

CURSO DE ARTILLERIA

SEGUN EL PROGRAMA
DE LA
ESCUELA POLITECNICA DE EL SALVADOR

MATERIAL DE ARTILLERIA

POR

JUAN BENNETT A.

MAYOR DEL EJERCITO DE CHILE Y CORONEL DE EL EJERCITO

1905



SAN SALVADOR.

CENTRO-AMERICA.

IMPRESA NACIONAL, 10 AVENIDA SUR, N.º 18.

ÍNDICE

	Página
Obras consultadas.....	1
Advertencia	3
Introducción	5

PRIMERA PARTE

EXPLOSIVOS

CAPÍTULO I

<i>Generalidades</i>	9
----------------------------	---

CAPÍTULO II

Pólvoras mecánicas

Pólvora negra	17
División de las pólvoras mecánicas con respecto á su velocidad de deflagración.....	21
Procedimientos generales empleados en la fabricación de la pólvora	25
Procedimientos especiales.....	33
Pruebas y recepción de las pólvoras.....	35
Análisis de la pólvora mecánica	37
Pólvoras derivadas de la pólvora negra común	38
Descripción de los gravímetros y del densímetro empleados para las pólvoras.....	38

CAPÍTULO III

Pólvoras químicas

Pólvoras de base de nitrocelulosa.....	45
Pólvoras de base de nitroglicerina	50
Pólvoras de base de nitro-derivados de la serie aromático.....	54
Explosivos y pólvoras diversas.....	56

IV

	Página
Los fulminatos.....	57
Fabricación de los explosivos químicos.....	57
Derivados orgánicos nitrados.....	58
Pólvoras sin humo y otros explosivos.....	62
Análisis de las pólvoras nitradas en general.....	63
Celulosas nitradas.....	64
Dinamitas.....	67
Compuestos gelatinosos.....	68
Pólvoras complejas.....	69

SEGUNDA PARTE

LAS PIEZAS DE ARTILLERÍA

CAPÍTULO I

<i>Diversas especies de piezas de artillería.....</i>	75
Del calibre.....	77
Condiciones de que depende la fabricación de una pieza...	77

CAPÍTULO II

<i>Organización interior de las piezas de artillería</i>	78
Recámara	78
Punto de inflamación de la carga	78
Del ánima propiamente dicha, su papel y longitud.....	79
Del rayado; sus ventajas é inconvenientes	80
Clasificación de los medios empleados para forzar el proyectil á tomar su movimiento de rotación al rededor de su eje.....	81
Sistema de tetones.—Número de éstos y de rayas.—Viento	82
Ánimas poligonales.....	82
Sistema de expansión	82
Cañones de costillas.....	83
Sistema de forzamiento con cubierta de plomo.....	83
Forzamiento por medio de cinturas de cobre.....	84
Paso de las rayas.....	85
Generación del ánima rayada.....	86
Paso constante ó uniforme.....	86
Ángulo y longitud del paso	87
Paso progresivo.....	88

CAPÍTULO III

	Página
<i>Condiciones mecánicas de las piezas de artillería</i>	90
Condiciones que debe presentar un metal para cañones.— Principales metales empleados	90
El bronce	91
Fundición de hierro	93
Acero	96
Fierro forjado.....	98
Comparación entre los cuatro metales bajo los diversos puntos de vista que interesan á la artillería.....	98

CAPÍTULO IV

<i>Teoría de los espesores</i>	100
De las propiedades elásticas de los cuerpos sólidos.....	100
Efecto de los esfuerzos de tracción y de compresión.....	101
Principio fundamental relativo á la independencia de los efectos de varias fuerzas que obran simultáneamente..	102
Límite de elasticidad.—Carga de ruptura.....	103
Resistencia de los cañones simples.....	104
Presión máxima que puede sorportar una pieza simple.....	104
De las vibraciones.—Cargas de seguridad adoptadas para las aplicaciones.....	106
Resistencia de una pieza compuesta.....	108
Resumen de las circunstancias que deben tomarse en cuenta para la fabricación de cañones compuestos.....	111
Resistencia al desculatamiento.....	113
Desculatamiento por fractura de los filetes del tornillo.....	113
Desculatamiento porque se desatornille la culata.....	115
Desculatamiento por ruptura transversal.—Cargas de seguridad	115
Cálculo de la tensión en la envoltura que resiste al desculatamiento	116
Tabla de módulos de elasticidad.....	118
Tabla de límites de elasticidad.....	119

CAPÍTULO V

<i>Condiciones de servicio.—Formas exteriores</i>	120
Elementos principales.....	120
Piezas de campaña	120
Artillería de sitio.....	122

	<u>Página</u>
Artillería de plaza.....	122
Artillería de costa y de marina.....	122
Longitud total de los cañones.....	123
Muñones	123
El fogón.....	124
Mecanismo de cierre.—Condiciones generales que deben satisfacer	125
Principales sistemas de carga por la culata.....	126
Cierres de tornillo.—Tornillos de filetes interrumpidos.....	127
Cierres de cuña.....	128
Doble cuña.....	128
Cuña simple.....	129
Obturadores.—Condiciones generales.....	131
Obturadores que se cambian.....	131
Obturadores fijos.....	131
Resumen de las condiciones que debe llenar el material de artillería de campaña.....	133

TERCERA PARTE

ESTUDIO DE LOS PROYECTILES Y ESPOLETAS

CAPÍTULO I

<i>Detalles sobre el modo de guiar el proyectil dentro del ánima</i>	139
--	-----

CAPÍTULO II

<i>Proyectiles de campaña</i>	142
Condiciones de eficacia.....	142
Número de balas y de cascos.....	143
Fuerza viva de choque.....	143
Abertura del haz.....	143
Granada de doble pared.....	143
Granadas de coronas del general Uchatius.....	144
Granada de segmentos.....	144
Granada de balas.....	144
Granada de metralla.....	144
Granada de balas proyectante llamada Shrapnel	145
Organización de las balas.....	147
Bote de metralla.....	152
Granada de explosivo.....	152

VII

CAPÍTULO III

	<u>Página</u>
<i>Proyectiles de sitio y de plaza</i>	153
Diferentes tipos de proyectiles.....	153
Teoría de la granada torpedo.....	154
Empleo de la granada torpedo en el material de sitio y de plaza.....	157

CAPÍTULO IV

<i>Trazado de los proyectiles</i>	158
Formas exteriores.....	158
Trazado de la parte anterior.....	158
Las cinturas.....	159
Espesor de las paredes	159
Peso del proyectil.....	159
Posición del centro de gravedad.....	160
Centro de resistencia.....	161

CAPÍTULO V

<i>Fabricación de los proyectiles</i>	161
Fabricación de los proyectiles de fundición.....	161
Vaciado.....	162
Colocación de las cinturas.....	162
Fabricación de la granada de metralla	162
Shrapnel.....	164

CAPÍTULO VI

<i>Espoletas</i>	164
Espoletas de percusión.....	164
Espoletas de tiempo.....	165
Espoletas mixtas ó de doble efecto.....	167
Espoletas para explosivos violentos.....	169
Espoletas retardadas.....	169
Espoletas Förster.....	169
Espoletas de doble efecto para granadas comunes y de explosivos	170
Espoletas mecánicas.....	172
Espoletas de culote	173
Espoleta de culote italiano con retardo	175

OBRAS CONSULTADAS

- Theories et notations chimiques..... E. GRIMAUX
- Aide—Memoire á l' usage des officiers
d' Artillerie *Comité d' Artillerie.*
- Balística elemental..... E. KÖRNER
- Curso de Artillería..... PÉREZ Y LIRA
- Balistique des Nouvelles Poudres..... E. VALLIER
- Projectiles de campagne de siège et de
de place.—Fusées..... „ „
- Leçons d' Artillerie..... E. GIRARDON
- Naturaleza y análisis de los explosivos de
guerra J. UBEDA Y CARREAL



INTRODUCCION

Se entiende por *Artillería*, en cuanto á ciencia, el conjunto de conocimientos verdaderamente *facultativos ó técnicos* que directa ó indirectamente concurren á la instrucción del artillero, para su profesión especial de construir, conservar y usar todo género de *armas, aparatos, máquinas y municiones de guerra*.

Según la definición, vemos que es una ciencia que abraza muchos ramos del saber y que, por consiguiente, no se puede tratar en un texto elemental, sino suponiendo conocidas las ciencias que le sirven de base, como son: las Matemáticas, las Ciencias Físicas, y las Mecánicas é Industriales, para hacer solamente la aplicación de ellas á la parte meramente técnica de la Artillería, cual es el estudio de los cañones de todo calibre, proyectiles y pólvoras; y por último, el tiro ó sea la balística.

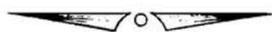
En este texto se tratará solamente de una manera muy sucinta cada una de las partes que componen la Ciencia de Artillería, por estar escrito para alumnos de una Escuela Militar que no están destinados á dirigir fábricas, ni hacer grandes experimentos, ni invenciones de armas de guerra. El objeto del texto es dar una idea general de lo que es el material de guerra y la manera como él obra contra los distintos blancos, al ser empleado en la guerra.

La obra se compone de seis partes, que son:

- 1ª Estudio de los explosivos;
- 2ª Estudio de las armas de fuego;
- 3ª Estudio de los proyectiles;
- 4ª Balística interior;
- 5ª Balística exterior;
- 6ª Efecto de los proyectiles sobre los blancos, ó sea primeramente la fuerza motriz; en seguida, el instrumento á que se les aplica y por fin el resultado que se obtiene del trabajo por ellos ejecutado.

Las tres primeras partes formarán el presente volumen que lleva por título Material de Artillería y el segundo, Balística, abrazará las tres últimas partes.

PRIMERA PARTE



ESTUDIO

DE LOS

EXPLOSIVOS

Los explosivos

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

Explosivo, es toda sustancia sólida ó líquida susceptible de ser transformada en gases, cuya expansión súbita va acompañada de efectos mecánicos violentos.

Anteriormente, el único medio empleado para fabricar explosivos era mezclando mecánicamente combustibles con materias comburentes.

Después del descubrimiento del fulmicotón (algodón-pólvo-ra), se reconoció que era posible obtener explosivos combinando químicamente un cuerpo muy comburente, con ciertas sustancias orgánicas, ricas en carbón y en hidrógeno; de aquí la necesidad de distinguir dos clases de explosivos: *mecánicos* y *químicos*. En los primeros los componentes se unen mecánicamente; en los segundos el oxígeno necesario para la combustión va combinado químicamente en las moléculas mismas del explosivo.

Como ejemplo de explosivo mecánico, tenemos la *pólvora negra*, y de explosivo químico: el *fulmicotón*, que sirve de base á la mayor parte de los explosivos usados en las armas de fuego modernas; la *nitro-glicerina*, que sirve de base á la dinamita y otros; el *ácido pítrico*, base de la melinita, etc.

Los efectos mecánicos de los explosivos, son dos: de *ruptura* y de *proyección*.

Los efectos de ruptura, se deben á la fuerza de los gases que se desarrollan en un espacio cerrado; como ejemplo, podemos citar el efecto de la carga de explosión de los proyectiles huecos.

Los efectos de proyección se deben á la fuerza expansiva de los gases desarrollados en un receptáculo de paredes móviles y de capacidad variables, como sucede en las armas de fuego.

Para que un explosivo produzca estos efectos de ruptura ó proyección, es necesario que se verifique el fenómeno de la deflagración.

La deflagración es la transformación del explosivo en gases.

En la deflagración se notan dos fenómenos: el de la inflamación y el de la combustión.

La inflamación es la propagación del fuego de un grano á otro de la carga, sobre su superficie exterior, por medio de los gases que se producen en el primer instante.

La combustión es la reacción química que se verifica en los elementos de cada grano al penetrar la llama en su interior.

Tanto la velocidad de inflamación como la de combustión, no son iguales en todos los explosivos, y ella depende de múltiples circunstancias que veremos en seguida.

La velocidad de inflamación se mide por el espacio que recorre la llama sobre la superficie de los granos en la unidad de tiempo.

La velocidad de combustión de un grano se mide por el espacio recorrido por la llama en la dirección, de la normal á la superficie de inflamación en la unidad de tiempo.

Los principios que rigen la inflamación son los siguientes:

1º *Para que un explosivo se inflame es necesario que una parte ó toda su superficie sufra una brusca elevación de temperatura por medio de una chispa, una llama, ó un choque.*

Según este principio, se ha observado que hay explosivos que calentados poco á poco, no producen la explosión, como sucede, por ejemplo, con la pólvora negra y la dinamita.

La chispa de los cuerpos muy densos, como los metales calentados al rojo, producen á menudo la inflamación; la de los cuerpos poco densos, como la madera, no siempre la producen, porque contienen muy poca cantidad de calórico, á causa de su poca densidad.

La chispa eléctrica produce siempre la inflamación, excepto si ella es producida por una pequeña máquina de gabinete.

La llama necesita también ser muy fuerte para inflamar un explosivo, como es la que producen los fulminatos; pero la llama del alcohol, por ejemplo, no inflama los explosivos.

El choque de los objetos de hierro ó latón producen casi siempre la explosión. El de los metales blandos como el plomo ó el cobre, no siempre la producen; pero se han presentado casos en que una bala de plomo, al caer sobre la pólvora negra la ha inflamado.

2º *La rapidez y facilidad de inflamación dependen de la forma y condiciones de la superficie del grano.*

Esto se ha demostrado por la observación de que los granos angulosos y de superficie áspera, se inflaman con mayor rapidez que los redondeados ó pulidos.

3º *La velocidad de inflamación crece con la presión y la temperatura.*

Esto se ha demostrado experimentalmente en varios países. De estas experiencias se ha obtenido como resultado el que una

faja de pólvora negra, fina, se haya inflamado al aire libre con una velocidad de 2.20 metros por segundo; colocando esa misma cantidad de pólvora en un canal de madera cubierto con tierra, donde los gases no puedan desprenderse libremente, aumenta la velocidad de inflamación hasta llegar á 7.30 metros por segundo, y en las armas de fuego llega á 19.20 metros por segundo, próximamente.

En las pólvoras químicas, esta velocidad de inflamación es muy superior, llegando á miles de metros por segundo en los explosivos rápidos y violentos.

En cuanto á la influencia del calor, basta saber que ciertas materias explosivas que se descomponen generalmente con gran lentitud á la temperatura ordinaria, detonan cuando la temperatura se eleva intencionalmente ó por accidentes. Otras sustancias, como la celulosa explosiva, no detonan por el golpe de un martillo á la temperatura ordinaria; pero hacen explosión en las mismas condiciones, cuando se calienta hasta su punto de fusión.

Los principios que rigen la combustión, son los siguientes:

1º *La combustión de un explosivo depende de la cantidad de oxígeno que contenga y le es indispensable para el fenómeno.*

Podemos decir que un explosivo es tanto más poderoso, cuanto más perfecta sea la oxidación de sus componentes y que el oxígeno se utilice mejor en su transformación.

Al contrario, si el explosivo no contiene suficiente oxígeno, una parte de sus elementos combustibles quedan en estado libre ó parcialmente oxidados, y la composición final de los productos varía según las condiciones de la explosión, la presión y la temperatura.

Esos residuos del explosivo que no se han oxidado y quedan en estado sólido son los que producen el humo en las pólvoras mecánicas, de donde resulta que un explosivo será tanto más ventajoso, cuanto más gas y menos residuos resulten de su descomposición.

2º *La velocidad de combustión depende esencialmente del modo de inflamación y forma del grano.*

Se explica la influencia del cebo fulminante sobre el modo de descomposición del explosivo, comparando el efecto de la detonación del cebo con un choque. El calor que se produce en el punto del choque, eleva lo suficiente la temperatura de las capas inmediatas al choque, para provocar una descomposición; éstas producen á su vez un nuevo choque más violento que el primero, sobre las partes vecinas, y esta sucesión de choques y descomposiciones transmite la reacción de capa en capa, á toda la masa. De lo dicho se deduce que mientras mayor sea el

choque inicial producido por el cebo fulminante en un explosivo, tanto más rápida es la descomposición que causa. Se nota por esto la importancia que tienen los cebos, particularmente los detonadores para las granadas torpedos. Su naturaleza regula el carácter del choque inicial y por consiguiente el de la explosión completa, como también el de los efectos mecánicos que resultan.

