidad de espaciar la carga, operación siempre larga y por consiguiente costosa.

Igualmente y para las voladuras suaves con diámetros pequeños (hasta 50 mm), se han puesto a punto cordones detonantes especiales, de alto gramaje en pentrita, normalmente 40 y 60 g/m, que permiten llevar a cabo estas voladuras sin el concurso de explosivos y por tanto facilitando enormemente las operaciones de carga de los barrenos.

Las cargas utilizadas dependen de la separación de los barrenos, del tipo de roca y del tipo de explosivo, y están comprendidas entre 100 y 900 g/m de barreno, según se indica en la tabla 5.11.

TABLA 5.11

Diámetro de Perforación (mm)	Separación (cm)	Carga de Explosivo (g/m)
32 a 50	25 a 55	80 a 250
50 a 65	45 a 75	150 a 350
65 a 90	60 a 100	250 a 500
100	75 a 120	350 a 900

El método empleado consiste en ir adosando a un ramal de cordón detonante cartuchos de explosivo espaciados unas ciertas distancias para que la carga por metro de barreno sea la prevista. Normalmente, en el extremo inferior del cordón detonante se sitúa una pequeña carga de fondo que va colocada en la zona de sobreperforación del

barreno, mientras que el superior se deja sin la carga en unos 30 a 70 cm, constituyendo esta longitud el atraque del barreno. Una vez colocada la carga, centrada lo más exactamente posible, se rellena el espacio anular que queda alrededor de los cartuchos mediante gravilla seca. Mientras se añade ésta, es necesario mover ligeramente hacia arriba y hacia abajo el cordón detonante para facilitar la penetración de la gravilla en todos los huecos.

En la tabla 5.11 se exponen las separaciones y cargas recomendadas para distintos diámetros de perforación en rocas duras o semiduras. En terrenos blandos estas cargas podrán ser reducidas.

Así, para precorte, pueden admitirse unos espaciamientos entre barrenos de 8 a 11 veces del diámetro de perforación. Y la carga lineal: $C = K \cdot 10^{-5} \cdot \theta^2$ kg/m.l de barreno, siendo K un coeficiente comprendido entre 6 y 9, expresando el diámetro en mm.

En las voladuras de precorte la simultaneidad de la detonación de todos los barrenos es una condición muy importante. En consecuencia, la iniciación debe ser hecha mediante detonadores eléctricos instantáneos o bien con cordón detonante. Esto puede ser causa de graves problemas cuando el precorte se realiza próximo a edificaciones como consecuencia de la vibración producida. En este caso, será necesario disparar con detonadores de tiempo, aunque ello origina mayor agrietamiento del paramento rocoso, resultando precortes menos perfectos.

Lo usual es que la voladura de precorte se dispare simultáneamente con la principal, teniendo que tomar ciertas precauciones para que la explosión inicial de aquél no afecte al resto de los barrenos de destroza. Por otra parte, interesa que la fila de barrenos que está más próxima al precorte no esté demasiado cargada, con el fin de que dichos barrenos no rompan hacia atrás y puedan afectar a la pared precortada agrietándola o dañándola de alguna forma. Asimismo, esta fila de barrenos deberá estar a una distancia del precorte algo inferior a lo normal con el fin de que en el curso de la voladura no se produzcan grandes bloques o que quede medio suspendida una masa considerable de roca que obligará a un saneo a veces peligroso y a numerosas voladuras secundarias. Con respecto a la iniciación, interesa que entre el precorte y la fila de barrenos más próxima al mismo exista como mínimo una diferencia de tiempo de 90 milisegundos.

El precorte puede también dispararse aisladamente para originar la grieta, volándose el resto posteriormente incluso a veces meses más tarde. Esto último se suele hacer cuando se quiere crear una pantalla protectora de reducción de las vibraciones de las voladuras posteriores, en el caso de que existan edificaciones e instalaciones próximas al lugar de la obra.

El precorte presenta algunos inconvenientes:

- Gran densidad de perforación.
- Perforación muy cuidadosa y, por consiguiente, lenta.
- La carga de los barrenos lleva mucho tiempo, ya que debe hacerse con mucho esmero.

5.2.c.(6).(b). RECORTE

El objeto del recorte es obtener contornos sin sobreexcavación y lo más lisos y uniformes posibles. Esta técnica es muy semejante a la del precorte, ya que consiste igualmente en perforar barrenos próximos unos de otros, cargarlos suavemente y dispararlos simultáneamente.

En el caso de obras subterráneas, los diámetros de perforación normalmente utilizados son los comprendidos entre 33 y 50 mm. En estos casos y teniendo en cuenta que en el recorte la relación entre la piedra y el espaciamiento de los barrenos viene dada por la expresión $d \leq 0,8 \cdot V$, los espaciamientos normales de los barrenos suelen oscilar entre 0,6 y 0,8 m. El explosivo más utilizado es el gelatinoso en calibre 22 mm y las magnitudes de las cargas son las indicadas para el caso de precorte. Ello obliga a espaciar los cartuchos de explosivo a lo largo de la caña del barreno, por lo que es de gran utilidad el empleo del cordón detonante.

El recorte también se utiliza a veces a cielo abierto. En este caso se recomienda calibres de perforación mayores, comprendidos entre 50 y 100 mm (2" a 4"). La separación entre barrenos estará comprendida entre 0,8 y 2 m, viniendo la distancia a la cara libre V de los mismos dada por la relación $d \leq 0,8 \cdot V$.

En la tabla 5.12 se exponen las separaciones entre barrenos recomendados para recortes en rocas duras o semiduras.

DIFUSION LIMITADA

En el caso de recortes, una sencilla fórmula matemática difícilmente puede englobar factores tales como dureza, resistencia a tracción, resistencia a compresión, estratificación, tamaño de estrato, dirección, intercalaciones, etc.

TABLA 5.12

Diámetro de Perforación (θ mm)	Separación de Barrenos (d = cm)
33	50 a 60
37 a 44	50 a 80
50	80 a 90
50 a 65	80 a 120
65 a 90	120 a 180
100	180 a 200

La separación entre barrenos d es igual a entre 13 y 16 veces el diámetro del barreno en mm, siendo la separación media $d_m = 15 \cdot \theta$. Y la fórmula general de carga lineal es:

$$C = 8,5 \cdot 10^{-5} \cdot \theta^2 \text{ kg/m.l}$$

La fórmula sirve únicamente para ver el orden de magnitud en que nos movemos.

Así, por ejemplo, en una voladura de contorno normal en galería, con un equipo con boca de 40 mm, las concentraciones de carga se encontrarían entre 90 y 150 g/m.l para precorte y 60 y 110 g/m.l para recorte con espaciamientos entre 30 y 45 cm entre barrenos.

Los explosivos más empleados son los rompedores, tales como la Goma 2EC o la Goma 2BD en calibres 22, 26, 32 o 40 mm, aunque si la roca es blanda es posible utilizar otros menos potentes, como por ejemplo la Amonita 2I o los cordones detonantes. Las cargas son semejantes a las expuestas para el precorte.

El recorte normalmente se dispara con posterioridad a las voladuras de destroza con el fin de originar la pared lisa definitiva. Puede igualmente dispararse junto con la voladura principal, pero a condición de que los barrenos del recorte sean iniciados los últimos, a continuación de los del resto de la voladura principal.

En los tiros de recorte, al igual que en los de precorte, la dispersión de los tiempos de salida de los barrenos debe ser la menor posible. Por ello, los mejores resultados se obtienen al iniciar el recorte con detonadores eléctricos instantáneos o cordón detonante.

Si no es posible efectuarlo por separado de la voladura principal, todos los barrenos de recorte estarán iniciados con detonadores de microrretardo del mismo número, que serán los más altos de la serie empleada, puesto que deben salir después de la voladura principal. No deben emplearse detonadores de retardo, ya que existen dispersiones altas en sus tiempos.

En cielo abierto, con perforación para recorte a cargo de un vagón ligero, con 2 1/2" de diámetro estaremos con concentraciones entre 240 y 360 g/m.l para un precorte con espaciamiento de unos 60-65 cm. Y para recorte nos situaríamos entre 160 y 180 g/m.l de carga.

5.2.c.(6).(c). CONSIDERACIONES PRÁCTICAS

El precorte o recorte puede ser de tanta mejor calidad, cuanto mejor es la calidad de la roca que vamos a precortar o recortar. Una roca sana, masiva y homogénea permite que esta labor pueda ser ejecutada con una mayor calidad.

Esta calidad se va reduciendo a medida que la roca va siendo menos homogénea.

En rocas estratificadas puede alcanzarse una buena calidad en esta labor, cuando el plano de corte pretendido es perpendicular a la estratificación, aunque cada estrato presente una calidad de roca diferente. A medida que los barrenos se van situando más paralelamente a la estratificación, el precorte o recorte va perdiendo calidad, siendo la peor conseguida cuando los barrenos coinciden con la estratificación, ya que en este caso el corte se producirá por planos entre lisos no coincidentes con el plano de perforación y el perfil obtenido no será el deseado.

5.2.c.(6).(d). FORMAS DE CARGA

Las cargas lineales necesarias son difíciles de conseguir, con el empleo de cartuchos convencionales. Un cartucho de dinamita-goma

DIFUSION LIMITADA

de 26 mm de diámetro ya da una concentración lineal de 712 g/m.l, carga lineal muy elevada, si fuera continua.

Todos los explosivos tienen un diámetro crítico, diámetro de carga por debajo del cual la onda de detonación no mantiene la energía precisa para asegurar su continuidad.

Por ese motivo, y considerando que la mejor calidad de la voladura de contorno se consigue cuando la carga se encuentra repartida uniformemente a lo largo de la caña de los barrenos, de forma continua, se fabricaron explosivos, con muy pequeño calibre crítico. Recordamos aquí la Gurita, como elemento representativo de ellos. El encartuchado de este explosivo no era mecanizable, por lo que el producto se encarecía notablemente y era prácticamente imposible conseguir diferentes concentraciones de carga, salvo que se pudiera disponer de una gran gama de encartuchados.

Por ello la solución fue la de emplear, para cargas de precorte y recorte, cartuchos de explosivos convencionales, adosados a cordón detonante mediante cinta adhesiva con un espaciamiento prefijado que colocábamos dentro de una caña de plástico, para introducir la carga en el barreno.

La carga queda distribuida como indica la figura 5.16

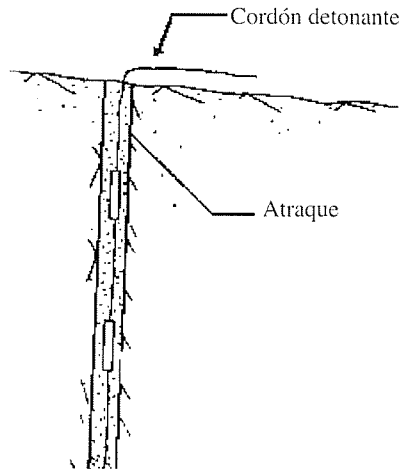


Figura 5.16.

Por otro lado, esta distribución sitúa cargas concentradas en distintos puntos de la caña del barreno. No es una carga uniformemente repartida la que detonaremos. Ello va por lo tanto en notable detrimento de la calidad de perfil definitivo a obtener.

Considerando que la pentrita tiene un calibre crítico, que llega hasta las ínfimas dimensiones que suponen concentraciones lineales de 3 g/m.l, y que el cordón detonante es un elemento de fabricación mecanizada, surge la idea inmediata de su aplicación práctica a las voladuras de contorno. Fabricado en diferentes gramajes, cabe todo tipo de combinaciones.

Su carga es cómoda, sin preparación ni manipulaciones, y la distribución de carga dentro del taladro no es ya por puntos, sino continua, como de hecho pretendemos.

La colocación es muy rápida. Dado que en todo los casos en precorte y recorte es bueno usar una pequeña carga de fondo, ésta se encinta al cordón en un extremo, añadiendo si es preciso un contrapeso.

En voladuras de contorno con barrenos verticales, el cordón así dispuesto baja inmediatamente por el barreno con suma facilidad, siendo la carga muy rápida.

En el caso de barrenos horizontales, el cordón se corta a longitudes adecuadas. El contrapeso no es necesario y su colocación en el barreno se hace también de forma inmediata mediante un atacador delgado que empuja el cartucho al fondo del barreno, tirando éste a su vez del cordón.

En voladuras de contorno a cielo abierto, los diámetros de perforación son muy superiores a los empleados en interior. En consecuencia son necesarias concentraciones lineales de carga mucho más elevadas, que en voladuras de contorno en interior.

Para estos casos es más conveniente el empleo de un explosivo pertenece a la familia de los Riogeles. Un Slurry como el Riogur. Es un explosivo de elevada velocidad de detonación (4.000 m/s), de 1,12 g/cc de densidad y una potencia del 70 %.

Es sensible al detonador normal, pero no es sensible a estímulos tales como choques, golpes, roce o calor, lo cual hace totalmente seguro su empleo.

Tiene un reducido calibre crítico, por lo cual su detonación es posible en las gamas de calibres que dan las concentraciones de carga requeridas.

El formato de este explosivo tiene las dos cualidades básicas para su empleo en voladuras de contorno ya comentadas: ser encartuchado a máquina y ser fácilmente manipulable.

El formato de encartuchado es vaina de plástico flexible continua, en rollos de 12 m.

En barrenos verticales o con pendiente ligera, su introducción es inmediata y similar a como se introduciría una manguera, bajando por su peso.

También se presenta en cartuchos rígidos de 470 mm de longitud, útil entonces para barrenos horizontales.

La manguera explosiva se cuelga del barreno. La carga, al ser continua, queda pues uniformemente repartida.

La manguera explosiva puede ser cortada a la medida deseada, o empalmada para obtener longitudes superiores, aunque al margen de ello, por desviaciones de perforación, no son recomendables voladuras de contorno con barrenos de longitudes superiores a 15 m.

5.2.c.(7). Zapateras

Por estos barrenos entenderemos los de piso de túnel. Estos barrenos, últimos en dispararse generalmente, son sobrecargados, pues precisan una energía adicional para conseguir el “levantar” de la piedra que los afecta, en contra de la gravedad.

En ellos suele emplearse $d = V = 0,7 \theta$. Este tipo de barrenos se encuentran en su salida con el peso del escombros sobre la roca a arrancar, y por ello, además de cerrar el esquema, suelen ser sobrecargados, sin usar para ellos carga de columna. Los extremos son llamados zapateras de esquina y disparados con el último retardo.

Estos barrenos se pinchan en el piso para evitar repiés y rebajes posteriores y poder regularizar el piso en todo caso con relleno.

En ocasiones las zapateras de esquina pretenden abrir cuneta.

5.2.c.(8). Avance de la pega

Se llama avance de una pega a la medida entre dos situaciones de frentes consecutivos. Un avance de un 100 % sería aquel cuya dimensión coincidiría con la profundidad del barrenado. Un avance de 85 a 90 % es considerado habitualmente como bueno.

Según ello, el nuevo frente presentaría fondos de barreno (culos) de longitud de un 15 % a un 10 % de la longitud barrenada. No sirven para emboquillar los nuevos barrenos y pueden quedar restos de explosivos.

Menores avances suelen producirse por cueles defectuosos generalmente.

Existen casos donde la presencia de lisos puede dar avances mayores a la longitud perforada, bien por descuelgue, o bien por trabajar la fisura como cara libre al fondo.

En cuanto al avance que podemos dar a una pega, podemos decir que el mismo depende de un gran número de factores, por ejemplo:

- Longitud de la deslizadera de la máquina: no se empalman barras para avance horizontal. El límite lo marca la desviación y destreza del operario.
- Tipo de roca desde el punto de vista de sostenimiento.
- Sección de la galería.
- Ciclos de carga de explosivo, disparo, ventilación y carga de escombros y su encaje en los relevos de trabajo junto con los ciclos de sostenimiento.
- Para cueles en cuña el avance queda marcado por la posible angulación de la herramienta.
- Nivel de vibración admisible sobre el entorno.
- Tipo de roca desde el punto de vista de dureza, abrasividad y esponjamiento.

El avance debe determinarse, por lo tanto, en función de muchos parámetros y debe diseñarse el que produzca un conjunto de operación más económico, que normalmente no coincide en absoluto con el máximo alcanzable.

El encaje de ciclos es la premisa básica en toda obra interior.

5.2.c.(9). **Proyecciones**

Aparentemente las proyecciones pueden carecer de importancia en una obra de interior. Generalmente disponemos en la galería o túnel de elementos susceptibles de ser dañados por ellas, tuberías de ventilación, de aire, de agua, entibación, líneas eléctricas, etc.

Aunque éstas no existieran, cualquier elevación en la proyección debe considerarse como un derroche de explosivo y, en consecuencia, un encarecimiento de la operación de voladura.

5.2.c.(10). Cueles. Cálculos y esquemas

5.2.c.(10).(a). GENERALIDADES

Es preciso darse cuenta de que las fórmulas, ábacos y cálculos no incluyen factores como son tipo y calidad de roca, fisuración, diaclasado, etc., que en muchas ocasiones son los factores primordiales básicos a tener en cuenta. Por ese motivo la aplicación de las mismas sólo puede presentar un valor de tanteo aproximativo, y que la corrección hasta alcanzar la optimización es función de una experimentación.

Las fórmulas y ábacos tienen su importancia, siempre con las debidas reservas, y con conocimientos de su alcance, pero sin olvidar todo lo que puede enseñarnos la experiencia, propia o ajena.

5.2.c.(10).(b). CUELES DE BARRENOS PARALELOS

Cuando los barrenos se disparan hacia uno central de mayor calibre, como tónica normal, debe cumplirse $\theta \geq 2,5 \cdot d$. Siendo θ el diámetro del taladro vacío y d el diámetro del taladro cargado, y la distancia entre centros puede ser $A \leq 1,5 \cdot \theta$. Esto plantea una distancia a los barrenos cargados de cuele igual al diámetro del taladro central.

En los barrenos de contracuele, la distancia a usar puede ser igual al ancho de las caras libres dejadas por el cuele, o como norma general, aumentar al doble la distancia del cuele, es decir, $A \leq 2 \cdot \theta$.

Analicemos el cuele de la figura 5.17, que podría ser representativo para una roca caliza donde se ha perforado un barreno central en aproximadamente 5", siendo los barrenos de destroza de 2". Esta forma de perforación podría ser normal, ejecutada con Jumbo de perforación.

Suponemos barras de 3,6 m y una perforación de 3,10 m, contando con 0,5 m entre pica y centralizador.

Si se supone un rendimiento en avance del 90 %, la pega avanzaría aproximadamente 2,8 m. Los barrenos de cuele podrían ir cargados de la siguiente forma:

DIFUSION LIMITADA

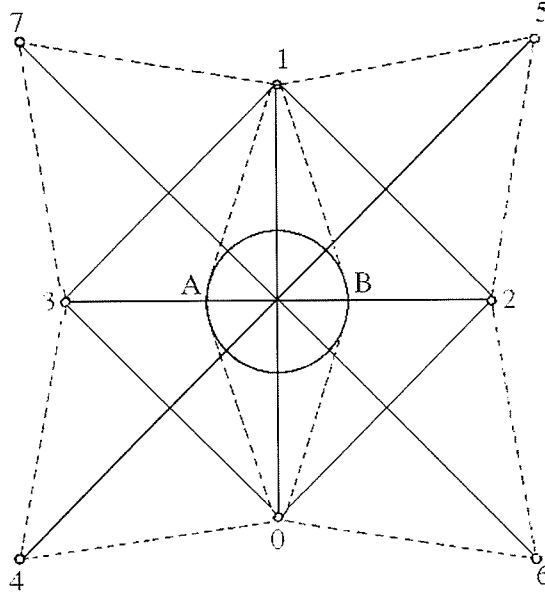


Figura 5.17

Cartuchos de 40 mm x 240 mm longitud

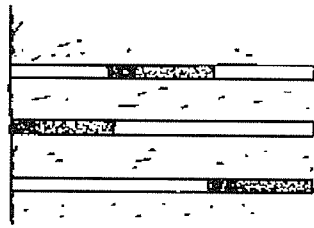
Peso por cartucho (Goma 2E-C)	400 g
Atraque	0,5 m.
Longitud de caña a cargar	2,6 m.
Forma de carga	atacado suave.
Cartuchos por barreno	8
Carga por barreno	3,2 kg.
Concentración lineal $3,2/3,1 =$	1 kg/m.l.
Carga total del cuele $3,2 \cdot 4 =$	12,8 kg.
Volumen arrancado por el cuele:	
$(0,0703 - 0,0123) \times 2,8 =$	0,1625 m ³

Supuesta igual carga para los barrenos de contracuele (4, 5, 6, 7) se tendría:

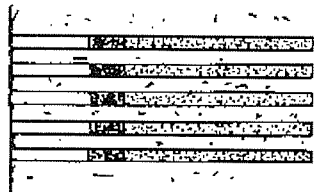
Volumen arrancado en contracuele 0,1326 m³.

Consumo específico en contracuele 24,13 kg/m³, que resulta más elevado que el propio cuele.

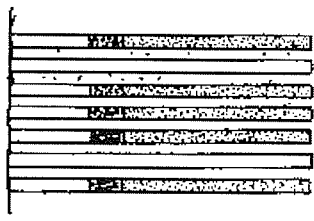
DIFUSION LIMITADA
SARROIS



SUECO



Normal



Cremallera

COROMAT

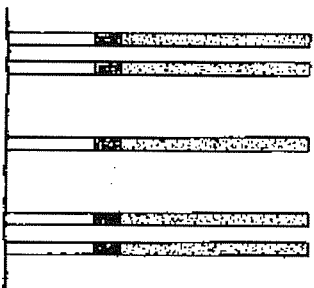


Figura 5.19.—Ejemplo de cueles

Podríamos entonces seguir dos caminos, pues parece absurdo sobrecargar aún más el contra cuele que el cuele.

Un camino sería aumentar la distancia de los barrenos del contra-cuele y otro bajar su carga.

Entre ambos es más segura rebajar un poco la carga del contracuele, antes que dar mayores distancias a los barrenos del mismo. Por principio, el mejor cuele será el que conozcamos por haberlo usado.

Podemos advertir unas premisas para una selección de un cuele, además de otras técnicas posteriores.

Ejecutable con facilidad con los equipos disponibles.

Conocido y/o aceptado por el personal.

Que consiga un rendimiento aceptable.

5.2.c.(10).(c). CUELES EN CUÑA

En los cueles en cuña utilizamos básicamente como cara libre el frente de la galería.

De esta manera perforamos barrenos angulados en el frente, siempre que el ancho de la galería lo permita.

Con esta base existen muchas formas de cuele incluso con combinaciones con sistemas paralelos (cremallera) más o menos sofisticados.

Para este tipo de cueles cabe en principio fijar dos condiciones:

- Que el ángulo de los barrenos con respecto al eje del túnel no sea inferior a 30°.
- Que la distancia a la cara libre en el fondo expresada en metros no sea superior al 75 % del diámetro de perforación expresado en pulgadas.

De esta forma el arranque en fondo queda garantizado.

5.3. POSIBILIDADES DE LOS INGENIOS DE PERFORACIÓN

5.3.a. AHOYADOR

El equipo ahoyador hidráulico es una herramienta autopropulsada que proporciona a las Unidades de Ingenieros la capacidad de trabajo necesaria para realizar perforaciones, de la que cabe destacar: la colocación de cargas concentradas en cualquier tipo de terreno.

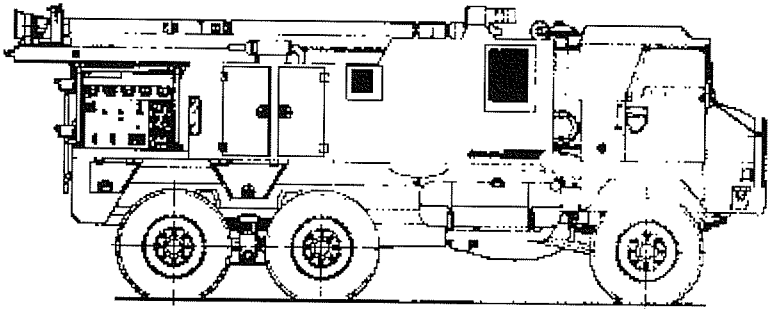


Figura 5.19.—Camión ahoyador en posición de transporte

El equipo va montado sobre un vehículo ligero, todo terreno Clase 17, que le proporciona una gran movilidad, velocidad y estabilidad.

El motor del vehículo, mediante un transferidor auxiliar, proporciona a vehículo parado toda la potencia al compresor que facilite el aire necesario para la perforación.

El implemento más importante para la principal misión del equipo es la sarta de perforación para demoliciones. Su composición y diseño está preparado para facilitar la colocación rápida de cargas concentradas en cualquier tipo de terreno. Puede taladrar con un diámetro de 8" para que pueda atravesarlo una carga concentrada reglamentaria, y la longitud puede llegar a los 3,5 m sin necesidad de cambiar la sarta.

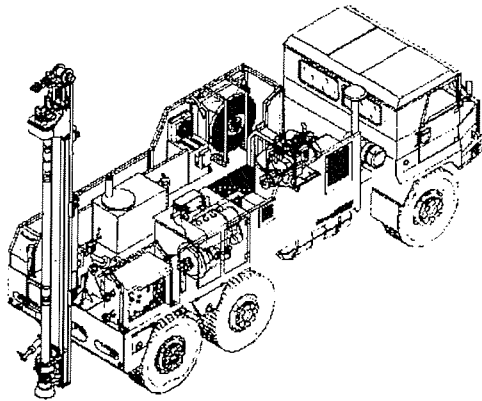


Figura 5.20.—Ahoyador en posición de perforación vertical

Se puede taladrar tanto en vertical como en horizontal y la presencia de agua en el barreno no dificulta su empleo.

La perforación sobre terreno de tierras sin roca llega a 3 m/min. Cuando se emplea para la perforación de rocas, la velocidad de penetración varía los 10 cm/min para roca dura hasta 40 cm/min para roca blanda. En el caso del hormigón en masa su velocidad media es de 25 cm/min.

Para su empleo es necesario un operador, que es a la vez su conductor, aunque necesita un auxiliar cuando haya que hacer perforaciones superiores a 3,5 m.

5.3.b. MOTOCOMPRESOR

El equipo motocompresor es una herramienta que puede ser auto-propulsada; sin embargo, suele estar montada en un remolque fácilmente transportable por un vehículo ligero todo terreno. Además del compresor suele incorporar un grupo electrógeno y varias aplicaciones que en algún caso pueden ser útiles para efectuar voladuras.

La parte más interesante para la perforación son los grifos a los que se les puede acoplar las mangueras de los martillos, en número de dos o superior. Las barrenas que se emplean son de un calibre de 34 mm y una longitud que varía entre 0,8 y 1,20 metros de longitud, lo que permite rellenar los barrenos con cargas reglamentarias C-100 y todos los cartuchos de explosivo industrial de diámetro inferior a una pulgada. Debido a su pequeño diámetro, no es conveniente rellenar con explosivo a granel, ni pulverulento ni hidrogel.

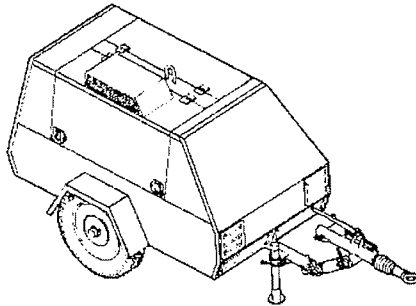


Figura 5.21

Para manejarlo, el personal necesario es de un operador por martillo activado más el conductor del vehículo, y su rendimiento varía desde 3 min/m en roca blanda hasta los 12 minutos en roca dura u hormigón en masa.

Al estar manejado directamente por un hombre, su empleo es normalmente vertical; ahora bien, esta herramienta dispone de implementos que permiten la perforación horizontal o con cierto ángulo con facilidad y precisión.

5.3.c. MARTILLO AUTOMOTOR

La necesidad planteada a raíz de tener que realizar una perforación en lugares donde no se pueda llevar un compresor o bien las mangueras de éste no den la longitud suficiente, se resuelve mediante una herramienta autónoma: el martillo automotor.

Esta herramienta consta de un motor de explosión, mecanismo de perforación e implementos.

El motor dispone de un depósito que le permite más de una hora de trabajo sin repostar. La maquinaria y sus implementos le da una capacidad de trabajo muy rentable siendo manejado todo ello por un solo hombre, y todo el material se puede guardar en un solo embalaje y es fácilmente transportable en cualquier vehículo.

Los implementos que más interesan para la perforación son las barrenas. Debido a la potencia limitada de la herramienta, éstas tienen unas dimensiones de alrededor de 35 mm de diámetro y 1 m de longitud.

Los trabajos en los que se le puede sacar el mayor rendimiento son:

- Donde no se pueda emplear un compresor convencional.
- Perforación en pilares de hormigón, a diferentes alturas.
- Perforación en vigas de hormigón.
- Perforación de muros de contención y estribos.
- Perforación en pilares rodeados de agua.
- Perforación de rocas y taqueo.

Al igual que el diámetro de la barrena usada con el motocompresor, sólo se puede utilizar la carga reglamentaria C-100 y explosivo encartuchado de calibre inferior a una pulgada.

5.3.d. OTRO MATERIAL DE PERFORACIÓN

La perforación de carácter industrial está muy diversificada, adecuando la herramienta a cada tipo de trabajo. La herramienta se puede clasificar por calibres: pequeño, mediano y gran calibre.

- Pequeño calibre: Martillo de mano (1"-1.5")
- Mediano calibre:
 - Equipos de martillo en cabeza (2"-5") neumáticos
 - Equipos de martillo en cabeza (3"-5") hidráulicos.
 - Equipos de martillo en fondo (4"-6.5") neumáticos o hidráulicos.
- Gran calibre: Equipos de perforación rotativa (9"-12").

En vías de comunicación y construcción de obras de fábrica se utilizan los pequeños y medianos calibres. En la minería y cantera se utiliza toda la gama de calibres y equipos; en demoliciones, sólo se emplea el martillo de mano.

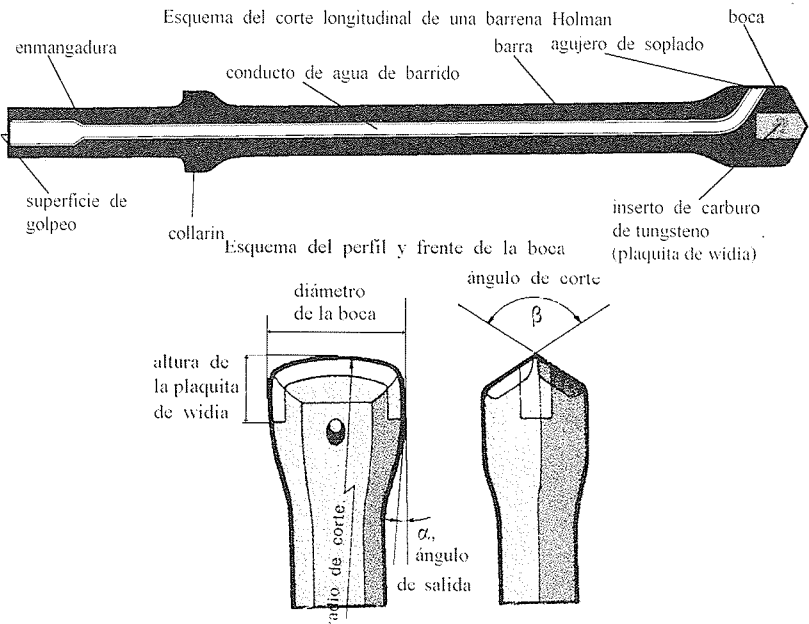


Figura 5.22.—Detalle del interior de una barrena y su sección de corte

5.3.d.(1). Martillo de mano

El martillo neumático trabaja con aire comprimido que empuja un pistón que a su vez golpea la barrena y la gira, posteriormente ese aire insufla el detritus para su extracción del barreno, todo ello en un proceso continuo.

Las grandes máquinas perforadoras con el martillo en cabeza son variantes de este equipo. Lo que en aplicaciones militares es el único equipo reglamentario, para perforaciones en aplicaciones industriales tiene un empleo limitado a demoliciones, perforación de galerías de sección pequeña que no se puede mecanizar y taqueos. También se aplica en lugares donde no pueden acceder máquinas mayores para posibilitar el acceso de estas últimas.

El martillo de mano está preparado para utilización directa por el operador o bien acoplarse a implementos que lo capacitan para actuar varios simultáneamente o para barrenar en techo y en general por encima de la cabeza del operador.

Los martillos actuales pesan alrededor de 20 kg, pero se está tendiendo al empleo de martillos más ligeros, de 7 kg, en los que se cambia el peso del pistón por una mayor velocidad de rotación.

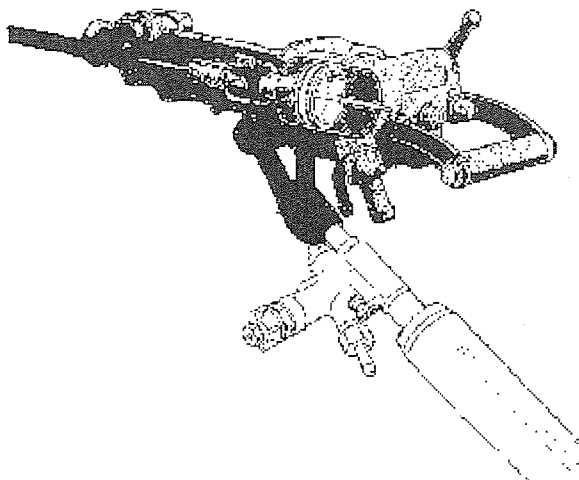


Figura 5.23.—Martillo de mano neumático

De todos los elementos que componen el martillo neumático, aquel que puede variar y hay que tener más precauciones es la barrena. La barrena se compone de tres partes: cabeza, cuerpo y boca. La cabeza es la parte superior, va introducida dentro del martillo y es donde golpea el pistón. Acaba en un resalte (collarín) que es por donde la barrena se sujeta al martillo. El cuerpo, taladrado longitudinalmente para permitir el paso del aire comprimido, es la parte que une la cabeza con la boca; es la parte que indica la longitud de la barrena.

La boca es la parte que está en contacto con la roca. Contiene una placa de metal muy duro (widia), que es lo que corta la roca, y dos agujeros laterales para la expulsión del aire, con dos misiones: refrigerar el metal y extraer el detritus.

5.3.d.(2). Perforadoras de martillo en cabeza. Hidráulicas y neumáticas

Son perforadoras de gran peso y volumen, por lo que van montadas sobre chasis especiales. El mecanismo de funcionamiento es similar al del martillo de mano, pero con algunas diferencias:

Las barrenas se sustituyen por material extensible, es decir, con varillas acoplables entre sí para lograr profundidades mayores. El mecanismo de rotación de las barrenas es independiente del pistón, girando por mediación de motor de rotación. Con lo que se consiguen diferentes velocidades de rotación para adecuarlos a los diferentes tipos de roca. Además, permite el giro en sentido inverso para desenroscar las varillas y permitir el acoplamiento.

El empleo de estas perforadoras tiene que ser hecho por personal altamente especializado. La robustez de la propia máquina queda limitada por la delicadeza del trabajo a realizar. La colocación de los implementos y varillajes, el mantenimiento tanto en frío como en caliente y la obtención de rendimiento real, implica que su explotación sea realizada por operarios muy cualificados.

El rendimiento está directamente relacionado con la velocidad de perforación. Ésta se puede definir como la velocidad pura de una perforadora para un determinado calibre, introduciendo una sola barra y accionada por un compresor o grupo específico.

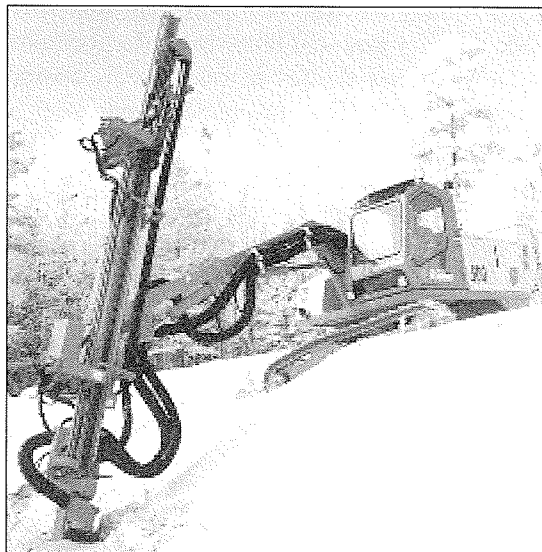


Figura 5.24.—Perforadora de martillo en cabeza

La velocidad depende de múltiples factores, entre los que cabe destacar:

- Tipo de perforadora.
- Tamaño y afilado de la boca.
- Tipo de compresor utilizado.
- Tipo de roca a perforar.
- La capacidad del operador.

Además, habrá que tener en cuenta:

- La longitud del barreno.
- El número de barras a cambiar.
- El cambio de asentamiento de la perforadora.

En las tablas 5.13 y 5.14 se describen unas velocidades de perforación que son meramente orientativas, y con unos patrones fijados en: Banco de 15 m. Perforadoras con un calibre comprendido entre 2.5" y 3.5" en perforadoras medias y de 3.5" y 5" para pesadas:

TABLA 5.13. Perforadoras neumáticas medias

ROCA	VELOCIDAD DE PERFORACIÓN
Calizas blandas	16-22 m/h
Calizas medias	14-18 m/h
Calizas duras	12-16 m/h
Granito medio	10-14 m/h
Granito duro	7-11 m/h

TABLA 5.14. Perforadoras neumáticas pesadas

ROCA	VELOCIDAD DE PERFORACIÓN
Calizas blandas	18-26 m/h
Calizas medias	16-20 m/h
Calizas duras	14-18 m/h
Granito medio	16-18 m/h
Granito duro	10-12 m/h

En el caso de utilizar perforadoras hidráulicas, los valores pueden aumentar hasta un 50% ó 70%, según los tajos. No hay que olvidar que los valores son orientativos y que los valores reales se obtienen de la experiencia combinando personal, máquinas y tajo.

5.3.d.(3). **Perforación con martillo en fondo**

El rendimiento del mecanismo de martillo en cabeza disminuye mucho a medida que se va profundizando en la roca. También la velocidad de perforación disminuye al aumentar el diámetro del barreno. Con el mecanismo de martillo en fondo evita los dos problemas anteriores, porque es el martillo lo que se introduce directamente en el barreno de manera que el pistón golpea directamente. Por encima del martillo sólo hay un tubo hueco por donde se conecta el equipo que proporciona el giro al martillo.

DIFUSION LIMITADA

TABLA 5.15. Perforadoras martillo en fondo

ROCA	PRESIÓN	VELOCIDAD
Calizas blandas	7 kg/cm ²	6-8 m/h
Granito medio	7 kg/cm ²	5-6 m/h
Calizas medias	12 kg/cm ²	10 - 14 m/h
Granito duro	12 kg/cm ²	6-9 m/h

Datos simplemente orientativos para una altura de banco comprendida entre 15 y 20 metros.

La elección de si la perforadora ha de tener el martillo en cabeza o con martillo en fondo se tiene que realizar para cada tipo de trabajo concreto, aunque en una orientación muy general puede ayudar a la decisión:

- El martillo de fondo no tiene límites de diámetro; sin embargo, el de martillo en cabeza se limita a 4^{1/2} pulgadas y en equipos grandes hasta 5".
- Las desviaciones son menores con el martillo en fondo.
- La pérdida de un martillo de fondo en un barreno es mucho más costosa y difícil sustitución que el martillo en cabeza.

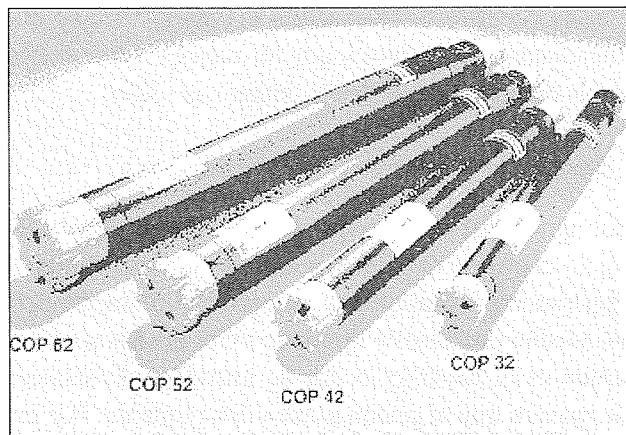


Figura 5.25.—Barrena con el martillo en fondo

5.3.d.(4). Herramienta manual de perforación

En algunos casos extremos, sólo se dispondrá de herramienta manual, la cual tiene graves inconvenientes debido a su bajo rendimiento y el empleo de bastante personal. Los útiles que podemos encontrar en la dotación de herramientas correspondiente al tipo de Unidad de Zapadores nos permiten una perforación máxima de 2 m y un diámetro mínimo de 50 cm.

El rendimiento varía en gran manera, ya que la dureza del terreno es determinante. Si la capa de superficie es de asfalto o si el terreno es pedregoso, el rendimiento es muy bajo. La perforación en roca u hormigón es prácticamente prohibitiva.

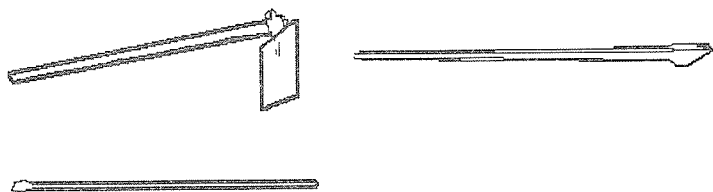


Figura 5.26

DIFUSION LIMITADA

CAPÍTULO 6

CARGAS PREFABRICADAS Y DE EXPLOSIÓN DIRIGIDA

6.1. CARGAS DE EFECTO DIRIGIDO Y ESPECIALES

Se llama *carga de efecto dirigido* a una masa de explosivo de volumen definido contenida generalmente en una envuelta resistente y llevando en una de sus caras un vaciado, revestido normalmente de una capa espesa de un material resistente.

Se produce entonces un efecto direccional, incomparablemente superior al que produciría una carga ordinaria de la misma masa colocada en contacto con el objetivo; este efecto es además de naturaleza diferente y se ejerce a una distancia variable, según el tipo de carga utilizada.

6.2. CARGAS HUECAS

Una *carga hueca* es básicamente una masa de explosivo de forma cilíndrica que tiene una cavidad cónica en una de sus bases y cuya explosión se inicia en la cara opuesta. La onda avanza a lo largo del explosivo por esferas concéntricas de radios tan grandes (en comparación con las dimensiones usuales de las cargas), que podemos susti-

tuirlos por los planos tangentes, y la detonación progresa, pues, por planos paralelos, perpendiculares al eje de la carga. Cuando llega al vértice del cono aparece una nueva superficie de emisión, la del cono, en la que emergerán los gases perpendicularmente a la misma; es decir, centrípetos en vez de centrífugos, como en la superficie cilíndrica exterior, y con velocidad del mismo orden que la de detonación. Estos gases se concentrarán en el eje del cono, dando una componente o chorro en prolongación del mismo; la concentración de materia es tan grande que los gases tienen en el dardo densidades muy superiores a las de los explosivos sólidos de que proceden, del mismo orden que los metales y velocidades de traslación, que pueden llegar a ser el doble de la velocidad de detonación del explosivo; es decir, que una carga hueca de trilita que detona con 6.500 m/s, puede formar un chorro de gases con la misma densidad, poco más o menos que el acero, y cerca de 13.000 m/s. Esto hace posible que se puedan emplear este tipo de cargas en la perforación de cualquier material

6.2.a. CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LAS CARGAS HUECAS

Las máximas perforaciones que hoy en día se obtienen son del orden de 3 a 4 veces el calibre de la carga sobre acero. Estas perforaciones dependen de una serie de factores, algunos de los cuales veremos a continuación.

- *Embudo*: Es quizá la pieza fundamental. Cuanto más denso sea el material del embudo, mayor es la perforación. El mejor material es el cobre, seguido del hierro. También es muy importante su maleabilidad.

El espesor del embudo ha de ser pequeño; debe oscilar entre la cincuentava y la sesentava parte del calibre.

El ángulo no ha de ser muy cerrado, para que los componentes de las fuerzas según el eje del cono sean grandes, y tampoco ha de ser muy abierto, para que la velocidad, y por tanto la cantidad de movimientos, sea grande en el eje. Experimentalmente se ha logrado los máximos efectos con un ángulo de

DIFUSION LIMITADA

45°. No obstante, sabemos que en las cargas huecas fijas de dimensiones reducidas, los americanos han empleado con buen resultado ángulos próximos a los 90° y forma redondeada en el vértice del cono.

- *Calibre:* Con cargas huecas o estáticas se puede llegar hoy en día a los 4 calibres de perforación o más. Por debajo de los 5 ó 6 cm de calibre, la perforación es menor.
- *Simetría y acabado:* Cualquier irregularidad se traduce en una onda de detonación asimétrica, lo que hace que el chorro producido en este punto no tenga la misma dirección que el producido por el inmediato a él, con disminución de la perforación. Es necesario, por tanto, que el embudo no presente irregularidades.
- *Homogeneidad de la carga:* Debe realizarse la carga con gran cuidado de no dejar huecos ni introducir sustancias extrañas. Los huecos y poros son graves al alterar las formas de las ondas esféricas en el sentido de distorsionarlas y hacer, por tanto, una incidencia asimétrica sobre el cono, lo que se traduce en asimetría del chorro y pérdida de perforación.
- *Distancia plancha-carga:* Como se ha comprobado, las cargas presentan una perforación que es máxima para una distancia crítica. Esta distancia es del orden de 1.5 veces el calibre de la carga.

RESUMEN:

- Distancia plancha-carga 1 a 3 calibres
- Longitud de la carga 4 calibres
- Ángulo del cono 30° a 45°
- Poder de perforación:
 - Con cono sin revestir <1 calibre
 - Con cono de vidrio 1 calibre
 - Con cono metálico 3 a 4 calibres
- Material embudo..... Mejor cobre
- Forma del embudo Cónica.

6.2.b. CARGAS DE PERFORACIÓN DE CIRCUNSTANCIAS

Se suele utilizar el explosivo plástico por su adaptación al recipiente. Como envase se puede utilizar botellas con cavidad cónica o empaques de granadas de mortero o de lanzagranadas, donde la forma de cono se consigue moldeando el explosivo plástico y como soportes se suelen utilizar estacas de madera fijadas al recipiente.

Las cargas se activan en el centro de la parte superior.

Las medidas ideales son (fig. 6.1):

- Forma: Ojival o cilíndrica.
- Cavidad: Cónica
- Ángulo de 45° .
- Revestimiento de cobre o acero.

$$H = 2 \cdot D$$

$$e = 1,33 \cdot a; a = 1,25 \cdot D$$

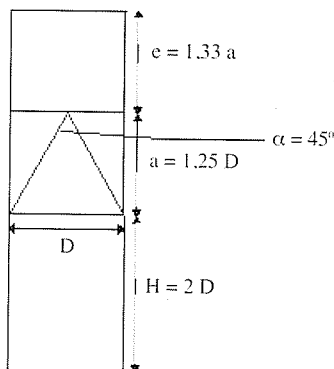


Figura 6.1.—Dimensiones de una carga de perforación de circunstancias

6.3. CARGAS DIÉDRICAS O DE CORTE

Las cargas diédricas son una variante de las cargas huecas. En la carga diédrica se consigue una concentración de energía, coincidente con el plano bisector del diedro que forma la cavidad, de efectos similares a un hachazo. La explosión se dirige, obteniéndose un corte de igual longitud que la de la carga.

Los fenómenos que concurren en las cargas diédricas son similares a los de las cargas huecas, aunque la concentración de gases es menor que en éstas por no ser comprimidos circularmente, sino según planos opuestos; por ello sus efectos son menores.

6.3.a. CONDICIONES QUE DEBEN CUMPLIR LAS CARGAS DIÉDRICAS

En esta clase de cargas se ha comprobado que el revestimiento metálico de la cavidad diédrica no aumenta sensiblemente los efectos.

El efecto cortante depende de:

- Ángulo del diedro.
- Relación entre longitud de la carga y altura de la misma.
- Velocidad de detonación del explosivo.
- Distancia de la carga al medio.

Ángulo del diedro

Lo mismo que en las cargas huecas, los efectos dependen del ángulo del diedro; las más eficaces son los ángulos comprendidos entre 45 y 60°.

Relación entre la longitud y la altura de la carga

La relación correcta para que el efecto cortante sea máximo es $L = 2 \cdot a$; donde L es la longitud de carga y a la distancia entre uno de los bordes inferiores y el punto medio de la parte superior.

Cuando sea necesario conseguir grandes longitudes, es preferible colocar alineadas el número de cargas necesarias para obtener la longitud total dando fuego simultáneamente.

La distancia e , espesor del explosivo entre la arista del diedro y la parte superior de la carga, debe ser $e = 1,2 \cdot d$, siendo d la abertura del diedro en la base.

Velocidad de detonación

En las cargas diédricas es fundamental la velocidad de detonación, consiguiéndose sólo buenos efectos con explosiones de gran velocidad de detonación.

Distancia de la carga al medio

Es función del ángulo del diedro, y no tiene tanta importancia como en las cargas huecas, pues la concentración gaseosa en el plano de corte no se verifica simultáneamente en toda la longitud, sino que desde el centro progresa por ambos lados hacia los extremos.

Las distancias óptimas de la boca de la carga al medio son:

- Para ángulo de 45° 1,00 d .
- Para ángulo de 60° 0,75 d .
- Para ángulo de 80° 0,50 d .

Las cargas diédricas, por sus efectos cortantes, tienen gran aplicación para cortes de estructuras metálicas y de hormigón armado.

6.3.b. CARGAS DE CORTE DE CIRCUNSTANCIAS

Como explosivo se utiliza el explosivo plástico y el recipiente se confecciona con madera o planchas finas de metal con las dimensiones adecuadas. La iniciación debe hacerse en el centro superior de la carga.

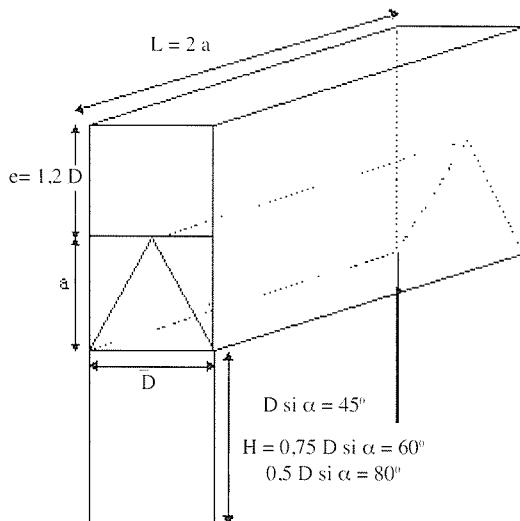


Figura 6.2.—Dimensiones ideales de las cargas de corte de circunstancias

DIFUSION LIMITADA

Medidas ideales (fig. 6.2):

$$L = 2 \cdot a$$

$$e = 1,2 \cdot D$$

ÁNGULO	ALTURA (H)
45°	D
60°	$0,75 \cdot D$
80°	$0,5 \cdot D$

Revestimiento: acero.

6.4. CARGAS TRIANGULARES Y RÓMBICAS

Se utilizan para el corte de piezas metálicas cilíndricas o prismáticas. Se basan en el denominado efecto acumulativo de la onda explosiva y están especialmente indicadas para formarse con explosivo plástico.

6.4.a. CARGAS TRIANGULARES

Se denominan también cargas en montura y se utilizan para el corte de redondos y cables.

Se modela la carga en forma de triángulo isósceles, con las dimensiones siguientes:

- Grueso igual a 2 cm.
- Base igual al semiperímetro de la pieza a romper.
- Altura igual a tres semiperímetros.

Se coloca un cebo en el vértice superior del triángulo, introducido totalmente en la masa del explosivo.

La onda explosiva inicial se incrementa progresivamente al avanzar hacia la base, donde se acumula toda la energía de la explosión, formando un plano de corte.

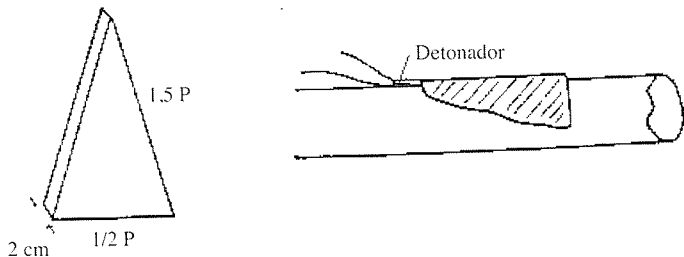


Figura 6.3.—Carga triangular

6.4.b. CARGAS RÓMBICAS

Este tipo de carga está formado por dos triángulos opuestos por sus bases; en ella se aprovecha mejor el efecto acumulativo de dos ondas explosivas que chocan entre sí y crean en la línea de encuentro un plano de corte mucho más enérgico que en el caso anterior, por lo que el peso del explosivo necesario para producir el mismo efecto es 1.5 veces menor.

Para que el plano de corte se produzca según el eje mayor del rombo, es imprescindible que las longitudes de los cordones detonantes sean exactamente iguales y que los cebos iniciadores en cada vértice estén introducidos la misma longitud en la masa del explosivo. Los extremos libres de los cordones detonantes se unen con cinta adhesiva y se activan con un cebo ordinario y mecha lenta o con un detonador eléctrico.

Las dimensiones de la carga son las siguientes:

- Grueso: 2 cm para aceros especiales (cables).
- Grueso: $2/3$ de cm para hierro y aceros normales.
- Diagonal mayor: igual al perímetro de la pieza más 2 cm para solapar los dos vértices.
- Diagonal menor: igual al semiperímetro de la pieza.

Se colocan los cebos en los vértices de la diagonal menor, y los vértices de la diagonal mayor se solapan según se indica en la figura.

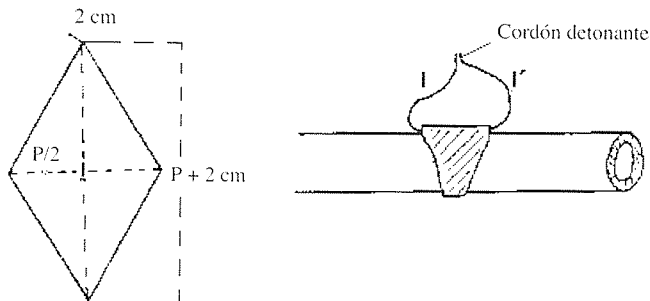


Figura 6.4.—Carga rómbica.

6.5. CARGAS PREFABRICADAS REGLAMENTARIAS

6.5.a. CARGAS CONCENTRADAS C-11000

Es una carga cilíndrica de trilita fundida y prensada de grado II; está provista de un taladro cilíndrico pasante en coincidencia con su eje, el cual está dotado en su entrada de una rosca interior así como la salida con otra rosca métrica. A lo largo del taladro central, y revisitando las paredes del mismo, está dispuesto un multiplicador, constituido por aproximadamente 300 g de hexolita.

La envuelta o revestimiento es metálica con tapas independientes unidas al cuerpo mediante engatillado.

Las cargas se empacan de dos en dos en cajas de madera, ajustándose dentro de ésta mediante unas tapas que evitan los golpes entre ellas.

Dimensiones:

- Diámetro: 180 mm.
- Altura: 230 mm.
- Peso total: 11.000 g.
- Peso del explosivo: 7.800 g.
- Diámetro del orificio interior: 8 mm.

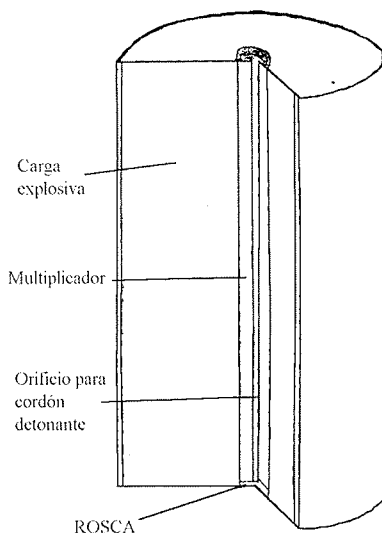


Figura 6.5.—Carga concentrada C-11.000

6.5.b. PÉRTIGA EXPLOSIVA

Es una carga alargada constituida por cinco elementos acoplables entre sí para obtener la longitud deseada. Cada uno se compone de un tubo cilíndrico de baquelita; en su interior lleva la carga explosiva, formada por trilita prensada, en ambos extremos lleva los alojamientos para el detonador, rodeados de un multiplicador de pentrita y provisto de casquillo roscado. El tubo del elemento está rematado por casquillos de acoplamiento tipo bayoneta (a un lado el casquillo macho y al otro el hembra), que permite el empalme de unos elementos con otros para formar la pértiga.

Para el transporte o almacenamiento los casquillos van provistos de sus correspondientes tapones.

Tiene una caperuza cónica para adaptar al elemento de cabeza, que facilita el deslizamiento de la pértiga sobre el suelo. Ésta recibe el nombre de *ojiva*.

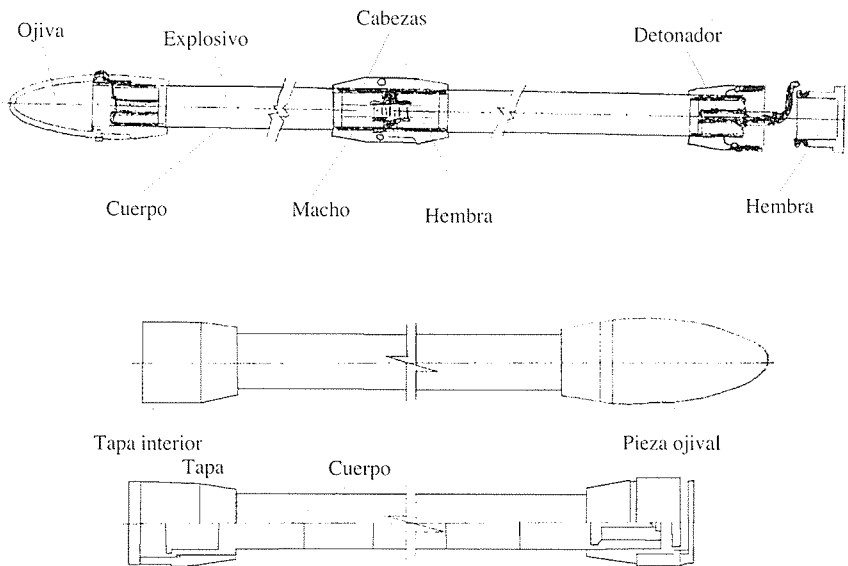


Figura 6.6.—Pértiga explosiva

Sus dimensiones son:

- Longitud: 1 m (por elemento).
- Diámetro: 42 mm.
- Peso del explosivo: 1.750 g (por elemento).
- Peso del multiplicador: 162 g.
- Peso total del conjunto: 12.400 g.

La pértiga explosiva se usa generalmente en la apertura de brechas en alambradas y campos de minas.

Por seguridad es conveniente sustituir los detonadores de los elementos intermedios que aseguran la continuidad de la onda de detonación por una pequeña cantidad de explosivo plástico.

6.5.c. CARGAS DE PERFORACIÓN

Son cargas huecas que se usan para perforar losas y muros de hormigón armado y en masa o blindajes de acero, y en general para neutralizar obras de fortificación construidas con estos materiales.

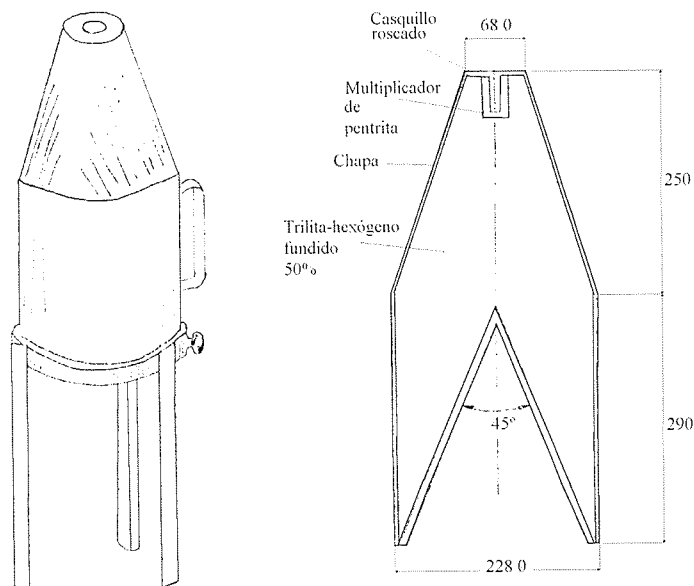


Figura 6.7.—Carga de perforación

Características:

- Carga: Trilita-hexógeno, al 50%.
- Multiplicador de pentrita prensada, con casquillo roscado para alojamiento del cebo.
- Peso explosivo: 18 kg.
- Peso total: 29 kg.
- Soporte tipo trébede, al que se acopla la carga mediante tornillo de presión.
- Perfora: 1,80 m de hormigón armado.

6.5.d. CARGA DE CORTE ESPAÑOLA

Se constituye acoplando elementos de las dimensiones y forma que se indican en la figura 6.8.

Características:

- Carga: Trilita-hexógeno, al 50%.
- Multiplicador de pentrita prensada, con casquillo roscado para acoplamiento de cebo, en ambas caras laterales.
- Peso explosivo: 10 kg.
- Peso total: 15,5 kg.
- Corta vigas de hormigón armado hasta de un metro de canto.

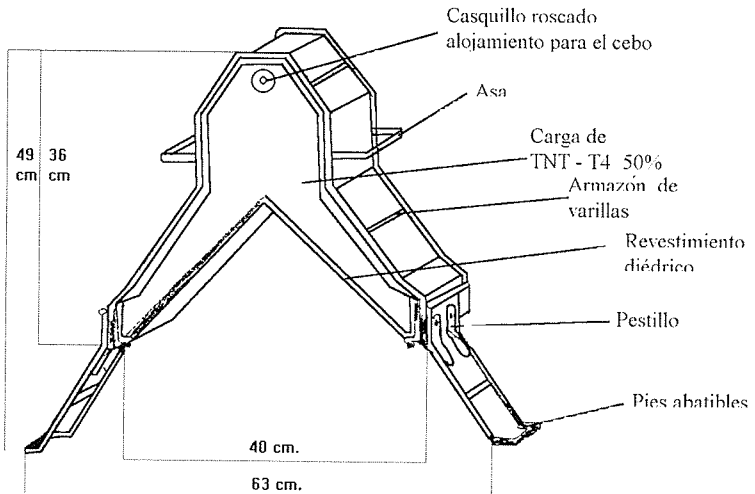


Figura 6.8.—Carga de corte española

CAPÍTULO 7

DESTRUCCIÓN DE EDIFICIOS, TÚNELES Y EXPLANACIONES EN VÍAS DE COMUNICACIÓN. DESTRUCCIÓN DE MATERIAL DIVERSO Y CONSTRUCCIÓN DE OBSTÁCULOS

7.1. DESTRUCCIÓN DE EDIFICIOS

Un edificio se puede destruir siguiendo dos procedimientos:

- Atacando directamente los muros con cargas calculadas y dispuestas en las formas expuestas a continuación.
- Empleando cargas concentradas, llamadas en montón, colocadas en el suelo del piso bajo o en el sótano.

Este método es más rápido y sencillo, pero requiere mayor cantidad de explosivos. Antes de dar fuego se cierran y tabican todas las puertas y ventanas.

La carga se calcula por la fórmula:

$$C = S \cdot e^2$$

siendo C la carga en kilogramos; S , la superficie del edificio en metros cuadrados, y e , el espesor de los muros en metros.

Para un cálculo rápido de las cargas:

- Cargas en el piso bajo.
 - Por m^3 : 250 g de trilita.
 - Por m^2 : 1 kg de trilita.

- Cargas en el sótano
 - Por m²: 1 kg de trilita.
 - Por m²: 4 kg de trilita.

7.1.a. DESTRUCCIÓN DE FACHADAS

Se hará el cálculo por metro lineal de fachada, de acuerdo con el dato siguiente:

Un hornillo recargado, enterrado a h metros de profundidad y a una distancia de $h/2$ metros de la fachada a demoler. Para el cálculo, el índice del hornillo será:

$$n = \frac{l^2 + h^2}{2h}$$

en cuya expresión, l es la separación entre hornillos.

7.1.b. EDIFICIOS DE PLANTA CIRCULAR

Las cargas pueden disponerse en los extremos de dos diámetros normales, o bien una sola carga concentrada debajo del plano de cimientos.

En el primer caso se aplicarán las fórmulas que han servido de base para el cálculo de cargas concentradas, y en el segundo se calculará un embudo que comprenda toda la planta del edificio.

7.1.c. EDIFICIOS A PRUEBA

En las construcciones cuyas bóvedas están recubiertas con tierra se aplican las fórmulas ya expuestas, sumando al espesor de la obra un tercio del espesor de las tierras. Si las bóvedas están dispuestas de tal forma que se contrarresten sus empujes, se colocarán las cargas en bóvedas alternas.

7.1.d. DESTRUCCIÓN DE EDIFICIOS CON CAÍDA CONTROLADA

Cuando se pretenda la caída controlada en una dirección determinada, las cargas que normalmente se empleen serán pequeñas, normalmente sobre 50 g de explosivo rompedor, y éstas estarán confinadas con un retacado que debe ser muy bueno, empleándose en él materiales especiales o morteros de arcilla o yeso; además, es muy importante la correcta secuenciación en el disparo de las cargas.

Técnicamente, el tipo de estructura más adecuado para este tipo de voladura es el de edificios esbeltos, constituidos por estructuras reticulares de vigas y pilares de hormigón armado y con alturas superiores a 3 pisos. En ellos, lo que se trata es de provocar la rotura de elementos constructivos fundamentales en las plantas bajas, tratando de conseguir que el resto de la estructura haga el resto del trabajo, tirando o produciendo un vuelco en la dirección y el momento deseados.

No se puede emplear esta técnica en las construcciones bajas y pesadas de grandes muros, en las que es prácticamente imposible producir un vuelco, aunque sí en estructuras de mampostería, que aunque no van a volcar, se va a provocar su desmoronamiento.

En cualquier caso este tipo de trabajos requerirá siempre un proyecto especial en el que se estudie perfectamente la estructura a derribar, por lo que no se pueden dar reglas fijas para su ejecución.

Es necesario la realización de un proyecto completo de voladura en el cual hay que tener en cuenta la existencia de juntas de dilatación, así como la existencia de zonas que pueden afectar a los resultados de la demolición como pueden ser los huecos de escaleras y ascensores, bajantes de tuberías, sótanos, canalizaciones, etc. Hay que hacer, además, reconocimientos de los materiales, así como un estudio detallado de los planos si los hubiera; todo ello permitirá conocer cómo trabaja la estructura y aplicar las cargas en la rotura de las piezas clave, haciendo la estructura el resto de la destrucción.