Si el fulminato de mercurio es el que se emplea generalmente como detonador es porque produce un choque más poderoso y enérgico que los demás cebos fulminantes, debido á su brusca descomposición unida á la enorme presión que desarrolla si detona en su propio volumen (calculada en más de 26,000 kilogramos).

En cuanto á la forma del grano podemos decir: que en los granos angulosos las partes salientes arden con más facilidad que las planas ó redondeadas, de tal suerte que un grano poliédrico toma pronto una forma aovada ó esférica y desde ese momento sigue consumiéndose, conservando una forma semejante.

Según esto se puede admitir que un grano arde durante el tiempo que demora en reducirse á cero la esfera inscrita en sus dimensiones mínimas. De aquí resulta que si todos los granos de una carga tienen las mismas dimensiones mínimas se comportarán del mismo modo en cuanto al tiempo que dura la combustión, aunque sus aristas sean de dimensiones diversas.

Efectuándose la combustión por capas concéntricas y de espesores iguales se quemarán estas en tiempos iguales.

Los volúmenes de gases desprendidos en tiempos determinados, son proporcionales á la cantidad de materia quemada en esos mismos tiempos, y, por lo tanto, proporcionales también á las superficies de ignición. De esto resulta, que si los granos tienen forma esférica, la emisión de gases debe decrecer rápidamente desde el comienzo de la inflamación hasta el fin de la combustión.

3º *La velocidad de combustión crece con la presión bajo la cual se produce*, y por consiguiente con la disminución de la capacidad en que se efectúa. Este fenómeno se puede explicar por la mayor penetración de los gases en los poros de la sustancia y por el aumento de poder oxidante del oxígeno comprimido.

4º *La combustión se acelera cuando la masa de la materia explosiva es mayor.*

Esto se explica porque la masa sirve de medio conductor á la primera porción descompuesta; por otra parte, el calor y la

presión de las primeras porciones quemadas, contribuyen á hacer más rápida la descomposición del resto de la masa.

Por esta razón, la melinita y el fulmicotón comprimido, que pueden inflamarse al aire libre empleando pequeñas cantidades, dan lugar á explosiones terribles cuando se trata de grandes masas.

5º *La velocidad de combustión disminuye con la presencia de sustancias inertes mezcladas con el explosivo.*

Este principio es la base en que descansa la fabricación de la dinamita (mezcla de nitro-glicerina con sílice, ladrillo molido, arcilla, yeso, etc.)

La velocidad de combustión disminuye tanto más, cuanto mayor sea la cantidad de materia inerte que contiene.

Los explosivos que tienen demasiado nitro-glicerina, son inadecuados para los usos militares porque son muy sensibles á los choques en los transportes, como también á los impactos de los proyectiles enemigos. Además de las sustancias ya nombradas, el alcanfor tiene también la propiedad de hacer insensible notablemente el explosivo con que se le mezcla.

6º *La velocidad de combustión está en razón inversa de la densidad y del tamaño del grano cuando la composición es igual y compacta.*

Si la densidad de la pólvora aumenta, aumenta también la dificultad de penetración de la llama al interior del grano; es por esto, que mientras más densa sea, más lenta será la combustión.

Por otra parte, como la combustión se efectúa por capas concéntricas, resulta que mientras mayor espesor tenga el grano, mayor número de capas de igual dimensión tendrán que quemarse.

Los efectos de la deflagración de un explosivo se rigen por los principios siguientes:

1º *Los efectos de un explosivo dependen de su composición, de los productos de la explosión y método de fabricación.*

Actualmente se conocen más de mil explosivos diferentes que pueden distribuirse en varias categorías como veremos después, estudiando al mismo tiempo sus efectos.

2º *Los efectos de un explosivo dependen de la rapidez de su deflagración.*

Este principio da origen á la clasificación de los explosivos en tres categorías:

a) *Explosivos violentos*, cuyo efecto es inminentemente rompedor, por ejemplo, el fulminato de mercurio, la nitro-glicerina y el fulmicotón;

b) *Explosivos rápidos*, cuyo efecto es simplemente rompedor, por ejemplo, la melinita y dinamita; y

c) *Los explosivos lentos ó pólvoras* que dan lugar á efectos de proyección, por ejemplo, las diversas pólvoras de guerra.

Explosivos violentos. Cuando la descomposición es casi instantánea como la del fulminato de mercurio, el explosivo destruye los cuerpos con los cuales está en contacto ó rompe en una multitud de fragmentos la envoltura que los encierra, porque la producción de gases es tan rápida que los cuerpos que los rodean aña los gaseosos, como el aire, no tienen tiempo de separarse para obedecer gradualmente á la presión desarrollada.

En estas condiciones la presión del gas va creciendo rápidamente como si estuviera encerrada herméticamente en una capacidad. El empleo de explosivos muy rápidos se reserva para los casos especiales donde es necesario pulverizar algo sólido ó bien provocar en un punto determinado un choque ó una conmoción muy fuerte y brusca á la vez. Este es el papel de los detonadores.

Con semejantes explosivos, el medio conductor es inútil, puesto que el aire ambiente basta para reemplazarlo; el más leve medio conductor, tal como una delgada capa de agua, acrecienta considerablemente los efectos de la detonación.

Explosivos rápidos.—Cuando el desarrollo de gases es menos enérgico, como en el caso de la dinamita, etc., el explosivo no pulveriza, pero tiende á separar los cuerpos siguiendo sus líneas de menor resistencia. El efecto es el de un choque que se extiende sobre una superficie bastante extensa alrededor del punto de contacto del explosivo; por ejemplo: un cartucho de dinamita de 150 gr., colocado sobre un block de piedra, le rompe una superficie de 60 á 80 decímetros cuadrados y en un espesor de 40 centímetros; el block se debilita siguiendo las hendiduras que parten del centro del explosivo, asemejándose su efecto al producido por la caída de un martillo, desde gran altura.

Por efecto de la rapidez de acción, la presión se ejecuta antes que la materia tenga tiempo de ser arrojada. En estos explosivos también el medio conductor más débil aumenta los efectos de la detonación, por ejemplo: una pequeña carga de dinamita cubierta con un saco de tierra, basta para quebrar una piedra en pequeños pedazos.

Explosivos lentos ó pólvoras.—En el caso de un explosivo lento, tal como la pólvora negra, la presión de los gases crece menos rápidamente y dura un tiempo mayor. Ella se extiende sobre la superficie de las paredes que la encierran y busca los puntos débiles de estas paredes y una vez que ella tiene la fuer-

za suficiente produce la ruptura acompañada de proyección proveniente del trabajo de expansión de los gases.

Los explosivos de reacción lenta, convienen por consiguiente, para su empleo en las armas de fuego y para los trabajos de demolición. En las minas se necesita emplear fuertes medios conductores que cierren la boca de carga por donde se introduce el explosivo, á fin de poner á la presión de los gases una resistencia superior si fuere posible, á aquella de las paredes que se desea destruir.

De lo dicho resulta que es necesario tener en cuenta la velocidad de la reacción del explosivo para elegirlo y emplearlo en un trabajo determinado.

Hay otras clasificaciones de los explosivos, basadas en su composición química, pero que son más complicadas, y para el objeto que nos proponemos en esta obra, creo que basta hacer la clasificación general en los tres grupos ya indicados, pues según el trabajo mecánico que ejecutan, así es el empleo que de ellos se hace en la guerra.

Como la fuerza desarrollada por los gases es tanto mayor, cuanto menor es el espacio que los encierra, para comparar entre sí, diversos explosivos en cuanto á la fuerza expansiva de sus gases, se hace detonar un cierto peso de cada explosivo en un recipiente bastante sólido y de capacidad conocida (generalmente se toma un gramo en un centímetro cúbico) y se mide la presión de los gases por medio de manómetros.

La presión así obtenida, calculada y expresada en kilogramos por centímetros cuadrados, es lo que se llama *fuerza del explosivo*. Por otra parte, por la fórmula de la reacción química ó más comunmente por el análisis de los productos de descomposición, se puede conocer el volumen de gas proporcionado por un peso dado de explosivo, estimado á 0° y bajo la presión normal de 760 milímetros y deducir su fuerza.

Por fin, aplicando la termo química se determina la cantidad de calorías producidas por la reacción de un peso conocido de explosivo que detona en un recipiente de paredes resistentes.

La temperatura indica el trabajo que desarrolla el explosivo. Por consiguiente la cantidad de calor desprendido por la reacción de un kilogramo de explosivo permite calcular el trabajo máximun-teórico que puede hacer este explosivo.

En efecto, se sabe que hay equivalencia entre el calor y el trabajo: que la *unidad de calor* llamada *caloría*, es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un kilogramo de agua de 0 á 1° centígrado, y que la *unidad de trabajo* llamada *kilográmetro*, es el trabajo necesario para elevar un peso de un kilogramo á la altura de un metro y que una caloría puede

hacer un trabajo de 426 kilográmetros, é inversamente, que este trabajo puede transformarse en una cantidad de calor igual á una caloría.

En consecuencia, si la reacción de un explosivo desarrolla una cantidad de calor igual á n calorías por kilógramo se puede decir que es capaz de efectuar un trabajo igual á $426 \times n$ kilográmetros.

Este trabajo máximun-tébrico se llama potencial del explosivo, él representa su capacidad de trabajo.

En el empleo de las materias explosivas se persigue evidentemente la transformación en trabajo de la mayor cantidad posible de calor desarrollado; pero en la práctica no se realiza jamás esta transformación, sino por una parte de este calor, así por ejemplo: en las armas de fuego una parte del calor se llevan los gases que se escapan por la boca; otra parte calienta el arma y el proyectil ó se pierde por conductibilidad ó radiación.

Por otra parte, el calor transformado en trabajo no se utiliza enteramente en una arma de fuego, el único trabajo de que se saca partido es aquel que comunica al proyectil su fuerza viva y se pierde el trabajo que tiende á dilatar las paredes del tubo y el que produce el retroceso.

El trabajo útil de un explosivo no es entonces sino una débil parte de su potencial.

Se llama rendimiento de un explosivo la relación entre el trabajo útil y el potencial.

Condiciones que debe reunir una buena pólvora de guerra.—Para que sea ventajoso el empleo de una pólvora en una arma de guerra debe satisfacer las condiciones siguientes:

1º Producir con un peso y un volumen pequeño, una cantidad muy-considerable de gases, con una temperatura elevada y que sean capaces de desarrollar un gran trabajo.

Mientras más poderosa sea una pólvora menos pesadas y embarazosas serán las cargas, ventaja muy apreciable en la guerra.

La pólvora química produce igual resultado que la pólvora mecánica con la mitad de su peso, á pesar de que la densidad de la 1ª es inferior á la de la 2ª

2º La deflagración de la pólvora no debe dar humo ni residuos, ó más bien dicho, debe producir solamente gases ó vapor.

La pólvora mecánica no satisface esta condición, pues solamente un 45% de su peso se transforma en gases: el resto produce humo y residuos sólidos. Por esta razón un kilógramo de pólvora mecánica no produce más que *doscientos ochenta* litros de gas, medidos á la temperatura 0º y bajo la presión normal de 760 milímetros; en tanto que el mismo peso de pólvora química (B)

produce al rededor de *ochocientos cincuenta* ó sea más del triple y no da ningún residuo sólido.

3º La transformación de la pólvora en gases debe ser fácil sin ser jamás *sorpresiva*, es decir, que dé al principio una pequeña masa de gas, la necesaria para vencer la inercia del proyectil y que después vaya suministrando cantidades sucesivas á medida que aquel avanza en el ánima, de manera que la fuerza motriz sea continua y creciente.

4º Los gases de la pólvora no deben producir grandes presiones en el ánima, que sean susceptibles de comprometer la conservación del arma.

5º Los efectos de la pólvora deben ser tan regulares y constantes como sea posible y siempre iguales entre sí, sin lo cual la reglamentación del tiro sería imposible.

6º La fabricación de la pólvora presentando el menor peligro posible debe ser fácil, rápida y suficientemente económica.

7º El transporte, la manipulación y conservación deben ser sencillos y no frezer ningún peligro.

No debe ser sensible á las influencias atmosféricas (presión, temperatura, humedad), y tener la suficiente resistencia para no deteriorarse en los transportes.

8º Es también indispensable que el fognazo y la detonación sean débiles.

CAPÍTULO II

PÓLVORAS MECÁNICAS

Pólvora negra

Esta pólvora es una mezcla íntima y mecánica de *salitre*, *azufre* y *carbón* transformada en granos.

En los primeros tiempos se empleó la pólvora en polvo para las armas de fuego; pero ya se ha abandonado su uso á consecuencia de la rapidez de deflagración y de la facilidad con que atrae la humedad. Debido á la diferencia de los pesos específicos de sus componentes, se separan también éstos y además se pulveriza y tanto que se inflama sin causa aparente y produce explosiones. Por esta circunstancia hoy se emplea siempre la pólvora en granos. Al quemarse se produce una reacción química que desarrolla una gran cantidad de gases de una temperatura muy elevada y que tienen gran elasticidad; desarrollan presión y tratan de ocupar un espacio mayor. Aprovechándose de esta presión se ha dado movimiento á los proyectiles.

Las condiciones esenciales para obtener una pólvora con

efectos balísticos regulares es que sus componentes estén en un estado de pureza casi absoluto. Esta pureza se consigue en el salitre y el azufre, pero no en el carbón, en el que hay que conformarse con llegar hasta ciertos límites en su purificación.

a) Se llama *salitre* al nitrato *potásico* (KNO_3) y el nitrato *sódico* ($NaNO_3$). Para la fabricación de la pólvora sólo se emplea el primero, pues es muy difícil preparar el nitrato *sódico* separado completamente de otros cuerpos extraños y tiene la propiedad de atraer mucho la humedad.

Las principales propiedades del salitre para pólvoras (nitrato potásico) son los siguientes:

Es una sal blanca, trasparente, cristalina, anhidra, de un sabor picante y un poco amargo; es inalterable al aire ordinario; pero se hace deliquescente en una atmósfera cargada de humedad, densidad 1.933; es fusible hacia los $350^{\circ}C$; comienza á descomponerse hacia los 380° , abandonando el oxígeno; es soluble en el agua y más en caliente que en fría.

b) *El carbón* se fabrica de maderas blandas, livianas y que no sean resinosas como el álamo, sauce, etc.

Para obtener un buen carbón es necesario que al quemarlo no penetre el aire.

A la temperatura de 340° á 430° se obtiene carbón negro, y á 280° á 340° pardo.

El carbón negro se inflama á una temperatura mayor que el pardo.

Conteniendo el carbón pardo más partículas de madera que el carbón negro, se quema con más lentitud que éste, motivo por el cual se emplea el carbón pardo para obtener pólvoras que desprendan lentamente sus gases. Se humedece con más facilidad que el negro.

La pólvora preparada con carbón de maderas duras, como la encina, etc., desarrolla menor cantidad de gases que la preparada con carbón de maderas blandas.

El carbón de maderas resinosas se inflama con mayor dificultad que el carbón de maderas sin resinas.

El carbón recién elaborado tiene la propiedad de absorber y condensar los gases, siendo muy fácil su inflamación espontánea, por eso no es conveniente acumular grandes cantidades en un mismo sitio.

c) *El azufre* se funde á la temperatura de 114° , se inflama á 250° al aire libre y se volatiliza á los 300° ; se encuentra en las regiones volcánicas y hay necesidad de purificarlo antes de emplearlo.

La densidad ordinaria del azufre es de 1.99 y puede llegar

hasta 2.087. Es soluble en la potasa cáustica y en los sulfitos alcalinos.

Hasta el año de 1886 la proporción que más se usaba para la fabricación de la pólvora era: 75 partes de salitre, 12.50 de carbón 12.50 de azufre.

Para desarrollar una presión mayor y grandes velocidades, hubo necesidad de variar la proporción.

La siguiente tabla indica las proporciones que se emplean en los diferentes países para las pólvoras de fusil.

PAÍSES	SALITRE	AZUFRE	CARBÓN
Alemania	74	10	16
Austria-Hungría	75	10	15
Estados Unidos de A...	75	10	15
Francia.....	75	10	15
Inglaterra	75	10	15
Italia.....	75	10	15
Suiza	75	11	14
Rusia.....	75	10	15

Examinando esta tabla se nota que la pólvora mecánica adoptada por la mayoría de los países, se compone de 75% de salitre, 10% de azufre y 15% de carbón..