Los equipos de perforación que normalmente se emplean son los martillos de mano. Si el edificio es de mampostería, hay que practicar los barrenos sobre los muros de carga y a la altura de las ventanas. El resultado será el desplome del edificio. Es muy importante la secuenciación para obtener la caída y fragmentación de materiales en la zona deseada.

En edificios de hormigón, los pilares deben quedar al descubierto abriendo rozas en los tabiques adyacentes. La carga hay que colocarla en forma de cuña en la dirección de caída deseada y con una secuencia de encendido, empezando por la zona de caída y terminando por la más alejada. Cuando lo que se pretende es el desplome, se iniciará desde los pisos de abajo hacia arriba y del centro a los laterales, para que todo el edificio caiga sobre el eje del mismo.

Debido a que la mayoría de los elementos a fragmentar están constituidos por hormigón, por mampostería de ladrillo y, muy raras veces, por mampostería de piedra, las sustancias explosivas adecuadas son aquellas que poseen densidades y velocidades de detonación altas, junto con un grado de sensibilidad y seguridad de utilización grandes. Los explosivos más empleados generalmente son los gelatinosos, en cartuchos de 22 y 26 mm de diámetro. Otros explosivos son los pulverulentos y los hidrogeles, y los cordones detonantes de alto gramaje.

7.1.e. DESTRUCCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES CON CAÍDA CONTROLADA

7.1.e.(1). **Cimentaciones**

Se perforan barrenos verticales con las dimensiones necesarias y según un esquema que dependerá de la forma de la cimentación. Las cargas de explosivo se introducen en los barrenos espaciadas a lo largo de un cordón detonante según la densidad de carga que se haya calculado como necesaria.

7.1.e.(2). **Muros de mampostería y hormigón**

La perforación debe ser tal que el explosivo quede centrado en el muro. Para un muro de espesor H , se perfora un barreno de $2/3$ de H de profundidad. El barreno se llena la mitad de explosivo, es decir, $1/3$ de H , y el resto se rellena con atraque. El número de filas no debe ser inferior a 2. En muros de hormigón altos y estrechos empotrados en su base se hacen barrenos verticales de longitud no superior a 1,5 m.

7.1.e.(3). Pilares

La perforación de los barrenos se realiza en la dirección de la cara del pilar de mayor dimensión hasta $2/3$ de la dimensión de la cara mayor. La altura de corte debe ser entre 1,5 y 2,5 m, y dependiendo de la anchura del pilar (mayor o menor de 40 cm) se perforará una sola fila o dos al tresbolillo.

7.1.e.(4). Losas

La perforación y esquema de voladura dependerán de si lo que se pretende es la fracturación total de la losa o simplemente abrir una zanja en la misma. En el primer caso, la perforación seguirá un esquema de filas y columnas, mientras que en el segundo serán filas al tresbolillo.

7.1.e.(5). Cubiertas

Se refiere a techos de hormigón armado, para los que se aplica el mismo criterio que para las losas.

7.1.e.(6). Torres y chimeneas

Debido a su esbeltez, son idóneas para este tipo de voladura, suelen estar anexas a otras construcciones y su planta puede ser circular, cuadrada o poligonal. Suelen ser de mampostería o de hormigón armado. Las técnicas utilizadas pueden ser de desplome, direccional con caída completa o direccional con caída reducida (sólo para chimenea de ladrillos), siendo el procedimiento más seguro el de caída completa.

La perforación de los barrenos ocuparán la mitad del perímetro en chimeneas de ladrillo o mampostería y $2/3$ en chimeneas de hormigón armado. Los barrenos se colocan en la dirección de caída deseada.

El número de filas y colocación de barrenos puede verse en la figura 7.1.

DIFUSION LIMITADA

7.1.e.(7). Vigas

Se trata de transformar el punto de corte en una rótula y de fragmentar el material. Es suficiente con dos barrenos en el punto de corte separados 30 cm.

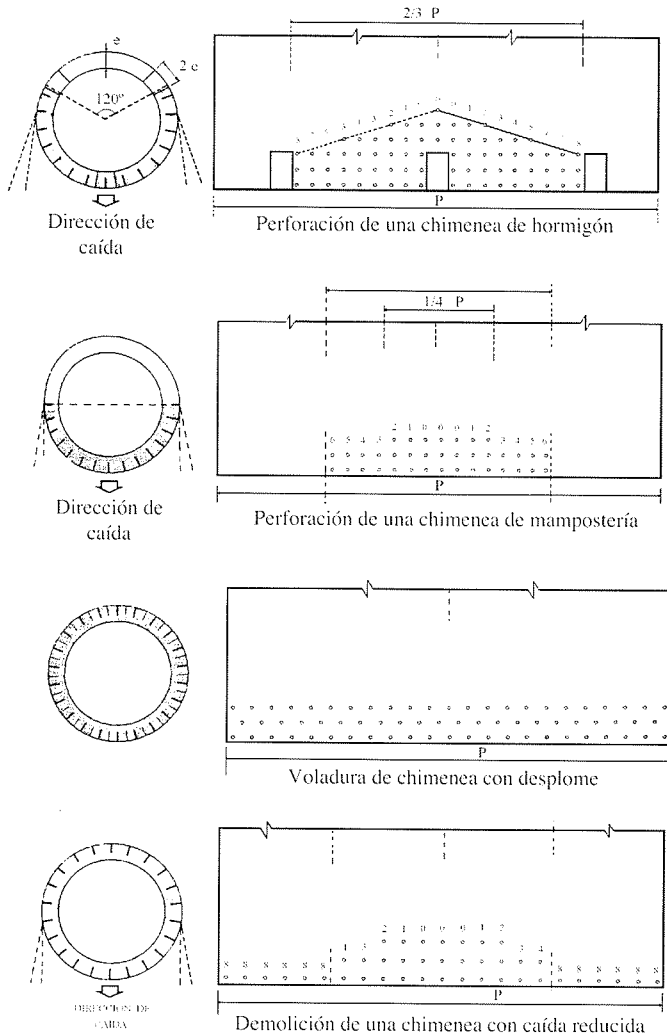


Figura 7.1.—Destrucción de chimeneas

7.1.e.(8). Puentes

Vale lo expuesto en el capítulo de voladura de puentes, teniendo en cuenta que puede ser necesario para conseguir el vuelco de alguno de los elementos el ayudarse de cables, equipos de fuerza u otros materiales.

7.2. DESTRUCCIÓN DE ABRIGOS

Los abrigos de hormigón en superficie pueden destruirse haciendo uso de cargas alargadas, calculando la carga necesaria para cada uno de sus muros y según el tipo de muro.

Pueden también destruirse por cargas en montón; la carga para abrigos de hormigón ordinario o armado viene dada, en general, por la fórmula:

$$C = 1,5 V \cdot e^2 \text{ para trilita,}$$

donde C es la carga en kilogramos; V , el volumen en metros cúbicos, y e , el espesor de los muros del abrigo en metros.

Si el abrigo está enterrado o semienterrado, al espesor del muro de hormigón se le suma un tercio del espesor de la tierra cubridora.

7.3. DESTRUCCIÓN DE TÚNELES

Estas destrucciones no producen otro efecto que el de amontonar sobre la vía los materiales procedentes de la explosión de los hornillos, por lo que es necesario, para que la voladura consiga el efecto deseado, que el volumen de estos materiales sea muy grande, y su transporte, difícil. Exige, por tanto, un gran consumo de tiempo y de explosivo.

Los mejores puntos para atacar un túnel son aquellos en que el terreno sea menos consistente. El revestimiento de los flancos del túnel se ataca en estas secciones en una longitud de 20 a 30 m, colocando las cargas directamente contra el interior del revestimiento (fig. 7.2). Esta destrucción ha de hacerse empleando explosivos rompedores, por la dificultad de hacer bien las cámaras de minas y de lograr un buen atraque.

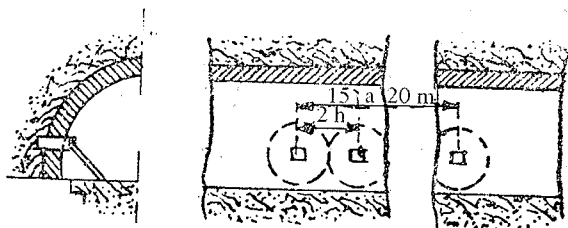


Figura 7.2.—Cargas en el interior de un túnel

Para la destrucción de las cabezas del túnel en terreno fuerte pero no de roca, el procedimiento más elemental y eficaz es la destrucción de las dos cabezas o solamente la de una de ellas, con preferencia la del lado opuesto al de acceso del enemigo.

Para la obstrucción de una cabeza se establecen tres hornillos muy recargados y bien atracados: uno encima de la bóveda, y los otros dos, al lado de los flancos. Se toma para h una longitud igual a la altura del túnel.

La mejor disposición es la que indica la figura 7.3: los hornillos de flanco se sitúan a 4 m por encima del nivel del carril, a 15 ó 20 m de la entrada del túnel y a 6 m del intradós de la bóveda. El hornillo de techo se debe situar a 6 m hacia el interior de la línea que une los centros de los hornillos de flanco y a la misma distancia por encima del intradós de la bóveda del túnel. También puede interrumpirse temporalmente el tránsito por el túnel cuando no se dispone de tiempo para volarlo, haciendo descarrilar o chocar locomotoras y vagones en su interior. Los ejes de las ruedas que hayan quedado intactos deben romperse después mediante explosivos.

7.3.a. CÁLCULO DE LAS CARGAS

Si el túnel no está revestido, se calcularán como un hornillo recargado, tomando para h una magnitud que proporcione una gran proyección de tierras; las cargas se colocarán en los flancos y en la bóveda.

Las cargas para los hornillos se calculan por las fórmulas dadas en el capítulo correspondiente de cargas interiores, teniendo en cuenta que los hornillos deben ser recargados y, como mínimo, con un índice de hornillo de $n > 1,35$

DIFUSION LIMITADA

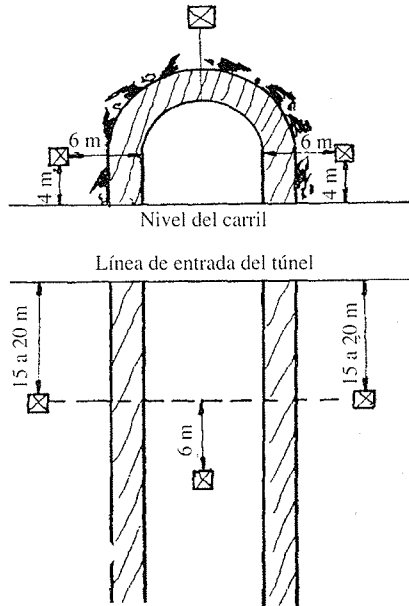


Figura 7.3.—Disposición de los hornillos en un túnel

7.4. DESTRUCCIÓN DE CARRETERAS

La destrucción de trozos de explanación requiere mucho tiempo, personal y explosivo, y no siempre resultarán eficaces para detener o retrasar al enemigo en su progresión, toda vez que a menudo son fáciles de rodear mediante desviaciones. De mayor rendimiento es la destrucción de los puentes.

Así pues, los trozos de explanación más indicados para ser destruidos, aparte de las obras de fábrica, son los siguientes: los situados a media ladera con elevados muros de sostenimiento o con taludes muy próximos a la vertical; los grandes terraplenes que cruzan zonas pantanosas; los grandes desmontes en los que el camino discurre en trincheras profundas con taludes fuertes; las revueltas rápidas separadas solamente por muros de sostenimiento, y las encrucijadas, principalmente en el interior de poblados o de bosques.

Para obtener un rendimiento apreciable en esta clase de destrucciones es necesario que la brecha creada tenga una longitud de unos 30 m como mínimo; la anchura será la total del camino, y su profundidad, como mínimo, de 3 m. Cuando se trate de autovías y autopistas la destrucción, según la situación, puede requerir que comprenda todas las calzadas existentes.

El número de hornillos necesarios para todos los casos será algo mayor que $L/2h$. En esta relación, L indica la longitud del tramo a destruir y h es el radio de acción en metros.

7.4.a. CÁLCULO DE LAS CARGAS

Para esta clase de destrucciones debe emplearse el explosivo, en hornillo ordinario o ligeramente recargado con un índice $n = 1,35$, con objeto de que las piedras del firme o el balasto, si se trata de una vía férrea, no rellenen el embudo al caer.

La longitud del atraque normal se calcula para una carga mitad (véase el apartado 8.6.d, "Puentes de arco"). Por regla general, si los pozos de acceso o ramales tienen un buen atraque en toda su longitud, éste será suficiente.

En terraplenes o tramos a media ladera, se situarán los hornillos de modo que el más próximo al borde exterior del camino esté a una distancia del paramento exterior del talud:

$$h' = 5/4 h = 1,25 h \text{ (fig. 7.4).}$$

Si la explanación está sostenida por un muro, la distancia del centro de la carga al paramento exterior del muro será:

$$h' = 7/8 h = 0,88 h.$$

7.4.b. EXPLANACIÓN A MEDIA LADERA

Caso de un solo hornillo

Está indicado cuando la anchura de la explanación sea menor de 10 m (fig. 7.4), y h se calcula por la fórmula:

$$h = \alpha \cdot D,$$

en la que α es un coeficiente que se deduce de la tabla 7.1 y D es el ancho de la explanación, en metros.

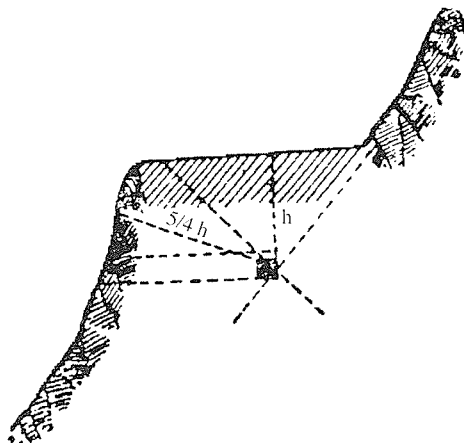


Figura 7.4.—Hornillo en una explanación a media ladera

El hornillo se colocará a una distancia h' del borde de la explanación, conforme se indica en las figuras 7.4 y 7.5.

Caso de n hornillos

Los hornillos estarán separados entre sí una distancia $2h$, y la distancia del más próximo al talud: $h' = 0,88h$ ó $h' = 1,25h$, según tenga o no muro de revestimiento, como en el caso anterior.

TABLA 7.1. Valores de α

Con muro de sostenimiento	Pendiente de talud	∞	20/1	10/1	6/1	5/1	4/1	3/1
$h' = 0,88h$	$\alpha =$	0,553	0,548	0,562	0,582	0,591	0,606	0,630
Sin muro de sostenimiento	Pendiente del talud			3/1	2/1	3/2	4/4	1/1
$h' = 1,25$	$\alpha =$			0,504	0,527	0,545	0,557	0,566

Designando por N al número de hornillos en cada sección transversal, se obtiene para el valor de:

$$h = \frac{\alpha \cdot D}{1 + 2\alpha(N - 1)}$$

El valor de α es el obtenido de la tabla 7.1. Para determinar la situación del hornillo F (fig. 7.6), se lleva el valor h sobre una perpendicular a AB trazada por C que está a una distancia de A :

$$\frac{h}{\alpha} - h$$

Los demás hornillos, separados de F y entre sí $2h$, obteniéndose los F^2, F^3 , etc.

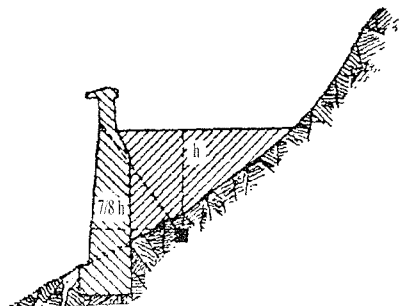


Figura 7.5.—Hornillo a una distancia h' de la explanación

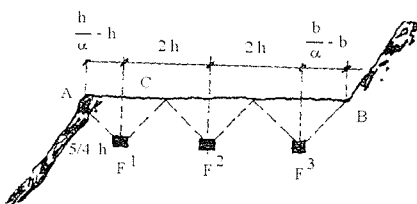


Figura 7.6.—Disposición de varios hornillos a media ladera

7.4.c. EXPLANACIÓN EN TERRAPLÉN

Como en el caso anterior, se distinguen dos casos:

Caso de un solo hornillo

Indicado cuando la anchura de la explanación es menor de 10 m. El valor h se calcula por la fórmula:

$$h = \alpha' \cdot D$$

en la que α' es un coeficiente deducido de la tabla 7.2, que se indica a continuación, y D es el ancho de la explanación, en metros.

Los valores de h' , distancia del centro de la carga al paramento exterior del terraplén, serán los que vienen fijados en la tabla precedente, de valores iguales a los del caso anterior.

Los hornillos se situarán en el eje de la explanación, y si la voladura se hace en una revuelta, el camino quedará con una interrupción de

TABLA 7.2. Valores de α'

Con muro de revestimiento	Pendiente de talud	∞	20/1	10/1	6/1	5/1	4/1	3/1
$h' = 0.88\ h$	$\alpha' =$	0.571	0.605	0.642	0.695	0.721	0.768	0.849
Sin muro de revestimiento	Pendiente del talud			3/2	5/4	1/1	4/5	2/3
$h' = 1.25\ h$	$\alpha' =$			0.598	0.624	0.651	0.666	0.664

mayor importancia por el amontonamiento de materiales en el tramo inferior procedentes del tramo volado.

Caso de n hornillos en un mismo perfil transversal

La profundidad de h se calculará por la fórmula:

$$h = \frac{\alpha \cdot D}{2 + 2\alpha(N - 2)}$$

Los valores de α se deducirán de la tabla 7.2, operando a continuación en igual forma que en el caso del apartado 7.4.b, de hornillos en explanación a media ladera (fig. 7.7).

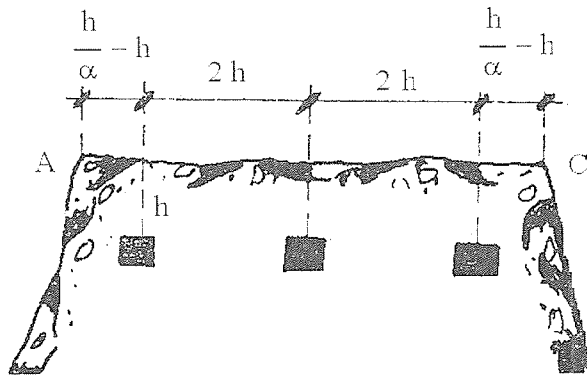


Figura 7.7.—Disposición de varios hornillos en terraplén

Si existe una tajea o alcantarilla en el terraplén, se puede colocar una carga en ella si el espesor de las tierras por encima del trasdós de la bóveda es pequeño y hay tiempo y medios de hacer un buen atraque.

7.4.d. EXPLANACIONES EN DESMONTE

Si se trata de desmontes en roca viva, se emplean hornillos dispuestos en la parte alta del talud más escarpado, que se calculan por las fórmulas de las cargas interiores para hornillos de índice $n = 2$.

Los hornillos se colocarán a una profundidad de $1,5 h$, contada desde el terreno superior, y la distancia entre los centros de las cargas de dos hornillos contiguos será de $2 h$ (fig. 7.8).

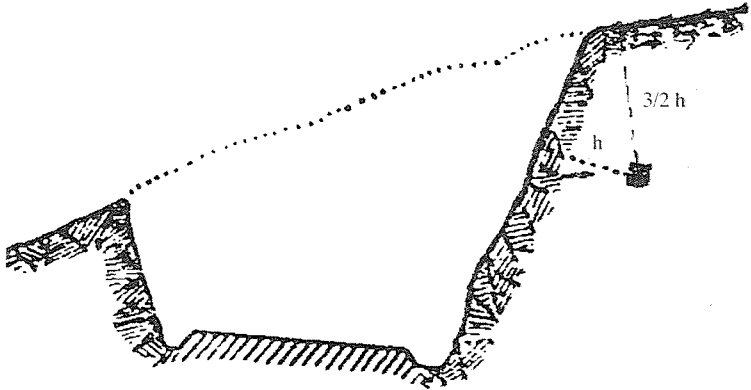


Figura 7.8.—Disposición de un hornillo en desmonte

Si los materiales arrojados sobre la explanación llegaran a alcanzar de 10.000 a 12.000 m^3 , se obtendría una obstrucción de gran rendimiento.

Si se quiere obtener una destrucción más completa, además de los hornillos en las escarpas, se pueden disponer hornillos en la explanación, en la forma indicada en los casos anteriores.

7.4.e. EXPLANACIONES CON PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

Si no se puede atacar la explanación por medio de pozos, o no hay tiempo para ello y no interesa mantener la circulación, se ataca la losa de hormigón mediante cargas superficiales de 1 kg de trilita por cada 5 cm de espesor de firme, situadas en los puntos en donde han de ir

los hornillos y atracadas con barro. Estas cargas superficiales no deben colocarse sobre las juntas de dilatación, puesto que el hormigón tenderá a quebrantarse solamente a un lado de la junta.

Tras la explosión de las cargas superficiales se horadan, con máquinas perforadoras, pozos de la profundidad necesaria; en su fondo se colocan las cargas, se atracan bien y se les da fuego simultáneamente.

También da buenos resultados el empleo de cargas huecas (véase capítulo 6) para quebrantar la losa de hormigón, perforar la explanación y crear rápidamente un perfil de ruptura.

Además existen en la actualidad cargas especiales en tándem que, mediante dos cargas, una perforante que penetra en el hormigón y otra rompedora que explota una vez dentro, hacen en una sola operación el barrenado, la carga y la destrucción.

7.5. DESTRUCCIONES DIVERSAS

7.5.a. DESTRUCCIÓN DE PUERTAS Y BARRERAS

Las puertas se destruyen colocando al pie, y en contacto con ellas, una carga de explosivo rompedor calculada según la fórmula general para rotura de maderas y considerando la puerta como si se tratase de una pieza de madera cuyas dimensiones a y b son el ancho de la puerta y el espesor (fig. 7.9).

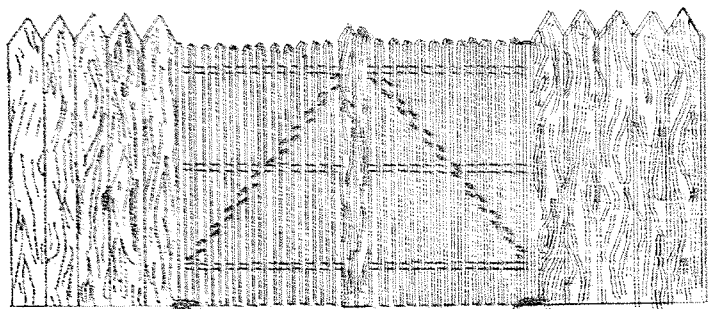


Figura 7.9.—Destrucción de una barrera por cargas colocadas en el pie de las jambas

Como datos prácticos se consigna que con una sola carga alargada de 2 kg de trilita por metro lineal de puerta, se consigue la destrucción de ésta. Igualmente se consigue por una carga concentrada de 3 kg de trilita situada en medio de la puerta, y por la colocación de tres o cuatro petardos en los goznes y en la cerradura.

Las barreras se destruyen por la colocación de una carga, calculada por la fórmula general, al pie de las jambas, según las dimensiones de éstas.

7.5.b. MATERIAL FIJO FERROVIARIO

La voladura simple de un carril se consigue adosando dos petardos P-500 en su parte exterior, entre dos traviesas y formando un pequeño atraque con el balasto.

Para destrucciones más completas es conveniente hacer la rotura simple, colocándolos en dos puntos del mismo carril, formando par, unidos con cordón detonante para que detonen simultáneamente y dispuestos según se indica en la figura 7.10.

Las cargas simples también pueden colocarse a ambos lados de una junta. Se consigue así la destrucción de las cabezas de dos carriles.

La destrucción total de una vía en una extensión determinada se consigue colocando "pares" en juntas alternadas en ambos raíles, según indica la figura 7.10. Para los cruces de vía se disponen las cargas según indica la figura 7.10.

En la tabla 7.3 se dan las cargas de explosivo rompedor, en kilogramos, necesarias para destruir material diverso ferroviario, caso de tener que realizar una destrucción rápida.

**TABLA 7.3. Cargas de explosivo rompedor (en kg)
necesarias para destruir material ferroviario**

ELEMENTO A DESTRUIR	CARGAS DE EXPLOSIVO ROMPEDOR (kg)	COLOCACIÓN
Agujas		Fig. 7.11
Cruces de vías		Fig. 7.10
Placas giratorias	De 0,5 a 1,00	En el eje
Carretones de cambio		Fig. 7.11
Discos de señales	0,250	

DIFUSION LIMITADA

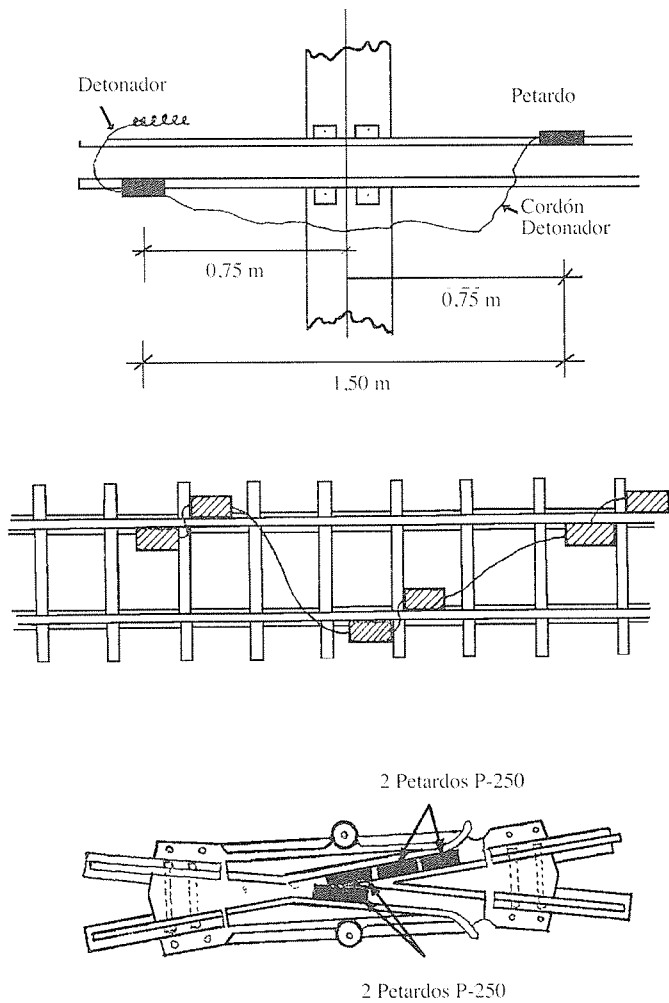


Figura 7.10.—Cargas en un carril formando par y en cruces de vías

DIFUSION LIMITADA

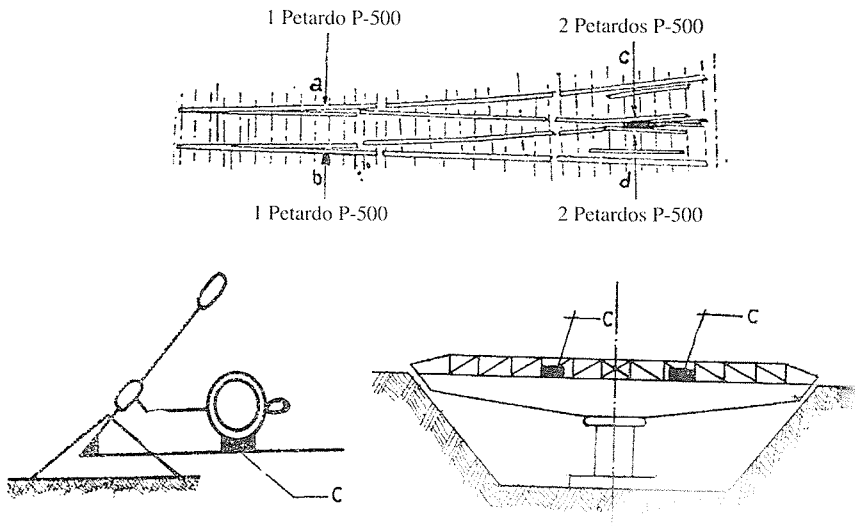


Figura 7.11.—Colocación de las cargas en vagones, remolcos de vía y camiones de cambio

7.5.c. MATERIAL MÓVIL FERROVIARIO

Las destrucciones más rentables son las de material motor. Para inmovilizar es suficiente la colocación de 1 kg de explosivo rompedor en el eje de tracción en la parte en que se une a la rueda, y, si es posible, la suspensión. En el interior colocar 2 kg en el alternador y, si es Diesel, atacar los depósitos y el motor, y posteriormente incendiario.

En vagones de cualquier tipo, colocar cargas de 1.5 kg en el arranque de los muelles de suspensión, después incendiar.

Otras formas de destrucción de locomotoras eléctricas son:

- Una carga de 750 g en cada rueda motriz.
- Una carga de 1.000 g en cada motor.
- Una carga de 1.500 g en cada larguero del chasis.

7.5.d. ALAMBRADAS

Se realiza preferentemente mediante cargas alargadas dispuestas sobre listones de longitud algo mayor que la anchura de la alambrada,

DIFUSION LIMITADA

de 30 mm de grueso y de 55 u 88 mm de anchura, según se desee una carga de 2 ó de 3.6 kg por metro lineal.

Se colocan los petardos unos a continuación de otros, en contacto, disponiendo cada 30 cm petardos-cebo, ensartados con detonante. En el extremo opuesto a aquel en que se deja el extremo de la mecha, se fija una ruedecilla o se redondea para facilitar su deslizamiento.

También pueden utilizarse cargas alargadas de explosivo rompedor en tubos de aluminio, de un metro de longitud, que se unen por rosca, quedando empalmados en la longitud que se desee. En el extremo opuesto a aquel en donde va el dispositivo de encendido, se fija una caperuza ojival, también por rosca, para facilitar su deslizamiento.

Como datos prácticos, se consigna que:

- Una carga alargada de 4 kg por metro lineal produce una brecha de 4 m de anchura en una alambrada normal. La carga se coloca a través de la alambrada y en las proximidades de los piquetes, y su longitud será igual a la anchura más dos metros; sobresaliendo un metro por cada lado.
- Una carga concentrada de 12.5 kg de trilita destruye una alambrada en un radio de unos tres metros aproximadamente. Deberá colocarse en el centro de la alambrada.

7.5.e. ARMAMENTO Y MATERIAL DE ARTILLERÍA

Las cargas se calculan por las fórmulas siguientes:

$$C = 12 R (R - r);$$

$$C = 15 R (R - r),$$

respectivamente para cargas en el centro y en el extremo del tubo, en las que C es la carga de explosivo rompedor, en gramos; R , el radio exterior (en cm), y r ; el radio interior de la pieza a destruir (en cm).

Estas cargas se sitúan en la recámara, junto al cierre, y en el centro del tubo, a la altura del eje de muñones, unidas por medio de cuerda detonante, cuyo extremo libre se deja sobresalir por la boca de la pieza, que se rellena con tierra convenientemente atracada.

Las cureñas, marcos, etc., se rompen como si fuesen perfiles laminados corrientes, utilizando las fórmulas ya conocidas.

Como reglas prácticas se pueden dar las siguientes:

Las piezas de artillería de calibre hasta 105 mm se inutilizan con una carga constituida por un petardo P-500 y otro P-250 o bien con 750 gramos de trilita en los petardos disponibles, colocados en la recámara, adosados al cierre, en contacto ambos y atracados, por lo menos, con tierra en una longitud igual a dos veces el calibre.

Para los calibres superiores a 105 mm se procede en forma análoga, pero empleando cargas que están con las anteriores en la relación de los cuadrados de los calibres.

Si la inutilización quiere hacerse mayor, se coloca una segunda carga de igual peso a la altura de los muñones y se unen ambas con cuerda detonante.

Para la destrucción de ametralladoras antiaéreas, morteros, cañones de infantería y cañones contracarros, se procede en igual forma, reduciendo la carga a 500 gramos (p. ej., un petardo P-500).

7.5.f. PROYECTILES DE ARTILLERÍA

Para inutilizar los proyectiles de artillería se emplea la fórmula: $C = 3 R (R - r)$, en la que C es la carga, en gramos, de explosivo rompedor; R , el radio exterior, y r , el radio interior del proyectil en cm.

Esta fórmula se aplica para destruir proyectiles de calibre superior a 150 mm. Los de un diámetro inferior a 120 mm se inutilizan mediante un petardo P-250, colocado adosado por una de sus caras mayores a una generatriz de la parte cilíndrica y que se hace detonar por procedimiento eléctrico, con preferencia sobre el pirotécnico. Para proyectiles de calibre comprendido entre 120 y 150 mm inclusive, se dispone en igual forma un petardo P-500.

Es conveniente colocar la carga debajo del proyectil, cubriendo el conjunto con tierra y extremando las precauciones, toda vez que se trata de una operación peligrosa, no solamente por la colocación de la carga, sino también por la proyección de metralla a distancias, en ocasiones, mayores de 250 m.

Las destrucciones de cantidades importantes de munición deben hacerse por parte de personal especializado (Técnicos en desactivación de artefactos explosivos [TEDAX]).

7.5.g. DEPÓSITOS SUPERFICIALES

Para depósitos superficiales basta hacer detonar una o más cargas adosadas a las paredes exteriores del depósito; estas cargas han de ser como mínimo de 1 kg de trilita. Las brechas abiertas serán suficientes para que el líquido se derrame.

Si se trata de líquidos combustibles, deben ser inflamados al mismo tiempo. Como la detonación no es suficiente, en la mayoría de los casos, para producir la inflamación, se coloca en las inmediaciones de las cargas, a unos dos metros, un paquete de algodón de máquina o trapos empapados en gasolina, que se inflaman independientemente al mismo tiempo que se enciende la mecha lenta de la carga o antes de poner en movimiento el explosor.

Antes de proceder a la destrucción hay que examinar la configuración del terreno, previendo el cauce posible del líquido inflamado, y realizar movimientos de tierra, si es preciso, para evitar la propagación de incendios a carreteras, viviendas, bosques, etc.

También pueden destruirse los depósitos por impactos de fusiles, ametralladoras, ametralladoras antiaéreas, lanzagranadas, etcétera, inflamando el líquido como se ha explicado.

7.5.h. DEPÓSITOS ENTERRADOS

Si se dispone de tiempo, se puede proceder de la siguiente forma:

Se practica una zanja o pozo en las proximidades de una de las paredes del depósito y se adosa al mismo una carga suficiente para perforar la pared; después de detonar la carga, el líquido se derramará en la zanja y se provocará su inflamación.

Se abre la tapa registro de carga del depósito, y por ella se hace descender hasta el fondo una carga que se hace detonar. Su explosión abrirá una brecha en el fondo y producirá grietas en las paredes, por las cuales el líquido se derramará y filtrará a través del suelo.

La carga puede ser de 5 a 10 kg de trilita, según el volumen del depósito.

7.5.i. VEHÍCULOS

De forma general, la inutilización de vehículos de cualquier clase (carros de combate, camiones, etc.) debe hacerse de tal forma que no puedan recuperarse un cierto número de ellos con las piezas provenientes de otros también inutilizados. Debe hacerse siempre sistemáticamente la destrucción de las mismas piezas en cada tipo de vehículo.

Para facilitar el trabajo, cada equipo de destrucciones debe especializarse en la destrucción de un tipo de pieza.

Una destrucción rápida puede conseguirse colocando un petardo de 250 gramos sobre el depósito de gasolina e inflamándola después.

Puede hacerse una destrucción más completa colocando una carga de 500 gramos adosada al bloque motor, a la altura de los cilindros. Estas destrucciones no inmovilizan el vehículo, pues podrán ser remolcados; para hacer la inutilización más completa es preciso destruir también el puente delantero, el trasero, o ambos, o el bastidor del chasis.

Los vehículos acorazados pueden inutilizarse con 1 kg de explosivo en partes vitales, como el depósito de combustible, el bloque motor, la caja de cambios, la santabárbara, etc., o bien incendiándolos.

Para romper las cadenas y trenes de rodillos se les adosan cargas de 10 a 15 kg.

7.5.j. AVIONES

Se destruirán en primera urgencia los motores; para hacer más completa la inutilización se destruirá el tren de aterrizaje y el tablero de instrumentos, y si se puede, se incendiará.

7.5.k. HELICÓPTEROS

Con un 1 kg en la turbina y otro en el árbol del rotor queda inutilizado; se complementa incendiándolo.

7.5.l. EMBARCACIONES

Si es posible, atacar los depósitos de combustible; en caso contrario, colocar una carga en el exterior por debajo de la línea de flota-

ción. También se pueden colocar cargas en los órganos de mando del barco e incendiarlo posteriormente.

7.5.m. INFRAESTRUCTURA DE TELECOMUNICACIONES

Los ataques más eficaces, por lo difícil de recuperar y consumo bajo de explosivo, son los que destruyen las antenas y los tendidos de conducción.

Las antenas se destruyen con una carga de explosivo entre 0,5 y 1 kg de explosivo en la parte electrónica de la misma, o bien derribando la infraestructura que la sustenta.

En el caso de los tendidos, derribando los postes si los tendidos son aéreos, o cortando las uniones si el tendido es subterráneo. Si es subterráneo, es más fácil cortarlo donde se une a subestaciones de distribución y terminales. Cuando atraviesan un río, lo hacen por los costados del puente, y en zonas urbanas, por el alcantarillado.

Para la destrucción de los postes se aplica la fórmula general para el cálculo de las cargas como adosadas a rollizos:

$$C = M \cdot A \cdot d^2.$$

Las cargas se colocan a 1,50 m de altura del suelo para evitar que pueda aprovecharse el poste.

La destrucción de cinco postes es más que suficiente para causar avería de difícil y laboriosa reparación. Terminadas las explosiones se cortarán los hilos entre cada dos postes, se arrastrarán los trozos lo más lejos posible y machacarán con piedras los aisladores.

El Mando, de acuerdo con el Jefe de Transmisiones de la GU. correspondiente, fija la cuantía y extensión de estas destrucciones.

7.5.n. HIELO

Pueden presentarse casos en los que se tengan que romper capas de hielo. Si tienen mucho espesor, se harán barrenos, como en las rocas; pero si dichas capas tienen poco espesor, bastará colocar debajo

de las mismas cargas concentradas de trilita (750 gramos para un espesor de hielo de 20 cm), dispuestas en fila y separadas unas de otras cuatro o cinco metros. El ataque se realiza con trozos de hielo. Cada carga produce una rotura de tres a cuatro metros de diámetro.

Empleándose cargas alargadas, el consumo de explosivo sería mayor (unos tres kilogramos de trilita por metro lineal para un espesor de hielo de 20 cm), y colocada la carga en una acanaladura hecha en la superficie de la capa de hielo. El tiempo empleado para la colocación de las cargas es mucho menor que el que se necesita para las cargas concentradas.

7.6. CREACIÓN DE OBSTÁCULOS

7.6.a. EMBUDOS EN VÍAS DE COMUNICACIÓN

Se pueden calcular por las fórmulas vistas en el capítulo correspondiente a cargas interiores, teniendo en cuenta emplear un índice de hornillo mínimo de $n = 2$.

Cuando las destrucciones no hayan de ser simultáneas y se precise que los efectos destructores de un hornillo no utilicen los de otro, se colocarán separados entre sí por una distancia que viene definida por:

- En terreno virgen $d = 0,75 R$.
- En terreno removido $d = 0,90 R$.

También se pueden emplear unas cargas ya normalizadas para la creación de obstáculos en vías de comunicación. Estas cargas, que pueden verse en la figura 7.12, consisten en meter en hornillos, según el tiempo de que se disponga, bien 25 kg de trilita a 1.5 m de profundidad y separados entre sí 1.5 m o bien alternar cargas de 20 y 40 kg en hornillos de 1.5 y 2 m, respectivamente, con lo que a costa de mayor tiempo de preparación se consigue un obstáculo mayor.

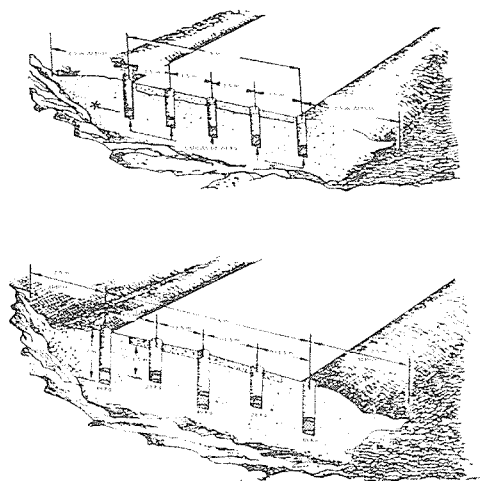


Figura 7.12.—Destrucción de carreteras normalizada

7.6.b. BARRICADAS

Para la creación rápida de barricadas, se puede emplear cualquiera de los procedimientos ya vistos, bien por los escombros procedentes de caída dirigida de edificios, tierras de una voladura en desmonte, talas, etc.

7.6.c. TALAS

Se pueden emplear las fórmulas dadas para el cálculo de rotura de maderas teniendo en cuenta la colocación de la carga para que ésta se produzca en la dirección adecuada para obstruir la vía que se pretende cerrar. Se debe dar fuego simultáneamente mediante circuitos de encendido doble.

7.6.d. FOSO CONTRACARRO

Para la creación rápida de obstáculos contracarro se pueden emplear cargas concentradas enterradas en dos hileras al tresbolillo. La

DIFUSION LIMITADA

separación entre las dos hileras debe ser de unos 2,5 m y el intervalo entre hornillos dentro de cada hilera de 2 m. La profundidad de los hornillos es de 1,5 m en el lado propio del obstáculo y 1,2 m en el lado enemigo, y la carga por hornillo de 20 y 15 kg, respectivamente.

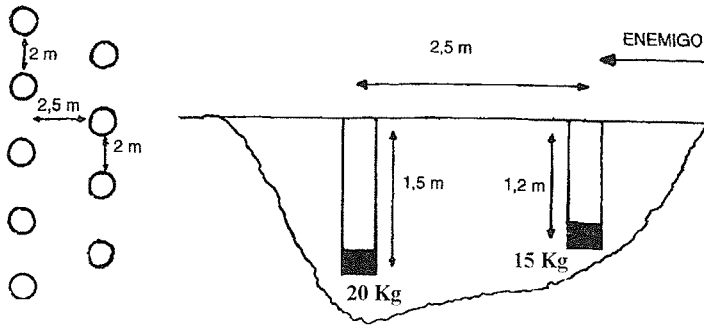


Figura 7.13.—Construcción de foso C/C

CAPÍTULO 8

DESTRUCCIÓN DE PUENTES

8.1. NORMAS GENERALES

La destrucción de puentes es un problema complejo que debe estudiarse cuidadosamente para cada caso particular, ya que la variedad de puentes es muy grande y pueden estar hechos con diferentes tipos de apoyos, estructuras y materiales. No obstante, se dan a continuación algunas normas generales válidas para todo tipo de puentes.

Si se colocan las cargas debajo de la calzada del puente, deberán tomarse precauciones especiales para asegurar que las cargas no se aflojen ni se inicien a causa del tráfico que circula por el puente.

Las piezas sometidas a tracción son más difíciles de reparar que las piezas sometidas a compresión, porque estas últimas a veces pueden ser reemplazadas por entibación, mientras que las primeras casi siempre requieren remaches de acero o soldadura. Por lo tanto, las piezas sometidas a tracción deben tener prioridad.

En el caso de puentes hechos sobre vías de comunicación y canales, debe planearse la destrucción de forma que cualquier pila intermedia que pueda levantarse para reparar la estructura haya que situarla donde pueda entorpecer el tráfico en la vía de comunicación o canal.

Cualquier pieza larga de acero que requiera ser cortado para destruir el puente, deberá romperse en varios puntos para evitar su fácil recuperación por medio de nuevos cortes o empalmes. También debe tomarse en consideración la torsión de las piezas al derribar el tramo y cualquier otro método factible de causar otras destrucciones.

8.2. TIPOS DE PUENTES

Para el propósito de demolición de puentes, estos se pueden clasificar en tres tipos:

- *Puentes fijos.* Son aquellos en los que una estructura rígida e inamovible es sostenida por soportes sólidos e inmóviles. Son los más comunes.
- *Puentes móviles.* Los puentes móviles son aquellos en los que una parte del puente puede moverse para permitir que las embarcaciones pasen por debajo del mismo.
- *Puentes flotantes.* Son los que tienen una calzada sostenida en flotadores o pontones. Este tipo de puente, generalmente lo construyen fuerzas militares y se usa como puente temporal hasta que uno fijo o móvil sea construido o reparado.

8.3. PUENTES FIJOS

En la figura 8.1 se pueden ver las partes principales de un puente fijo. Un puente fijo se divide en:

- *Tablero:* es la parte sobre la que va la capa de rodadura
- *Estructura:* es la parte resistente del puente y puede ser: de tramos simples, de tramos continuos, de voladizos, de arco y colgantes o atirantados. Todos estos tipos de estructuras pueden estar hechas con diversos materiales, como son: perfiles metálicos, viga metálica de celosía, viga mixta, losa de hormigón armado o pretensado, vigas de hormigón armado o pretensado, vigas cajón y vigas de madera.

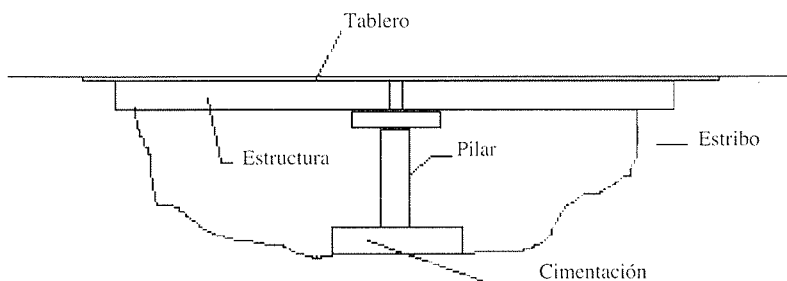


Figura 8.1.—Partes principales de los puentes

- *Soportes:* pueden ser de dos clases, estribos y pilas. Los estribos son los soportes extremos que, además de resistir las acciones gravitatorias, resisten las acciones horizontales debido al empuje de las tierras. Las pilas son soportes intermedios que se utilizan para disminuir la luz de cada tramo.
- *Cimentación:* Transmite todas las acciones procedentes de la obra de paso al terreno sobre el que está constituida.

8.4. DESTRUCCIÓN DE SOPORTES DE PUENTES FIJOS

8.4.a. ESTRIBOS

Normalmente, siempre que haya que ejecutar la destrucción de un puente será necesario destruir al menos uno de los estribos. Con ello se impide que el enemigo pueda utilizarlos para la reparación o para tender un puente reglamentario apoyándose el mismo.

La colocación de las cargas en el relleno detrás del estribo tiene la ventaja de economizar en el uso de explosivos y ocultar las cargas a la vista del enemigo hasta el momento de la detonación. Este método también tiene sus desventajas debido a la dificultad de colocar las cargas.

La dificultad principal que se presentará en campaña será el poder determinar el espesor del estribo. Como regla práctica para esta clase de estribos, puede admitirse, sin gran error, que el espesor en la base

del estribo es sensiblemente igual a su altura. Por lo general, este espesor no pasa de 3 m.

Conviene no perder de vista, al aplicar la fórmula, que el valor de h puede ser mayor que el espesor del estribo. La línea de mínima resistencia h se adoptará, como mínimo, de una magnitud igual al espesor del estribo.

Las cargas se pueden calcular según lo visto en el capítulo correspondiente a cargas interiores por la fórmula $C = 16 \cdot R^3 \cdot K \cdot t$, aunque también se pueden emplear cargas normalizadas de la siguiente manera: los estribos de hasta 1,5 m se pueden destruir mediante una línea de cargas concentradas interiores de 20 kg colocadas a 1,5 m de profundidad, a 1,5 m del borde del estribo y separadas 1,5 m entre sí. Se pueden colocar, por exceso, tres cargas concentradas C-11.000.

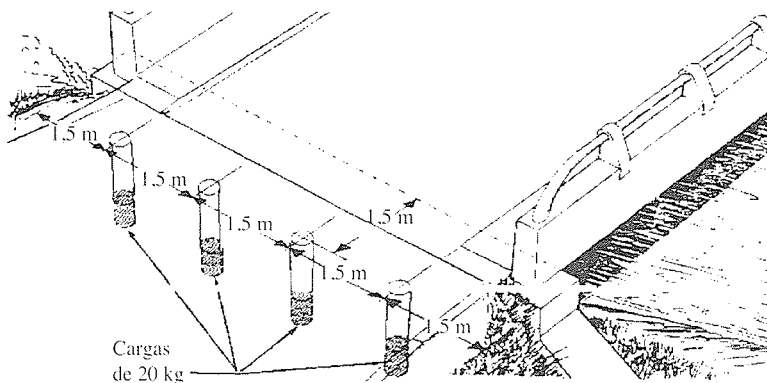


Figura 8.2.—Destrucción de estribos de espesor menor que 1,5 m

La fórmula para calcular la cantidad de cargas es la siguiente:

$$N = (\text{ancho}/1,5) - 1$$

Los estribos de más de 1,5 m de espesor se destruyen con cargas rompedoras colocadas en contacto con la parte superior del estribo. El radio de ruptura es el espesor del estribo. Las cargas se colocan a una profundidad igual al radio de ruptura: humazo máximo.

Hay que calcular las cargas rompedoras con la fórmula de las cargas interiores concentradas. Usando el espesor del estribo en la ubicación de la carga como el radio de ruptura. Se colocan las cargas a una

profundidad igual o mayor que dicho radio. El número de cargas será el que cubra todo el ancho, siendo los radios tangentes entre sí.

Si los estribos tienen más de 7 m de altura, además de las cargas mencionadas se coloca una fila de cargas en la base del estribo sobre la superficie del río, con la misma cantidad de explosivo que las cargas calculadas para su rotura en la parte superior. El encendido será simultáneo.

8.4.b. SOPORTES INTERMEDIOS

8.4.b.(1). Pilas de hormigón y mampostería

Las pilas de hormigón y mampostería se pueden destruir con cargas adosadas o interiores.

Las cargas interiores requieren menos explosivo que las adosadas, pero debido a la gran cantidad de equipo y tiempo necesario para su preparación, se utilizan poco a no ser que haya escasez de explosivos o la pila tenga cámaras integrales de demolición. Las cargas de explosivo rompedor han de estar atracadas perfectamente. Se necesitan herramientas neumáticas para la perforación. La forma del explosivo, cartucho, polvo, etc., viene dada por el diámetro de las barrenas utilizadas. En el hormigón armado hay que tener en cuenta la separación entre redondos, ya que si utilizamos una barrena de una anchura mayor que la separación de redondos no será posible su aplicación.

Las cargas interiores se emplearán cuando el espesor de la pila sea superior a 1,50 m. Se calculará la carga empleando la fórmula general del capítulo correspondiente.

Las cargas se colocarán en el eje longitudinal de las pilas y en un mismo plano, inclinado a ser posible, y a una distancia entre sí de dos a seis veces la existente entre el centro de la carga y el paramento más alejado.

El valor del radio de acción r se elige de manera que la pila quede envuelta por una serie de esferas de este radio, que a su vez se corten en los paramentos de ella (fig. 8.3).

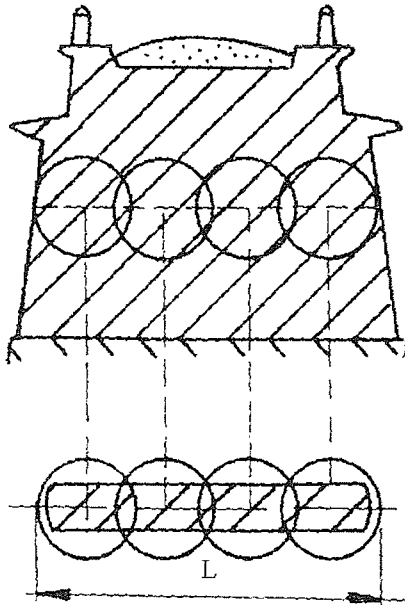


Figura 8.3.—Cargas interiores en las pilas

Designando por E al espesor de las pilas, N al número de hornillos, L a la longitud de la pila y d a la separación entre hornillos, se tendrá, para r , si $N = L/d$:

$$r = \frac{\sqrt{L^2 + N^2 E^2}}{2N}$$

Si r fuese mayor que E , habría que disminuir el número N de hornillos hasta que se verificase $r > E/2$.

Por la fórmula anterior, conocido el radio de explosión r , puede determinarse el número de hornillos:

$$N = \frac{L}{\sqrt{4r^2 - E^2}}$$

Cuando sea necesario economizar explosivo, puede tomarse:

$$r = E/2$$

y separar los hornillos a una distancia igual a E ; pero en este caso hay que practicar un número mayor de cámaras, y además, existirá el peligro de que permanezca en pie parte de la pila después de la voladura y de que el enemigo la emplee para restablecer el paso.

Por otra parte, el número de hornillos es función de las disponibilidades de personal para construirlos, estando también limitado por la distancia mínima a la que se puede trabajar simultáneamente en todos ellos.

La circunstancia de que se pueda atacar una pila por sus dos paramentos permite fijar en un metro, aproximadamente, la distancia entre dos hornillos contiguos; pero esta distancia puede ser peligrosa por debilitar demasiado la pila, especialmente si se emplean barrenos para abrir los conductos. Lo prudente es limitarse a una separación mínima de 2 m.

Como se ha dicho, conviene que las cargas sean iguales y que estén colocadas en el eje longitudinal de la pila y en un mismo plano, preferentemente algo inclinado, y a una altura determinada por las condiciones en que se quiera verificar la destrucción y las dificultades que se quieran crear para su separación. Por tanto, este nivel podrá variar entre el del estiaje y el del fondo del río (fig. 8.4).

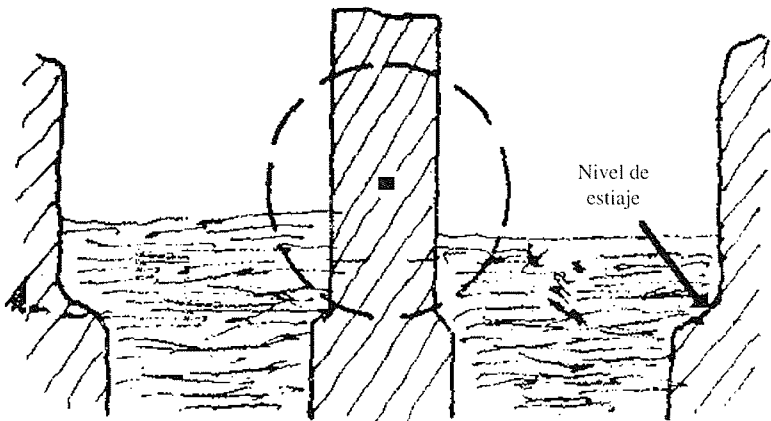


Figura 8.4.—Cargas en la pila en relación con el nivel del río

Esto no deja de tener importancia; en muchos casos, la cimentación es costosísima, y tratándose de obras propias, hay que prever la necesidad de restaurarlas después de terminar la guerra. En general, la destrucción se hará hasta el nivel del estiaje o hasta un metro por debajo de él.

El ataque debe hacerse cuidadosamente, apuntalando sólidamente la máscara de cierre de las cámaras. Si se dispone de sacos de cemento o yeso, deben utilizarse en cabeza de ataque, después de haberse mojado, pinchando previamente en varios puntos los sacos por el lado opuesto a la entrada del conducto, con objeto de que, al verterse parte del cemento o yeso, fragüe en contacto con las paredes del conducto y de los demás sacos, formando un conjunto unido.

Cuando se decida realizar la destrucción mediante barrenos, se puede emplear el procedimiento descrito en el apartado 8.4.b.(2).(a) de este mismo capítulo.

Se recurrirá al empleo de cargas adosadas de explosivo rompedor cuando se trate de pilas de espesor menor de 1,50 metros o cuando se disponga de poco tiempo o poco personal para preparar la destrucción.

Las cargas se dispondrán en un plano preferentemente inclinado, sujetándolas convenientemente a la pila mediante clavos lanzados con la pistola de clavar reglamentaria si van adosadas, o practicando una roza si han de ir empotradas.

Deben atracarse si el tiempo, el tamaño, la forma y la ubicación lo permiten. El ataque con sacos terreros siempre es una buena solución.

Las pilas de puentes y viaductos de autovías y autopistas suelen ser, en muchos casos, de pilares múltiples con dimensiones inferiores a 1,5 m, macizas o huecas. Cuando son únicas y macizas, sus dimensiones son mayores de 1,50 m; pero la disposición de las armaduras dificulta la constitución de cámara única en su interior y el acceso consiguiente.

Las paredes de las pilas de tipo tubular tienen por lo general un espesor inferior a 0,50 m.

Será preciso, por tanto, el empleo, en la mayoría de los casos, de cargas exteriores, con o sin atraque.

Las cargas a emplear pueden ser de explosión dirigida, mediante una conformación especial de las cargas (cargas de perforación y de corte), de efecto acumulativo mediante cargas en oposición y mediante barrenos.

8.4.b.(2). Cálculo de las cargas

8.4.b.(2).(a). CARGAS EN EL INTERIOR

Cargas concentradas. Hornillos.

Sigue siendo utilizable la fórmula general $C = 16 \cdot h^3 \cdot K \cdot t$ con los datos de las tablas 5.4 y 5.5.

Carga distribuida. Barrenos.

Pueden aplicarse en destrucciones las mismas técnicas que en voladuras de rocas por medio de barrenos, con la ventaja de que puede utilizarse hasta con espesores de 50 cm.

El radio de destrucción de un barreno es función de su carga, que a su vez depende de su diámetro y del grado de atraque del explosivo, pero siempre en relación con la fórmula general del hornillo. La distancia entre barrenos o filas de barrenos es igual a dos veces este radio.

El ábaco 5.1 nos proporciona el volumen de roca removida por cada barreno y la cantidad de explosivo reglamentario (TNT) por cada uno, en función de su profundidad, para series de cuatro o más barrenos.

EJEMPLO:

Destrucción por medio de barrenos de una pila de hormigón armado de 2,20 m de diámetro. La pila tiene una armadura periférica circular y una segunda armadura concéntrica con la anterior, más al interior, destinada a reforzar las zonas donde los esfuerzos son mayores (fig. 8.5).

DIFUSION LIMITADA

Distribución de barrenos: Los barrenos se distribuyen en dos filas paralelas, con una inclinación de 30° , aproximadamente, con respecto a la horizontal, para producir un corte oblicuo.

Cada pila incluye tres barrenos perpendiculares al eje de la pila y de una profundidad igual a los tres cuartos de la longitud, L , de la cuerda correspondiente.

Carga: Se cargan solamente dos cuartos del barreno, y el un cuarto restante se destina al atraque, según se especifica en la figura 8.5.

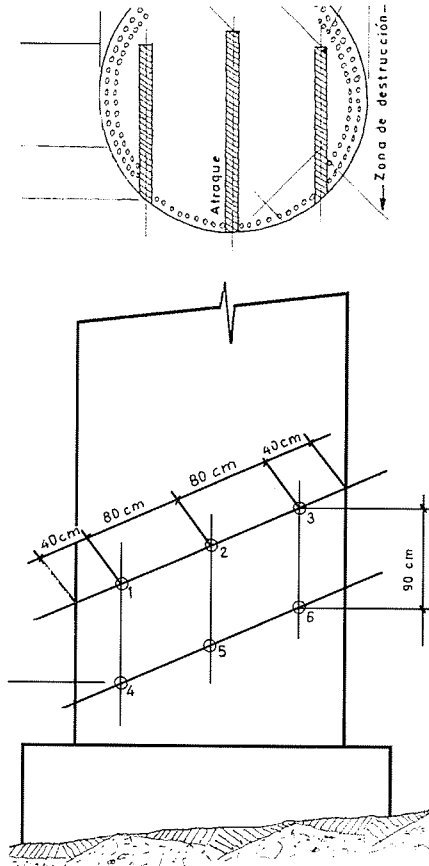


Figura 8.5

El número de petardos C-100 necesarios será:

$$N = \frac{2L(\text{cm})}{4 \cdot 9}$$

$$C = \frac{L(\text{cm}) \cdot 100}{18} \text{ gramos}$$

Petardo C-100: Altura 90 mm.

Activado de la carga: Se hace siempre por cordón detonante, ensartando en él todos los petardos de la carga.

La carga de los barrenos exteriores, 1, 4, 3 y 6 se hacen detonar simultáneamente; para ello, los cordones detonantes respectivos tendrán exactamente la misma longitud.

La carga de los barrenos interiores, en este caso solamente 2 y 5, también serán de explosión simultánea, pero retardada con respecto a los exteriores. El retardo se puede obtener con detonadores eléctricos de retardo empalmados a los extremos del cordón detonante o al circuito de encendido, que normalmente será doble.

Cuando existan más de dos barrenos interiores, la secuencia de encendido será la misma, haciendo que la explosión progrese desde la periferia al centro.

El corte teórico que se consigue con esta disposición de barrenos es de una zona de aproximadamente 1,60 m. El barreno más bajo, el 4, ha de estar sobre el plano del pedestal o basamento de la pila, por lo menos, a 0,50 m.

Colocación de las cargas: En las obras terminadas, perforando los barrenos y cargándolos.

En las obras en construcción pueden empotrarse simultáneamente con el hormigonado tubos de plástico rígido, del usado en fontanería, de un diámetro interior de 30 mm y una longitud de $\frac{3}{4} L$, con el extremo del paramento cerrado con un tapón roscado.

8.4.b.(2).(b). CARGAS ADOSADAS

Para elementos estructurales de hormigón armado, estribos y pilas o pilares macizos, se emplea la fórmula $C = K \cdot a \cdot b$ (véase cap. 4), aunque se conozcan las dimensiones y la distribución de las armaduras.

Cuando la dimensión b es varias veces mayor que a , la carga total dada por la fórmula puede dividirse en dos o más partes iguales y colocadas separadas entre sí a una distancia $2a$.

Para pilas de sección circular, la fórmula es:

$$C = K \cdot d^2$$

donde:

d = diámetro, en centímetros;

$K = 2,95$, sin atraque;

$K = 2,12$, con atraque.

La carga se distribuye en una banda que abarque la longitud de un arco de 90 a 120°. El espesor y anchura de esta banda será aproximadamente igual.

8.4.b.(3). Tipos de pilas y elección de cargas

En las láminas 8.1 a 8.8 se describen los diversos tipos de pilas más utilizados en la construcción de los modernos puentes de hormigón armado.

En la lámina 8.1 se exponen, además, los símbolos de las cargas a aplicar en cada caso.

8.4.b.(3).(a). LÁMINA 8.1

Tipo de pila: Pila para puentes de mediana altura, constituida por un pórtico de varios pilares cimentado sobre una zapata corrida.

Los pilares son de sección cuadrada, hexagonal, octogonal o circular, que es la más usada por motivos estéticos, todas ellas macizas.

Cargas aconsejadas:

- Para secciones rectangulares, cargas de corte o cargas en oposición.
- Para secciones hexagonales u octogonales, cargas en oposición.
- Las secciones circulares, por carga exterior alargada, de una longitud igual a la del arco indicado en la figura.

Los pilares se cortan a distinta altura, según se indica en la figura.

8.4.b.(3).(b). LÁMINA 8.2

Tipo de pila: Puente de mediana altura con pila única maciza de sección rectangular con vértices achaflanados o de sección circular; también puede ser de sección tubular cilíndrica.

La cabeza de la pila puede estar provista de ménsulas, sobre las que se apoyan las vigas o empotra la estructura del tablero.

Cargas aconsejadas:

- Secciones rectangulares y circulares de pequeña dimensión, la misma recomendación que para la lámina 8.1: cargas exteriores.
- Secciones rectangulares y circulares de gran dimensión, cargas interiores (barrenos).
- Secciones tubulares cilíndricas, por carga exterior alargada en un arco de 120°.

8.4.b.(3).(c). LÁMINA 8.3

Tipo de pila: Pila única para puentes de mediana altura, de sección rectangular, generalmente muy alargada, maciza o hueca.

Cargas aconsejadas:

- Sección maciza de pequeño espesor, cargas de corte.
- Sección maciza de gran espesor, cargas en oposición o cargas interiores (barrenos).
- Secciones huecas, cargas de corte en ambas caras, con planos de cortes a distinta altura para conseguir efecto de cizallamiento. La explosión de las dos debe ser simultánea.

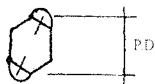
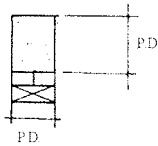
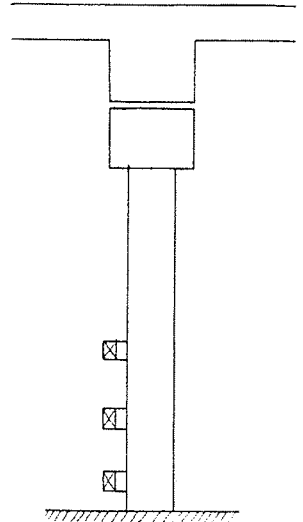
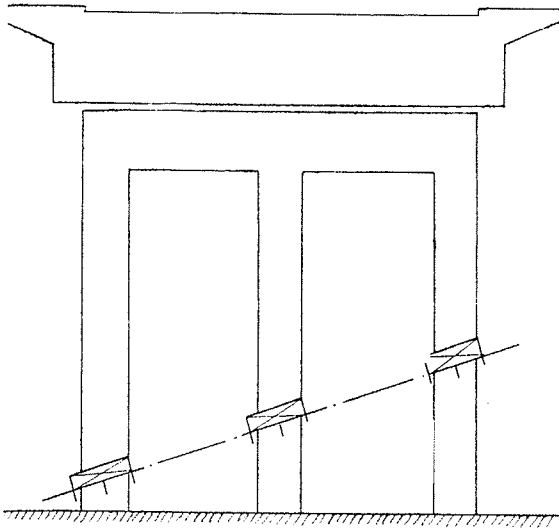
8.4.b.(3).(d). LÁMINA 8.4

Tipo de pila: Pila para grandes viaductos formada por dos pilares unidos en cabeza y base o pilares de sección generalmente cuadrada, tubular o maciza, de grandes dimensiones.