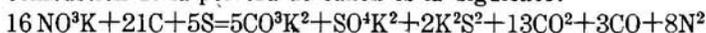
La pólvora conocida en Europa con el nombre de pólvora Westphaliana acusó, á no dudar, un verdadero perfeccionamiento y en un principio hubo de creerse que en su composición entraba algún ingrediente distinto de los hasta entonces empleados; pero los análisis evidenciaron que no formaban parte de ella más que los tres clásicos y conocidos ingredientes, salitre, azufre y carbón y en la dosis de 76, 8 y 16, respectivamente

En la deflagración de la pólvora se producen materias sólidas hasta en cantidad de un 50%, que no llegan á volatilizarse ni aun á la altísima temperatura de 2.208° á que llegan más ó menos la gases de pólvora; desprendiendo cada unidad de peso de ésta 750 unidades de calor. Esas materias sólidas que salen del arma en el momento del disparo, arrastradas por los gases de la explosión, son los que constituyen el humo.

El volumen de los gases de pólvoras á 0° y á la presión de una atmósfera es 280 veces mayor que el de la pólvora antes de inflamarse.

Los principales productos gaseosos son: el ácido carbónico, el nitrógeno, el óxido de carbono, ó anhidro carbónico y otros en pequeñas cantidades.

La ecuación que representa de un modo aproximado la combustión de la pólvora de cañón es la siguiente:



El volumen de gas puede calcularse deduciéndolo de está fórmula de la manera siguiente:

16 de nitrato potásico	16×101=1,616 gramos
21 de carbón	21× 12=0,252 „
5 de azufre	5× 32=0,160 „
	2,028

ó sea 2 gramos 28 miligramos de pólvora dan:

13 de anhidro carbónico....	13×22,36=290,68 ^{cc}
3 de óxido de carbono.....	3×22,36= 67,08
8 de nitrógeno	8×22,36=178,88

536,64

ó sea 536,64^{cc} de gas supuestos á 0° y 760^{mm.}, ó sea 264,6 por gramo.

Si en lugar de la proporción más común: 75 partes de salitre, 15 de carbón y 10 de azufre, tomamos otra como ser la de 60 de salitre, 35 de azufre y 5 de carbón, resulta que el calor y la cantidad de gas disminuirá, y en consecuencia la elasticidad de los productos de descomposición de la pólvora.

Si preparamos una mezcla sin azufre y compuesta únicamente de carbón y salitre, esta mezcla tendrá la propiedad de producir una gran cantidad de gas; pero no servirá para los usos de la guerra porque sus granos no tendrán la suficiente dureza y en los transportes se transformará fácilmente en polvo y como el carbón tiene menor peso que el salitre, aquel se separará de éste descomponiendo la mezcla.

Para hacerla más resistente hay que agregarle azufre. Además éste cuando se quema produce residuos duros, los que al inflamarse desarrollan calor y adquieren los gases elasticidad.

Si el azufre no forma parte de la mezcla, resulta que la cantidad de calor desarrollada por cada unidad de peso, será igual á 650 unidades de calor. Por este motivo la mezcla sin azufre se descompone sin estallar y la elasticidad de estos productos es menor que los de la pólvora.

La mezcla compuesta de salitre y azufre se quema con

más lentitud que la de salitre y carbón; produce una cantidad de gases inferior á la segunda y la elasticidad de los productos de descomposición de salitre y azufre es menor que la de la mezcla de salitre y carbón.

Aumentando la cantidad de salitre en más de un 75% se obtienen menos residuos en el ánima á consecuencia de que la combustión, merced al aumento del salitre, es más completa.

De lo expuesto se deduce que:

El carbón es el material más importante para la combustión.

El salitre es un ingrediente que tiene mucho oxígeno y por medio del cual se efectúa la combustión del carbón.

El azufre aumenta la rapidez de combustión y la elasticidad de los productos de composición, sirviendo de elemento de unión entre los ingredientes y dando á los granos solidez y homogeneidad.

División de las pólvoras mecánicas con respecto á su velocidad de deflagración.—Atendiendo á esta velocidad, las pólvoras mecánicas de guerra se dividen en (a. vivas) (b. lentas) y (c. progresivas).

Se dice que una *pólvora* es *viva* cuando la duración de su combustión es relativamente corta.

a) *La pólvora viva* es de granos pequeños.

1 á 3 mm, deflagra con mucha rapidez, alcanzando su mayor presión antes que se mueva el proyectil de su posición de carga como la F₃ francesa.

Se llama *pólvora lenta* aquella cuya duración de combustión es relativamente larga.

b) *La pólvora lenta* es de granos más grandes.

4 á 13 mm, y produce el máximun de su fuerza de un modo regular como la pólvora inglesa de *guijarros* y la C francesa.

Se dice que una *pólvora* es *progresiva* cuando desprende paulatinamente sus gases, mientras se mueve el proyectil en el ánima.

c) *La pólvora progresiva* es de granos grandes y de forma regular. Su fuerza de proyección debil al principio de la deflagración, aumenta rápidamente á medida que el proyectil avanza en el ánima; ejemplo: la prismática exagonal llamada pólvora chocolate y la A $\frac{30}{10}$ francesa de marina.

Según el arma á que se destine se dividen en:

A) Pólvora de infantería ó de fusil.

B) Pólvora de artillería ó de cañón.

A) *Pólvora de infantería.*

Las que se usaron en los fusiles de un calibre de 11 y más milímetros eran de granos (oblongos) y redondeados. La desti-

nada á los fusiles de 10 milímetros de granos angulosos y de un diámetro de $\frac{3}{4}$ de milímetro.

En esta última se adoptó una densidad mayor y más cantidad de salitre con el fin de disminuir la cantidad de residuos y conseguir más regularidad en la combustión. También se empleó en su fabricación el carbón pardo para disminuir la aceleración de la combustión y conseguir que el proyectil se adaptara y entrara con más facilidad en las rayas.

B) *Pólvora de artillería.*

a) *De granos pequeños.* (Fig. 1) Tienen un diámetro de 2 mm y su densidad es de 1.60. Se le emplea como carga de proyección para los cañones cuyo calibre es inferior de 15 cm. y una velocidad inicial que no exceda de 300 m.; también se emplea como carga explosiva de las granadas y shrapnels.



Fig. 1

b) *De granos gruesos.* (Fig. 2) De formas irregular redondeados y de un diámetro de 6.50 m. m. y 1.60 de densidad. La emplean en los cañones de 10 cm. cuya velocidad inicial alcanza á 460 m.



c) *Prismática ordinaria con siete canales.* (Fig. 3) Los granos son de forma exagonal, la altura del prisma 24 mm., distancia entre los lados

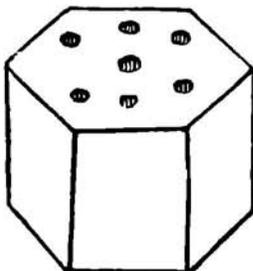


Fig. 3

metros de velocidad inicial.

d) *Prismática con un canal.* (Fig 4) Los prismas tienen las mismas dimensiones que los de 7 canales, su densidad es de 1.75 y el diámetro del canal central es de 10 mm y se emplea en los cañones de 35 cm. con velocidad inicial de 390 metros.

opuestos 34 mm. y diámetro de los canales 4.5 mm. Su densidad varía entre 1.66 y 1.75, la primera se emplea en los cañones de 15 cm. cuya velocidad inicial es de 455 m. y en los cañones de 20 á 28 cm. con 300

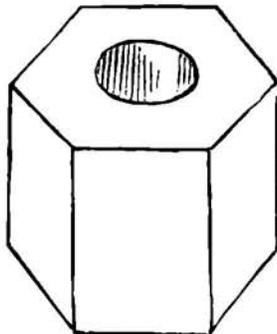


Fig. 4

e) *Prismática con carbón pardo.* Se prepara la pólvora con carbón pardo para darle una velocidad de 580 m., á los proyectiles de 28 cm. Se emplea con preferencia en los cañones de L/32 y para disminuir el efecto se ha reducido á un 4% la cantidad de azufre, 80% de salitre y á 16% el carbón pardo.

Se emplea la misma clase de pólvora con una velocidad de combustión mayor en cañones de 28 á 35 cm. de L/22 para obtener una velocidad inicial de 455 m.

Lista de algunas pólvoras en uso.

Pólvoras A₃ A_{II}⁶ parafinadas; A₃₀¹³; A₃₄²⁰; y A₃₀³⁰.—Pólvoras negras reglamentarias en Francia para los cañones de marina de grueso calibre.

Pólvora al almidón de (Fitch Reunert). Su composición es nitrato sódico 73%, carbón 12, azufre 10 y almidón 5.

Pólvora blanca de Augendre, cuya composición es:

Clorato potásico.....	41.66
Ferrocianuro potásico.....	25.00
Azufre ó azúcar en polvo.....	20.84
Carbón	12.50

Pólvora negra inglesa F G (fine grain) para armas de pequeño calibre; R F G (rifle fine grain) para armas rayadas de pequeño calibre y L G (large grain) para cañones de todas clases.

Pólvora (Du Paul de Nemour) C, CC, y CCC, para cañones de diversos calibres.

Pólvora C1 para cañones de campaña franceses.

Pólvora C2 reglamentaria de la marina, francesa, para cañones de 65 y 90 milímetros.

Pólvora Durnford compuesta de:

Nitrato potásico.....	80
Carbón de corcho.....	20
Azufre	1 á 10

Pólvora E. X. E.—Inglesa, color pardo para cañones de mediano calibre. Grano prismático con canal central y huecos en la base; color gris-pizarra. Densidad 1.8.

Pólvoras F₁, F₂ y F₃. Reglamentarias en Francia para los fusiles modelo de 1874, 1877 y 1884, respectivamente.

Explosivo Fridler para cargar proyectiles huecos incendiarios. Su composición es caoutchouc con sodio ó potasio. Arde bajo el agua y sobrenada cuando se rompe la envoltura.

Pólvora G. Austriaca; grano de 7 m/m para cañones de

80 y 90 milímetros y de 13 mm para calibres de 120 y 150 mm.
Pólvora Grobkörnige. Alemana de grano grueso, se emplea para cañones de campaña.

Grobkörnige Sprengladungspulver. Pólvora negra, de granos irregulares, empleada para la carga de explosión de granadas.

Pólvora H 57 de Hotchkiss, de grano grueso empleada por la marina italiana para cañones de 57 mm.

Pólvora K austriaca para cañones de 180 y 230 mm.

Pólvora M. G. Para las ametralladoras y cañones Nordenfeldt.

Pólvora O $\frac{1}{n}$.—Usada por la marina italiana para los cañones de 120 mm.

Pólvora O.—Usada en el Austria para los cañones.

Pólvora P. A. Reglamentaria en la marina francesa (negra y prismática).

Pólvora PB₁, PB₂, PB₃.—Prismáticas pardas reglamentarias en la marina francesa para el tiro de los cañones de 37 á 42, 24 á 34 y 14 á 16 centímetros, respectivamente.

Pólvora P. B.—Parda prismática modelo 1885 austriaca.

Pólvora parda ó chocolate (de Rotweil) empleada en Alemania é Inglaterra para la artillería gruesa.

Composición	Inglaterra	Alemania
Nitrato potásico.....	79	77
Azufre	3	3
Carbón de (paja de centeno)..	18	20
Totales.....	100	100

Pólvora Pr. 4.5 y Pr. $\frac{20}{24}$.—Italiana progresiva y usada en los cañones de 450 y 120 mm, respectivamente.

Pólvora Q F.—Inglesa para cañones Hotchkiss y Nordenfeldt de tiro rápido, análogo á la C₂.

Pólvora R.—Reglamentaria en la marina francesa para cañones de 37 mm.

Pólvora R. F. G₁ y R. F. G₂.—Inglesa para fusil.

Pólvora R. G. P.—Rumana para fusil.

Pólvora W.—Austriaca, negra de granos $\frac{31}{32}$ mm por $\frac{45}{32}$ usada en los cañones de 150 á 28 mm.

Pólvora SP₁, SP₂ y SP₃. Francesa para cañones de 115 á 24 mm.

Procedimientos generales empleados en la fabricación de la pólvora mecánica.

La fabricación de la pólvora se compone de una serie de operaciones de las que la mayor parte pueden ejecutarse por procedimientos diferentes. Para las pólvoras de guerra que deben tener una identidad tan completa como sea posible, se reglamentan hasta en sus menores detalles y las pruebas en curso de fabricación y las de recepción permiten verificar la perfecta uniformidad de los productos.

Expondremos los procedimientos generales de la fabricación de las pólvoras de guerra y de esta manera resaltarán los principios que deben servir de guía en esta fabricación, pudiendo compararse los diversos procedimientos usados. Después estableceremos la elección que debe hacerse entre estos procedimientos y la manera de conducirlos para comunicar á cada clase de pólvora las propiedades físicas y por consiguiente, las balísticas que reclame el género de servicio á que se destinan.

La pólvora como veremos, no posee sus verdaderas propiedades balísticas, sino cuando se encuentra en estado de fragmentos ó glóbulos, es decir, en granos más ó menos gruesos y más ó menos regulares, según los usos que de ella deba hacerse.

El perfeccionamiento de los cañones ha conducido á inventar las pólvoras llamadas progresivas, lo que se ha obtenido fabricando por presión en las muelas, granos y aun cargas de forma y dimensiones determinadas. Los trabajos más recientes han demostrado que se pueden obtener por medio de la fabricación directa granos de dimensiones relativamente considerables que presentan todos los caracteres de las pólvoras progresivas.

Todos los procedimientos actuales de fabricación, ya sea que se trate de pólvoras de granos finos ó gruesos, pueden concretarse á los puntos siguientes:

Reducción de los componentes al estado de pastilla más ó menos densa y tan homogénea como sea posible; reducción de esta pastilla á granos de forma y dimensiones determinadas; en fin, terminación de los granos así formados.

Se pueden dividir las operaciones sucesivas de la fabricación de la pólvora en cinco grupos:

- 1º Operaciones preliminares { Triturar en seco y tamizar las
materias primas.
Hacer las dósis.

2° Operaciones que tienen por objeto la formación de la pastilla. { Hacer la primera mezcla y humedecer.
Triturar la pasta.
Formar la pastilla.

3° Operaciones que tienen por objeto la reducción á granos de la pastilla. { Granular.
Igualar los granos.

4° Ultimas operaciones { Pavonar.
Secar.
Refinar.
Formar las mezclas metódicas.

5° Operaciones accesorias { Orear.
Aprovechar los polvos obtenidos en el curso de fabricación.
Pesar; y
Empacar.

Estas operaciones se ejecutan generalmente en el orden que se han indicado; sin embargo, veremos que pueden invertirse algunas veces ó que dos operaciones se pueden efectuar simultáneamente.

Triturar en seco y tamizar las materias primas.—En la fabricación normal de las pólvoras de guerra, el azufre y el carbón se trituran separadamente en toneles: el estado pulverulento que toman estas materias, permite separar por medio de un tamiz todos los cuerpos extraños más duros que podrían ocasionar explosiones más tarde. La pulverización del carbón permite también evitar la inflamación espontánea que podría producirse si se le sometiera en estado de fragmentos á la acción enérgica de los pilones ó de las muelas.

La trituration del carbón se hace en toneles montados sobre un eje horizontal que les comunica un movimiento de rotación y se efectúa por el choque de balines de bronce de 0^m 007 0^m 009 de diámetro. La facilidad con que puede inflamarse espontáneamente el carbón, exige precauciones particulares para su trituration separada. Al efecto, se hace uso de toneles que se componen de una cubierta de madera completamente forrada de cuero en el interior.

La velocidad de rotación de los toneles debe ser de 20 á 26 vueltas por minuto. Al cabo de hora y media, por término medio, se descarga el tonel.

La trituración del azufre se hace de una manera análoga, pero, como la operación es mucho menos peligrosa, se pueden usar toneles de madera sin forro de cuero.

La operación de tamizar se ejecuta como la del carbón.

El salitre no exige trituración previa, puesto que él se obtiene en cristales bastantes pequeños para que se puedan separar los cuerpos extraños por medio del tamiz. Por otra parte, la trituración separada del salitre presentaría inconvenientes, porque cuando se ha pulverizado esta sustancia se convierte al poco tiempo en una masa compacta bastante dura que necesita del martillo para quebrarse.

La operación de tamizar el salitre se hace en un tamiz de tela de latón y con ayuda de un disco de madera dura.

Trituración binaria. En lugar de triturar separadamente el azufre y el carbón, se pueden hacer trituraciones binarias de azufre y carbón ó de salitre y carbón, no debiendo temerse una explosión, puesto que este último cuerpo pierde la propiedad de inflamarse espontáneamente en presencia de alguno de los otros dos. Las operaciones se hacen en toneles de lámina de hierro, pero dispuestos de una manera completamente análoga á la de los descritos anteriormente; la trituración debe ser más enérgica y al efecto se hace uso de balines de bronce de 10 á 15 milímetros de diámetro.

No debe formarse jamás la mezcla binaria de azufre y salitre que detonaría con mucha facilidad.

La principal ventaja que se atribuye á las trituraciones binarias, es que la incorporación de los elementos comienza á efectuarse al tener lugar éstas, por lo que se puede disminuir ligeramente la duración de la trituración de la pasta en las muelas.

Trituración ternaria. En ciertos casos se ejecutan trituraciones ternarias, pero no tienen por objeto pulverizar las materias primas porque sería muy peligroso colocar en los toneles los tres elementos en trozos y triturarlos por medio de los balines.

Se hacen primeramente dos trituraciones binarias y se introducen cantidades convenientes de estos productos en el tonel. La trituración ternaria tiene pues, más bien por objeto efectuar una mezcla de los elementos que completar su pulverización.

Cuando estas trituraciones ternarias deben efectuarse, se hacen en toneles de cuero absolutamente idénticos á los que se han descrito para la trituración del carbón; pero como la materia es muy explosiva se emplean en lugar de balines de bronce, otros de madera dura de 30 á 40 milímetros de diámetro.

Dosis.—La operación de hacer la dosis se ejecuta en una sala especial. Cuando se efectúan las trituraciones separadas de los elementos, esta operación sigue á aquellas. Las materias pulverulentas susceptibles de volatilizarse se pesan en una balanza que tiene una caja cerrada en uno de sus platillos.

Cuando se deben ejecutar trituraciones binarias la operación de hacer la dosis precede naturalmente á aquellas.

Operaciones que tienen por objeto la formación de la pastilla. Las materias primas llevadas al estado pulverulento y pesadas en las proporciones debidas, se colocan en cubos de madera y se hace con la mano ó con un batidor una primera mezcla agregando cierta cantidad de agua que varía según la estación; pero que depende sobre todo del procedimiento empleado para triturar la pasta.

La cantidad de agua que se pone, es necesaria para dar cuerpo á la mezcla ternaria, impidiendo que pase al estado pulverulento durante la serie de operaciones que debe sufrir hasta la de secar; es igualmente necesaria para evitar el calentamiento peligroso que se produciría en la trituración de la materia bajo máquinas poderosas.

La primera mezcla no tiene en suma otro objeto que repartir la humedad en la masa que debe someterse á la trituración, siendo por esta última operación, por la que se puede obtener una mezcla bien íntima de los tres elementos.

El acto de humedecer que precede á la trituración de la pasta, debe continuarse de tiempo en tiempo durante esta operación, á la par y medida que el agua se evapore. La proporción de agua que contenga la materia será menor á medida que tome más cuerpo y deberá vigilarse que se reduzca dicha cantidad de agua á la menor cantidad posible.

En efecto, la humedad, que es indispensable, produce efectos nocivos cuando es muy abundante. Desde luego obra de manera tal que destruye parcialmente la homogeneidad de la mezcla, agrupando los elementos según su respectiva afinidad con el agua.

Para la trituración de la pasta ó sea para hacer la mezcla de manera que se incorporen sus elementos, á tal grado que no puedan ya separarse mecánicamente, se emplean dos clases de aparatos; los pilones y los muelas.

Método de pilones. Manera de conducir la operación. La experiencia ha fijado en 10 kil. la carga de cada mortero. La mezcla ternaria que se introduce se humedece al 15% como término medio. Esta cantidad de agua tan considerable es necesaria en este procedimiento para impedir la volatilización de la materia bajo el choque de los pilones.

Al cabo de cierto tiempo de tritarración se forma en el fondo de los morteros una pasta muy dura que es la que recibe el choque de los pilones, en tanto que el resto de la materia adherida á las paredes escapa casi completamente á esta acción. Para obtener la seguridad de la homogeneidad de los productos se necesita desprender estas materias y mezclarlas con el resto. Para facilitar este trabajo y ejecutarlo con seguridad se hace de hora en hora.

La duración total del batido es de once horas, pero la trituración propiamente dicha no dura más que nueve; y como la materia se retira en el estado de pastilla dura, las dos últimas horas se consagran á ese efecto y durante este tiempo, no se hacen cambios ni se rocía la pólvora.

La acción de los pilones como máquinas de trituración es impotente aun con el largo trabajo de once horas, para producir una mezcla bien íntima y una incorporación bastante completa de los elementos. El examen al microscopio de un fragmento de pólvora, demuestra que el carbón es el elemento más difícil de triturar á causa de su elasticidad, y la textura fibrosa de la madera. Resulta por lo tanto un defecto de homogeneidad que contribuye á hacer irregulares los efectos de la pólvora.

Los pilones son pues, insuficientes como máquinas de triturar, más adelante veremos que como máquinas para formar la pastilla es mucho más notable su insuficiencia.

Método de muelas. Modo de conducir la operacion. La carga de un par de muelas es de 20 kilogramos.

La materia humedecida á 5% de agua por término medio, se reparte sobre la pista de manera que presente un espesor de 25 á 30 milímetros y se ponen en seguida en movimiento las muelas con una velocidad de 9 á 10 vueltas por minuto.

Durante la operación, se continúa humedeciendo, sea por medio del aparato especial, sea por medio de regaderas de mano, que permiten arreglar mejor el grado de humedad. Únicamente la experiencia podrá guiar al obrero en las cantidades de agua que debe adicionar para suplir á las pérdidas debidas á la evaporación y evitar un calentamiento peligroso.

La experiencia ha demostrado que después de dos horas y media de trituración, comprendidas las operaciones de cargas y descargas, la materia no gana sensiblemente en homogeneidad; importa por lo mismo no prolongar inútilmente la operación de triturar porque haría muy lenta la fabricación. Para retirar la pasta en el estado de pastillas bastante consistente, se termina la operación sin rociar, se quitan los rastrillos y se hacen girar las muelas media vuelta en diez minutos (para la

formación lenta de la pastilla) ó una vuelta por minuto (para la formación rápida).

El procedimiento de muelas es el único que da pólvora bien homogénea; es de energía tal, como medio de mezcla é incorporación de los elementos que al cabo de diez minutos de acción, el análisis químico más riguroso no indica la menor diferencia de composición entre escantillones tomados de diferentes puntos de la pista.

Procedimientos de los toneles.—En algunos países la mezcla propiamente, de los tres elementos se hace en seco en toneles de trituración, no agregándose el agua sino en el momento de proceder á la formación de la pastilla. La trituración de la pasta bajo muelas ó pilones se suprime completamente.

Las operaciones en este caso son las siguientes: dosis de los componentes en el estado de fragmentos, trituraciones binarias de azufre y carbón y de salitre y carbón, formación de la mezcla de estas dos binarias en las proporciones necesarias y por último trituración ternaria. }

Este procedimiento no es tan perfecto como los anteriores, porque no puede dar una mezcla bien íntima ni una verdadera incorporación de los elementos faltando la potencia. Por otra parte, la ausencia del agua hace imposible una trituración muy enérgica. La operación de humedecer que precede inmediatamente á la formación de la pastilla y á la que no sigue un período de trituración, no puede menos que dañar la intimidad de la mezcla. El procedimiento de triturar por toneles y en seco, es pues, inferior al de muelas; ha dado sin embargo, resultados bastantes satisfactorios, puesto que lo siguen algunas naciones como Austria é Italia.

Formación de la pastilla.—Esta operación tiene por objeto agregar por una fuerte compresión la materia triturada para formar una masa densa que se llama *pastilla*, se pueden emplear á este efecto: los pilones, las muelas, las prensas y los laminadores. Los dos primeros procedimientos no son aplicables más que á las pólvoras trituradas en esas máquinas y en este caso las dos operaciones se reúnen en una sola como hemos visto ya. En los otros dos procedimientos la operación de formar la pastilla es separada: conviene no sólo á las pólvoras de toneles, sino que pueden emplearse también para las trituradas bajo muelas ó pilones.

Operaciones de la formación del grano.—Estas operaciones comprenden el graneado, que consiste en dividir la pastilla en granos; la igualación, que permite separar los granos de las dimensiones debidas, subdividiéndose á su vez, ésta en dos partes, una para quitar los granos más gruesos y la otra los más finos

y el polvo. Estas operaciones aunque distintas se efectúan con la misma máquina,

Las operaciones de granear difieren esencialmente, según que se quieran obtener granos finos y angulosos ó granos gruesos regulares.

Formación de granos finos é irregulares.—Se comienza por romper la pastilla con un mazo de madera, lo que tiene por objeto dividirla en trozos pequeños.

Otras veces el grano se efectúa con la mano por un procedimiento enteramente análogo al de tamizar el salitre. Los fragmentos de pastilla, reducidos así á granos, pasan á uno de los aparatos siguientes: *tonel granulador de Maurey; graneador m cónico de Lefebure ó graneador de cilindros.* No se emplean indistintamente porque el estado de la pastilla necesita una elección conveniente entre los medios de granear: el primero se aplica á las pólvoras húmedas y friables como la que se obtiene por los pilones, y los otros dos á las obtenidas por otros procedimientos que les dan más consistencia y que tienen menor proporción de agua. Vemos pues, desde ahora, hasta qué punto pueden ser solidarias unas de otras las operaciones de la fabricación y cómo los métodos de formación y trituración de la pastilla influyen sobre el resto del trabajo.

Últimas operaciones.—*Objeto y efecto del pavón.* El pavón tiene por objeto quitar las aristas vivas del grano, redondear los ángulos, tapar los poros exteriores y aumentar un poco la densidad de la pólvora ó por lo menos eliminar las partes friables: disminuye también la propiedad higrométrica de la pólvora y previene su descomposición en polvo. El pavón da al mismo tiempo al grano cierto grado de brillo.

Esta operación se ejecuta haciendo rodar, con una velocidad moderada, los granos unos contra otros y contra las paredes de un tonel de madera llamado pavonador.

Cuando la operación de pavonar se ejecuta en buenas condiciones, los frotamientos y pequeños choques que se producen, quitan las asperezas de las superficies del grano; el polvo húmedo que resulta tapa los poros de la capa superficial produciendo así un aumento de densidad y dureza en la superficie; además, la ligera traspiración que se manifiesta en el interior del grano tiene por objeto soldar completamente las partes diferentes. Para convencerse de este último efecto basta examinar la textura de una pastilla salida de la prensa hidráulica: se distinguen siempre, por bien hecha que haya sido la operación, líneas que marcan la soldadura de los granos elementales que la componen; se examinan después del pavón los granos proce-

dentes de esta pastilla se encuentra una textura perfectamente homogénea.

Los pavonadores son de tres clases: los toneles cerrados, los toneles abiertos y los toneles alternativamente cerrados y abiertos.

Operación de secar.—El objeto de esta operación es quitar la mayor cantidad de agua que contiene la pólvora á causa de las operaciones anteriores dejando solamente la normal que debe tener el grano. Consiste simplemente en provocar la evaporación elevando la temperatura y quitar el vapor de agua por la renovación del aire.

La temperatura debe elevarse lentamente de una manera progresiva y siempre poco elevada. Una temperatura muy brusca daría por resultado la desorganización parcial del grano, á causa de que las capas superficiales son las primeras que se endurecen al secarse, después irá penetrando el calor lentamente hasta el centro, á causa de la poca conductibilidad de la materia, lo que determinará la evaporación del agua de las capas interiores y estos vapores encontrando cierta resistencia en la parte endurecida, aumentan su tensión y no pueden desprenderse sino ensanchando los poros del grano ó quebrando la capa exterior.

Se necesita ayudar esta operación con una ventilación suficiente con objeto de quitar rápidamente el agua que llega á la superficie de los granos, á fin de impedir que se adhieran los unos á los otros.

La operación de secar la pólvora se hace al aire libre bajo la acción del calor solar, ó en aparatos especiales por efecto de una corriente de aire caliente que atraviesa la pólvora.

Operación de quitar el polvo. El graneo y pavón producen cierta cantidad de polvo que queda adherida á los granos húmedos y la operación de secar, los desprende, por cuya razón es necesario quitarlos. Para efectuarlo se emplean tamices de seda ó cerda movidos á mano. Cuando la cantidad de polvo es muy abundante, siendo este trabajo nocivo á los obreros, se hace primero la operación en tamices cilíndricos encerrados en cajas análogas á las de los toneles de trituración, pasando después á los tamices de mano.

Mezclas metódicas.—En la fabricación corriente es imposible evitar ciertas desigualdades en las propiedades de las pólvoras y que provienen, entre otras causas, de la influencia que la atmósfera ejerce sobre los resultados de las operaciones y que no pueden corregirse sino imperfectamente por los obreros más hábiles. Para atenuar estas irregularidades se hacen las mezclas metódicas.

Después de la operación de pavonar, y veinticuatro horas por lo menos después de la de secar, se toma la densidad real de cada lote y se inscriben los resultados sobre las vasijas que los contienen, se elige en seguida cierto número de ellos de manera que su mezcla presente la densidad que se desee obtener: teniendo siempre cuidado que la mayor diferencia de densidad de los lotes escogidos no pase de 0.035.

En seguida, por medio de una medida de madera, se viertan cantidades iguales de granos que se ponen en una tolva que tiene un tapón para no permitir la salida de ellos; se mezclan con la mano y se destapa la tolva á fin de que la pólvora caiga en los recipientes colocados al efecto.

Para las pólvoras de granos gruesos, los lotes no se arreglan solamente por la densidad real, sino también por las velocidades iniciales, obtenidas en los disparos hechos con las armas á que se destinan, las que se miden por medio de un cronógrafo.

Operaciones accesorias.—En ciertos casos cuando el exceso de humedad podría dañar el éxito de la operación antes de granear ó de pavonar, se disminuye la cantidad de agua que contiene la pólvora por medio de la evaporación á la temperatura ordinaria, lo que se efectúa colocando la pólvora extendida sobre mesas colocadas en una pieza seca y bien ventilada durante un tiempo que varía con el estado atmosférico. Esta operación se llama *orear* la pólvora.

Pesar y empacar.—Terminadas las pólvoras se pesan y empacan en barricas, en cajas ó en cuñetes. Cada uno de los recipientes que las contienen deben colocarse dentro de otro de la misma forma destinado á proteger el primero contra los choques. Estos últimos llevan una inscripción que indica la naturaleza y destino de la pólvora y la denominación abreviada que sirve para designarla.

Procedimientos especiales

Algunas pólvoras se fabrican por procedimientos especiales, que no constan en el método general que acaba de exponerse.

Las principales son:

Pólvoras redondas por aglomeración,

Pólvoras de granos moldeados,

Pólvoras de cargas moldeadas ó pólvoras comprimidas, y

Pólvoras sin agua.

Pólvoras redondas por aglomeración.—En la fabricación de estas pólvoras se suprime completamente la operación de for-

mar la pastilla, y la mezcla ternaria, suficientemente húmeda, se aglomera en bolas por la simple agitación.

Este procedimiento solo se usa actualmente para la producción de la pólvora redonda de mina, habiéndosele hecho algunos perfeccionamientos que permiten hacer automáticamente la carga de materias y la igualación de los granos.

Este procedimiento, aunque económico, rápido y de un rendimiento elevado, no permite obtener más que densidades relativamente pequeñas y, por otra parte, la cantidad considerable de humedad que contiene la mezcla no puede quitarse sino á costa de la calidad de la pólvora, secándola ulteriormente.

Pólvoras de granos moldeados.—En estas pólvoras cuyos principales tipos son la prismática rusa y la inglesa Pellet; las operaciones de formar la pastilla y granear se reunen y reemplazan por la del moldeo del grano.

Cuando la materia sale del aparato de trituración se reduce á granos bastante finos y se coloca mezclándola con polvos en pequeños moldes sobre una prensa.