Cargas aconsejadas:

- Secciones tubulares, cargas de corte o cargas exteriores (concentradas o alargadas) sobre dos caras opuestas y en cizalla: plano de corte oblicuo con respecto al eje del puente.
- Secciones macizas, cargas en oposición o cargas interiores (barrenos), dispuestas en ambas caras para conseguir un corte oblicuo.

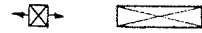
DIFUSION LIMITADA



SÍMBOLOS DE CARGA



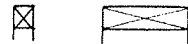
CARGA CONCENTRADA



CARGA ALARGADA



CARGAS EN OPOSICIÓN



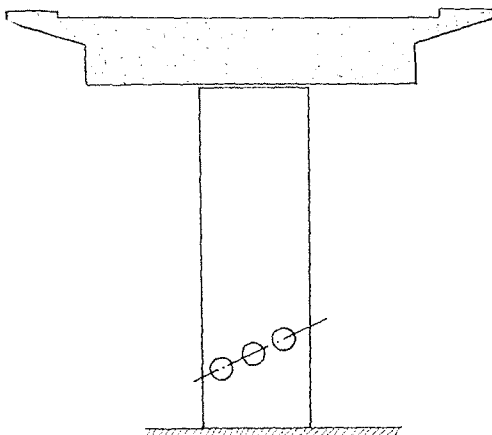
CARGAS DE CORTE



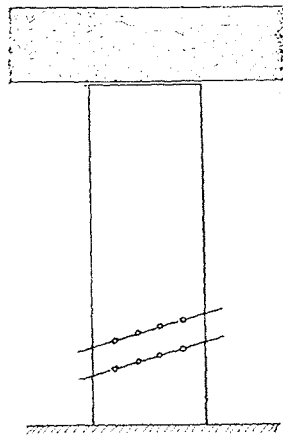
BARRENOS

NOTA: P.D. = Pequeña dimensión < 1,5 m
G.D. = Gran dimensión > 1,5 m

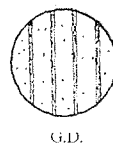
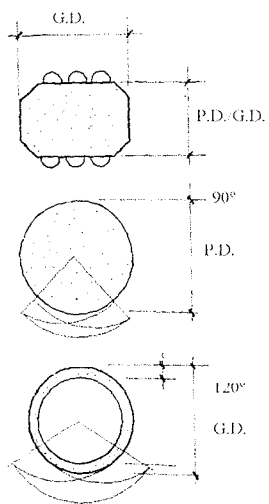
DIFUSION LIMITADA



Por cargas exteriores



Por cargas interiores
Barrenos



Sección hueca en diferentes formas

DIFUSION LIMITADA

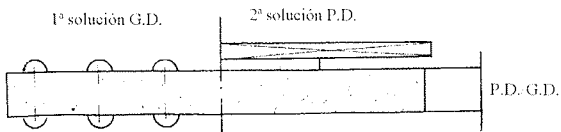
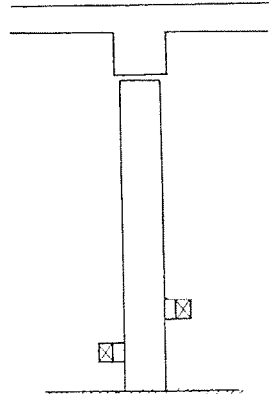
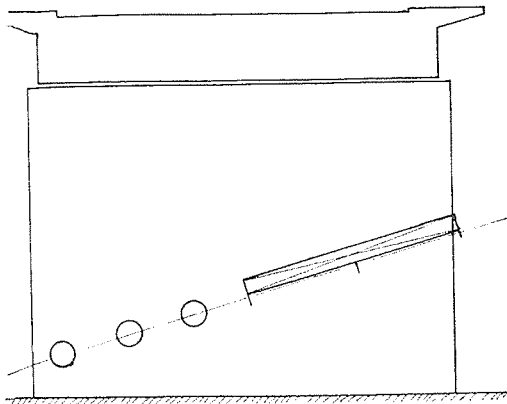


Lámina 8.3

DIFUSION LIMITADA

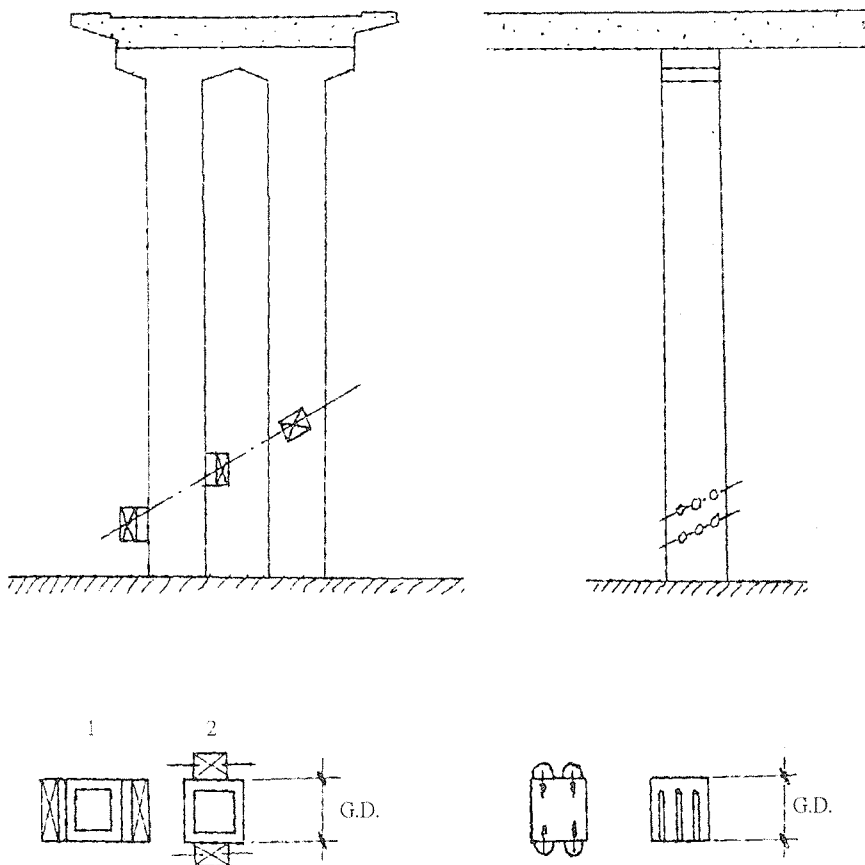


Lámina 8.4

8.4.b.(3).(e). LÁMINA 8.5

Tipo de pila: Pila para grandes viaductos constituidos por una cepa de cuatro pilares de sección tubular, circular o cuadrada (1 y 2) de gran dimensión, o de secciones macizas, circulares o cuadradas (3 y 4).

Cargas aconsejadas:

- Las indicadas en la figura en cada caso y con el plano general de corte reseñado.

8.4.b.(3).(f). LÁMINA 8.6

Tipo de pila: En forma de V, con pilares de las secciones que figuran en la lámina.

Cargas aconsejadas:

- Para secciones 1 y 2, cargas de corte en dos caras opuesta y en cizalla.
- Para secciones 3 y 4, cargas en oposición o cargas interiores (barrenos).

8.4.b.(3).(g). LÁMINA 8.7

Tipo de pila: Pila en V invertida, con pilares de las secciones que se indican en 1 y 2.

Cargas aconsejadas:

- Secciones huecas, cargas de corte.
- Secciones macizas, cargas en oposición o cargas interiores (barrenos).

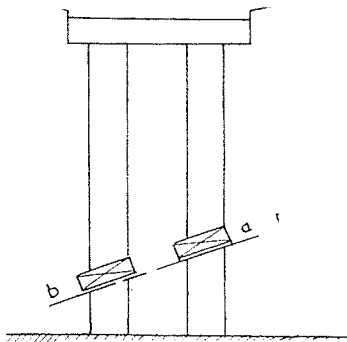
8.4.b.(3).(h). LÁMINA 8.8

Tipo de pila: Pila única de gran altura, de sección tubular, rectangular o circular, o maciza en H.

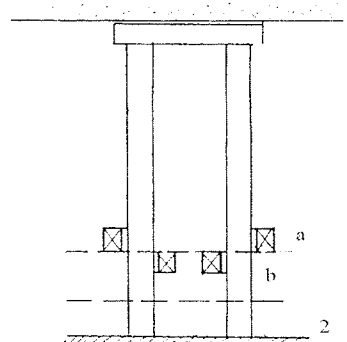
Cargas aconsejadas:

- Sección 1, cargas de corte en dos caras opuestas en cizalla.
- Sección 2, cargas interiores (barrenos) profundas en el alma y con la inclinación del plano de corte.
- Sección 3, carga exterior alargada en un arco de 120°.

DIFUSION LIMITADA



2



2

Carga aconsejada en cada caso

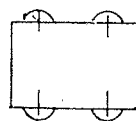
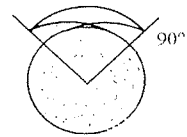
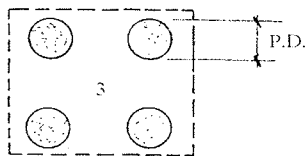
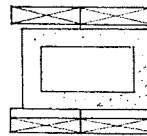
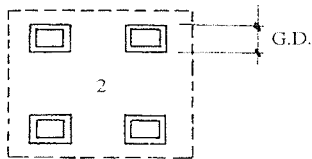
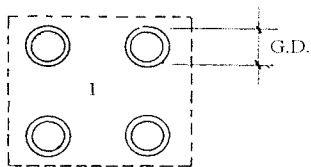
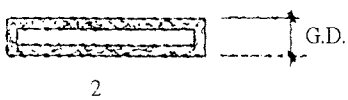
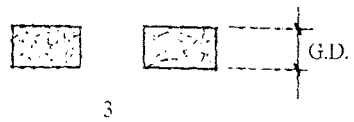
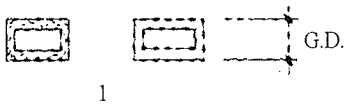
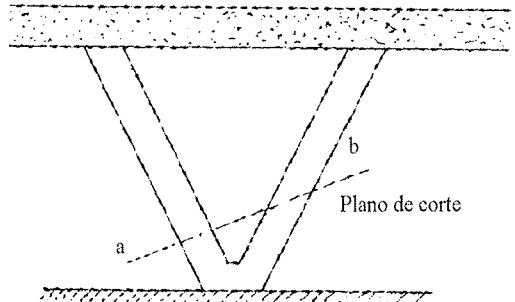
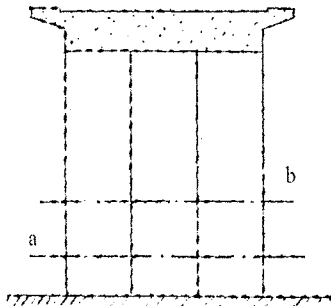


Lámina 8.5

DIFUSION LIMITADA



DIFUSION LIMITADA

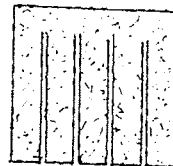
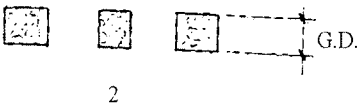
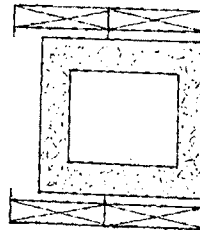
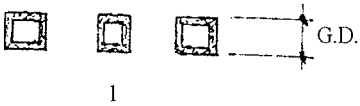
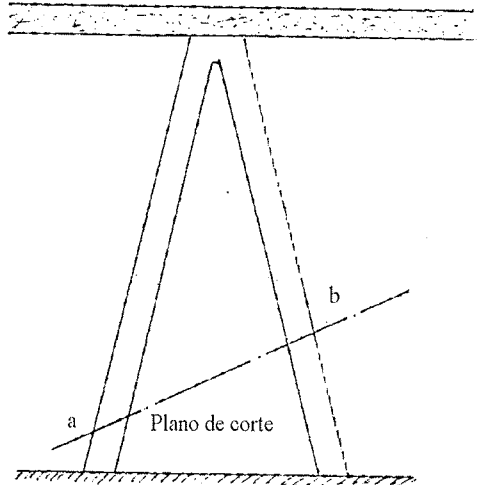
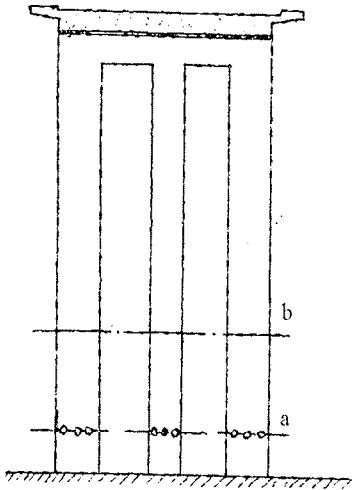
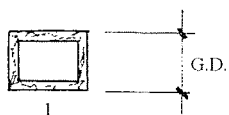
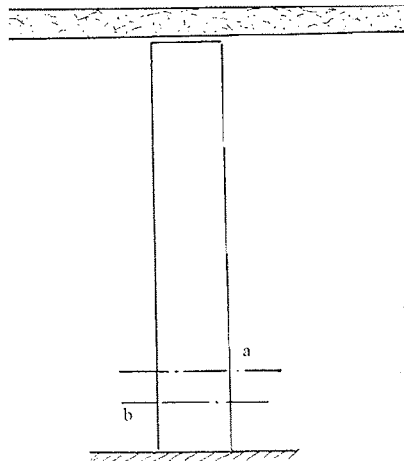
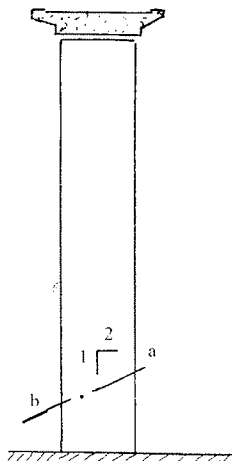


Lámina 8.7

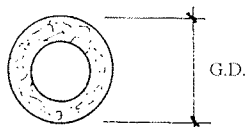
DIFUSION LIMITADA



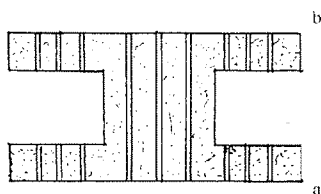
1



2



3



Barrenos con inclinación 1/2

8.4.b.(4). Destrucción de pilas de madera

Para la destrucción de caballetes, si la rotura se verifica por encima del agua, el problema queda reducido a cortar por medio del explosivo todas sus piezas resistentes, simultaneando la explosión de las cargas y auxiliándose para la colocación de éstas con barcas, balsas o andamios. También puede destruirse un caballete haciendo uso de fuertes cargas sumergidas dos o tres metros bajo el agua y en el centro de aquél. Estas cargas deben ser de 35 kg de trilita. Con una carga en estas condiciones se destruyen, por lo menos, dos tramos del puente.

Las cepas de pilotes se destruyen por los procedimientos ya indicados en el capítulo 4. Dato práctico: Cargas adosadas de medio kilogramo de trilita, colocadas a uno o dos metros de profundidad, rompen un pilote de 30 cm de diámetro.

Cuando dos filas de pilotes están separadas hasta un metro, una carga de 5 kg de trilita, colocada en el centro del rectángulo a una profundidad de dos o tres metros, rompe los cuatro pilotes entre los que está situada. Un pequeño número de cargas concentradas de esta clase basta para destruir una cepa, sin necesidad de colocar una carga en cada pilote.

8.4.b.(5). Destrucción de pilas metálicas

Siguiendo las normas dadas anteriormente sobre los planos de corte, se hace la rotura de las pilas metálicas, que básicamente consistirá en la rotura de los perfiles laminados que constituyen las mismas calculando las cargas por las fórmulas dadas en el capítulo correspondiente a roturas de pieza metálicas.

8.5. DESTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE PUENTES FIJOS

8.5.a. PUENTES DE MADERA

Los puentes hechos con vigas de madera se usan extensamente en el teatro de operaciones para los cruces de tramo corto o de varios tramos cortos. Estos puentes son construidos y utilizados por unidades militares.

Los puentes de madera pueden destruirse por medio de explosivos, sierras, picos y hachas, incendiándolos o por una combinación de estos procedimientos.

Los puentes de madera pueden estar compuestos por vigas armadas o de tablero sencillo y apoyados sobre cepas de pilotes, caballetes, balsas o pontones. La destrucción puede hacerse, pues, volando las vigas, destruyendo los apoyos o limitándose a la destrucción del tablero, con lo cual la interrupción solamente exigirá unas cuantas horas para ser reparada.

Las vigas se rompen mediante cargas de explosivo rompedor adosadas o bien colocadas dentro de taladros practicados en su centro y a una profundidad de los tres cuartos del lado vertical de la sección.

Si las vigas están reforzadas con sopandas, hay que romper también éstas, o mejor, las viguetas por dos secciones, elegidas de modo que sean las correspondientes a la unión con la sopanda.

En el cálculo de la carga se tendrá en cuenta el aumento de la sección debida al refuerzo indicado, aplicando lo dicho referente a las piezas yuxtapuestas.

La explosión debe ser simultánea para todas las cargas. Si no se dispusiera de tiempo para colocar las cargas en todas las viguetas, se pondrá una carga alargada para cada sección de rotura, disponiéndola sobre el tablero, normalmente al eje del puente y de una longitud igual a la anchura de éste. Esta carga se calcula por la fórmula general, haciendo a igual a la anchura del puente en centímetros, y b , el espesor del tablero más el de la vigueta, también en centímetros.

Si sobre el tablero existiese un empedrado, se excava un surco para que la carga quede en contacto con la madera.

Las vigas armadas deben romperse por varios puntos. En general conviene establecer dos secciones de ruptura que disten de los apoyos un quinto de la longitud libre del puente. El problema se reduce a aplicar la fórmula general en cada sección para cortar con explosivo rompedor todas las piezas que entren en ella, simultaneando los fuegos por medio de cordón detonante o conductores eléctricos y, aún mejor, por ambos procedimientos. Si faltase tiempo para esta disposición, se destruyen las piezas más importantes para la estabilidad.

En todo caso, mientras se disponen las cargas, pueden usarse el hacha, el pico y la sierra, buscando en el empleo simultáneo de todos los medios de destrucción disponibles la rapidez de la operación. Si no se dispone de tiempo se puede recurrir al incendio como medio de destrucción.

8.5.b. DE VIGAS DE ACERO O PERFILES LAMINADOS

Se usan perfiles de acero en tramos simples de hasta 30 m y en los puentes de tramos continuos con luces de hasta 40 m. La mayoría de los puentes no militares hechos con vigas de acero después de mediados los años cincuenta utilizan acero y hormigón de alta resistencia y técnicas avanzadas. Las vigas de acero constan de perfiles laminados convencionales en tramos de hasta 30 m. Pueden ir reforzados con planchas de acero soldadas y con angulares. Para su demolición se cortan las vigas colocando cargas calculadas por las fórmulas vistas en el capítulo correspondiente a rotura de piezas metálicas.

Además de estructuras a base de perfiles laminados normales, nos podemos encontrar con estructuras a base de grandes vigas de acero. Generalmente, estas vigas se usan en tramos de 35 a 120 m, demasiado largos para los perfiles laminados convencionales. Los puentes de este tipo constan de dos grandes piezas a flexión armadas que soportan la calzada, en comparación con los puentes de perfiles laminados que pueden tener muchas vigas más pequeñas equidistantemente espaciadas. Los puentes de grandes vigas generalmente son de construcción continua y con frecuencia la viga está empotrada en los soportes intermedios. Para su demolición se usan cargas cortantes de acero para que corten cada viga (fig. 8.6).

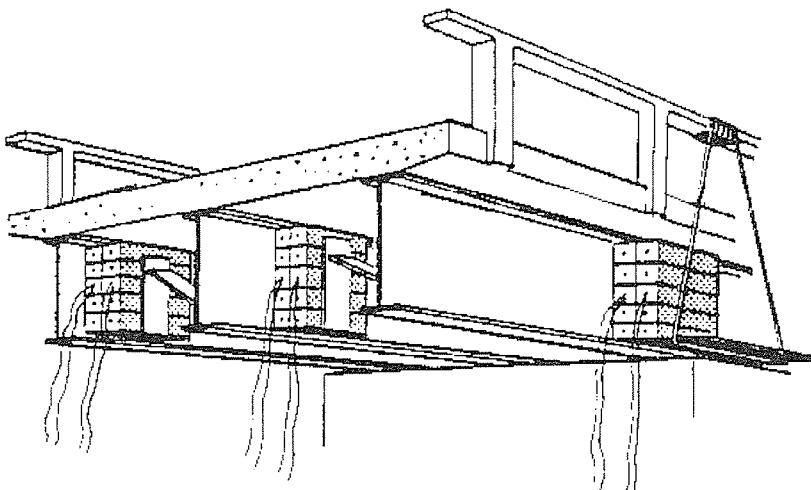


Figura 8.6.—Destrucción de estructuras de vigas metálicas

8.5.c. DE VIGAS DE ACERO-HORMIGÓN (MIXTAS)

Desde principios de los sesenta se perfeccionaron medios eficientes para conectar el tablero de hormigón armado al cordón superior de las vigas de acero. En los puentes normales de vigas de acero, el tablero de hormigón sirve sólo para distribuir la carga a las vigas. Cuando se conecta estructuralmente el tablero y la viga, se forma una viga mixta de acero-hormigón. El tablero de hormigón aumenta el cordón de compresión de la viga. Es difícil el reconocimiento y distinguir entre los puentes de viga mixta y los puentes normales de vigas de acero. Todos los puentes de tablero de hormigón con vigas de acero de más de 20 m de luz construidos después de mediados de los sesenta son presumiblemente de viga mixta. Para demolerlos se cortan colocando cargas cortantes de acero y cargas rompedoras de hormigón para cortar cada viga, como en la figura 8.7.

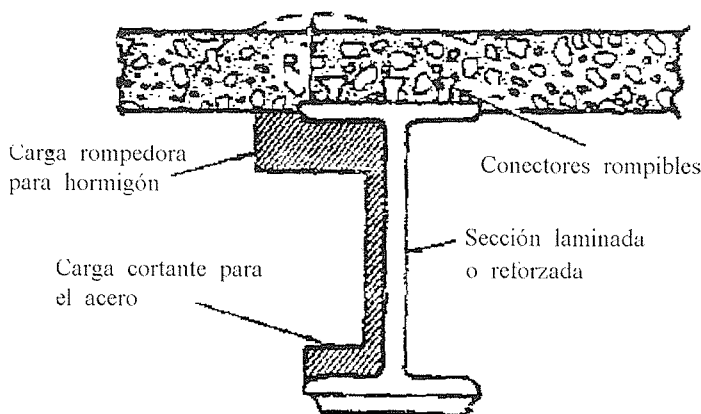


Figura 8.7.—Destrucción de vigas mixtas

8.5.d. DE LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO

Aunque pueden usarse en tramos biapoyados, su empleo normal es en tramos de viga continua. La estructura en este caso está hecha a base de losas de hormigón armado o pretensado cuya sección puede tener formas diversas (rectangular, trapezoidal, etc.). Muchas veces

estas losas de hormigón están aligeradas bien mediante rebajes visibles exteriormente, bien mediante la inclusión en su interior de zonas huecas. Para su demolición se colocan cargas sobre el ancho de la losa calculadas por los procedimientos vistos para rotura de obras de hormigón armado con el fin de romper la losa.

8.5.e. DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO Y PRETENSADO

Las vigas de hormigón armado suelen tener forma de T o de I y suelen emplearse en tramos de vigas biapoyadas de 10 a 20 m y en tramos continuos hasta 35 m. Los puentes de tramos continuos pueden emplear vigas en T de canto variable para obtener un canto de viga mayor sobre los soportes intermedios. Para su demolición se utilizan cargas calculadas para la rotura de cada viga mediante uno de los siguientes métodos:

1. Colocar las cargas contra el canto de cada viga.
2. Colocar las cargas rompedoras de hormigón contra la parte inferior de cada viga.
3. Colocar las cargas rompedoras en el tablero encima de cada viga.

El cálculo se hará teniendo en cuenta el radio de ruptura para cada caso. Las cargas de corte de circunstancias o prefabricadas, caso de disponer de ellas, siempre serán un medio a tener en cuenta.

En el caso de vigas de hormigón pretensado, los tramos pueden ser de soporte simple o continuo. Se usan tramos de hasta 70 m de largo. En el reconocimiento exterior, es difícil distinguir si las vigas son o no de hormigón pretensado, éstas son normalmente grandes vigas prefabricadas, por lo que cabe pensar que cuando se trate de grandes viaductos en autopistas, autovías y variantes en carreteras de construcción reciente, las vigas serán de hormigón pretensado.

Para su demolición se utiliza uno de los siguientes métodos que se pueden ver en la figura 8.8:

1. Colocar cargas dobles rompedoras de hormigón a un lado de la viga contra los lados pendientes de las alas superiores e inferiores de cada viga con las cargas a tope contra la unión del alma y las alas para destruir la viga.
2. Colocar cargas de corte sobre la parte superior o inferior de cada viga para cortarla.

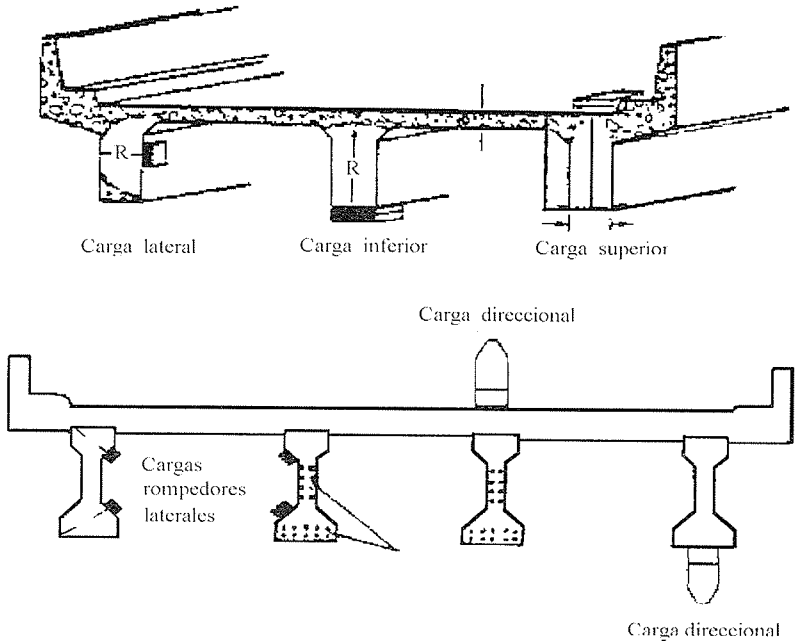


Figura 8.8.—Destrucción de estructuras de hormigón armado (superior) y pretensado (inferior)

8.5.f. DE VIGAS TUBULARES DE HORMIGÓN Y DE VIGAS CAJÓN

Las vigas de dovelas prefabricadas son vigas individuales de un metro de ancho, las cuales se colocan una junto a la otra y se afianzan con barras de diafragma transversales. Las juntas entre las vigas adyacentes son inyectadas con cemento. Se usan para tramos simples de 15 a 20 m de largo.

La viga cajón generalmente se usa en los tramos continuos de 30 a 50 m de largo. Estas superestructuras pueden tener una portezuela de acceso para permitir la entrada a las vigas.

Para la demolición de las vigas de dovelas prefabricadas pueden cortarse colocando cargas rompedoras de hormigón (calculadas para hormigón armado) contra el fondo de cada viga y centradas sobre sus

lados para cortar el fondo y los lados de cada viga. Las cargas deben colocarse por lo menos a una distancia de un radio de ruptura de los diafragmas internos de hormigón (determinada por la ubicación de las barras de acero transversales).

Para la demolición de las vigas cajón se colocan las cargas para cortar y/o los lados de cada viga usando uno de los siguientes métodos que se ven en la figura 8.9:

1. Colocar las cargas rompedoras de hormigón contra el fondo de cada viga y centradas sobre los lados de las vigas.
2. Colocar las cargas rompedoras de hormigón contra el fondo y los lados de cada viga dentro de la viga hueca. Debe haber acceso al interior de la viga.

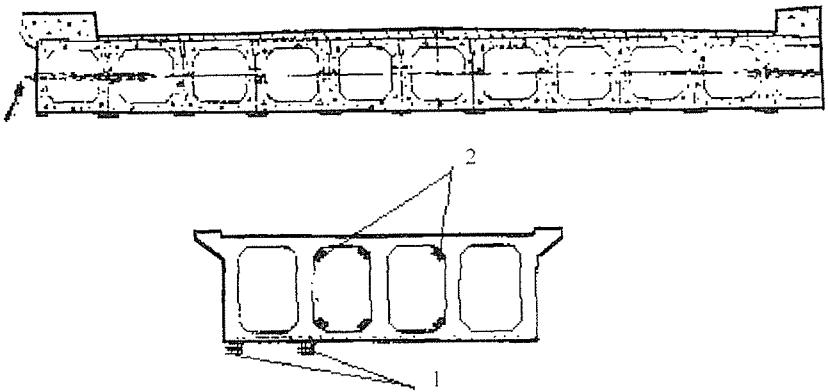


Figura 8.9.—Destrucción de vigas cajón

8.5.g. DE VIGAS METÁLICAS DE CELOSÍA

Existen muchos tipos de armadura y con frecuencia se usan en los puentes grandes combinaciones de distintos tipos de armadura. Esta estructura se usa en tramos largos que varían entre los 50 a más de 300 m. Los puentes metálicos se prestan mejor que los demás a la creación rápida de cortadura, ya que no es necesario realizar la destruc-

ción de las vigas, sino que será suficiente con la de aquellas piezas cuya rotura comprometa la estabilidad del puente con sólo su propio peso o con el adicional que el paso de los trenes u otras cargas determinen, provocando su caída y completa inutilización.

Como normas, se dan las siguientes reglas:

- 1.^a Sólo por excepción se procederá a la rotura del cordón superior.
- 2.^a La rotura del cordón inferior, por sí sola, no produce una interrupción segura en los puentes de vía inferior.
- 3.^a En los puentes de vía superior, la rotura de uno de los dos cordones es eficaz, pero no se debe recurrir a ella mas que cuando pueda llegarse a establecer las cargas con facilidad.
- 4.^a En los puentes de vía intermedia es necesario romper más piezas además del cordón inferior.
- 5.^a En los puentes de vigas de cordones paralelos o parabólicas se debe atacar con preferencia la celosía. Rota una mangueta cerca del apoyo, la deformación es grande, y es mucho más rápida si se corta también el cordón inferior en sus inmediaciones.
- 6.^a Aun cuando en general la rotura de los cordones no es aplicable mas que en casos especiales, será el procedimiento que deba seguir tratándose de vigas parabólicas, en las que la celosía no trabaja en estado de reposo. Si la vía es inferior, se romperá el cordón superior.
- 7.^a Si el puente es en arco, se atacará en los arranques, puntos de máximo trabajo del metal y más fácilmente accesibles.
- 8.^a Un puente colgante se pone en seguida fuera de servicio cortando los cables de suspensión.

En esta clase de destrucciones es de gran aplicación el empleo de explosivos plásticos.

La figura 8.10 representa diversos tipos de viga, indicándose en ellos las cargas que deben calcularse para romper las piezas sobre las que insisten, y con un doble trazo, aquellas en las que se debe romper solamente la parte vertical de las piezas que forman el cordón.

DIFUSION LIMITADA

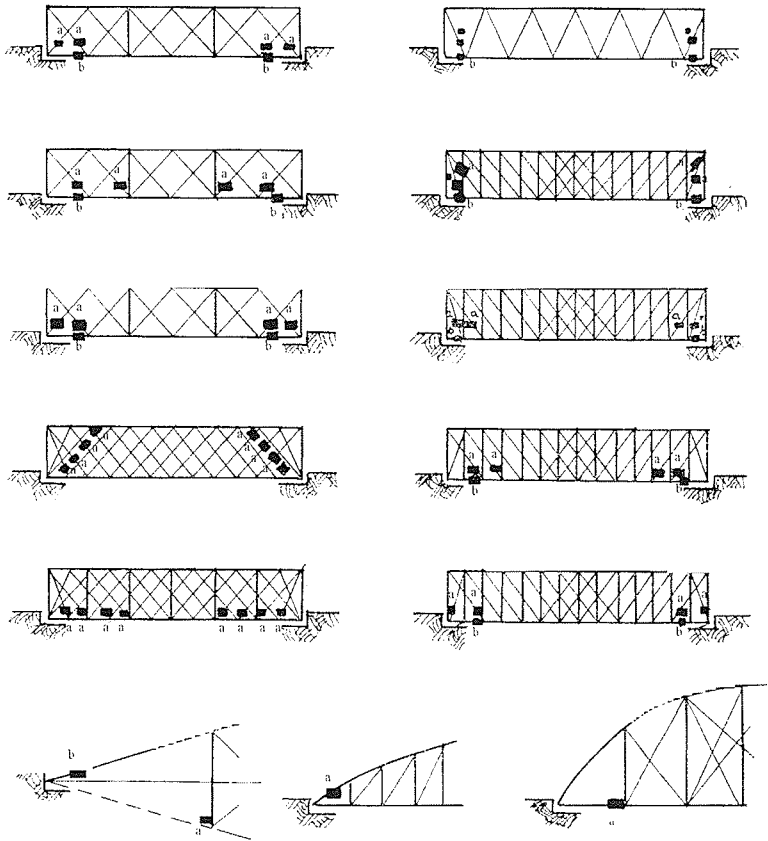


Figura 8.10.—Diversos tipos de vigas metálicas, con las cargas colocadas para su destrucción

8.6. COLOCACIÓN DE LAS CARGAS EN PUENTES FIJOS

La colocación de las cargas se hará teniendo en cuenta la forma en que está construido el puente (si es de viga continua, biapoyada, etc.), de tal forma que se trata de colocarlas en la parte más débil del mismo. Una vez que se haya determinado ante qué tipo de construcción nos encontramos, hay que determinar el lugar más idóneo para la colocación de las cargas y posteriormente calcular la carga necesaria

para la destrucción de los pilares y estribos o bien de la estructura según las normas que para cada tipo de estructura se han dado anteriormente.

8.6.a. PUENTES DE TRAMO SIMPLE (BIAPOYADOS)

Un tramo simple es cualquier tramo apoyado en cada extremo, es sin duda el más común de los puentes fijos. Los tramos simples pueden ir de orilla a orilla, de orilla a pilar intermedio o entre pilares intermedios. El reconocimiento de este tipo de puentes es sencillo, pues en los apoyos se ve perfectamente la separación de las vigas de cada tramo, puesto que éstos son independientes entre sí. Las vigas de un puente de tramo simple son de canto uniforme y están apoyadas sólo en los extremos. Si la estructura es de vigas de celosía, éstas tienen una altura uniforme o son más altos en el centro del tramo.

8.6.a.(1). **Destrucción parcial**

La destrucción parcial de un puente de tramo simple es difícil porque lo normal será que caiga un tramo completo y se causarán más daños de los deseados en los estribos o pilares al derribar el tramo. Para destruir un puente de este tipo, se corta un tramo en ángulo, cerca de los estribos para que el tramo caiga sin causarle daños excesivos en los mismos.

Si la distancia al río no es demasiado grande, el tramo del puente podría descansar en un declive permaneciendo su extremo sin cortar sobre un estribo. Con esto se impedirá tanto el uso del puente como del río que pasa debajo, con la posibilidad de que la mayor parte del puente quede intacta y pueda levantarse en alguna época futura con un gasto considerablemente menos que lo que costaría un puente nuevo.

8.6.a.(2). **Destrucción total**

En un puente de tramos simples (viga biapoyada), el método más efectivo, siempre que las circunstancias lo permitan, consiste en la destrucción de uno o más soportes intermedios. La destrucción de un

soporte generalmente derrumbará los tramos a ambos lados, de modo que sólo es necesario la rotura de pilares alternos. Para su reparación habrá que reemplazar estos soportes o construir largos tramos. Otros métodos que se pueden emplear para la destrucción total de puentes de tramos simples son:

- Colocar las cargas en el centro de cada tramo que se quiera destruir, cortándolo por la mitad y provocando la caída de todo el tramo (fig. 8.11).
- Cortar ambos extremos del tramo cerca del estribo o pilar para que caiga al agua. La corriente que fluye contra el puente caído podrá completar la destrucción.

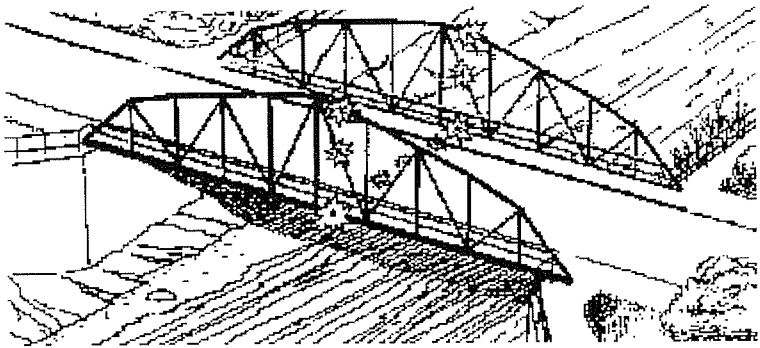


Figura 8.11.—Destrucción de un puente de tramo simple con estructura de viga de celosía

8.6.b. PUENTES DE TRAMOS CONTINUOS

Los tramos continuos son tramos que están apoyados en más de dos puntos. Los puentes de tramos continuos pueden reconocerse por el hecho de que su estructura es continua sobre el soporte intermedio, es decir, que no hay físicamente ninguna separación entre tramos ya que éstos no son independientes entre sí. La estructura puede ser de cualquiera de los tipos que se han visto anteriormente, aunque los más comunes son de losa de hormigón armado o pretensado y de viga cajón. En muchos casos, el canto de las vigas o losas son variables, siendo mayores encima de los apoyos. Si el puente es de viga de celo-

sía, éstas son más altas sobre los soportes y están conectadas a los cordones tanto superiores como inferiores.

En este tipo de puente, la rotura de uno de los apoyos intermedios no asegura la caída del puente, ya que el tramo es continuo y puede quedar apoyado sobre los estribos o sobre dos apoyos intermedios contiguos sin caer.

Para la destrucción parcial de este tipo de puente se puede lograr simplemente cortando el tramo a la distancia deseada de un estribo; con esto caerá la parte del puente que se desea derrumbar en el río, pero debido a la resistencia del tramo continuo al pasar sobre el pilar intermedio, la mayor parte del puente podrá quedar en pie para uso futuro.

Para la destrucción completa es necesario cortar la estructura del tramo en cada lado de los pilares intermedios. El corte debe hacerse en distancias desiguales a cada lado de los pilares, para que la parte del puente sobre el pilar se desequilibre y caiga. En condiciones ideales, la parte central volteará o le causará grandes averías al pilar a medida que cae (fig. 8.12). Una regla útil consiste en cortar el tramo a tres cuartas partes de la longitud total del tramo desde la pila. Si se dispone del tiempo y de los explosivos necesarios, también pueden destruirse las pilas mediante el uso de cargas rompedoras.

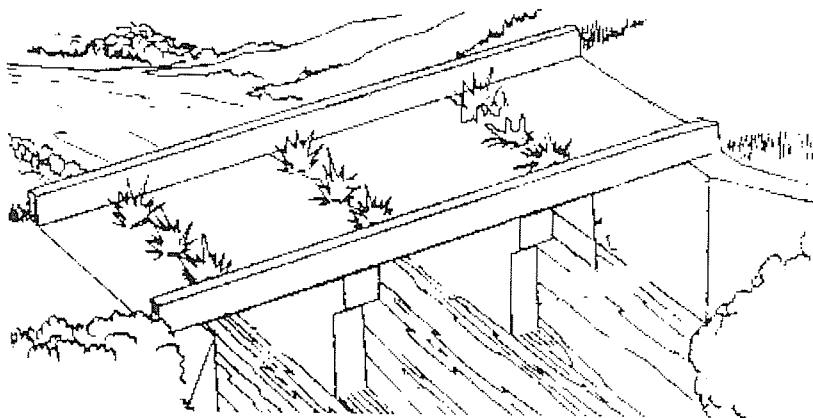


Figura 8.12.—Destrucción de un puente de tramos continuos con estructura de losa de hormigón

8.6.c. PUENTES DE TRAMOS EN VOLADIZO (CANTILEVER)

Los puentes cantilever son difíciles de distinguir de los de tramos continuos. Es necesario examinar cuidadosamente los miembros individuales del puente. La principal diferencia entre los puentes de tramos continuos y los voladizos es el método por el cual están sometidos a esfuerzo los miembros individuales, como consecuencia del método empleado en su construcción, que consiste en lanzar simultáneamente dos tramos de puente desde cada orilla, quedando dos voladizos que se unen en el centro del tramo mediante una unión que se puede distinguir exteriormente. Los miembros superiores de un puente voladizo son traccionados, mientras que en todos los demás tipos de tramos los miembros inferiores son los que están sometidos a tracción. Un cuidadoso examen del soporte de los estribos también podrá indicar que se trata de un puente voladizo.

Para la demolición parcial, una parte del brazo voladizo podrá cortarse colocando cargas en la unión. Se debe hacer todo lo posible para que todas las cargas detonen simultáneamente. Si uno de los extremos del tramo cortado cayera antes que el otro, el brazo voladizo podría sufrir averías mayores que lo necesario o deseado.

Para la demolición completa hay que cortar los brazos voladizos como si se tratara de un tramo continuo y cortarlos a una distancia desigual desde la pila del soporte para que se voltee la parte del puente soportada por el pilar (fig. 8.13).

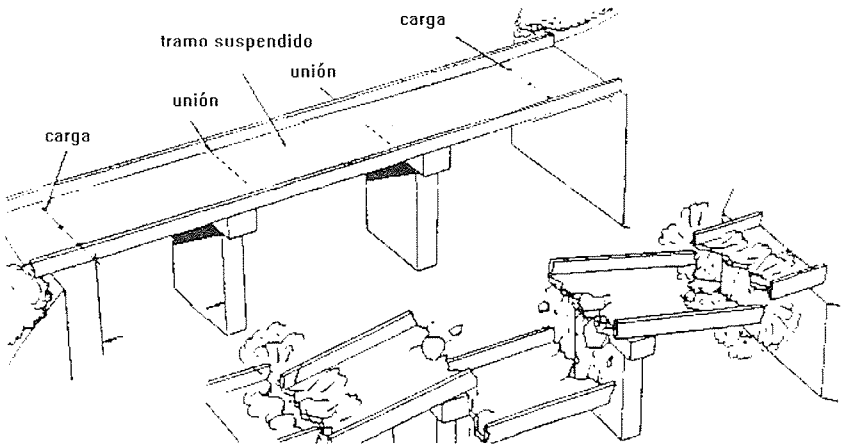


Figura 8.13.—Destrucción completa de un puente cantilever con tramo suspendido

8.6.d. PUENTES DE ARCO

Las partes principales de un puente de arco se pueden identificar en la figura 8.14.

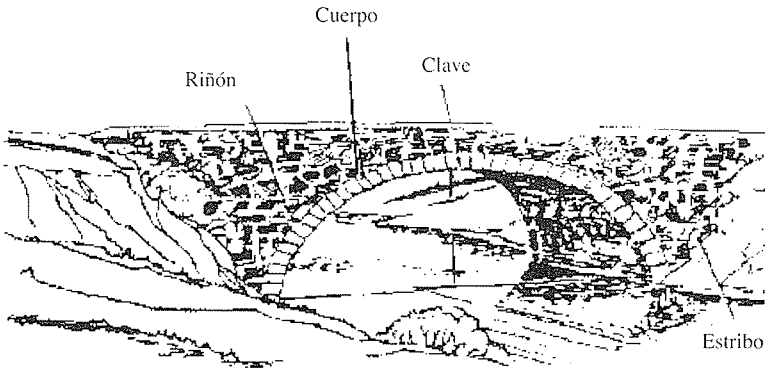


Figura 8.14.—Partes principales de un puente de arco

8.6.d.(1). Puentes de arco de mampostería y hormigón en masa

La destrucción de pilas y estribos origina el desplome de los arcos; pero se trata de una operación que exige mucho tiempo, de no estar preparadas las cámaras de mina en tiempo de paz. La destrucción de los arcos es más fácil de realizar y más propia de una voladura improvisada, pero su reparación es rápida.

En puentes de un solo arco es conveniente volar los estribos y el arco.

La destrucción de los arcos puede conseguirse mediante cargas concentradas o alargadas que se aplican sobre el trasdós de la clave o sobre los riñones o los arranques y, a veces, en el intradós, adosadas y sostenidas por medio de andamios o tornapuntas.

En casos extremos puede recurrirse al empleo de grandes cargas colocadas sobre el pavimento o, a lo sumo, empotradas en él y atracadas con sacos terreros.

La profundidad de los pozos o de las zanjas para llegar al trasdós del arco será, en general, pequeña, por cuyo motivo el ataque no podrá tener la tensión necesaria, especialmente si se emplea la pólvora. Esto obligará a emplear los siguientes coeficientes de aumento de cargas:

Con cargas de trilita:

Para un atraque incompleto:

$$L' = 2/3 L$$

$$C' = 5/4 C;$$

$$L' = 1/3 L$$

$$C' = 4/3 C,$$

en donde L es la longitud del atraque necesario en las minas ordinarias; L' , la longitud del atraque incompleto; C , la carga de trilita obtenida por aplicación de la fórmula correspondiente, y C' , la carga necesaria para obtener el resultado buscado con el atraque incompleto.

Las longitudes de los atraques necesarios en las minas ordinarias son las siguientes:

- Atraque ordinario: $L = 4/3 h$.
- Atraque mixto o con agua: $L = 11/10 h$
- Atraque con hormigón: $L = h$.

En la práctica se adopta:

$$L = nh,$$

en la cual L es la longitud del atraque; n , el índice del hornillo, y h , la longitud de la línea de mínima resistencia.

Con cargas de dinamita:

Para:

$$L' = 2/3 L$$

$$C' = 6/5 C;$$

$$L' = 1/3 L$$

$$C' = 5/4 C,$$

No debe descender la longitud del atraque de $1/3 L$ con carga de trilita, ni de $1/4 L$ con carga de dinamita.

La insuficiencia del atraque se procurará compensar aumentando la carga y, además, colocando encima de él todas las piedras procedentes de la excavación y los materiales obtenidos desempedrando el piso, destruyendo los pretilos, etc.

El número de cargas vendrá determinado por la anchura del puente.

Si es muy pequeña y sólo se emplea un hornillo, se corre el riesgo de que el puente no quede totalmente cortado, lo que permitirá el paso de la Infantería enemiga. También pudiera ocurrir que la resistencia en el sentido de la anchura del puente fuera muy pequeña y el explosivo obrara según este sentido, produciendo escasos efectos sobre el arco. Cuando se tema que esto pueda suceder, convendrá acudir al

DIFUSION LIMITADA

empleo de cargas alargadas de explosivo rompedor, que, además de localizar los efectos, permiten reducir los ataques.

8.6.d.(1).(a). CARGAS COLOCADAS EN LA CLAVE

Los ataques en la clave del arco son los más prácticos por su rapidez y sencillez: es fácil medir el espesor real de la clave mediante un sencillo sondeo en uno de los lados de la calzada (el espesor real no será siempre el espesor aparente en el paramento); la construcción de pozos o zanjas será rápida, porque en la clave es donde el espesor del arco es menor, y se requerirá menos explosivo.

En cambio, la rotura de la clave no determina, en general, mas que la caída de la parte central del arco, y la interrupción puede repararse en poco tiempo.

Cuando sea preciso mantener la circulación por el puente, se dispondrá una carga alargada adosada al intradós, sujeta mediante andamios o tornapuntas apoyados en las pilas o en los estribos.

Esta carga alargada, de explosivo rompedor, se calcula por la fórmula:

$$C = 10 E^2,$$

en la que C es la carga en kilogramos, y E , el espesor de la clave en metros.

Dada la relación que existe entre la luz de un puente y el espesor del arco en su clave, se puede determinar rápidamente la cantidad aproximada de trilita necesaria en carga alargada para puentes de distintas dimensiones mediante la tabla 8.1. De la observación de la tabla se deduce la regla práctica siguiente:

TABLA 8.1. Peso de trilita necesario (en kg por metro de anchura) para destruir un arco de puente (cargas alargadas superficiales)

LUZ DE ARCO (m)	ESPESOR DE LA CLAVE (m)	CARGA DE TRILITA (kg) $C = 10 E^2$
5	0,50	2,50
10	0,67	4,50
15	0,83	6,50
18	0,93	8,70
20	1,00	10,00
25	1,17	13,70
30	1,33	17,70
40	1,67	27,90

Para destruir un arco de puente de hasta 20 m de luz se necesita medio kilogramo de trilita por metro de luz y metro de anchura.

Cuando falte tiempo, se puede acudir a otros medios; una carga de explosivo rompedor de 200 a 400 kg colocada en montón sobre la explanación basta, en la mayoría de los casos, para la destrucción de la clave; según la anchura del puente, estas cargas pueden ser una o dos.

Para romper arcos de hasta 8 m de luz puede abrirse una zanja hasta el trasdós, en toda la anchura del puente, y colocar en su fondo una carga de 150 a 200 kg de explosivo. Con esta disposición se rompen arcos de hasta 0,86 m de espesor resistente. Esta disposición puede modificarse estableciendo dos zanjas en cruz (fig. 8.15), cuya profundidad sea 0,50 a 0,75 m y su longitud de 2 a 3 m. En los extremos de la cruz se depositan cuatro cargas concentradas de 75 a 100 kg que deben recibir el fuego simultáneamente.

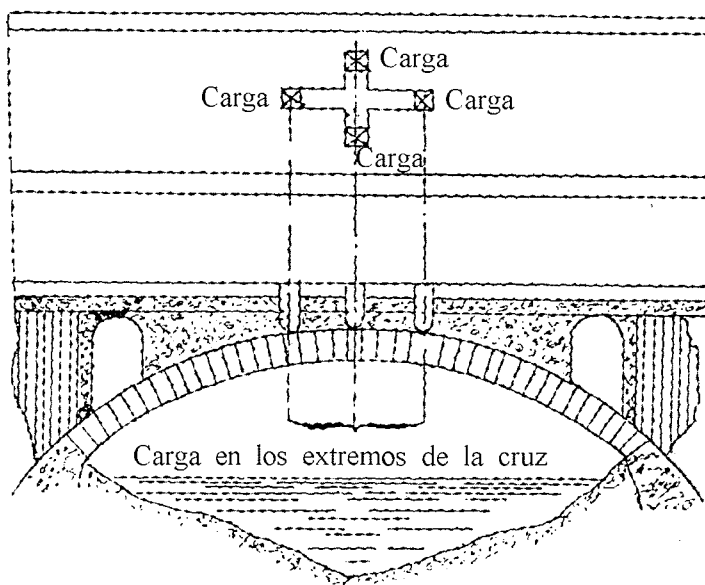


Figura 8.15.—Cargas en la clave en forma de cruz

8.6.d.(1).(b). CARGAS COLOCADAS EN LOS RIÑONES

Esta disposición permite producir una brecha de mayor luz que la conseguida con la colocación de cargas en la clave, y será tan fácil como en ella cuando se trate de puentes cuyos tímpanos están aligerados.

El cálculo de las cargas, como en el caso anterior, es similar al de una pila.

Cuando se trate de puentes de tímpanos llenos, salvo en el caso de conocer el espesor de los riñones y su estructura, no debe tratarse de efectuar la destrucción de esta parte del arco, por el largo tiempo que requiere esta operación.

No obstante, si se dispone de mano de obra, deben comenzarse los trabajos simultáneamente en la clave y en los riñones, colocando la carga en la primera si se comprende que no va a ser posible terminar los hornillos en los riñones.

Resumiendo: en los puentes de arcos de mampostería u hormigón en masa, las destrucciones deben atacarse por las pilas, y en su defecto, obrar sobre la clave. Sólo cuando los riñones sean de fácil acceso o estén preparadas las cámaras de mina desde tiempo de paz, debe emprenderse la destrucción por esta parte.

8.6.d.(1).(c). CARGAS COLOCADAS EN LOS ARRANQUES

Se emplean generalmente estas cargas cuando se quieren romper dos arcos a la vez, para hacer la brecha más grande y de más difícil reparación. Para conseguirlo se abren pozos sobre las pilas hasta llegar al trasdós del arco, y se atraca después la carga con los residuos de la excavación (fig. 8.16), sirviendo el hornillo para los dos arcos.

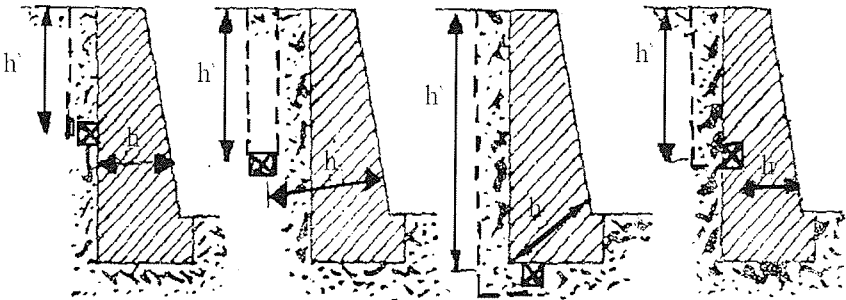


Figura 8.16.—Cargas en los arranques

La línea de mínima resistencia es la distancia del centro de la carga al intradós. Generalmente, se obtendrá una brecha más eficaz y en menos tiempo volando la pila.

8.6.d.(2). Puentes de arco de estructura de hormigón armado

Este tipo de estructura consta de un par de nervaduras de arco que soportan las columnas, los que a su vez soportan la calzada. El número de nervaduras de arco puede variar desde dos a varios. Las nervaduras de un puente arco tienen alrededor de 1,5 m de ancho. El espesor de la nervadura del arco en la clave varía desde unos 30 cm para luces de hasta 20 m de largo y hasta 1 m para luces de 70 m o más. El espesor del arco en la línea de arranque es generalmente el doble que en la clave. En las luces largas, las nervaduras pueden ser huecas, permitiendo el empaque de las cargas contra la nervadura en este punto.

Para su demolición, teniendo en cuenta que el riñón que está encima del estribo es casi seguro que sea pesado, la destrucción efectiva del arco mismo por medio de cargas para la clave podrá dejar intacto un pilar a nivel de la calzada. Este tipo de estructura generalmente se construye en una sola unidad masiva en vez de piezas componentes separadas y livianas, y es muy resistente. Además, el corte del tramo en cada extremo podrá ocasionar la caída del tramo entero a una distancia relativamente corta. Con esto el puente averiado podrá constituir un excelente soporte para construir un nuevo puente. Por consiguiente, para impedir la utilización en este tramo, se coloca una carga en el riñón y otra en la clave. El medio tramo sin cortar caerá también si la luz total es mayor de 20 m. La carga del riñón se calcula para colocarla ya sea en la viga circular o en la pila encima del soporte, según la que tenga mayor radio. Para tramos de un solo arco corto, se destruye el tramo completo con cargas rompedoras colocadas detrás de los estribos o detrás de los riñones.

8.6.d.(3). Puentes de arcos de acero

Los arcos de acero son de cuatro tipos generales: arcos continuos, arcos de una articulación, arcos de dos articulaciones y arcos de tres

articulaciones. Los arcos de una articulación están articulados en el centro; los de dos articulaciones, lo están en ambos extremos; y los de tres articulaciones, en ambos extremos y en el centro. Los arcos continuos y los de una articulación se destruyen colocando las cargas en ambos extremos del tramo, apenas suficientemente lejos del estribo para que caiga el arco. Los arcos de dos y tres articulaciones necesitan solamente una carga cada uno para su destrucción, que debe colocarse en el centro del tramo (fig. 8.17).

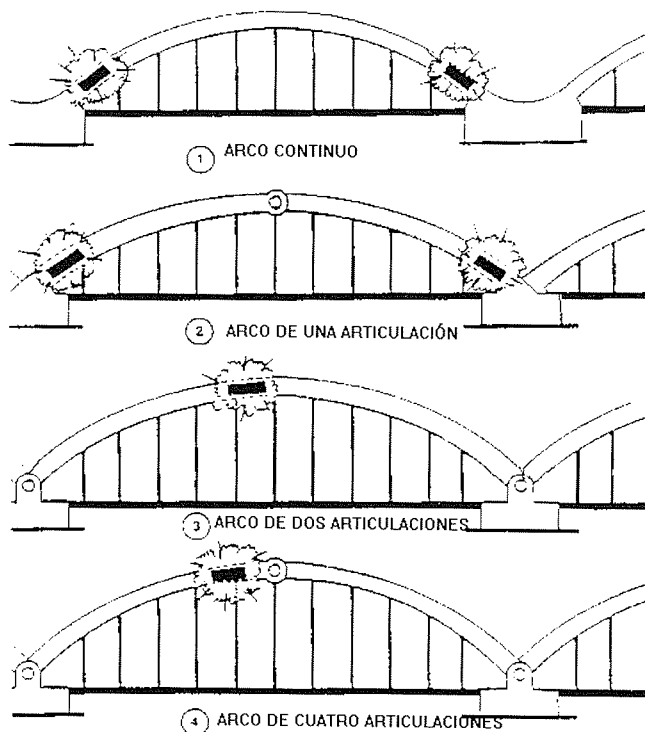


Figura 8.17.—Colocación de cargas en puentes de arcos de acero

8.6.e. PUENTES COLGANTES Y ATIRANTADOS

Este tipo de puentes se caracterizan porque la calzada está suspendida normalmente de cables de acero y sus luces suelen ser muy grandes.

Los componentes principales son: cables principales, pilas, cables o barras de suspensión que cuelgan de los principales, vigas de rigidez y macizos de anclaje.

Los cables principales pasan sobre las pilas y de ellos cuelgan los cables de suspensión, que quedan enlazados con los extremos de la viga de rigidez que trabaja a compresión. Los cables principales se fijan en las orillas en los macizos de anclaje, que normalmente son de hormigón.

En puentes de gran envergadura, las pilas, anclajes y cables principales son demasiado gruesos para cortarlos con seguridad con explosivos. El método más económico para la destrucción es hacer caer una sección de la calzada cortando los cables de suspensión que soportan el tablero. La longitud de esta sección debe ser determinada analizando las capacidades del enemigo para reparar durante el tiempo que se espera estará en poder del sitio, particularmente para el tendido de un puente prefabricado.

En puentes de menor envergadura, las partes más vulnerables son las pilas y los cables principales. Los métodos para demoler estos dos puntos se describen a continuación.

Se pueden colocar cargas en las pilas ligeramente encima del nivel de la calzada. En los cables principales, las cargas deben colocarse tan cerca como sea posible de un soporte firme, tal como la parte superior de la pila o en un anclaje. Estas cargas son voluminosas, están expuestas y son difíciles de colocar; y los cables son difíciles de cortar. Las cargas direccionales con su efecto de corte tendrán buena aplicación en estas roturas.

8.7. PUENTES MÓVILES

Un puente móvil es un puente que tiene uno o más tramos que pueden ser cambiados de posición para abrir un paso o aumentar la altura para el tránsito por los ríos o pasos navegables. Los dos tipos más básicos son el puente giratorio y el basculante o puente levadizo vertical. Las características de estos dos tipos básicos se describen a continuación.

8.7.a. PUENTE DE TRAMOS GIRATORIOS

El de tramo giratorio es probablemente el más común de los puentes móviles. Básicamente, un tramo giratorio es un tramo continuo que puede hacerse girar sobre su pila central para permitir el paso de las embarcaciones. Los brazos de un puente giratorio pueden ser, o no, de la misma longitud. Si los brazos son de longitud desigual, se les agregan pesos para equilibrarlos. El peso del tramo es soportado por rodillos que corren en un carril circular encima de la pila central, con el pivote sirviendo sólo como centro. El tramo giratorio de un puente es independiente de cualquier otro tramo del mismo y puede reconocerse por el ancho de la pila central debajo del tramo giratorio, que es mucho más ancho que bajo un tramo continuo a fin de acomodar los rodillos necesarios y el mecanismo requerido para que gire el tramo. Para su demolición, teniendo en cuenta que este puente es del tipo de puente continuo, su destrucción parcial y completa puede lograrse en igual forma que como ya se ha descrito en puentes fijos de tramos continuos. El tramo giratorio también puede abrirse para luego averiar el mecanismo de girar, si con esto se obtienen los resultados deseados de demolición parcial.

8.7.b. PUENTE BASCULANTE

El puente basculante es un puente movable, más conocido como puente levadizo. Generalmente tiene dos hojas que se elevan hacia arriba cuando se abre el puente; aunque puede tener una sola hoja. Los puentes basculantes tienen tres formas generales. Las dos primeras son semejantes porque los brazos móviles están equilibrados por un contrapeso. El tipo más antiguo podrá tener el contrapeso encima del nivel del camino. El tercer tipo no tiene contrapeso, sino que es levantado por un cable o una cuerda. Ésta es una forma muy primitiva de puente basculante, ampliamente usada en países subdesarrollados. Por lo general, se hace de madera el tramo móvil para reducir el peso. Teniendo en cuenta que el puente basculante consta generalmente de uno o dos brazos voladizos, éstos pueden ser demolidos como se describe en el puente cantilever; además, el mecanismo accionador podrá ser averiado para inmovilizar el puente en su posición abierta.

8.8. PUENTES FLOTANTES

Los puentes flotantes constan de una calzada continua de metal o madera soportada por flotantes o pontones. Los flotadores neumáticos consisten en una tela recubierta de caucho confeccionada en elementos estancos, herméticos e inflados con aire. Los cables de anclaje y las líneas de brida podrán cortarse con hachas, y los cables de acero, con explosivos. Los flotadores pueden ser perforados con armas portátiles o fuego de ametralladora. Para ello se necesita un volumen considerable de fuego debido al gran número de compartimientos herméticos que tiene cada flotador. Un cordón detonante estirado ajustadamente sobre la superficie de los compartimientos inflados del pontón producirá un corte definido a través del material. Basta un solo cordón para cortar la mayoría de las telas; se podrán necesitar dos para las partes más resistentes. Además, una vuelta de cordón detonante alrededor de una válvula de inflado la corta de raíz y produce más daños. Las líneas colocadas alrededor de las válvulas no deben ser principales, sino de un ramal proveniente de la línea principal, ya que la onda de explosión puede que no pase más allá de una vuelta pronunciada.

Los pontones rígidos se fabrican de varios materiales, tales como madera, plástico o metal. La mayoría están abiertos, pero ocasionalmente pueden estar tapados. Se coloca carga de 250 g en el extremo contra la corriente en el fondo de cada pontón y todas son detonadas simultáneamente. Si la corriente es rápida, otro método consiste en cortar los cables de anclaje, de modo que el puente sea llevado aguas abajo. Para destruir los carriles de cualquier puente flotante con carriles de metal, podrán calcularse las cargas por medio de la fórmula para cortar metales. La colocación y cantidad de cargas depende del tipo de puente que se vaya a destruir. En términos generales, si se colocan las cargas para cortar la calzada completamente en cada junta alterna de carril, el puente quedará totalmente destruido.

DIFUSION LIMITADA

CAPÍTULO 9

MANIPULACIÓN, CONSERVACIÓN, ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y DESTRUCCIÓN DE MATERIAL EXPLOSIVO

9.1. GENERALIDADES

Todo material explosivo, incluyendo artificios, minas y municiones, tiene un grado de peligrosidad intrínseco; si su manejo no es el adecuado, la peligrosidad aumenta considerablemente.

Es de obligado cumplimiento la observancia y corrección de cualquier descuido, por parte de los Cuadros de Mando, en todos los aspectos que se desarrollan en estas Orientaciones, así como a los que en este capítulo se hace referencia.

9.2. REGLAS DE SEGURIDAD EN EL MANEJO

9.2.a. GENERALES

- Los explosivos deben manejarse siempre con el máximo cuidado.
- No se debe encender fuego o fumar cuando se manipula explosivo o en sus proximidades.
- No dejar los explosivos sin vigilancia.

DIFUSION LIMITADA

- No abrir los embalajes de los explosivos dentro de los polvorines.
- No almacenar ni manipular explosivos en zonas o edificios habitados.
- No almacenar en el mismo local artificios y explosivos.
- No disparar armas de fuego en las proximidades de depósitos y polvorines.
- No utilizar cajas o papeles que han contenido explosivos para encender fuego.
- Preservar de la humedad todo material explosivo.
- Preservar de la acción directa del sol y de cualquier otra fuente de calor, todo material explosivo.
- Los artificios han de ser transportados por una persona diferente de quien transporte los explosivos. Ambas personas irán separadas una distancia prudencial.
- No se deben manipular los detonadores y artificios hasta el preciso momento de su utilización.
- No utilizar un embudo producido por una explosión para realizar otra hasta que aquél esté frío.
- Para las cargas en inmersión o en lugares muy húmedos y en las cargas interiores, el detonador se situará siempre en el exterior, activándose éstas con cordón detonante.
- No utilizar herramientas metálicas para atracar barrenos; usar siempre útiles de madera o plástico sin punta.
- No dar fuego a una carga hasta que todo el personal esté completamente a cubierto.
- En caso de fallo en la explosión, esperar siempre un tiempo de 30 minutos como mínimo antes de acercarse a la carga y comprobar a distancia que no sale humo de la misma, en cuyo caso no hay que acercarse.
- Los explosivos deben estar siempre vigilados y, si es posible, guardados bajo llave, y ésta en poder de una persona responsable.
- Todo jefe de Unidad, a cualquier nivel, que utilice explosivos o artificios en instrucción, prácticas o en cualquier misión, cuidará estrictamente de su control, comprobando las cantidades de cada tipo de explosivo que se reciben, cantidades que se consumen y cantidades sobrantes.
- Cuando se vayan a realizar roturas de piezas metálicas, colocarse como mínimo a una distancia de seguridad de 300 m en un

lugar que disponga a ser posible de protección tanto horizontal como vertical. La pieza a romper, si es posible, se debe colocar con su eje perpendicular a la dirección desde la zona de voladura a la zona de protección, y deberá estar en un embudo o protegida por una barrera de sacos terreros y apoyada en el suelo en toda su longitud, con el objeto de disminuir las proyecciones.

- Cuando se esté realizando una voladura con barrenos, no se debe realizar en el mismo frente la carga y la perforación por el peligro de chispas, elevación de temperatura, etc. El diámetro y forma de los cartuchos debe ser tal, que entre en el barreno sin forzar.