La mezcla contiene por lo menos de 7 á 8% de humedad. Las prensas presentan disposiciones muy diversas, pero todas tienen el mismo objeto: comprimir la mezcla en los mismos moldes por medio de punzones de acero que varían según la forma que debe darse al grano.

Pólvoras de cargas moldeadas.—Estas pólvoras se conocen generalmente con el nombre de pólvoras comprimidas. La gran diferencia que existe entre éstas y las anteriores es que las últimas no tienen por objeto producir al mismo tiempo que el moldeo de la formación de la pastilla, sino simplemente aglomerar entre sí cierta cantidad de granos secos y desembarazados del polvo, de tal manera que una vez producida la inflamación de la carga, puedan penetrar los gases en los intersticios, reduciendo la carga á sus granos primitivos.

Se puede decir, hasta cierto punto, que no es este un procedimiento especial para la fabricación de pólvora, sino simplemente la preparación de cargas formadas con pólvora común de granos finos, por un procedimiento mecánico.

Se emplean estas pólvoras para la carga de los cartuchos del sistema Reffye.

Pólvora sin agua.—Señalemos por último un procedimiento inventado en Rusia, por el Coronel Viener, que consiste en comprimir las mezclas ternarias á una temperatura un poco superior á la de fusión del azufre.

Este procedimiento original disminuye las propiedades higrométricas de la pólvora y asegura mejor su conservación en los almacenes húmedos, lo que se explica muy fácilmente, por-

que en la fabricación común, el agua que sirve para humedecer, desaparece en la operación de secar, dejando en el grano pequeños poros por los que penetra más tarde la humedad, en tanto que éstos no existen en las pólvoras fabricadas sin agua; pero sí es cierto que presentan también el inconveniente de que hasta hoy no se ha logrado darles las propiedades balísticas obtenidas por otros procedimientos.

Pruebas y recepción de las pólvoras mecánicas

Pruebas de las pólvoras.—Las pruebas que se hacen sufrir á las pólvoras, tienen por objeto reconocer las propiedades físicas y las propiedades balísticas que deben tener en razón del servicio á que se destinan.

Estas pruebas se definen en reglamentos especiales.

Las pruebas pueden ser clasificadas según las operaciones que hay que efectuar ó según el objeto de las pruebas. En el primer caso se distinguen las pruebas de las cualidades físicas y las pruebas de las propiedades balísticas. En el segundo, las pruebas de recepción y las pruebas periódicas.

Pruebas de las cualidades físicas.—Las propiedades físicas que se deben examinar son: la forma y grueso de los granos, la densidad, la dureza y el grado de humedad.

La apariencia y forma de los granos, así como el pavón se aprecian por comparación con tipos convenientemente elegidos. Los granos deben ser limpios, brillantes y no deben dejar traza sensible cuando se les frota con un papel ó lienzo blanco. No debe percibirse polvo al traspasar la pólvora, de una regular altura, de un vaso á otro.

El grueso de los granos, debe estar comprendido en los límites marcados en el reglamento, lo que se comprueba contando el número de ellos en un kilogramo de pólvora, según la clase, y aun separándolos por medio de tamices y contando los de diferentes gruesos de que se componen.

Para las pólvoras de granos gruesos se hace constar el espesor medio, medido en veinte granos, y se toman los pesos de 100 de los más grandes y 100 de los más pequeños, elegidos en una cantidad que varía de uno á 3 kilogramos según la clase de pólvoras.

La densidad gravimétrica, se mide con el gravímetro y la densidad real con el densímetro de mercurio. *

La dureza se comprueba colocando un peso determinado

* Mas adelante veremos la descripción de estos instrumentos y la manera de efectuar la operación.

de la pólvora, por analizar en un barril completamente lleno; después dos obreros se lanzan uno á otro el barril, haciéndolo rodar por dos planos inclinados á 15°, de 5^m de longitud, y que llevan de metro en metro resaltes de madera dura que hacen rebotar el barril. Esta operación se repite cien veces, lo que equivale á un trayecto de un kilómetro. Se pasa entonces la pólvora por un tamis de seda y se pesa el polvo, de donde se deduce la cantidad que hubieran dado 100 kilogramos de pólvora.

Por último, se mide la *humedad* contenida en la pólvora colocando en una estufa de Gay-Lussac, calentada á 100°, cien gramos de pólvora previamente subdividida en pequeños trozos si se trata de granos gruesos.

Después de permanecer tres horas en la estufa se pesa de nuevo y la diferencia de pesos da la cantidad de agua que contenía. Este procedimiento equivale sensiblemente á la desecación en el vacío seco, procedimiento más exacto, pero mucho más lento.

Pruebas de las propiedades balísticas.—Las pruebas de las propiedades balísticas se reducen á tomar las velocidades, los alcances y las presiones con la carga de guerra en una de las armas á que la pólvora se destine. La velocidad impresa al proyectil se mide con el cronógrafo *Le Boulanger*.

Numerosas causas pueden tener influencia en la velocidad obtenida, tales como el deterioro del arma empleada, la calidad de los proyectiles; la manera de funcionar del cronógrafo, las influencias exteriores de la estación, del viento, de la temperatura, de la presión, etc.

Se hacen desaparecer estas causas juzgando las pólvoras, no según el valor absoluto de la velocidad medida por el cronógrafo, sino comparándola con la de una pólvora tipo, en condiciones idénticas. La velocidad atribuída á dicha pólvora tipo ó velocidad normal, debe determinarse cuidadosamente ya por comparación con un tipo perfectamente conocido ó por el término medio de varios tiros en una arma en buen estado, durante un año, para eliminar la influencia de las estaciones. Cada día de prueba y á la mitad de ésta se dispara con la pólvora tipo, una serie de tiros. Se admite que la diferencia entre la velocidad obtenida y la normal se debe á la influencia de las causas señaladas anteriormente; según el sentido en que se produzca, las diferencias se suman ó se restan á la velocidad medida de cada lote.

Pruebas de recepción.—Las comisiones nombradas al efecto, deben reconocer si las pólvoras llenan todas las cualidades físicas y propiedades balísticas que prevengan los reglamentos

respectivos, verificando además los análisis químicos necesarios.

Pruebas periódicas.—Con el objeto de comprobar que los productos de una fábrica de pólvora tienen todas las cualidades necesarias, es conveniente efectuar pruebas periódicas cada seis meses ó cada año con las pólvoras existentes en almacenes, observando las mismas reglas que para las pruebas de recepción.

Análisis de la pólvora mecánica

Desecación.—Antes de hacer el análisis de una pólvora, es necesario desembarazarla de la humedad que haya podido absorber. Para efectuar esta operación, y determinar al mismo tiempo la cantidad de humedad, es necesario someter á la pólvora pulverizada (si es necesario) y colocada en un tubo de vidrio previamente seco y pesado, á una corriente de aire seco, frío ó caliente hasta que ella no pierda nada en su peso.

Análisis.—Para ver la cantidad de salitre se hacen hervir cien gramos de pólvora en doscientos gramos de agua destilada, se le decanta en dos filtros iguales y superpuestos; se repite cuatro veces esta operación, á la cuarta vez se vacía sobre el filtro todo lo que hay en el vaso sin decantar.

Se evapora en seguida hasta que se sequen las aguas del lavado; el peso de los residuos es el peso del salitre.

Se hacen secar los dos filtros con la mezcla de carbón y azufre que ellos contienen; se pesa la mezcla sirviéndose del filtro inferior como tara del primero. El peso encontrado sirve para comprobar el resultado obtenido para el salitre.

Si se dispone de una balanza suficientemente sensible, es conveniente operar con dos ó tres gramos solamente.

Para separar el azufre del carbón, se trata la pólvora ya sea directamente ó después de haberla separado del salitre, por disoluciones calientes de mono-sulfuros ó sulfitos alcalinos que disuelven el azufre y dejan el carbón del cual puede fácilmente determinarse el peso y examinarse sus propiedades.

Es importante que los sulfuros de potasio ó de sodio empleados para disolver el azufre, esten exentos de potasa ó soda libre, pues cada uno de estos álcalis puede disolver una parte del carbón, especialmente si es rojo.

El sulfuro de carbono quita igualmente el azufre contenido en la pólvora, y parece ser el disolvente más conveniente para separar el azufre del carbón; de todos modos la separación no es nunca completa, porque la pólvora contiene siempre en pequeña cantidad partes de azufre insoluble en este reactivo.

Para dosificar directamente el azufre se muele y mezcla, juntos en un mortero, cinco gramos de pólvora desecada con

cinco gramos de salitre,—cinco de carbonato potásico y cinco de cloruro de sodio. Se pone esta mezcla por pequeñas porciones en un matrás rojo. Cuando el residuo se ha hecho completamente blanco se le disuelve en agua destilada; se filtra, se le satura con ácido nítrico y se le agrega en seguida cloruro de bario.

Del sulfato bórico precipitado se deduce la cantidad de azufre.

Se puede aún obtener el azufre de la pólvora tratándolo por medio de una solución saturada de permanganato potásico que se hace hervir en un matrás de vidrio, agregando de tiempo en tiempo permanganato hasta que la mezcla conserve un color violeta persistente. Para disolver el óxido de manganeso formado se agrega ácido clorhídrico concentrado y se hace hervir hasta que el líquido se aclare.

El carbón una vez separado del azufre, secado con cuidado y pesado debe ser sometido al análisis en los aparatos usados para el análisis elemental de las materias orgánicas.

Pólvoras derivadas de la pólvora negra común

Pólvora de nitrato sódico.—Cuando se sustituye el nitrato potásico por el de sódico en dosis equivalentes se obtiene una pólvora con $\frac{1}{4}$ más de fuerza. Los inconvenientes que ella tiene son sus condiciones higrométricas que hace difícil su conservación. Sin embargo, cuando esta pólvora se fabrica en el mismo lugar en que se le emplea, es ventajosa.

Pólvora de nitrato bórico.—Esta pólvora es de combustión más lenta y produce efectos menos rompedores que la pólvora común.

Pólvora de clorato potásico.—El clorato potásico contiene en pesos iguales menos oxígeno que el salitre; pero lo pone más fácil y rápidamente en libertad y la descomposición de sus elementos es completa. De esto resulta que las pólvoras de clorato potásico son más rompedoras y de una manipulación peligrosa á causa de su sensibilidad al choque.

Por otra parte, las pólvoras de clorato potásico presentan también el inconveniente de deteriorar las paredes de los cañones y de desprender el cloro que incomoda á las sirvientas.

Descripción de los gravímetros y del densímetro empleados para las pólvoras

La densidad real ó sea la relación del peso de un gramo de

pólvora con respecto á su volumen se mide por los *densímetros* de *mercurio*. Bianchi ó Ricq.

La densidad gravimétrica ó sea el peso de un litro de pólvora no comprimida expresado en kilogramos, se obtiene por el gravímetro.

El principio del procedimiento de Bianchi consiste en pesar un vaso cerrado de forma de ovoide lleno de mercurio y en repetir esta operación después de haber introducido un peso determinado de pólvora, acabándola de llenar con mercurio. Conociendo la densidad del mercurio á la temperatura de la experiencia, fácilmente se calculará la densidad real, por medio de dichos pesos.

En el densímetro Bianchi, (fig. 5) adoptado en 1857, el huevo es de vidrio y solo sirve para las pólvoras de granos finos. Des-

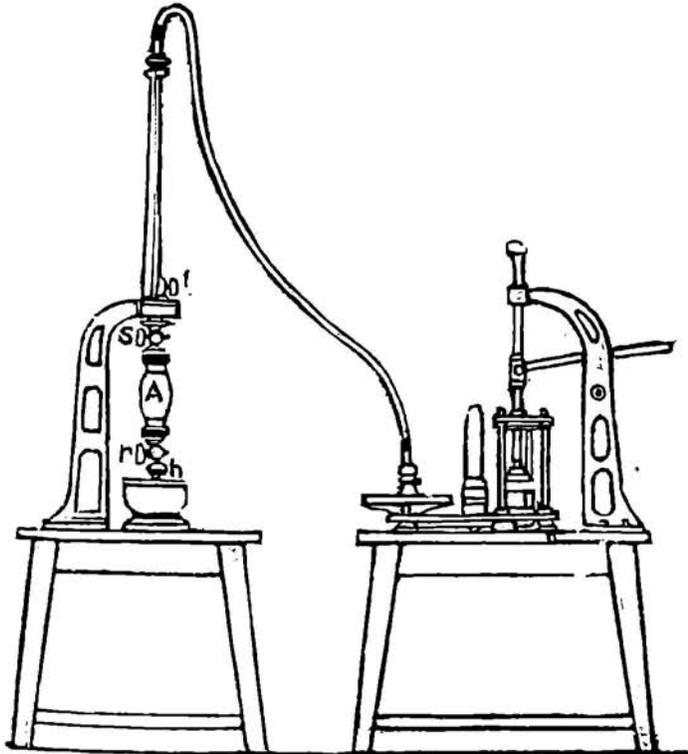


Fig. 5

pués se ha construido para las pólvoras de granos gruesos otro densímetro del mismo sistema cuyo huevo es de hierro colado y que puede contener 1,500 gramos de pólvora.

Este aparato está compuesto de un vaso de hierro fundido A, de forma ovoide terminado por dos tubos que presentan en el exterior unas gargantas semi-circulares.

Las dimensiones del vaso son suficientes para contener 1500 gramos de pólvora ó de la pastilla cuya densidad se quiera obtener. En uno de los tubos, el inferior, se coloca un diafragma de piel de gamuza y se le atornilla sobre un sombrero de llave que recibe el tubo delgado destinado á introducirse en el mercurio; en el otro tubo se coloca un diafragma de tela metálica y se le cubre con un sombrero de llave, éste lleva una cápsula destinada á impedir la pérdida de mercurio que pueda caer durante la série de operaciones.

Sobre éste último sombrero se atornilla una tuerca, que gira libremente al rededor del pie de fierro del tubo barométrico y, sostenido por un reborde de este pie, mantiene vertical el tubo, según el eje mayor del vaso. Por último, la extremidad superior, está ligada, por un tubo de caoutchouc, á una máquina neumática; pero en el trayecto se puede interponer un frasco de dos bocas cuyo uso se explicará en seguida.

La operación se ejecuta como sigue: la pólvora ó pastilla cuya densidad se quiere obtener se seca previamente, después se enfría hasta que haya tomado la temperatura del aire ambiente; esta desecación tiene por objeto impedir la producción del vapor de agua cuando se hace el vacío. Se procede entonces á las operaciones siguientes:

1^a. Montar el aparato, como lo representa la figura, teniendo cuidado de apretar bien todos los tornillos y tuercas, de cerrar la llave r y abrir las llaves s y t .

2^a. Hacer el vacío en el aparato hasta que el mercurio de la probeta permanezca estacionario; abrir la llave r ; el mercurio sube y cuando se ve que se detiene en el tubo barométrico, se cierra esta llave y se hace de nuevo el vacío hasta que haya vuelto á permanecer estacionario el mercurio de la probeta: se abre entonces la llave r y se la cierra cuando el mercurio ha cesado de subir. El frasco de dos bocas, colocado en el trayecto del tubo de caoutchouc, tiene por objeto ofrecer á la pequeña cantidad de gas contenida todavía en el circuito después del primer trabajo de la máquina neumática, una capacidad más considerable que ocupar y permite, por consiguiente, disminuir la presión y llevar el mercurio á su mayor altura en el tubo barométrico, sin haber recurrido á otra acción de la máquina neumática, reconocida nociva cuando la pólvora está en el vaso.

3ª Pesar el vaso lleno de mercurio. Llevar el aire á la parte superior del aparato por medio de la llave de la máquina neumática, después de cerrar las llaves s y t ; desatornillar el ajuste h , después el tubo y vaciar el mercurio que contiene; vaciar también el mercurio que se encuentra en el sombrero, arriba de la llave s y levantar el vaso con los dos sombreros para pesarlo.

4ª Poner la pólvora en el vaso y llenarlo de mercurio. Se introduce la pólvora sea grano por grano con la mano, sea por medio de un embudo de cobre, se vuelve á colocar el diafragma, el sombrero, el tubo barométrico, el ajuste y se hace el vacío, procediendo de una manera idéntica á la operación anterior.

Es necesario tener cuidado de apretar los tornillos tanto como sea posible, hasta el mismo punto, para evitar todo error de capacidad.

5ª Para pesar el vaso que contiene la pólvora y el mercurio se opera como para la pesada del mercurio solo y se obtiene el peso P' . El peso a de pólvora se busca antes con una balanza y se toman 1,500 gramos ó una cantidad próxima de 1,500, si se trata de pastilla, menos densa y más difícil de introducirla que la pólvora.

Sean:

P el peso del vaso lleno de mercurio.

P' el del vaso conteniendo la pólvora y lleno de mercurio.

a el peso de la pólvora.

v el volumen desconocido de este peso de pólvora.

δ la densidad real buscada.

D la densidad del mercurio á la temperatura en que se opera.

Se obtiene evidentemente:

$$\delta = \frac{a}{v}$$

$$P' = P - v D + a;$$

eliminando v entre estas dos ecuaciones:

$$v = \frac{P - P' + a}{D}$$

$$\delta = \frac{a D}{P - P' + a},$$

fórmula que no tiene en el segundo miembro más que cantidades conocidas.

Con el densímetro Bianchi se obtiene una gran exactitud, pero la manipulación es bastante complicada. Se opera más rápidamente con el densímetro imaginado por el Comandante Ricq. (fig. 6)

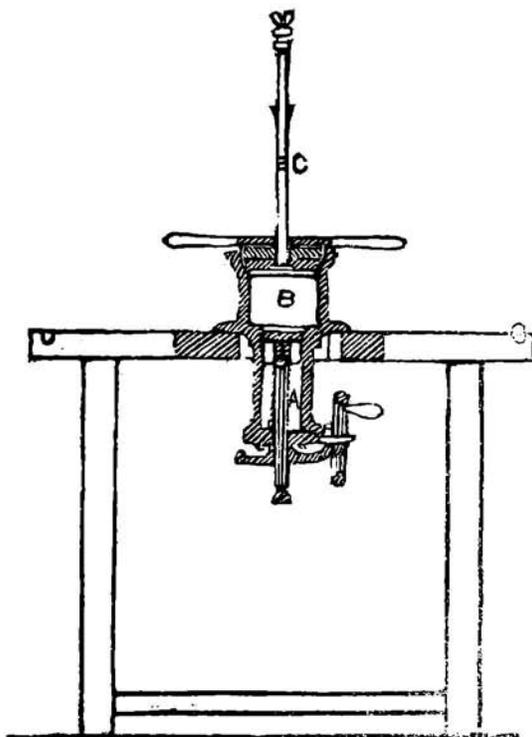


Fig. 6

El principio de la operación es el siguiente: Se determina el volumen de una cierta cantidad de pólvora, valuando la diferencia entre este volumen y un volumen tipo. El volumen tipo es el de un cierto número de esferas de vidrio, exactamente conocido.

Si se mide el exceso ϵ , positivo ó negativo del volumen de la pólvora sobre el de las esferas V_0 , se conocerá el volumen de la pólvora que es igual á $V_0 + \epsilon$, y si a designa el peso de esta pólvora, la densidad real estará dada por la fórmula:

$$\delta = \frac{a}{V_0 + \epsilon} \dots\dots\dots(1)$$

El aparato se compone de un cuerpo de bomba A. sobre el cual hay un cilindro de mayor diámetro B. Este, está cerrado por una cubierta asegurada con pernos y en la unión está interpuesto un anillo de caoutchouc. Hay que cuidar que esta cubierta no se desarregle durante el curso de una operación.

La cubierta presenta una abertura en que se introduce un tapón terminado en su parte superior por un tubo graduado C.

En el cuerpo de bomba A. se mueve un émbolo formado de dos redondelas que llevan entre sí un obturador de Bange, que se aprieta por medio de una llave. Este émbolo destinado á hacer variar el nivel del mercurio en el aparato se pone en movimiento por medio de una disposición especial de engranajes.

El tubo graduado C. contiene también un émbolo con obturador de caoutchouc que se puede apretar más ó menos, según sea necesario por medio de una tuerca colocada en la extremidad del vástago.

Para hacer una prueba de densidad se comienza por hacer descender hasta el fondo el émbolo, se introduce el mercurio (una vez por todas) por la abertura superior y después las esferas de vidrio.

Se pone en su lugar el tapón y se atornilla la redondela que lleva un punto de referencia, á fin de que siempre se pueda atornillar la misma cantidad. Se vuelve á subir el émbolo hasta el reborde; la cantidad de mercurio debe ser tal que el nivel llegue en el tubo hasta la división 50^{cc}, si no se agrega ó quita un poco por medio de una pipeta, hasta obtener este resultado. Se baja entonces el émbolo hasta que quede en contacto con el mercurio y se aprieta el obturador, después se baja dicho émbolo hasta que las esferas estén separadas; las burbujas de aire que han quedado en el vaso llenan todo el espacio que ha quedado libre; subiendo el émbolo y aflojando el obturador se hace escapar este aire. Se lee entonces la división n á que se ha detenido el mercurio, se repite la operación y se asegura uno de que el volumen no ha cambiado.

Se baja el émbolo, se quita el tapón, después se sacan las esferas de vidrio que se sustituyen por la pólvora cuya densidad real se quiere determinar, se repiten las operaciones anteriores (sin modificar la cantidad de mercurio) y se lee finalmente una nueva división n' . La diferencia $n' - n$ es precisamente en magnitud y en signo la cantidad designada por ϵ en la fórmula 1. Se notará que las divisiones del tubo C corresponden á

centímetros cúbicos y que la lectura se puede hacer próximamente á un décimo de centímetro cúbico. *

Generalmente los reglamentos de recepción no fijan la densidad gravimétrica más que para las pólvoras de granos finos.

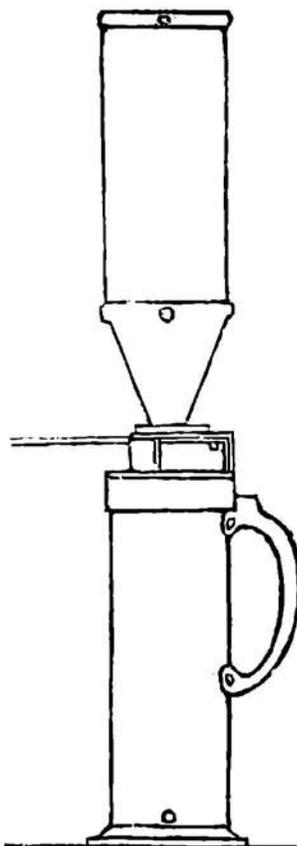


Fig. 7

Esta densidad se mide por medio del gravímetro, (fig. 7) aparato que se compone de un vaso de cobre de forma cilíndrica cuya capacidad es exactamente de 1 decímetro cúbico terminado en su parte superior por un embudo móvil que puede cerrarse por un obturador. Todas las dimensiones del gravímetro deben determinarse por un reglamento.

Estando el embudo lleno de pólvora se retira el obturador y la pólvora cae al vaso de una manera regular; la ligera compresión que experimenta es la misma en todas las operaciones, que de esta manera son comparables entre sí. Estando lleno el vaso se pone el obturador, se quita el embudo y se hace caer el excedente de pólvora rasando la parte superior con un rasero de cobre. Se pesa entonces el vaso así lleno y conociendo de antemano el peso del vaso vacío, se tiene por diferencia la densidad gravimétrica.

La densidad gravimétrica, de las pólvoras de granos muy gruesos, se mide en un vaso cilíndrico de una capacidad de 10 litros.

La densidad gravimétrica, generalmente inferior á 1 para las pólvoras de granos finos puede alcanzar hasta 1,15 en los granos gruesos.

* Bajo el punto de vista de la exactitud, es preferible el densímetro Bianchi.

CAPÍTULO III

PÓLVORAS QUÍMICAS

Pólvoras de base de nitrocelulosa

Estas constituyen un grupo de la mayor importancia por sus aplicaciones actuales y por la naturaleza de los productos á que dan lugar.

Los explosivos y pólvoras con base de nitrocelulosa pueden estar constituídos, ó por esta sustancia, más ó menos modificada en su estructura y propiedades físicas; pero libre de mezcla con otra que pueda influir en la naturaleza del compuesto resultante, ó por la misma nitrocelulosa unida á diversos principios que modifican las propiedades del producto que se obtiene.

De estas indicaciones se deducen naturalmente las dos subdivisiones que hacemos de este grupo, á saber: *pólvora con base de nitrocelulosa pura* y *pólvoras con base de nitrocelulosa unida á otras sustancias á excepción de la nitroglicerina*.

Todos los autores consignan los nombres de piroxilina, piroxilo, nitrocelulosa, fulmicotón, algodón pólvora, piroxilinas para colodión, etc., aplicado á sustancias que conviene distinguir, asunto del que muy en breve vamos á ocuparnos.

Braconnot, en 1832, y Pelouze en 1838, hicieron ya conocer ciertos derivados nitrados de los hidratos de carbono análogos á la celulosa; el primero de estos operó sobre el almidón, y el segundo sobre el papel y el mismo almidón, anotando el hecho observado por él de que esos hidratos de carbono aumentan de peso cuando se les trata por el ácido nítrico. Dumas, poco después, propuso utilizar las propiedades explosivas de estas sustancias para la carga de cartuchos; pero el primero que dió un procedimiento regular para la preparación de estos compuestos fue Schönbein en 1846, que usó ya la mezcla de ácidos para la nitración, que todavía se emplea. Poco después, en 1847, Maignard, de Boston, descubrió la variedad soluble de las nitrocelulosas.

Cuando se trata de la celulosa, lo más pura posible, por el ácido nítrico, de tal manera que pueda verificarse la sustitución en la molécula de aquel cuerpo de su hidrógeno por radicales NO^2 , se obtiene, según las condiciones de tiempo de contracto, de temperatura y de concentración de líquidos, mezclas en proporciones diferentes de derivados nitrados más ó menos ricos en ese radical.

Según Eder, que ha estudiado con detenimiento este asunto; pueden obtenerse los siguientes:

FÓRMULAS	NOMBRES	Nitrógeno por 100	OBSERVACIONES
$C^{12}H^{14}O^4 (ONO^2)^6$	Hexanitrocelulosa ó fulmicotón pro- piamente dicho.	14'14	Insoluble en al- cohol y éter mezclados.
$C^{12}H^{15}O^4 (ONO^2)^5$	Pentanitrocelulosa	12'75	Soluble en alcohol y éter mezclados. For- man indistintamen- te el algodón para colodión.
$C^{12}H^{16}O^4 (ONO^2)^4$	Tetranitrocelulosa	11'11	
$C^{12}H^{17}O^4 (ONO^2)^3$	Trinitrocelulosa	9'15	
$C^{12}H^{18}O^4 (ONO^2)^2$	Dinitrocelulosa	6'76	

Vielle ha obtenido los resultados siguientes:

FÓRMULAS	NOMBRES	Nitrógeno por 100	OBSERVACIONES
$C^{24}H^{28}(NO^2)^{12}O^{20}$	Dodecanitrocelulosa	14'14	Insoluble en la mezcla de alcohol y éter.
$C^{24}H^{29}(NO^2)^{11}O^{20}$	Endecanitrocelulosa	13'47	
$C^{24}H^{30}(NO^2)^{10}O^{20}$	Decanitrocelulosa	12'75	
$C^{24}H^{31}(NO^2)^9O^{20}$	Encanitrocelulosa	11'97	Soluble en la mezcla de alco- hol y éter.
$C^{24}H^{32}(NO^2)^8O^{20}$	Octonitrocelulosa	11'11	
$C^{24}H^{33}(NO^2)^7O^{20}$	Heptanitrocelulosa	10'18	Dan masa gelati- nosa con la mez- cla de éter y al- cohol ó con éter acético.
$C^{24}H^{34}(NO^2)^6O^{20}$	Hexanitrocelulosa		
$C^{24}H^{35}(NO^2)^5O^{20}$	Pentanitrocelulosa		Se modifica apenas por los disolventes cita- dos.
$C^{24}H^{36}(NO^2)^4O^{20}$	Tetranitrocelulosa		

El conjunto nitrado á 14' 14 por 100 de nitrógeno es pura-
mente teórico, y no ha sido obtenido; el operador que ha con-
seguido preparar una nitrocelulosa más rica en elementos es
Hoitsema, que ha obtenido productos á 13' 80, 13' 90 y hasta
14 por 100; Morton Liebschutz, 13' 91; Lunge y Veintrauve,
13' 87; Eder, 13' 80; Roscoe 13' 70, y Vielle 13' 40 de cuya ci-
fra asegura que no se puede pasar, afirmación que han venido á
desmentir las experiencias de los demás autores citados, algu-
nas de ellas, como las de Hoitsema precisamente, posteriores á
las de Vielle.

Resulta, por lo tanto, que debemos distinguir tan solo:

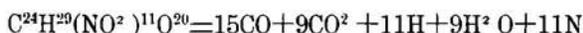
1°. Las celulosas de nitración elevada, caracterizadas por tener más de 12 por 100 de nitrógeno y por no ser solubles en la mezcla de éter y alcohol (hexanitrocelulosa de Eder, y deca, endeca y dodecanitrocelulosa de Vielle).

Para éstas debe reservarse exclusivamente el nombre de fulmicotón ó algodón pólvora, ó mejor todavía, designadas por la palabra que expresa su grado de nitración, con lo cual no hay confusión posible.

2°. Las celulosas de nitración intermedia, que se distinguen por ser solubles ó por lo menos en la mezcla de alcohol y éter y por contener menos de 12 y más de 9 por 100 de nitrógeno (tri, tetra y pentanitrocelulosa de Vielle), para las que debe emplearse el nombre de *piroxilina* para colodión ó *algodón colodión*.

En la práctica, sin embargo, no es posible conducir la nitración de la celulosa, por más precauciones que se empleen, de manera que se obtenga un producto determinado.

La combustión del algodón pólvora se verifica, según Berthelot, con arreglo á la ecuación siguiente (en la que se toma como punto de partida la endecanitrocelulosa de Vielle:



Los datos analíticos sin embargo, no confirman las predicciones de la teoría; efectivamente, analizados los productos gaseosos de la combustión de este explosivo, Karolyi, que ha practicado numerosas experiencias de esta clase, establece después de consignar que un gramo de algodón pólvora da por combustión en el vacío 335 volúmenes de productos gaseosos y por combustión á elevada presión 755 volúmenes, calculados á 0° y 750 milímetros, que la composición de esos productos es la siguiente (en 100 partes):

	<i>En el vacío</i>	<i>Bajo presión elevada.</i>
Oxido de carbono (CO)	28'55	28'95
Anhidrido carbónico (CO ²)	19'11	20'82
Hidruro de metilo (CH ³)	11'17	7'24
Bioxido de nitrógeno (NO)	8'83	„
Nitrógeno (N)	8'56	12'67
Vapor de agua (H ² O)	21'93	25'34
Hidrógeno (H)	„	3'16
Total.....	98'15	98'18
Carbón (sin quemar).....	1'85	1'82

Las experiencias de Abel demuestran que la explosión del algodón pólvora en estado húmedo se verifica con más rapidez que cuando está seco, siendo el trabajo producido igual á igualdad de pesos, como sigue:

Algodón pólvora seco Algodón pólvora húmedo.

Anhidro carbónico	24'24	32'14
Oxido de carbono.....	40'50	27'12
Hidrógeno.....	20'20	26'74
Nitrógeno	14'86	14'00
Hidruro de metilo.....	0'20	„

En todos estos análisis y en la misma ecuación de descomposición, se ve que en el algodón pólvora falta oxígeno para que la combustión sea todo lo completa que fuera de desear; la ideal, digámoslo así, sería la que se verificara con arreglo á la ecuación siguiente:

$C^{24}K^{29}(NO^2)^{11}O^{20} = 24CO^2 + 14H^2O + 11N + H$;—para la cual se necesitan 20 átomos más de oxígeno de los que existen en la molécula de algodón pólvora.

La composición de los productos gaseosos de la combustión de este explosivo en estado húmedo que nos da Abel, demuestra que en este caso la oxidación es más completa, formándose mayor cantidad de anhídrido carbónico, reduciéndose á un tercio el óxido de carbón y aumentándose el hidrógeno, permaneciendo igual, como era de esperar, el nitrógeno, y desapareciendo en totalidad el hidruro de metilo, hidrocarburo que como todos sus análogos caracteriza en unión del óxido de carbono, las combustiones incompletas. De aquí que se haya tratado de unirle, como veremos después, á una porción de sustancias que pueden cederle el oxígeno que necesita y de aquí los resultados positivos que se han obtenido asociándole á la nitro-glicerina.