9.2.b. MECHA PIROTÉCNICA

- Emplear como mínimo 50 cm de mecha pirotécnica, aunque se recomienda la utilización de longitudes superiores a 1 metro.
- Efectuar una prueba de velocidad de combustión con varios trozos del mismo carrete. Conviene desechar la mecha cuya velocidad de combustión no esté comprendida entre los 90 y 120 segundos por metro.
- Despreciar siempre los 10 primeros centímetros bien sea al trabajar con un carrete ya utilizado o con uno nuevo.
- Manipular suavemente y sin retorcer en bajas temperaturas.
- En caso de fallo, mantener un tiempo de espera no inferior a 30 minutos.

9.2.c. DETONADORES PIROTÉCNICOS

- No soplar para extraer la suciedad del interior; mejor sacudirlos suavemente boca abajo.
- No colocarlos cercanos a las fuentes de calor o expuestos al sol.
- No utilizar ninguna herramienta metálica para extraerlos de sus cajas de transporte.
- No forzar la entrada en el explosivo; utilizar el escariador.
- No cerrar la boca del detonador con los dientes; utilizar los alicates de artificiero.
- No abrir un detonador para ver su contenido.
- Mantenerlos en sus empaques originales hasta el momento de su utilización.

9.2.d. DETONADORES ELÉCTRICOS

Además de las consideraciones del apartado anterior, excepto la primera, hay que tener en cuenta las siguientes:

- Mantener las rabizas cortocircuitadas hasta el momento de su utilización.
- No tirar de las rabizas.
- La línea ha de estar cortocircuitada en el principio de línea, posteriormente se coloca el detonador en el final de línea, después se ceba la carga y por último se conecta el principio de línea al explosor justo en el momento previo a dar fuego.
- Antes de utilizar un detonador eléctrico, comprobar que no estamos en una zona de redes eléctricas, emisoras, tormentas, etc. El operador debe descargarse de su electricidad estática tocando con sus manos en tierra en una zona húmeda; debe evitar llevar ropa de nylon y calzado con suela de goma. Como orientación se dan las distancias de seguridad a líneas eléctricas en la tabla 9.1. Respecto a las tormentas, se debe evitar trabajar con detonadores eléctricos si la tormenta está a menos de 7 km cuando sean detonadores altamente insensibles o de 11 km cuando sean detonadores ordinarios.
- En caso de tener que realizar una voladura en zonas próximas a líneas eléctricas, etc., utilizar detonadores de sensibilidad adecuada.
- Cuando se está dentro de un vehículo con emisora de radio o en un helicóptero, comprobar que las rabizas están cortocircuitadas y no se pueden soltar. La tabla 9.2 nos indica las distancias de seguridad respecto a radioteléfonos portátiles y emisoras de radio.
- Aislar los empalmes con cinta aislante o con conectores especiales.
- Comprobar la línea con el comprobador antes de dar fuego.
- Comprobar que la intensidad de corriente que se va a utilizar en el encendido es como mínimo igual a la recomendada para ese tipo de detonador.
- No utilizar en la misma línea detonadores de diferentes características eléctricas.
- En caso de utilizar un explosor para dar fuego al sistema, el elemento de seguridad del mismo (manivela en el caso del explo-

DIFUSION LIMITADA

sor reglamentario u otro en caso de utilizar otro tipo de explosor) debe estar en poder de la persona designada para dar fuego o en su defecto por el responsable de la operación, para que en ningún caso pueda activarse el explosor y darse fuego de forma accidental.

TABLA 9.1. Distancias de seguridad a líneas eléctricas

TENSIÓN DE LA LÍNEA (V)	DISTANCIA (m)
Hasta 1.000	10
De 1.000 a 6.000	20
De 6.000 a 11.000	50
De 11.000 a 60.000	100
Más de 60.000	200
Líneas de ferrocarril electrificadas a cualquier tensión	300

TABLA 9.2. Distancia de seguridad de radioteléfonos portátiles y emisoras de radio

RADIOTELÉFONOS PORTÁTILES	
POTENCIA (W)	DISTANCIA (m)
Hasta 10	2
10-30	3,5
30-60	5
60-120	10
EMISORAS	
POTENCIA (W)	DISTANCIA (m)
Hasta 25 W	50
De 25 a 100 W	75
De 100 a 500 W	150
De 500 W a 1 kW	400
De 1 a 5 kW	500
De 5 a 10 kW	750
De 10 a 25 kW	1.200
De 25 a 50 kW	1.700
De 50 a 100 kW	2.350
De 100 a 500 kW	5.000

9.2.e. EXPLOSIVOS

- Cuando se utilice explosivo plástico, moldearlo lo menos posible para evitar cambiar su densidad.
- Si algún trozo de explosivo ha quedado sin explosionar, después de un tiempo de espera mínimo de 30 minutos, proceder a su destrucción; no utilizarlo como una carga o parte de ella.
- Mantener las especificaciones de conservación para cada tipo de explosivo.
- Antes de manejar dinamitas, comprobar su estado. Si está exudada o congelada, no emplear. Se procederá a su destrucción. No intentar descongelar la dinamita congelada metiendo los cartuchos en los bolsillos; en caso de que sea necesario, descongelarla calentando al baño María. Cuando haya que cortar cartuchos de dinamita, no hacerlo directamente con útiles cortantes que produzcan roce; es preferible cortar la envuelta exterior y partir el cartucho con la mano.

9.3. ENTREGA Y RECEPCIÓN

Todo el que reciba material explosivo estará al corriente de las normas vigentes para su transporte, almacenamiento y, en su caso, su utilización. Deberá saber también examinarlo y darse cuenta de su estado de conservación.

9.4. CONSERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO

El almacenamiento se debe realizar con precaución. Cuando se almacenan cajas superpuestas, se apilarán con la tapa hacia arriba, no excediendo la altura de apilamiento de 1,5 m. En el caso de que se utilicen palets, la altura podrá alcanzar 3 m. Las pilas deben estar separadas del suelo por durmientes de madera, así como de las paredes, y deben ser homogéneas en cuanto a la clase de elementos a almacenar y a las materias explosivas de que están constituidas.

En caso de ser necesaria iluminación artificial, se debe utilizar únicamente la lámpara eléctrica de seguridad.

Las sustancias explosivas se deben almacenar de forma que se dé salida primero a las de mayor antigüedad, siguiendo el mismo orden de entrada en el depósito. El encargado de la distribución debe evitar la entrega de los productos cuyo estado de conservación sea sospechoso.

En ningún caso se podrán almacenar explosivos y detonadores juntos. Estos últimos se deben almacenar sobre estanterías de madera aisladas de paredes y suelos.

Se debe tener especial precaución para evitar la humedad, por lo que debe disponerse de productos secadores, como cal viva, carbón vegetal, etc. Asimismo hay que vigilar que la temperatura no supere los 30°, debiendo disponerse de termómetros de máxima y mínima y facilitando la ventilación y enfriamiento por medio de ventanas, sombreros, pintura de las paredes con cal, sembrado de taludes próximos con musgo, etc.

La persona responsable del movimiento del explosivo en los depósitos no podrá entregarlos en ningún caso, mas que mediante recibo y a personas autorizadas.

Es preceptivo el uso de un libro registro, que se llevará al día con entradas, salidas y existencias.

9.4.a. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Cebado: Acción de colocar en una carga un artefacto que contiene un explosivo sensible destinado a producir una onda explosiva.

Compatibilidad: Se considera que las municiones y los explosivos son compatibles si pueden almacenarse o transportarse juntos sin aumentar de forma notable, bien la probabilidad de un accidente o bien, para una cantidad dada, la gravedad de sus efectos.

Distancia de seguridad: Distancia mínima admisible entre un lugar de explosión potencial y un lugar expuesto. Corresponde a un riesgo considerado como aceptable para las personas y los bienes, tanto en caso de incendio generalizado como de explosión.

Empaque: Embalaje que contiene o protege un número variable de envases, según la munición. El empaque debe ser:

- Doble: uno interior, antihumedad, de hojalata, cinc o plástico, y otro exterior, para transporte, de madera.
- Sencillo: una o varias cajas de madera.

9.4.b. GRUPOS DE RIESGO

9.4.b.(1). Generalidades

Para garantizar la seguridad en el almacenamiento y transporte de mercancías peligrosas, la ONU ha establecido un Sistema Internacional de Clasificación que las divide en 9 clases (1 a 9). De ellas, la Clase 1, que comprende las municiones y explosivos, se desglosa en cuatro Grupos de Riesgo, en función del que cabe esperar en el caso de accidente: explosión (Grupo 1.1), efectos de proyección (Grupo 1.2), incendio y radiación térmica (Grupo 1.3) y ausencia de riesgo significativo (Grupo 1.4). El objeto de utilizar esta división de riesgos es facilitar tanto la tarea de confeccionar normas para un almacenamiento y transporte seguros, como la de cumplir dicha norma mediante la identificación de embalajes y municiones por medio de un sencillo código numérico.

Las recomendaciones de la ONU incluyen un quinto Grupo 1.5: (Sustancias muy insensibles), que comprende sustancias explosivas tan insensibles que su iniciación o el paso de su combustión a su detonación es muy poco probable en condiciones normales.

A efectos de almacenamiento y transporte, estas sustancias del Grupo 1.5 se consideran incluidas en el Grupo 1.1, puesto que si se produjese una explosión, el riesgo sería el mismo que el de las sustancias incluidas en él.

9.4.b.(2). Definiciones de los grupos de riesgo

Grupo de riesgo 1.1

Este Grupo comprende las municiones y explosivos que entrañan peligro de explosión masiva.

Los principales peligros de este Grupo son la onda explosiva, las proyecciones a alta velocidad y otras proyecciones de velocidad relativamente inferior. Dicha explosión suele traducirse en grave daño a las construcciones, determinándose su gravedad y alcance en razón a la cantidad de explosivo que la produce.

Puede haber, también, peligro de proyecciones, procedentes de la rotura de los edificios o del cráter producido en el suelo.

Grupo de riesgo 1.2

Este Grupo comprende las municiones y explosivos que entrañan peligro de proyecciones por explosión pero no explosión masiva.

El peligro consiste en combustiones y explosiones progresivas, pero nunca en gran número a la vez. Fragmentos, tizones y municiones sin explotar pueden ser proyectados en gran número, pudiendo alguno de ellos explotar con el impacto y entorno inmediato. Al objeto de determinar las distancias mínimas se hace una distinción según el tamaño y el alcance de los fragmentos, entre aquellos que generan pequeños fragmentos de alcance moderado y los que producen grandes fragmentos con un considerable alcance.

Grupo de riesgo 1.3

Comprende municiones y explosivos que entrañan peligro de incendio o bien ligero peligro de explosión y/o proyecciones pero no peligro de explosión masiva.

Incluye sustancias que arden con gran violencia e intenso calor emitiendo considerable radiación térmica (peligro de incendio masivo) y sustancias que arden esporádicamente. Las sustancias de este Grupo pueden explotar, pero, por lo general, no dan origen a fragmentos peligrosos, aunque sí a la proyección de tizones.

Grupo de riesgo 1.4

Comprende las municiones y explosivos que no presentan peligro significativo.

Incluye sustancias que tienen un riesgo moderado de incendio, por lo que no contribuyen decisivamente a su propagación, quedando los efectos confinados en gran parte a empaques y envases o contenedores. No deben esperarse fragmentos de apreciable tamaño o alcance.

Un incendio exterior no provoca la explosión simultánea de todo el contenido de un mismo empaque o embalaje.

9.4.c. GRUPOS DE COMPATIBILIDAD

9.4.c.(1). Principios generales

- a) Las municiones y explosivos no deben almacenarse junto a otros productos que puedan ponerlas en peligro, tales como materiales muy inflamables, ácidos o agentes corrosivos.
- b) La seguridad de municiones o explosivos se garantiza más fácilmente si se almacena cada tipo por separado, pero el almacenamiento ideal puede no ser posible. El equilibrio entre los intereses de la seguridad y otros factores exige almacenar normalmente en un mismo depósito diferentes tipos de municiones y explosivos.
- c) Sólo se pueden almacenar conjuntamente tipos de municiones y explosivos si son compatibles.
- d) El número de artículos que requieran almacenamiento separado no debe perturbar indebidamente la organización y funcionamiento técnico de un polvorín en su misión de expedir, en caso de emergencia, municiones y explosivos rápidamente con un mínimo de personal, equipo y manipulación y medios de transporte.
- e) Se debe mantener al mínimo el número de elementos que requieran ser almacenados separadamente para evitar que sea excesiva la superficie de terreno necesaria y los costos de las instalaciones de transporte y seguridad.
- f) La clasificación de compatibilidad para almacenamiento y transporte debe ser la misma.
- g) La totalidad de las municiones y explosivos de un mismo Grupo de Compatibilidad deben almacenarse, si es posible, en un mínimo de dos depósitos suficientemente separados, a fin de evitar, en caso de accidente, la destrucción total de este tipo de munición o explosivo.

9.4.c.(2). Clasificación

Las municiones o explosivos se consideran compatibles si reúnen simultáneamente los dos registros siguientes: que se puedan almacenar o transportar juntos sin incrementar significativamente la probabilidad de accidente, y que la magnitud del accidente, en caso de producirse, no sea mayor que la provocada por el mismo peso bruto de una sola clase de munición o explosivo.

En este sentido, las municiones y explosivos se clasifican en los siguientes Grupos de Compatibilidad.

- Grupo A: Explosivo iniciador.
- Grupo B: Munición que contiene explosivo iniciador sin poseer dos o más mecanismos de seguridad independientes.
- Grupo C: Explosivo deflagrante o munición que lo contenga.
- Grupo D: Explosivo rompedor, pólvora negra o munición, que contenga explosivo rompedor, en todos los casos sin sus medios de iniciación ni su carga de proyección. Incluye también la munición que contiene explosivo iniciador con dos o más mecanismos de seguridad independientes.
- Grupo E: Munición que contiene explosivo detonante secundario sin sus medios de iniciación pero con su carga de proyección, siempre que ésta no sea un líquido inflamable o hipergólico.
- Grupo F: Munición que contiene explosivo detonante secundario con sus medios de iniciación y con o sin carga de proyección, siempre que ésta no sea líquido inflamable o hipergólico.
- Grupo G: Sustancia pirotécnica y la munición que la contiene o munición que contenga, simultáneamente o no, un explosivo junto a sustancias iluminantes, incendiarias, lacrimógenas o fumígenas con la excepción de las activadas por agua o de las que contienen fósforo, fosfuro o gel inflamable.
- Grupo H: Munición que contiene un explosivo y fósforo blanco.
- Grupo J: Munición que contiene un explosivo y un líquido o gel inflamable.
- Grupo K: Munición que contiene un explosivo y un agente químico tóxico.

- Grupo L: Munición o explosivo que presente riesgos especiales que exijan su aislamiento.
- Grupo S: Munición empacada o diseñada de tal forma que los efectos producidos por su explosión accidental quedan limitados al interior del empaque o a su vecindad inmediata, salvo que dicho empaque se hubiese deteriorado como consecuencia de un incendio externo. Constituyen las llamadas *Municiones de empaque de seguridad*.

9.4.c.(3). Notas sobre los grupos de compatibilidad

- a) El Grupo de Compatibilidad D sólo se aplica cuando el explosivo detonante secundario o la pólvora negra están correctamente empacados en envases estancos al polvo. En cualquier otro caso se aplica el Grupo de Compatibilidad L.
- b) Los Grupos de Compatibilidad D o E pueden aplicarse a munición con su espoleta o empacada con ella si está debidamente protegida.
- c) El Grupo de Compatibilidad F no se aplica a munición con su espoleta o empacada con ella, si ésta no está debidamente protegida.
- d) El Grupo de Compatibilidad S corresponde a la Munición y Explosivo de Seguridad que constituye parte del Grupo de Riesgo 1.4.

9.4.c.(4). Almacenamiento mixto

- a) Las sustancias inertes y las municiones y explosivos del Grupo de Compatibilidad S pueden almacenarse con sustancias de cualquier Grupo de Compatibilidad, salvo los A y L.
- b) Las municiones de los Grupos de Compatibilidad C, D y E se pueden almacenar juntas.
- c) Las municiones de distintos Grupos de Compatibilidad, que no sean los A y L, se pueden almacenar en el mismo edificio si por circunstancias especiales es necesario. En cualquier caso deberá ser aprobado por la autoridad que corresponda.

DIFUSION LIMITADA

- d) Las espoletas y otros elementos de los disparos completos pueden ser almacenados, sin previa autorización, en los mismos edificios que las municiones a los que van destinados. En ese caso el Grado de Compatibilidad es el del disparo completo.
- e) En determinadas circunstancias, y como una concesión básica basada en necesidades operativas (por lo que debe limitarse a casos de auténtica necesidad), ciertas municiones (completas o incompletas, con o sin explosivo) pueden almacenarse junto a otras de diferente Grupo de Compatibilidad, siempre y cuando sean, por lo menos en cierto modo, afines, aunque la estricta interpretación del Grupo de Compatibilidad prescriba no hacerlo.

9.4.d. ESQUEMA DE CLASIFICACIÓN DE EXPLOSIVOS

En el siguiente cuadro se muestra la clasificación de explosivos en función del Grupo de Riesgo y Grupo de Compatibilidad.

TABLA 9.3. Combinación de los Grupos de Riesgo y los Grupos de Compatibilidad

	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	S
1.1	1.1A	1.1 B	1.1C	1.1 D	1.1E	1.1F	1.1 G		1.1J		1.1 L	
1.2		1.2 B	1.2C	1.2 D	1.2E	1.2F	1.2 G	1.2 H	1.2J	1.2 K	1.2 L	
1.3			1.3C			1.3F		1.3 H	1.3J	1.3 K		
1.4			1.4C		1.4E	1.4F	1.3 G				1.3 L	1.4 S
				1.4 D			1.4 G					

9.5. GENERALIDADES SOBRE DISTANCIAS DE SEGURIDAD

Los depósitos de explosivos y municiones, tales como edificios, pilas de explosivos y vehículos (camiones, plataformas y vagones de

ferrocarril), entrañan un evidente peligro para el personal y las propiedades, por ser lugares en donde puede producirse la explosión.

Por tanto, estos lugares deberán estar situados entre sí, y respecto a otros edificios e instalaciones, a distancias cuidadosamente calculadas, para garantizar el mínimo peligro posible para dicho personal y propiedades (incluidas las municiones). A estas distancias se les llama *Distancias de Seguridad*, y están tabuladas en el *Manual Interejércitos de Almacenamiento de Municiones y Explosivos para las FA,s Españolas* (EMACON, Feb-91).

9.5.a. CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO DE LOS DEPÓSITOS PROVISIONALES Y DE CAMPAÑA

En este apartado sólo se trata de depósitos provisionales y de campaña, ya que los polvorines fijos no son objeto de estas Orientaciones.

Un depósito de campaña sólo debe contener munición perteneciente a un Grupo de Riesgo, excepto la munición perteneciente al Grupo de Riesgo 1.4, que puede ocupar cualquier zona vacía del depósito.

Toda edificación que, sin estar diseñada para ello, se vaya a dedicar al almacenamiento de explosivos, debe acondicionarse para ello lo antes posible.

Los locales no deben estar pared con pared con lugares habitados o viviendas.

Los locales deben permitir almacenar por separado los explosivos, pólvoras e iniciadores, según los grupos de compatibilidad dados anteriormente.

El terreno en el que se ubique debe proporcionar por su topografía protección ante explosiones fortuitas así como facilitar el enmascaramiento. Hay que dar importancia preferente a evitar que el explosivo pueda verse afectado por la humedad y la temperatura, que deberá oscilar entre los 10° y 30°. En este sentido, hay que hacer las reformas necesarias, para asegurar la impermeabilidad de la techumbre, evitar que los rayos solares penetren por los cristales, pintando éstos si fuera necesario de blanco, y asegurar la ventilación de los locales.

Las ventanas y puertas deben cerrar perfectamente y deben abrirse de dentro hacia fuera.

Para evitar incendios, debe eliminarse todo resto de instalación eléctrica antigua y evitar que queden cables en el exterior, debiendo ir éstos en tubos con cajas de conexión para los empalmes, y las bombillas deben ir en hornacinas de doble cristal. El edificio debe estar provisto de protección natural contra los rayos o de pararrayos y debe tener cortafuegos y estar limpio de todo material que pueda producir incendios.

El almacenamiento en campaña se hace en nichos de municiones, que son cavidades de forma prismática hechas en el terreno en la pared de una zanja paralela al frente y precisamente en la que da más a vanguardia. Los nichos deben estar protegidos del fuego enemigo, del calor y de la humedad. Para ello, debe tener protección de espesor suficiente para resistir el impacto de proyectiles, debe evitarse que los rayos de sol incidan directamente sobre el explosivo cubriéndolo con chapa, lonas o ramas, el suelo y paredes del nicho deben estar recubiertas de madera, corcho o chapa de cinc y hay que colocar las pilas separadas unos 20 cm de la pared. La ubicación del nicho debe estar próxima a carreteras o caminos, pero a una distancia prudencial de ellos; la explanada de asiento de las pilas debe tener una ligera pendiente para que el agua pueda evacuarse y debe limpiarse el terreno de toda clase de ramas y vegetación.

9.6. TRANSPORTE

El traslado de material explosivo se ajustará a las normas observadas en el apartado 9.4, manteniendo siempre las compatibilidades.

Se evitarán, siempre que sea posible, los convoyes mixtos de personal y material explosivo, teniendo en cuenta que el transporte se realizará con la debida escolta.

Los vehículos que transportan explosivos deberán llevar el símbolo de la figura 9.1. El símbolo contiene una explosión con un fondo anaranjado.

La carga de explosivos y artificios en los vehículos debe hacerse con los motores parados, evitando golpes y colocándolo de tal forma que se eviten los golpes y traqueteos durante el traslado, sujetándolos con tarugos de madera y nunca con piedras o metales. Asimismo se evitarán los aplastamientos y roces con objetos punzantes o duros.

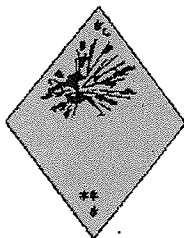


Figura 9.1

Los camiones que realicen transporte de explosivos deben estar cubiertos o tapados con lonas impermeables.

Las marchas se harán a velocidad moderada y en los vehículos no debe ir montado más que el explosivo y el personal de escolta y conductores.

En los transportes por ferrocarril, el explosivo se carga en vagones especiales que deben ir separados de la máquina al menos por cuatro unidades. La escolta debe ir en el vagón contiguo y debe impedir que en las paradas se abran los vagones o se acerque a ellos personal no autorizado. Al llegar a la estación de destino, la descarga debe hacerse lo antes posible, evitando que la carga esté más de 12 horas cargada después de la llegada.

9.7. DESTRUCCIÓN DEL EXPLOSIVO

9.7.a. MÉTODOS

La destrucción de municiones y explosivos puede efectuarse por detonación, combustión y cualquier otro procedimiento seguro de eliminación de la materia activa o transformación a inerte de la misma. La elección del método de destrucción dependerá de una serie de factores, entre los que merece destacarse el número de unidades que deben ser destruidas, el tamaño y naturaleza de cada unidad, los medios disponibles y la morfología del terreno en su caso.

9.7.b. RESPONSABILIDADES

Toda munición o explosivo, incluido en cadena logística y no manipulado, no alterado o no disparado, es responsabilidad del Servicio de Municionamiento.

El material incluido en cadena logística, manipulado regularmente o alterado por efectos conocidos, que no presenta riesgo especial, será responsabilidad del Servicio de Municionamiento. Cuando existan motivos de descontrol (catástrofes naturales, explosiones parciales, accidentes, etc.), se deberá solicitar la cooperación de los EDE,s (Equipos del Servicio de Desactivación de Explosivos).

Por el contrario, la munición explosiva disparada y no explosionada será competencia de los EDE,s, en íntima colaboración con las Unidades de Ingenieros, cuando el volumen así lo requiera. Las Orientaciones de Empleo de los TEDAX regularán estas actuaciones en detalle.

Los artefactos improvisados serán desactivados por los EDE,s.

Los depósitos de municiones y explosivos capturados al enemigo serán inicialmente inspeccionados por EDE,s del Servicio de Desactivación de Explosivos antes de pasar al Servicio de Municionamiento cuando proceda para custodia o para recuperación.

El tratamiento y disposición final de la munición obsoleta o de origen desconocido, corresponde a los EDE,s del Servicio de Desactivación de Explosivos.

9.7.c. NORMAS

Con frecuencia, resulta necesaria la destrucción de pequeñas cantidades de explosivos sobrantes. Estas recomendaciones resultan aplicables a este caso. Cuando se trata de cantidades considerables o explosivos sospechosos de estar en mal estado, cuyas características pueden estar modificadas, se debe contar con el asesoramiento de un técnico especialista (TEDAX) que dirija los trabajos y establezca las medidas de seguridad necesarias en cada caso.

Por tratarse de una operación no muy habitual, se deben extremar las precauciones y observar estrictamente las recomendaciones que se exponen a continuación.

La destrucción puede hacerse por uno de estos procedimientos:

- Destrucción por explosión.
- Destrucción por combustión.
- Destrucción por disolución en agua.

Para la elección del método más apropiado en cada caso, se debe tener en cuenta una serie de factores condicionantes, tales como: características topográficas de la zona, cantidad de explosivo a destruir, tipo de explosivo, etc.

Tanto si se trata de destrucción por explosión como por combustión, deben considerarse unas distancias de seguridad tanto con respecto a zonas habitadas y de paso, como al personal que realiza la destrucción.

Las cantidades de explosivo a destruir dependen del método que se vaya a utilizar, y sobre todo, de las distancias de seguridad disponibles. La tabla 9.4 muestra las distancias de seguridad entre partidas de explosivo a destruir.

Si se emplea el método por explosión, es conveniente fraccionar el explosivo lo más posible, utilizando detonadores secuenciados.

Cuando la destrucción se efectúa por combustión, no se debe sobrepasar de 12,5 kg por operación. Las diversas partidas deben situarse con una separación entre sí tal que la explosión de una partida no origine la de las adyacentes.

**TABLA 9.4. Distancias entre partidas de explosivo
a destruir**

CANTIDADES DE EXPLOSIVO A DESTRUIR	DISTANCIA MÍNIMA ACONSEJABLE
Hasta 1 kg	2 m
De 1 a 2 kg	3 m
De 2 a 5 kg	5 m
De 5 a 10 kg	7 m
De 10 a 25 kg	10 m
De 25 a 50 kg	15 m
De 50 a 100 kg	20 m

9.7.c.(1). Destrucción por explosión

En ciertos casos, pueden resultar el método más aconsejable para la destrucción de pequeñas cantidades de explosivo, por su rapidez y, sobre todo, porque se realiza mediante una técnica que el usuario conoce perfectamente.

Dentro de este sistema de destrucción existen distintas variantes:

- *Explosión al aire*. Este procedimiento suele ser bastante utilizado por su simplicidad. Sin embargo, no es muy aconsejable, ya que a pesar de que sólo se destruyan cantidades relativamente pequeñas de explosivo en cada disparo, la onda aérea que se genera es de elevada intensidad. Al elegir el lugar donde se va a realizar la destrucción, se deben guardar unas distancias mínimas de seguridad, en función del peso de explosivo que se va a detonar. Estas distancias, que figuran en las tablas 9.5 y 9.6, no garantizan nada contra la eventual rotura de algún cristal; para ello, las distancias tendrían que ser tres veces superiores. Pero incluso con estas nuevas distancias, el nivel de ruido resultaría molesto para las personas. Las condiciones topográficas y meteorológicas pueden incrementar considerablemente la intensidad de onda aérea en ciertas direcciones.

TABLA 9.5. Distancias mínimas a lugares habitados y vías de comunicación

CANTIDADES DE EXPLOSIVO A DESTRUIR	DISTANCIA MÍNIMA ACONSEJABLE
Hasta 1 kg	150 m
De 1 a 2 kg	200 m
De 2 a 5 kg	250 m
De 5 a 10 kg	325 m
De 10 a 25 kg	450 m
De 25 a 50 kg	550 m
De 50 a 100 kg	700 m

TABLA 9.6. Distancia de protección del personal encargado de la destrucción

CANTIDADES DE EXPLOSIVO A DESTRUIR	DISTANCIA MÍNIMA ACONSEJABLE
Hasta 1 kg	50 m
De 1 a 2 kg	60 m
De 2 a 5 kg	75 m
De 5 a 10 kg	100 m
De 10 a 25 kg	125 m
De 25 a 50 kg	150 m
De 50 a 100 kg	200 m

- *Explosión bajo arena.* Mediante este sistema, se reduce considerablemente el nivel de ruido, dependiendo del espesor de la capa de arena. Tiene como principal inconveniente que, en caso de producirse un fallo, resulta difícil recuperar el explosivo no destruido. Si se trata de cordón detonante, este problema no existe, consiguiéndose buenos resultados utilizando espesores de arena del orden de 20 a 30 cm.

9.7.c.(2). **Destrucción por combustión**

Es sin duda el más utilizado para la destrucción de pequeñas cantidades de explosivo sobrante. El riesgo de este procedimiento radica en que existe la posibilidad de que la combustión se transforme en una deflagración o una detonación.

Una de las formas de activación de los explosivos es por calentamiento. Al alcanzarse una determinada temperatura se inicia la reacción. En este proceso de transición de combustión a detonación, juegan un papel muy importante la cantidad de explosivo y, sobre todo la dimensión de los cartuchos, siendo el riesgo más del doble en un cartucho de 65 mm de diámetro que en uno de 26 mm. También es muy desfavorable el confinamiento del explosivo.

Por lo tanto, el lugar donde se realice la destrucción debe guardar las correspondientes distancias de seguridad en función de la cantidad de explosivo.

Para proceder a la destrucción se prepara una cama de leña fina u otro material combustible, tal como paja, papel, serrín, etc., de dimensiones apropiadas a la cantidad de explosivo. Los cartuchos se extienden sin formar montón, evitando que se salgan de la cama o estén en contacto con el suelo.

Nunca deben quemarse los explosivos dentro de sus embalajes, y se debe evitar cualquier tipo de confinamiento.

El sentido de propagación del fuego debe ser contrario a la dirección del viento, a fin de impedir que la llama dirigida por el viento, provoque un excesivo calentamiento del explosivo.

El terreno elegido para la destrucción debe ser lo más llano posible, y en cualquier caso el inicio del fuego debe hacerse por la parte más alta de la pendiente.

Terminada la operación, se debe dejar pasar un tiempo prudencial, para comprobar que no han quedado restos de explosivo sin quemar.

9.7.c.(3). Destrucción por disolución

En general, es el mejor método de destrucción de los explosivos pulverulentos sin nitroglicerina. Concretamente la Nagolita se disuelve en agua con suma facilidad.

9.7.c.(4). Destrucción del cordón detonante

El cordón detonante arde bien, y el recubrimiento de polivinilo ayuda a la combustión. Por lo tanto, la mejor forma de destruir el cordón detonante es extendiéndolo longitudinalmente sobre una cama de leña fina. Nunca debe quemarse en los carretes, ya que el confinamiento que ello implica, unido a la elevación de temperatura, puede provocar la detonación. También puede destruirse detonándolo. Si existieran problemas de onda aérea, con un simple recubrimiento de 20 a 30 cm de tierra se reduce el nivel de ruido de forma considerable.

9.7.c.(5). Destrucción de detonadores

Se puede utilizar el sistema de explosión; para ello se forman mazos de unos 25 detonadores agrupados con cinta adhesiva y con los hilos de conexión hacia una misma dirección. En contacto con las cápsulas se coloca explosivo plástico activado con un cebo.

Los detonadores pirotécnicos se pueden destruir sin sacar de sus empaques en bloques de tres y rodeados de explosivo plástico. Hay que tener en cuenta que en esta operación se producen muchas proyecciones de metralla.

CAPÍTULO 10

FICHA DE OBSTÁCULO Y ÓRDENES DE DESTRUCCIÓN

10.1. FICHA DE OBSTÁCULO (STANAG 2123)

El objetivo de la ficha (STANAG 2123) es establecer procedimientos normalizados por todas las naciones OTAN en relación con la preparación de todo tipo de obstáculos con medios no nucleares.

Hay que resaltar que esta ficha es para la preparación de destrucciones desde tiempo de paz.

La ficha de destrucciones se compone de las siguientes partes:

1. Ubicación del objetivo. Se darán todos los datos necesarios para su perfecta identificación.
2. Suministro de munición y explosivos.
3. Instrucciones técnicas para la preparación.
4. Procedimiento de transferencia de responsabilidades.
5. Informe de la destrucción.

DIFUSION LIMITADA

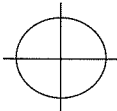
FICHA DE OBSTÁCULO (STANAG 2123)

Tipo de obstáculo		Abrev.	
Clase	Preliminar	Reservado	

Nº de orden del Cuerpo de Ejército								Nº de objetivo							
														Nº de ejemplar	

1	FOTOGRAFIA DE OBSTÁCULO
---	-------------------------

Foto	
Descripción (Abrev.)	



Indicar la dirección de la visual

Nombre y escala del mapa
Coordenadas:

DIFUSION LIMITADA

1A	LOCALIZACIÓN DE OBSTÁCULOS Y DEL PUNTO DE ALMACENAMIENTO PREVIO
-----------	--

Mapa de escala 1:250.000 indicando el
obstáculo y el punto de almacenamiento
previo, así como el itinerario entre ambos.

Indicar (si lo hay) el teléfono más próximo
que dé acceso a la Red Militar

ESCALA

1:250.000

1B	LOCALIZACIÓN DEL OBSTÁCULO
-----------	-----------------------------------

Mapa de escala 1:50.000 con
la situación del obstáculo y
los obstáculos próximos

ESCALA

1:50.000

DIFUSION LIMITADA

2	SUMINISTRO DE EXPLOSIVOS Y MATERIAL PARA EL OBSTÁCULO
---	--

1.	PUNTO DE ALMACENAMIENTO PREVIO	NOMBRE: COORDENADAS:	Localización Ver mapas páginas
2.	VEHICULOS NECESARIOS	NUMERO: CAMIONES DE: TONELADAS:	
3.	ITINERARIO	Ver planos páginas	
4.	DISTANCIAS	Distancia aproximada entre el punto de almacenamiento previo y el obstáculo	_____ km
5.	EXPLOSIVOS Y MATERIAL NECESARIO	Ver páginas	
6.	LUGAR DE ALMACENAMIENTO DE MATERIAL ADICIONAL PARA OBSTÁCULOS	Nombre y escala del plano: Coordenadas:	

2a	SITUACION DEL PUNTO DE ALMACENAMIENTO PREVIO
----	--

Mapa de escala 1:50.000 con la situación y accesos

ESCALA	1:50.000
---------------	-----------------

DIFUSION LIMITADA

2b	PLANO DEL PUNTO DE ALMACENAMIENTO PREVIO
----	--

Plano o croquis (escala 1:5.000) mostrando las entradas, itinerarios, almacenes (bunkers) donde están almacenados los explosivos, material, etc.	
ESCALA	1:5.000

2c	INSTRUCCIONES PARA ABRIR LA PUERTA DEL DEPÓSITO DE CARGAS O MUNICIONES
----	---

INSTRUCCIONES PARA LA APERTURA DE LOS DEPÓSITOS DE CARGAS O MUNICIONES (BUNKERS DE 5 TONELADAS)

¡ATENCIÓN!

Procure no dañar las llaves. Toda operación de apertura/cierre debe efectuarse con todo cuidado. Todas las llaves están marcadas con un número de orden y una letra (1a, 1b, 2a, etc.) que corresponden a la secuencia de puertas instaladas. Las llaves largas están marcadas con una muesca que indica su parte superior. No forzar nunca las llaves.

PUERTA DE VERJA:

Llave núm. 1a: Desbloquear el candado de detrás de la puerta y bajar el picaporte.

Llave núm. 1b: Abrir la cerradura que queda ahora expuesta.

PUERTA DE ACERO:

Llave núm. 2a: Abrir, levantar y poner de lado la placa de cubierta.

Llave núm. 2b: Introducir la llave núm. 2b en el agujero de la cerradura, abrirla girando media vuelta (180°).

Luego, girar el volante manualmente y abrir la puerta. En los depósitos que no tengan las llaves 3a y 3b, girar las llaves sólo un cuarto de vuelta (90°).

DIFUSION LIMITADA

PUERTA DE SEGURIDAD DE ACERO:

Llave núm. 3a: Abrir y levantar la placa de cubierta.

Llave núm. 3b: Introducir la llave larga principal en el agujero de la cerradura y girar un cuarto de vuelta a derechas (*), girar la barra de manio-
bra y abrir la puerta, luego volver a colocar la barra en su posición inicial y
retirar la llave principal. Abrir la puerta completamente.

PUERTA DE PRESIÓN:

Llave núm. 4a: Abrir la cerradura de seguridad y descorrer los cerrojos
superior e inferior.

Llave núm. 4: Abrir (de igual forma) la puerta del depósito de artificios.

Para cerrar las puertas, proceder en orden inverso, teniendo en cuenta
que, al volver a poner las placas de cubierta de las puertas núm. 2a y 3a, las
marcas se encuentran en yuxtaposición unas con otras.

(*) — A derechas, si los goznes está a la derecha.

— A izquierdas, si los goznes están a la izquierda.

LLAVES PARA EL DEPÓSITO DE CARGAS O MUNICIONES

EL PORTADOR DE ESTE DOCUMENTO ESTÁ AUTORIZADO PARA ENTRAR EN EL PUNTO DE ALMACENAMIENTO DE MUNICIONES Y A RECOGER EN EL DEPÓSITO N.º :	
---	--

EL MATERIAL PARA EL OBSTÁCULO N.º:	
---------------------------------------	--

SI LAS LLAVES NO SE GUARDAN EN ESTA FICHA DE OBSTÁCULOS SU LOCALIZACIÓN EXACTA DEBE INDICARSE AQUÍ	
--	--

DIFUSION LIMITADA

2d	EXPLOSIVOS, MATERIAL, MINAS NECESARIAS
----	---

Obstáculo n.º	Depósito de munición:
---------------	-----------------------

	Designación	Cantidad	Peso
1	EXPLOSIVOS		
	Cargas de embudos		
	Explosivos Rompedores		
	Explosivos Plásticos		
	Cargas conformadas		
	Cargas de Corte		
2	ARTIFICIOS		
	Mecha lenta		
	Cordón detonante		
	Cebos pirotécnicos		
	Cebos eléctricos		
	Cápsulas iniciadoras		
	Multiplicadores		
	Explosores		
	Línea bifilar		
3	HERRAMIENTAS		
	Barras de minas		
	Palas		
	Picos		
	Sierras		
4	MATERIAL		
	Puntas		
	Alambre		
	Tablas de madera		
5	MINAS		
	Minas C/PE		
	Minas C/C		
	Espoletas		
b	PESO TOTAL (3+4+5)		kg
	PESO a+b		kg

3	ORDEN DE DESTRUCCIÓN Y/O FICHAS-REGISTRO DE CMAS
---	---

No completar hasta después del tendido del CMAS.

DIFUSION LIMITADA

3a	INSTRUCCIONES TÉCNICAS PARTICULARES	
Tiempo necesario para preparación y carga	Horas	Minutos
Tiempo de preparación para pasar del estado de preparación 1 (seguro) a 2 (activado)	Min	
Personal necesario para preparación y carga	Suboficiales	Tropa
Personal necesario para dar fuego	Suboficiales	Tropa
Organización del trabajo (adjuntar si es necesario)		
Dibujos y croquis		

Minas a) Minas adicionales

b) Un CMAS.

- ☐ Deben ser sembradas
- ☐ No deben ser sembradas
- ☐ Se encuentra próximo (indicar, en su caso, localización y documentos de referencia.)
- ☐ No se encuentra próximo

3b	CROQUIS DEL OBSTÁCULO
<p>Croquis y secciones del obstáculo mostrando líneas de corte y hornillos</p>	

DIFUSION LIMITADA

3c

CROQUIS DE LAS CARGAS

Planos y secciones mostrando
detalles de hornillos, líneas de
corte y localización de las cargas,
indicando cantidad de explosivos,
sistema de encendido, etc.

3d

CROQUIS DEL SISTEMA DE ENCENDIDO

Croquis mostrando los
circuitos de fuego
y punto de fuego

DIFUSION LIMITADA

3e	CAMPO DE MINAS O CAMPO DE MINAS DE PROTECCIÓN (en su caso)
----	---

Personal y tiempo necesario para el tendido		
Hombres	Horas	Minutos

Croquis del CMAS, previsto
Cuando esté tendido, dibujar el croquis
y rellenar ficha de registro

DIFUSION LIMITADA

4a

ENTREGA/RECEPCIÓN DEL OBSTÁCULO

Tipo de obstáculo	N.º de obstáculo
Coordenadas UTM.	Grupo fecha/hora
Estado de preparación en el momento de la entrega/recepción	

Trabajos que faltan para completar el obstáculo

Munición/material a entregar/recepcionar

La documentación del obstáculo será guardada en/por:

Responsable de la entrega:

Nombre:

Empleo:

Unidad:

Firma:

Responsable de la recepción:

Nombre:

Empleo:

Unidad:

Firma:

DIFUSION LIMITADA

5	INFORME DE DESTRUCCION
---	------------------------

- a. N.º de obstáculo
- b. Coordenadas
- c. Se dio fuego:
Grupo fecha/hora

d. Resultados obtenidos

(1) Puente	
Anchura de brecha m	N.º de tramos destruidos

(2) Carretera o pista: dimensiones, profundidad y localización de los embudos

(3) Minas sembradas: tipo(s) y número

(4) Otra información:

[illegible]

Grupo fecha/hora
Unidad
Destinatario
Nombre, empleo, firma

ÍNDICE DE CONTENIDOS

- (1) Fotografía de obstáculos
- (1a) Mapa mostrando la localización del obstáculo y el punto de almacenamiento previo, con el itinerario entre ellos.
- (1b) Plano mostrando el obstáculo (gran escala).
- (2) Punto de almacenamiento previo, vehículos necesarios, itinerario, distancia.
- (2a) Plano mostrando el punto de almacenamiento previo (gran escala).
- (2b) Plano del punto de almacenamiento previo.
- (2c) Depósito de cargas, instrucciones de apertura, llaves.
- (2d) Explosivos, materiales, minas necesarias.
- (3) Orden de destrucción y/o ficha-registro de CMAS.
- (3a) Instrucciones técnicas particulares, minas.
- (3b) Croquis del obstáculo.
- (3c) Croquis de cargas.
- (3d) Croquis del sistema de encendido.
- (3e) CMAS o CMAS de protección.
- (4) Entrega/recepción del obstáculo.
- (5) Informe de destrucción.

FICHA DE OBSTÁCULO CUMPLIMENTADA POR

Nombre, Empleo, Función, Fecha

Nombre, Empleo, Función, Fecha

FICHA DE OBSTÁCULO REVISADA POR

Nombre, Empleo, Función, Fecha

Nombre, Empleo, Función, Fecha

10.2. ÓRDENES DE DESTRUCCIÓN (STANAG 2017)

El objetivo de este acuerdo es normalizar los procedimientos a seguir por el Mando Autorizado para dar las órdenes necesarias al Jefe del Destacamento de Protección y al Jefe del Equipo de Destrucción que vayan a realizar el planeamiento, preparación, carga y/o ejecución de destrucciones en tierra por medios no nucleares.

10.2.a. ACUERDO

Las naciones participantes están de acuerdo en que los procedimientos que se prescriben serán los empleados para dar las órdenes necesarias a los jefes implicados en una destrucción.

10.2.b. GENERALIDADES

En caso de que la situación táctica lo exija, se podrán emplear procedimientos simplificados. Se seguirá la disposición y sistema de numeración de apartados prescrita en los Anexos B y C. Las versiones nacionales de la Orden de Destrucción se pueden redactar en las lenguas nacionales, pero se acuerda que una Orden de Destrucción estará compuesta por un mínimo de cuatro páginas en papel autocopiativo con los siguientes colores normalizados:

- a. Amarillo N.º 1: Ejemplar para el Jefe del Destacamento de Protección.
- b. Blanco N.º 2: Ejemplar para el Jefe del Equipo de Destrucción.
- c. Verde N.º 3: Ejemplar para el Mando Autorizado.
- d. Rosa N.º 4: Ejemplar adicional (preceptivo-exigible)¹
- e. Rojo N.º 5: Ejemplar adicional (obligatorio)¹

Normalmente, en una destrucción están implicados tres jefes²:

¹ Las copias adicionales se pueden emplear para entregarlas a los Oficiales de Enlace/Células de Planeamiento cuando se ordene la transferencia de las obstrucciones de un sector.

² Ver las definiciones en el AAP-19.

- a.* El Mando Autorizado es el mando militar que tiene la responsabilidad global. Emitirá y firmará la Orden de Destrucción. Es también quien da la orden de ejecutar la destrucción (para los detalles, ver el apartado “Procedimiento”).
- b.* El Jefe del Destacamento de Protección es el mando militar responsable de prestar seguridad táctica al objetivo que va a ser destruido. Dependiendo de la importancia táctica del objetivo, el Mando Autorizado podrá asignar a éste un Destacamento de Protección.
- c.* El Jefe del Equipo de Destrucción es el mando militar responsable de la preparación técnica y ejecución de la destrucción.

10.2.c. PROCEDIMIENTO

Cada Mando Autorizado:

- a.* Determinará la necesidad de establecer un Destacamento de Protección y, si es necesario, qué unidad debe proporcionarlo.
- b.* Establecerá un canal de enlace a través del cual transmitirá los códigos de ejecución, establecidos de acuerdo con el apartado 8 de la Orden de Destrucción, al Jefe del Destacamento de Protección o, si no se ha asignado un Destacamento de Destrucción, directamente al Jefe del Equipo de Destrucción.
- c.* Asegurarse de que este canal de enlace es conocido y comprendido por todas las autoridades a las que afecta.
- d.* Asignar los códigos de ejecución para objetivos aislados o grupos de objetivos. Un código de ejecución puede ser una palabra, un número o una serie de números, una letra o una serie de letras, o cualquier combinación de estos sistemas.
- e.* En el apartado 6 de la Orden de Destrucción se especificará si el Jefe del Destacamento de Destrucción o el Jefe del Equipo de Destrucción están autorizados para dar fuego a la destrucción por propia iniciativa, si el enemigo está a punto de capturar el objetivo.

Cuando una destrucción sea importante para el plan de operaciones, el Mando Autorizado podrá asignar un Destacamento de Protección, el jefe del cual es responsable de:

- a. Asegurarse, si así se le ordena, de que el objetivo no caerá intacto en manos del enemigo.
- b. Ordenar al Jefe del Destacamento de Destrucción el cambio del estado de preparación o dar fuego a las cargas.

En el Anexo A figuran las instrucciones para los Jefes de los Destacamentos de Protección y Destrucción. Estas instrucciones forman parte de la Orden de Destrucción.

La Orden de Destrucción se emitirá siempre las circunstancias o el tiempo lo permitan.

Una vez que la Parte I de la Orden de Destrucción se haya rellenado por el Mando Autorizado, los ejemplares se repartirán de acuerdo con la lista de destinatarios que figura en el formulario.

Una vez ejecutada una destrucción, los ejemplares N.^{os} 1 y 2 se devolverán lo antes posible, de acuerdo con las instrucciones que figuran en la Orden de Destrucción.

Los contenidos y numeración de los apartados en las versiones nacionales de la Orden de Destrucción deben adaptarse exactamente al formato establecido en el Anexo A. Las versiones nacionales de la Orden de Destrucción deben ser también lo más parecidas posible en tamaño y disposición al ejemplo mostrado en el Anexo C.

10.2.d. TRANSFERENCIA DE UNA DESTRUCCIÓN

Cuando sea preciso transferir la responsabilidad de una destrucción preparada **y no se haya emitido una nueva orden de destrucción**, se deberá cumplimentar y firmar un certificado de transferencia, tanto por el jefe que la recibe (entrante) como por el que la entrega (saliente). En el Anexo D se muestra un ejemplo de recibo de transferencia. El recibo cumplimentado debe quedar en poder del jefe saliente, que lo remitirá a su jefe superior. Si se ha emitido una nueva Orden de Destrucción, la transferencia quedará registrada en la Orden anti-

gua, no siendo necesario emplear un recibo de transferencia independiente.

Ejecución del acuerdo

Este STANAG se considerará ejecutado cuando las versiones nacionales de la Orden de Destrucción establecida en el mismo se hayan entregado a las fuerzas a las que concierna.

10.2.e. INSTRUCCIONES PARA LA PREPARACIÓN DE LA ORDEN DE DESTRUCCIÓN

- i.* Los apartados 1-9 serán rellenos por el Mando Autorizado. Se marcarán los recuadros cuando proceda.
- ii.* El Ejemplar N.º 1 (Amarillo) se entregará al Jefe del Destacamento de Protección. Si no existe Destacamento de Protección, el Ejemplar N.º 1 se entregará al Jefe de la Unidad que proporcione el Equipo de Destrucción.
El Ejemplar N.º 2 (Blanco) se entregará al Jefe del Equipo de Destrucción.
El Ejemplar N.º 3 (Verde) quedará en poder del Mando Autorizado.
Los Ejemplares N.º 4 (Rosa) y N.º 5 (Rojo) se reservarán para su entrega cuando y como lo ordene el Mando Autorizado.
- iii.* Si el Mando Autorizado, el Jefe del Destacamento de Protección o el Jefe del Equipo de Destrucción cambian, se deberá realizar una nueva Orden de Destrucción.

DIFUSION LIMITADA

ANEXO A

ÓRDENES PARA EL JEFE DEL DESTACAMENTO DE PROTECCIÓN

- iv. Es usted responsable de:
 - a.* Mandar el Destacamento de Protección y al Jefe del Equipo de Destrucción.
 - b.* Dar seguridad al emplazamiento de la destrucción contra ataques o sabotajes enemigos, así como del control del tráfico y de los civiles/refugiados en el emplazamiento de la destrucción.
 - c.* Ordenar por escrito al Jefe del Equipo de Destrucción los cambios de Estado de Preparación (apartado 10.b. del Ejemplar N.º 2).
 - d.* Ordenar por escrito al Jefe del Equipo de Destrucción que dé fuego a la destrucción (apartado 13 del Ejemplar N.º 2).
 - e.* Mantener informado al Mando Autorizado acerca de la situación táctica en el emplazamiento de la destrucción.
- v. El Jefe del Equipo de Destrucción tiene el control técnico de la destrucción, pero usted se debe asegurar de que se mantiene informado de todas las acciones que usted realice. Su Puesto de Mando debe estar colocado en el mismo sitio que el punto de fuego.
- vi. Usted debe requerir del Jefe del Equipo de Destrucción el tiempo que éste necesita para pasar del Estado de Preparación 1 (SEGURO) al Estado de Preparación 2 (ARMADO). Esta información se enviará inmediatamente al Mando Auto-

DIFUSION LIMITADA

rizado y ~~se registrará en el Apartado~~ 10.a. de su Orden de Destrucción (Ejemplar N.º 1).

- vii. Usted debe nombrar un segundo jefe y establecer una lista de orden de sucesión de mando. Debe asegurarse de que cada hombre conoce su situación en el orden de sucesión, comprende sus deberes y sabe dónde encontrar la Orden de Destrucción si usted causa baja o está inevitablemente ausente. Esta lista de orden de sucesión de mando debe ser conocida por el Jefe del Equipo de Destrucción.
- viii. Una vez que se ha ordenado pasar al Estado de Preparación 2 (ARMADO), usted o su segundo deben estar presentes permanentemente en el Puesto de Mando, de modo que las órdenes se puedan transmitir inmediatamente al Jefe del Equipo de Destrucción.
- ix. En caso de fallo total o parcial de la destrucción, deberá prestar protección al Equipo de Destrucción durante el tiempo que tarde en completar con éxito la destrucción.
- x. Si usted recibe la orden de transferir la destrucción, a otro Destacamento de Protección que disponga de una nueva Orden de Destrucción, el apartado 11 de su propia Orden de Destrucción **solamente** deberá firmarse una vez se haya completado el procedimiento de transferencia. Si el Jefe del Destacamento de Protección entrante **no** ha recibido una nueva Orden de Destrucción, la Orden de Destrucción existente seguirá siendo válida y deberá entregarse al Jefe del Destacamento de Protección entrante **sin firmar**, debiendo firmar los Jefes de los Destacamentos de Protección entrante y saliente un recibo de transferencia independiente, que quedará en poder del Jefe saliente. Este recibo se debe remitir al Jefe de la Unidad a que pertenezca el Destacamento saliente lo antes posible. Se deberá informar tan pronto sea posible al Mando Autorizado que se ha procedido a la transferencia del objetivo.
- xi. Cuando la destrucción se haya ejecutado, deberá informar de los resultados al Mando Autorizado por los medios más rápidos disponibles, devolviéndole el Ejemplar N.º 1 con el apartado 14 rellenado.
- xii. Si usted recibe la orden de ejecutar la destrucción en circunstancias diferentes de las establecidas en el apartado 5, deberá pedir primero confirmación al Mando Autorizado.

ANEXO B

ÓRDENES PARA EL JEFE DEL EQUIPO DE DESTRUCCIÓN

- xiii. Es usted responsable de los aspectos técnicos de la preparación, carga y ejecución de la destrucción.
- xiv. El Jefe del Destacamento de Destrucción (si se designa uno) es responsable de:
 - a. El mando táctico de todas las tropas presentes en el punto donde se va a realizar la destrucción; por tanto, usted está bajo su mando.
 - b. Darle por escrito (mediante el apartado 10.b) la orden de cambiar el Estado de Preparación.
 - c. Darle por escrito (mediante el apartado 13) la orden de dar fuego a la destrucción.
- xv. Debe usted determinar, junto con el Jefe del Destacamento de Protección, la ubicación del punto desde el que se dará fuego a las cargas, que deberá estar en el mismo punto que su Puesto de Mando siempre que sea posible. Deberá estar a la vista del objetivo.
- xvi. Usted debe nombrar un segundo jefe y establecer una lista de orden de sucesión de mando. Debe asegurarse de que cada hombre conoce su situación en el orden de sucesión, comprende sus deberes y sabe dónde encontrar la Orden de Destrucción si usted causa baja o está inevitablemente ausente.

Esta lista de orden de sucesión de mando debe ser conocida por el Jefe del Destacamento de Protección.

- xvii. Usted debe rellenar el apartado 10.a de la Orden de Destrucción y proporcionar esta información al Jefe del Destacamento de Protección, si se ha designado uno, o al Mando Autorizado.
- xviii. Una vez que se ha ordenado pasar al Estado de Preparación 2 (ARMADO), usted o su segundo deben estar presentes permanentemente en el punto desde el que se dará fuego a las cargas.
- xix. Si no existe Destacamento de Protección y usted recibe la orden de ejecutar la destrucción en circunstancias diferentes de las establecidas en el apartado 5, deberá pedir primero confirmación a su superior inmediato o al Mando Autorizado.
- xx. Si usted recibe la orden de transferir la destrucción a otro Equipo de Destrucción que disponga de una nueva Orden de Destrucción, el apartado 11 de su propia Orden de Destrucción **solamente** deberá firmarse una vez se haya completado el procedimiento de transferencia. Si el Jefe del Equipo de Destrucción entrante **no** ha recibido una nueva Orden de Destrucción, la Orden de Destrucción existente seguirá siendo válida y deberá entregarse al Jefe del Equipo de Destrucción entrante **sin firmar**, debiendo firmar los Jefes de los Equipos de Destrucción entrante y saliente un recibo de transferencia independiente, que quedará en poder del Jefe del Equipo de Destrucción saliente. Deberá informar que se ha procedido a la transferencia al Jefe de su unidad y al Jefe del Destacamento de Protección tan pronto sea posible. El recibo se deberá entregar a su Jefe de unidad.
- xxi. Una vez ejecutada la destrucción, deberá usted informar de los resultados a su Jefe de unidad y al Jefe del Destacamento de Protección empleando los medios más rápidos de que disponga, entregando el Ejemplar N.º 2 a su Jefe de unidad con el apartado 14 rellenado. Si no existe Destacamento de Protección, el Jefe de la unidad deberá transmitir los resultados y el Ejemplar N.º 1 relleno al Mando Autorizado. Si se tienden minas, se registrarán en el apartado 14.d. y se registrará de forma independiente en una ficha registro de campo de minas (de acuerdo con el STANAG 2036).

ANEXO C

FORMATO DE LA ORDEN DE DESTRUCCIÓN

OTAN _____
(Clasificación de Seguridad)

ORDEN DE DESTRUCCIÓN	Ejemplar	Jefe del Destacamento de
SERIE N.º	N.º 1	Protección (Amarillo)
DE	Ejemplar	Jefe del Equipo de Destrucción
	N.º 2	(Blanco)
	Ejemplar	En poder del Mando Autorizado
	N.º 3	(Verde)
	Ejemplar
	N.º 4	(Rosa)
	Ejemplar
	N.º 5	(Rojo)

PARTE I

1. Detalles del Objetivo a Destruir:

- a. Descripción
- b. Localización (coordenadas)
- c. Nombre clave o número del objetivo
(Todas las órdenes irán precedidas del nombre clave o número del objetivo)
- d. Instrucciones Técnicas

2. Unidades Ejecutantes:

- a. Destacamento de Protección
- b. Equipo de Destrucción

3. Órdenes para el Jefe del Equipo de Destrucción:

- a. El objetivo estará preparado en el Estado de Preparación a (DTG)
- b. Cualquier otra orden se le dará por el Jefe del Destacamento de Protección. Registre su recepción en la Parte II.
- c. No existe Destacamento de Protección. Actuará como se especifica en los apartados 5, 6 y 7. Registre las órdenes recibidas en la Parte II.
(Marcar sólo una casilla)

4. Órdenes para el Jefe del Destacamento de Protección:

Sus responsabilidades se especifican en el apartado iv. Actuará como se especifica en los apartados 5, 6 y 7. Registre las órdenes recibidas en la Parte II.

5. La destrucción se ejecutará:

- a. En cuanto esté preparada.
- b. En cuanto se reciba por radio la palabra clave establecida en el apartado 8c.
- c. En cuanto se reciba la orden personalmente por el Mando Autorizado o su Oficial de Enlace.
- d. (Otras órdenes)

6. Órdenes de Ejecución de Emergencia:

- a. NO ejecutará la destrucción mas que como se ordena en el apartado 5.
- b. Ejecutará la destrucción por propia iniciativa si el enemigo está a punto de capturarla.
(Marcar sólo una casilla)

7. Las Órdenes distintas a la de Ejecución se darán:

- a. Por el Mando Autorizado personalmente.
- b. Por el Oficial de Enlace del Mando Autorizado personalmente.
- c. Por Radio.
- d. (Por otros medios)

8. Palabras clave:

ACCIÓN A REALIZAR	PALABRA CLAVE
a. Cambiar de Estado 1 (SEGURO) a Estado 2 (ARMADO)	
b. Cambiar de Estado 2 (ARMADO) a Estado 1 (SEGURO).	
c. Ejecutar la destrucción ahora.	
d. El apartado 3b no es válido, se aplicará el apartado 3c.	
e. El apartado 3c no es válido, se aplicará el apartado 3b.	
f. El apartado 5c no es válido, se aplicará el apartado 5b.	
g. El Mando Autorizado ha cambiado a	
h.	

Nota: Los apartados 8h y 8i se pueden emplear para invalidar los apartados 6a o 6b si la situación táctica cambia.

9. Mando Autorizado:

Firma:

.....

Empleo/nombre:

.....

Cargo:

.....

Grupo

.....

fecha-hora:

PARTE II

10. Cambio del Estado de Preparación:

- a. El tiempo estimado por el Jefe del Equipo de Destrucción para pasar del Estado 1 (SEGURO) al Estado 2 (ARMADO) es de minutos.
- b.

Estado de Preparación ordenado	Origen	Grupo Fecha/Hora de	
		Recepción de la orden	Finalización del cambio

11. Entrega y Recepción del Objetivo a destruir:

	Empleo, Nombre y Unidad	Firma	Fecha/Hora
Jefe Saliente			
Jefe Saliente			

12. Registro de cambios en la Parte I (si existen):

Detalles	Fecha/Hora de recepción

DIFUSION LIMITADA

13. Dar fuego a la destrucción ahora:

Firmado:

.....
.....

Empleo,

Nombre,

Unidad:

.....
.....

(Si no existe Jefe del Destacamento de Protección, anotar el DTG de recepción de la clave del apartado 8c)

PARTE III

14. Informe de la Destrucción:

a. Puente:

b. Carretera/Pista de aterrizaje/ferrocarril:

Anchura estimada de la brecha:

Número de embudos:

.....

.....

Número de tramos derribados:

Diámetro/Profundidad:

.....

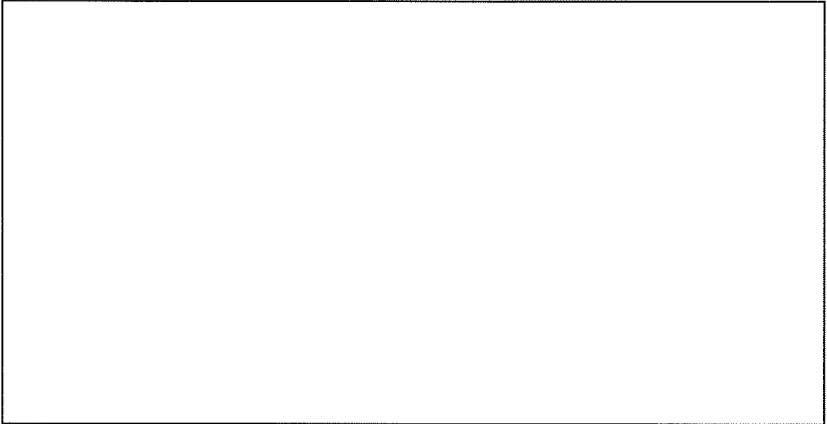
..... /

c. Otro objetivo:

d. Tendido de minas: Sí/No. Número de minas C/C/tipo/duración de la vida activa

Número de minas C/PE/tipo/duración de la vida activa

15. Croquis:



Firma:

.....
.....

DTG:

.....

Empleo/Nombre/Unidad:

.....

.....

OTAN _____
(Clasificación de Seguridad)

DIFUSION LIMITADA

ANEXO D

TRANSFERENCIA DE LA DESTRUCCIÓN

NATO OTAN

(Clasificación de Seguridad)

(ON COMPLETION/UNE FOIS REMPLIE/UNA VEZ RELLENADO)

EJEMPLO DE RECIBO PARA ENTREGA/RECEPCIÓN DE OBSTÁCULOS:

(Copy for Transferring Commander/ Exempleaire Pour LAutorité Procedant à la Remise/ Ejemplar para el Jefe Saliente.)

HANDOVER/TAKEOVER OF TARGET N°: REMISE/REPRISE DU DISPOSITIF N°: ENTREGA/RECEPCIÓN DEL OBJETIVO N°:	
TYPE OF TARGET: TYPE DOBSTACLE: TIPO DE OBSTÁCULO	
GRID REFERENCE: COORDENNEES: COORDENADAS:	

Accepting Commander/Autorité Prenant en Charge/ Jefe Entrante			
Name/Nom/Nombre:		Rank/Grade/Empleo:	
Unit/Unité/Unidad:		Signature/Signature/ Firma:	
Date/Time Group: Group Date/Heure: Grupo fecha/hora:			

Transferring Commander/Autorité Procedant a La Remise/ Jefe Saliente			
Name/Nom/Nombre:		Rank/Grade/Empleo:	
Unit/Unité/Unidad:		Signature/Signature/ Firma:	

NATO OTAN

(Clasificación de Seguridad)

(ON COMPLETION/UNE FOIS REMPLIE/UNA VEZ RELLENADO)

DIFUSION LIMITADA

APÉNDICE I

RELACIÓN DE ABREVIATURAS, SIGNOS Y TÉRMINOS UTILIZADOS

“	Pulgada.
%	Tantos por cien.
°C	Grado centígrado.
A	Amperio.
cm	Centímetro.
cm ³	Centímetro cúbico.
etc.	Etcétera.
F	Faradio.
fig.	Figura.
g	Gramo.
g/cc	Gramos por centímetro cúbico.
g/ml	Gramos por metro lineal.
kg	Kilogramo.
kg/m ³	Kilogramos por metro cúbico.
kg/ml	Kilogramos por metro lineal.
m	metro.
m/s	Metro por segundo.
m ³	Metro cúbico.
mJ/Ω	Milésima de Julio por ohmio.
mm	Milímetro.
mWs/Ω	Milésima de vatio por segundo por ohmio.
núm.	Número.
ohm (Ω)	Ohmio.
ONU	Organización de Naciones Unidas.

DIFUSION LIMITADA

APÉNDICE II

BIBLIOGRAFÍA

- AAP-19: Glosario de terminología de Ingenieros OTAN.
- Atlas Copco: Manual Atlas Copco. 1998.
- FM-25: Manual de Explosivos y Destrucciones (USA).
- Instituto Tecnológico Geominero de España. Manual de Perforación y voladura de rocas.1994
- Langehors, U. y Kihlstrom, B.: Voladura de Rocas. Edit Urmo. 1976.
- Manual de Explosivos y Destrucciones para Ingenieros. M-4-7-5
- Manual Interejércitos de Almacenamiento de Municiones y Explosivos para las FAS. españolas. (EMACON-1991).
- Manual Técnico de Explosivos. T-0-7-5.
- Stanag 2017. Órdenes de Destrucción.
- Stanag 2123. Ficha de Obstáculo.
- Unión Española de Explosivos: CCR explosivos especiales para demoliciones y taqueo.
- Unión Española de Explosivos: Curso monográfico de voladuras a cielo abierto.
- Unión Española de Explosivos: Curso monográfico de voladuras de interior.
- Unión Española de Explosivos: Destrucción de explosivos industriales.

DIFUSION LIMITADA

Unión Española de Explosivos: Detonadores eléctricos y equipos accesorios.

Unión Española de Explosivos: Explosivos y accesorios.

Unión Española de Explosivos: Manual de medidas de precaución en el empleo y manipulación de los explosivos.

Unión Española de explosivos: Tendencias actuales en el almacenamiento transporte y carga mecanizada de explosivos en la minería a cielo abierto. Jornadas técnicas ERT.

Unión Española de Explosivos: Transporte de explosivos por carretera.

Unión Española de explosivos: Control de vibraciones producidas por voladuras. Jornadas técnicas ERT.

Unión Española de Explosivos: Emulsiones explosivas. Jornadas técnicas ERT.

Unión Española de Explosivos: Evaluación y prevención del riesgo de empleo de detonadores eléctricos. Jornadas técnicas ERT.

Unión Española de Explosivos: Explosivos de seguridad en la minería del carbón. Jornadas técnicas ERT.

Unión Española de Explosivos: Uso de los riogeles vertibles en explotaciones a cielo abierto. Jornadas técnicas ERT.

Unión Española de Explosivos: Voladuras de contorno usando cordón detonante o riogur. Jornadas técnicas ERT.