Para completar estas consideraciones acerca del algodón pólvora en general, diremos que puede comprimirse con relativa facilidad, siempre que esté bien húmedo; que su densidad en este estado es igual á un entero, siendo así que bajo la forma de hilos no es más que la de 0'25 y que en copos llega á ser 0'1; que arde rápidamente, casi sin humo ni residuo, y con tal velocidad, que no comunica la combustión á la pólvora ni casi produce sensación de calor cuando se le sostiene en la mano mientras arde (siempre que esté bien seco); que la presión inicial que desarrolla por explosión alcanza 8'740 kilogramos por centímetro cuadrado (triple prácticamente, según Piobert, que

la de la pólvora ordinaria); que su velocidad de explosión en tubos de estaño es de 5,000 á 6,000 metros por segundo, reduciéndose á 4,000 si los tubos son de plomo (Severt); que desprende 1,076 calorías por kilogramo durante su combustión, según Berthelot, cantidad que se elevaría á 2,302 si ésta fuera completa y que su calor de descomposición en vaso cerrado y á pequeña densidad de carga se ha encontrado igual á 1,071 calorías por kilogramo, sin que quede residuo alguno mineral.

Además de la celulosa nítrica procedente del algodón, que es la clásica y la más usada, diremos que se utiliza la preparada con la madera, previamente purificada y separada del leñoso y las materias incrustantes por medio de tratamientos especiales.

Los explosivos de base de estas sustancias son muy numerosos y de composición muy variada: vamos á citar algunos, por vía de ejemplo, agrupándolos en las dos divisiones que hemos establecido en este grupo.

a) *Pólvoras con base de nitrocelulosa sola.*—Entre éstas podemos citar la J. B. (Judson y Borland), la de guerra alemana, la austriaca, la suiza, la *rifleita* (de Smokeless Powder Cy), la pólvora rusa, la de Froisdorff, la B. N. francesa, la de Wolff de Walsrode, la de von Forster y Prentice, Stowmarket, la fabricada por la The War and Sporting Smokeless P., y la más reciente de todas, el *pirocolodión* inventada por el famoso químico ruso Mendelejeff, y que desde 1897 viene ensayándose en aquel imperio.

Todas ellas están constituidas por nitrocelulosas más ó menos modificadas, ya sea por compresión ó ya por gelatinización parcial, por medio de un disolvente que actúa más ó menos sobre la combinación nitrada, según sea el grado de nitración que predomine en la mezcla.

b) *Pólvoras de base de nitrocelulosas unidas á otras sustancias, á excepción de la nitroglicerina.*—El objeto de la adición de la mayor parte de las sustancias que vamos á indicar, no es otro, en la mayor parte de los casos, que suministrarles el oxígeno que necesitan para que su combustión sea más completa, aumentando así el poder de impulsión y procurar al mismo tiempo que sea más regular y menos brusca dicha combustión. Muchas de las que vamos á citar tienen hoy en día pocas aplicaciones, pero algunas son todavía muy usadas y muy útiles en determinados casos.

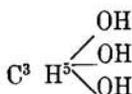
Figuran entre estas pólvoras la llamada *fulmi-madera* ó pólvora de Schultze (celulosa de madera nitrada en mezcla con nitratos potásico y bórico); la *cibálita*, de Kallivoda von Falkenstein (celulosa nitrada después de un tratamiento previo por el permanganato de potasio, impregnada después con nitrato de

manganeso y goma tragacanto y luego granulada); la *Kollfita* de Hubert Kollf, de Bonn, formada por residuos vegetales (malta, marco de remolachas, etc.); nitrados y mezclados después con nitrato potásico; la *pólvora piroxilada* francesa (nitrocelulosa con nitrato de bario y potasio); la *pólvora J.* de Bruneau (piroxilina y bicromato de amonaco); la E. G. primitiva, de Reid (fulmicotón con nitratos de bario y potasio); la E. G. número 2, de W. Borland (muy parecida á la de Reid); la S. R., de la Smokeless Powder Cy. (nitrocelulosa, nitratos de bario y potasio y aurina como materia colorante); la B. N. francesa de Sevran. Livry (nitrocelulosa y nitrato bárico); la *tonita* B. N. (igual á la anterior); la *potentita* (nitrocelulosa y nitrato potásico); la *pólvora de Jaksch* (nitrocelulosa de madera y nitrato bárico); y algunos otros menos importantes de los que prescindimos para no hacer más larga esta enumeración.

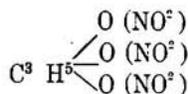
Pólvoras de base de nitroglicerina.

Descubierta la nitroglicerina en 1846 por Ascanio Sobrero, fue demostrado su verdadero valor como explosivo por Alfred Nobel en 1863, valor que, desgraciadamente, fue confirmado por repetidos accidentes, ocurridos tal vez por falta de conocimiento exacto de sus propiedades.

Su constitución química, bien estudiada y conocida ya, la hacen considerar como un éter nítrico de la glicerina, ó sea del alcohol triatómico, que toma ese nombre, en el que 3 átomos de hidrógeno alcohólico son sustituidos por 3 moléculas del radical monovalente NO^2 , según lo demuestran las siguientes fórmulas:



Glicerina



Nitroglicerina

La fórmula abreviada de este compuesto es por lo tanto, $\text{C}^3 \text{H}^5 (\text{NO}^2)^3 \text{O}^3$, á la cual nos atenderemos en lo sucesivo.

Es un líquido oleoso, de color ligeramente amarillento, cuyo punto de solidificación varía entre $+8^\circ$ y $+11^\circ$, que emite vapores hasta la temperatura de $+100^\circ$, que hierve á $+185^\circ$ y que detona con violencia á 217° ; por el choque á la temperatura ordinaria, y bajo la influencia de 0'41 kilogrametros, según Werner Cronquist, de Stockolmo, detona también elevándose bruscamente la temperatura á $+257^\circ$; este mismo autor consigna que la nitroglicerina parcialmente helada detona con un es-

fuerzo de solo 0'27 kilográmetros (lo que explica los inconvenientes de la congelación parcial de las dinamitas), y que cuando su congelación es completa ese esfuerzo asciende á 0'80 kilográmetros.

Leygue y Champión han estudiado la acción del calor sobre la nitroglicerina, sometiénola gradualmente á temperaturas cada vez más elevadas, obteniendo las características siguientes:

A +185°, ebullición con desprendimientos de vapores.

„ +194°, evaporación lenta.

„ +200°, id. rápida.

„ +217°, detonación violenta.

„ +227°, explosión.

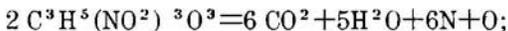
„ +241°, id. violenta.

„ +267°, id. menos id.

„ +287°, id. ligera.

Al rojo sombra (dejando caer una gota sobre una placa metálica calentada á esa temperatura), calefacción rápida sin explosión; experiencia repetida y confirmada por Kopp.

Su descomposición por explosión se verifica con arreglo á la ecuación siguiente:



de la que se deduce que le sobra oxígeno para quemar por completo todos sus elementos; de aquí las ventajas de su mezcla con otras sustancias también explosivas; pero á las que les falta ese principio, como sucede, por ejemplo, con las celulosas nitradas.

Según Nobel, por explosión produce 1200 veces su volumen de mezcla gaseosa á la temperatura y presión normales. Si se tiene en cuenta el calor desprendido en el momento de verificarse aquella, ese volumen es en realidad, ocho veces mayor.

El descubrimiento hecho en 1875 por él mismo Nobel, de que cuando se mezclan el algodón pólvora y la nitroglicerina resulta un compuesto cuya potencia total es la misma; pero cuya explosión es menor que la que producirían por separado cada uno de los componentes, además de las ventajas que la consistencia y las propiedades especiales de esa mezcla tienen para su trabajo y moldeado, fue el punto de partida de la fabricación de explosivos de esta clase.

De esta época datan la fabricación y las aplicaciones de las gelatinas explosivas, de la dinamita-goma y como su consecuencia, de las pólvoras sin humo; buena parte de las cuales tienen como base estos preparados.

Daniel, establece una distinción especial entre las gelati-

nas explosivas (dinamita-gelatina, nitrogelatina y, en general, gelatina) y las dinamitas goma, ó simplemente goma; consigna que esta última, la *dinamita-goma*, está constituida por nitroglicerina gelatinada por la adición de nitrocelulosa sin mezcla con ningún otro ingrediente, mientras que las *gelatinas dinamitas* son las gomas mismas adicionadas de sustancias inertes que modifican sus excepcionales condiciones como explosivos violentos; efectivamente, 100 gramos de goma gelatina hacen el mismo efecto que 130 á 140 gramos de dinamita ordinaria; para determinar su explosión por el choque es preciso un éx-fuerzo igual á 0'60 kilográmetros cuando contiene el 96 por 100 de nitroglicerina y á 1'80 cuando esa proporción descende á 90 por 100, conteniendo al mismo tiempo una corta cantidad de alcanfor. En estas condiciones constituye la que se llama gelatina de guerra.

La goma explosiva contiene raras veces menos de 90 por 100 de nitroglicerina, mientras que las gelatinas explosivas no pasan del 80 al 83; su densidad está comprendida entre 150 y 160; calentándola progresivamente hace explosión á +204°. Se congela, y su empleo en estas condiciones es muy peligroso. Colocada debajo del agua largo tiempo no se altera.

En 1888 Nobel hizo registrar por vez primera la aplicación de la gelatina explosiva para la carga de los cañones, modificando al poco tiempo su fórmula de acuerdo con las indicaciones del coronel Hess, por la adición de un poco de alcanfor; entonces apareció la *balistita*, que se generalizó bien pronto en Alemania é Italia, en cuyas naciones se elaboraba empleando partes iguales de nitrocelulosa y de nitroglicerina, más el 5 por 100 de anilina para dar más estabilidad al compuesto; á poco se ideó dar á la *balistita* el aspecto de cuerdas o filamentos para emplearla con más facilidad en los diversos casos en que puede ser útil, apareciendo la que se llama *flita*, y poco después la *cordita* de Abel y Dewar, hoy todavía en gran predicamento por sus buenas condiciones, y entre ellas la de resistir muy bien á la humedad por la cantidad de vaselina (el 5 por 100) que lleva, formando uno de sus elementos integrantes.

Iniciada la fabricación de pólvoras sin humo de base de nitroglicerina, con las dos antes citadas, la *balistita* de Nobel y la *cordita* de Abel y Dewar, empezaron á publicarse formas diferentes, debidas á diversos autores.

Actualmente se emplean estas pólvoras bajo la forma de hojas, granos, cubos sólidos, macizos ó perforados para aumentar su superficie de inflamación y cuerdas ó cilindros sólidos ó huecos.

Por término medio, un gramo de pólvora granulada contie-

ne de 2 á 3,000 granos. Las hojas ó placas son cuadradas de 1'5 á 2 milímetros de espesor, (fig. 8) teniendo en cuenta que la velocidad de combustión es tanto mayor cuanto menos gruesa es la hoja: si se trata de pólvoras para cañón, éstas tienen 3 milímetros de lado y cuando menos 0'7 milímetros de espesor (fig. 9). Los cubos de las que se presentan en esta forma tienen 2, 5, 10 y hasta 15 milímetros de arista.



Fig. 9

En las que afectan la forma de hilos ó cilindros estos tienen diámetros muy variables; en la cordita y la balistita usadas para los fusiles, ese diámetro suele ser de un milímetro, aumentando con el calibre del arma en la que han de ser empleadas.

Su coloración, generalmente, suele ser gris más ó menos fuerte ó pardo amarillento, llegando al pardo oscuro en algunas; con frecuencia sobre todo en las granuladas, sus elementos se pulimentan con grafito y entonces aparecen de color gris franco, con matices que varían desde el gris plata, hasta el gris casi negro.

La mayor parte, sobre todo, cuando están bien preparadas son muy poco higrométricas; según Guttman, exponiendo la *balistita* en un platillo al aire libre durante un año se ha observado que pasado ese tiempo tenía menos humedad que cuando empezó el experimento.

La densidad real de estas pólvoras varía de 0'55 á 0'40; su peso específico se separa muy poco de 1'60.

Este grupo puede dividirse en otros dos subgrupos: *pólvoras de base de nitroglicerina mezclada con una sustancia activa*; y *explosivos de base de la misma nitroglicerina mezclada con una sustancia inerte*.

a) *Pólvoras con base de nitroglicerina mezclada con una sustancia activa*.—En esta división figuran la *balistita* de Nobel, (partes iguales de nitroglicerina y piroxilina con el 5 por 100 de anilina); la *cordita* de Abel y Dewar (58 de nitroglicerina, 37 de nitrocelulosa y 5 de vaselina); la *pólvora alemana* c/98, de la Unión Rhenana Westphaliana (0'55 de nitroglicerina y 0'45 de nitrocelulosa); la pólvora holandesa de *Wetteren* (0'30 de nitroglicerina y 0'70 de nitrocelulosa; la de *Maxim* (0'80 de nitrocelulosa á 13'3 por 100 de nitrógeno, 8 de piroxilina á 12

por 100 del mismo elemento, 12 de nitroglicerina y 1 de urea pura); la de *Maxim Shüpphaus* (90 de celulosa nítrica, 9 de nitroglicerina y 0'5 á 1 de urea); la de *Barbier*, para la carga de granadas (pólvora de guerra ordinaria 1; algodón pólvora y dinamita 6 á 10, nitroglicerina 13 á 15 y gelatina explosiva 15 á 17); la *alemana sin humo* (nitrocelulosa 56'28, nitroglicerina 43'15 y un poco de grafito); la *balistita italiana* (partes casi iguales de nitroglicerina y nitrocelulosa, con el 0'5% de anilina); la *gelatina explosiva francesa* (nitroglicerina 92, piroxilina soluble 6, alcanfor 2); la dinamita de *Trauzel* (nitroglicerina 75, algodón pólvora 25, carbón 2); la *gelignita* (60 partes de una mezcla de nitroglicerina 94'85 por 100, y nitrocelulosa 5'15 por 100 con 28 partes de nitrato potásico y 12 de serrín de madera); la *sebastina* (nitroglicerina, nitrato sódico y carbón); la *amberita* de Curtis y Andrée (56 de nitroparafina sólida y una de resina); la *Leonard* de los Estados Unidos (150 de nitroglicerina, 10 de licopodio y 4 de urea); y además buen número de otras usadas casi exclusivamente para los trabajos de las minas, como las llamadas *rhexita*, *meganita*, *carbonita*, *tonita*, *vigorita*, y las pólvoras *Hércules*, *Vulcano*, *Judson*, *Altay*, la nitrada de seguridad americana, *Lannoy*, *Korsley*, etc., etc.

b) *Explosivos de base de nitroglicerina mezclada con sustancias inertes*.—Comprende este subgrupo las dinamitas, de las que no nos ocupamos en detalle porque, como ya es sabido, su aplicación en la guerra, salvo como medio de destrucción de puentes y vías férreas, es casi nulo por efecto de su sensibilidad exagerada al choque; sólo recordaremos los ensayos para aplicarla á la carga de granadas y torpedos, que se disparan con cañones especiales del tipo de los Salinsky y Graydon, y cuyo éxito no ha despertado por cierto grandes entusiasmos.

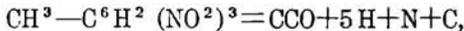
Pólvoras de base de nitro-derivados de la serie aromática, con ó sin mezcla de nitrocelulosa

Desde que Haussermann publicó en 1892, sus trabajos sobre la preparación del α trinitrotolueno y acerca de las propiedades explosivas de este compuesto, casi puede decirse que ha llegado á substituir á los derivados nitrados de la bencina, especialmente á la dinitrobenina y la trinitrobencina, que se venían utilizando para la preparación de determinados explosivos, y que tenían el grave inconveniente de su influencia nociva en la salud de los obreros que se ocupaban en su preparación y manejo, hasta el punto de que la comisión de sustancias explosivas en Francia ha prohibido la fabricación de las mezclas que contengan más de 10 por 100 de este compuesto.

Haussermann ha preparado el α trinitrotolueno partiendo del tolueno mismo; pero aconseja tomar como base, como más cómodo y fácil de utilizar el ortoparadinitrotolueno que se obtiene sin dificultad haciendo actuar una mezcla en condiciones convenientes, de los ácidos nítricos y sulfúrico sobre el paranitrotolueno.

El trinitrotolueno es un explosivo mucho más poderoso que la naftalina tetranitrada, el metacresol trinitrado y la exanitrodifenilamina, con las que se le ha comparado; por su punto de fusión (+79°) se presta perfectamente para englobar el ácido pítrico, propiedad que se utiliza para la preparación de la *melinita*, la *lyddita* y otros explosivos análogos.

Según Haussermann, su descomposición puede representarse por la ecuación siguiente:



que demuestra que á este compuesto le falta oxígeno para su total de combustión, lo que explica la necesidad de unirle á otro más oxigenado que supla este defecto.

Tiene la ventaja positiva de que no hace explosión ni por la acción de la llama ni por el choque al aire libre. Mowbray, ha sido el primero que ha recomendado su empleo en mezcla con 2 ó 3 partes de nitroglicerina.

Las nitronaftalinas mononitradas $\text{C}^{10}\text{H}^7(\text{NO}^2)$; la dinitrada $\text{C}^{10}\text{H}^6(\text{NO}^2)^2$; la trinitrada $\text{C}^{10}\text{H}^5(\text{NO}^2)^3$, y la tetranitrada $\text{C}^{10}\text{H}^4(\text{NO}^2)^4$, han sido y son todavía muy empleadas desde que Nobel, puso en evidencia las ventajas, que desde el punto de vista de la seguridad de la mezcla, tiene su asociación con la nitroglicerina. Las cuatro son sólidas y se funden sin descomponerse, la primera á +58°; la segunda á +185°; la tercera á +214°, y la cuarta á +220°; todas ellas pueden emplearse en la preparación de explosivos.

En 1894, Vosswinckel, estudió los derivados nitrados de la α clorhidrina y de la α bromhidrina.

Si se tratan en solución alcohólica moléculas iguales de uno de estos éteres y de picrato de potasio, se forma cloruro ó bromuro de potasio y un derivado condensado de la α trinitrofenol-dinitroglicerina. Lo mismo ocurre con los derivados mono, di y trinitrados del α y β naftol, estando todos estos compuestos dotados de propiedades explosivas poderosas.

Bergés-Corbin, ha propuesto recientemente aprovechar la potencia explosiva de la picronaftalina y la picronitrobencina, derivados que prepara por un procedimiento relativamente sencillo.

Como explosivos y pólvoras en las que entran los nitroderivados de la serie aromática que se utilicen y conozcan positi-

vamente, podemos citar las siguientes, algunas de las cuales tienen verdadera importancia.

La *rifleita* S. R. y S. B. inglesas (nitrocelulosa 96'64, fenilamidoazobencina 2'52); la *bellita* (nitrato amónico 5, metabinitrobencina 1); la *pólvora Volney*, número 1 (nitronaftalina 2'18: nitrato potásico 0'19, azufre 0'16); la *pólvora Volney* número 2 (nitronaftalina 1, nitrato potásico 3'3, azufre 0'512); el *rack-a-rock* (clorato potásico 79, nitrobencina 21); la *roburita* (nitrato amónico 82, dinitrobenzol 16'7); la *securita* (nitrato amónico 82'64, dinitrobenzol 17'36); la *nitrolignina* S. S. (nitrocelulosa, nitrobencina y nitrato bórico); la *romita* (nitrato amónico, clorato potásico, naftalina y parafina); la *pólvora de la Dupont Powder Cy*; de Wilmington (nitrocelulosa y nitrobencina granuladas por un procedimiento especial), y la *plastomenita* de Hermann Güttler (nitrocelulosa de la madera disuelta en dinitrotolnol fundido), pudiendo añadir la *helfofita* (mezcla de ácido nítrico y binitrobenzol), propuesta para la carga de proyectiles huecos, y que deben llevar en recipientes separadas las dos sustancias hasta el momento de la explosión.

Explosivos y pólvoras diversas

Se incluyen en este grupo, por la mayor parte de los autores, gran número de explosivos cuya composición no permite su colocación fácil en ninguna de las divisiones que se establecen en las clasificaciones anteriores; como es lógico, esta agrupación no está caracterizada por propiedad ninguna general que los defina, y es más bien un recurso que no una verdadera división.

Nos quedan solo algunos de poca importancia relativa, entre los que figuran los *explosivos gaseosos* de Pictet, en los que se trata de hacer entrar el ácido azothídrico; las *panclastitas* de Turpín, las pólvoras complejas de Adams-Junior, los explosivos *Sprengel*.

De estas sustancias, unas, como la de Adams-Junior, las panclastitas y los explosivos Sprengel, han dejado de usarse por los graves inconvenientes que presentan y que han hecho que se renuncie á la idea de utilizarlos para la guerra por carecer de las condiciones de seguridad, acción regulable y estabilidad que deben tener estas sustancias cuando se destinan á ese objeto; otros están en el período de estudios, sin que nada autorice á creer que podían producir los resultados deseados, como sucede con los compuestos del ácido azothídrico y otros, como los gases líquidos que forman la base de los explosivos Pictet, no han sido ni ensayados siquiera seriamente.

Hacemos, pues, esta ligera mención solo para que la enu-

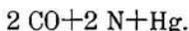
meración, no resulte incompleta; porque creemos que ninguno de los compuestos comprendidos en este grupo, muy interesantes, sin duda, desde el punto de vista científico, tienen importancia para los usos actuales de la guerra.

Los fulminatos

Estos pueden ser de varias clases, según su composición, pero el principal de ellos es el *fulminato de mercurio* que se emplea en las cápsulas fulminantes de las cargas explosivas.

El *fulminato de mercurio* ($C^2 N^2 O^2 Hg.$) se obtiene tratando el alcohol por el azotato de mercurio.

La detonación de un gramo de esta materia da 234^{cc} de gas y desarrolla 403 calorías, su descomposición corresponde á la fórmula siguiente:



Los gases formados casi no son susceptibles de disociación, lo que contribuye á hacer este explosivo extremadamente rompedor.

Este fulminato tiene el aspecto de un polvo blanco amarillento, suave al tacto, insoluble en el agua é inalterable al aire; pero susceptible de descomponerse lentamente al contacto de una pared metálica.

La densidad de este cuerpo es de 4'43, Se inflama con facilidad por el choque ó una elevación de temperatura.

El fulminato de mercurio se utiliza para la confección de las cebas y detonadores. A menudo se le mezcla con otras sustancias inflamables tales como el clorato de potasio y el sulfuro de *antimonio*, destinadas á moderar la descomposición de la materia fulminante y aumentar el volumen de los productos gaseosos; así se obtiene una llama alargada que penetra más profundamente en el interior de la carga y produce más segura y completamente la inflamación. Pero para la ceba de nitrocelulosas y de la dinamita es necesario emplear el fulminato puro.

Fabricación de los explosivos químicos.

Los que tienen como base los derivados nitrados requieren, ante todo, la preparación de las primeras materias, que para el algodón exige la inmersión en el baño de ácidos; la expresión de la masa, para extraer la mayor parte del líquido absorbido; la permanencia en este estado de la mezcla, por un tiempo determinado y en circunstancias especiales, para que la reacción se termine; el enjugado á máquina de la masa resultante, el la-

vado ulterior, primero con agua fría y después con caliente, para desalojar el ácido excedente, en cuya operación estriba el que el producto resulte con mejores ó peores condiciones de conservación; la reducción mecánica á pulpa; la adición de una sustancia alcalina, de la que debe quedar una cantidad precisa en el compuesto nitrado para asegurar mejor su inalterabilidad ulterior, y la desecación final. Los demás derivados de la glicerina, del tolueno, de la naftalina, de la bencina, etc., tienen sus procedimientos especiales, cuya exposición exigiría gran espacio y la mayor parte de ellos, á excepción de la nitroglicerina, pueden adquirirse preparados sin necesidad de que á la fabricación, ya de por sí difícil de las mezclas explosivas, haya que agregar la de las primeras materias necesarias..

La preparación de las pólvoras con base de nitrocelulosa y nitroglicerina puede decirse, en general, que comprende la elección cuidadosa de las primeras materias; su mezcla íntima, bien en frío, bien ayudando la operación con una temperatura adecuada; su paso, para hacer mayor la homogeneidad, por cilindros fríos ó calentados, según los casos durante cuya operación se desprende la mayor parte del disolvente empleado; la compresión de la materia obtenida en prensas adecuadas, en las que la presión puede regularse llegando hasta 800 á 900 kilogramos por centímetro cuadrado, y durante cuya operación se da al producto la forma definitiva que ha de tener, barras prismáticas, hojas ó cilindros macizos, huecos ó multiperforados como la Maxin Schüppaus, antes citada); su división en trozos del tamaño conveniente y su desecación.

En todas estas operaciones ha de presidir un cuidado y una serie de precauciones que vamos á exponer brevemente, por la importancia que realmente tienen, y no deben de olvidarse en ningún caso.

Derivados orgánicos nitrados.—De estos compuestos los que menos peligros ofrecen en su preparación son las nitrocelulosas, puesto que, salvo durante la nitración y la compresión, se opera siempre en presencia de un gran exceso de agua.

Las precauciones mas importantes son las siguientes:

1a. El algodón; y en general la celulosa que se utilice, debe estar bien puro y privado de sustancias extrañas, que den productos inestables;

2a. Durante la nitración es indispensable que el algodón permanezca siempre bajo el ácido, ó por lo menos bien cubierto por el líquido; si no se tiene este cuidado no tarda en absorber la humedad y empieza una descomposición, á la que acompaña

la producción de gran cantidad de vapores rojos. Cuanto más caliente esté la mezcla y menos ácido libre contenga, más expuesta está á descomponerse, por este motivo suele inflamarse el algodón nitrado en las enjugadoras durante los días calientes y húmedos;

3a. Para evitar la descomposición gradual á que están expuestas las celulosas nítricas cuando retienen algo de ácido libre, debe cuidarse de que las lociones se hagan con esmero, prolongándose hasta que las aguas no tengan acción sobre el papel azul de tornasol;

4a. Deben suprimirse en las prensas donde se comprime el algodón pólvora, con todo cuidado, toda clase de rozamientos y sus causas probables; una de las partes que deben vigilarse más son las cámaras de compresión, para evitar que por su dilatación ó ensanchamiento durante el servicio lleguen á poder determinar la producción de esos razonamientos;

5a. El trabajo de taladrado, torno, etc., del algodón pólvora, necesario á veces para la carga de torpedos ó cartuchos, debe ejecutarse en una corriente constante de agua que rocíe á la vez el útil manejado y el producto;

6a. Durante la compresión del piroxilo debe estar protegido de una manera eficaz el operario que maneja las válvulas de la bomba; para esto propone Guttman la construcción de un tabique de 30 centímetros de espesor con planchas de maderas de 5 centímetros de grueso, rellenando el espacio intermedio con carbonilla de coke; en este tabique se dispone una puerta que da á la prensa, y un tubo cónico que le atraviesa y permite al obrero vigilar la operación.

Este tabique da una protección suficiente. Raras veces se opera sobre más de 2 á 2½ kilogramos de algodón pólvora de una vez, y en caso de explosión las partes proyectadas se alojan en la carbonilla, que las detiene.

Conviene además para dirigir la explosión en un solo sentido, caso de producirse, construir de vidrio el techo ó una de las paredes del taller en que se verifican las operaciones de compresión, y en general todas las necesarias para la fabricación de este producto. La explosión actuará en el sentido de la menor resistencia y no derribará las paredes de ladrillo, aunque no tengan más espesor que de un solo ladrillo;

7a. Para evitar los roces inútiles en los secaderos, en los que siempre hay gran cantidad de polvo fino, muy seco y caliente y, por lo tanto, muy sensible al frotamiento, debe disponerse que los operarios no entren en esos locales más que descalzos á con zapatillas de suela de fieltro; el piso debe estar cubier-

ta de linoleum, que se lava bien, es blando y no presenta grietas, en las que puede acumularse el polvo;

En estos secaderos no deben existir tubos de metal para la conducción de calor, por escaso que éste sea; siempre hay puntos, como los codos, por ejemplo, en los que el calor es mayor, y en los que por lo mismo se acumula más el polvo, bastando el más pequeño choque para determinar una explosión;

8a. En la fabricación de la nitroglicerina y de la dinamita, menos peligrosa todavía en manos experimentadas que la del algodón pólvora mismo, es preciso tener presente:

a) Que el ácido nítrico no debe contener más de 1 á 2 por 100 de anhídrido hiponítrico: su presencia aumenta la producción de calor durante la nitración, lo que es peligro positivo; como límite máximo puede fijarse el 2 por 100 de ese compuesto; mayor proporción exigiría un exceso de vigilancia y de cuidado en los operarios, que no siempre puede conseguirse.

b) Que el ácido sulfúrico que se utilice no debe tener más de 0,1 por 100 de anhídrido arsenioso, por la acción oxidante especial que este compuesto ejerce en determinadas circunstancias.

c) Que la glicerina debe estar lo más exenta posible de sustancias orgánicas extrañas ó de ácidos grasos, porque estas sustancias forman durante la nitración compuestos inestables. Tampoco debe contener cloro, porque este cuerpo contribuye á la producción de anhídrido hiponítrico.

d) Que la temperatura durante la nitración de la glicerina y separación de la nitroglicerina formada no debe exceder de $+30^{\circ}$.

e) Que los aparatos deben estar bien contruídos y deben ser de plomo puro, con el fin de evitar el desgaste y la aparición de rugosidades en la superficie de contacto con la mezcla reaccionante; que los vapores producidos deben tener fácil salida por un tubo en el que se ejerza una aspiración enérgica, y al mismo tiempo sin que el aire exterior pueda penetrar en el interior del aparato; que el aire comprimido, que sirve al mismo tiempo para la refrigeración y la agitación de la mezcla, debe proceder de un recipiente en el que deje toda su humedad; que los ajustes deben ser perfectos; los serpentines por los cuales circula el agua fría para la refrigeración de la masa deben estar perfectamente contruídos, y se examinarán y probarán todos los días al empezar el trabajo para evitar los escapes, teniendo en cuenta que la entrada de la menor cantidad de agua en la mezcla de nitración, puede determinar una descomposición profunda en ésta, con grave riesgo para la operación y para el operador.

f) Que la glicerina debe inyectarse á presión en filete fino y de manera que se pueda suspender su llegada instantáneamente; la temperatura de la mezcla debe poderse comprobar en cada momento fácilmente y con toda seguridad.

g) Que los aparatos deben estar contruidos de tal manera que se puedan vaciar hasta la última gota; el grifo de seguridad debe tener bastante paso para poder vaciar el recipiente en algunos minutos.

h) Que la denitración de la mezcla de ácidos para separar sus componentes debe hacerse después de separar en totalidad los últimos restos de nitroglicerina.

9ª La fabricación de la dinamita, salvo lo que se refiera á la confección de cartuchos por medio de las prensas de palanca, no exige precaución especial ninguna. Son preferibles, según Guttman, las prensas de choque por intermitencias, á pesar de algunos defectos que todavía presentan, á las de choque único, por ser más seguras aquellas.

Es preciso también evitar toda causa capaz de producir un choque ó un rozamiento brusco, y hacer la instalación de las prensas de manera que el operario esté protegido, colocándolas como hace poco hemos dicho al hablar de la compresión de las celulosas nítricas;

10ª. La fabricación de la gelatina-goma, de la dinamita gelatina y de la gelignita, no exige más que algunas observaciones.

a) Debe evitarse calentar con exceso la mezcla, porque el nitro algodón empezaría á descomponerse y la nitroglicerina á evaporarse.

b) Es preciso evitar con cuidado toda clase de rozamientos ó choques inútiles; las máquinas deben poderse conservar y limpiar fácilmente, pues se han observado explosiones producidas por causas al parecer insignificantes (el roce por ejemplo, de una llave, al rededor de cuyo macho se había concretado un poco de nitroglicerina).

c) Debe evitarse que las dinamitas-gelatinas y las gelatinas explosivas se congelen; en estado blando todo choque se desvanece y esparsa por toda la masa; pero en el estado coherente que trae consigo la congelación, se forma una masa dura y rígida que comunica y trasmite el choque en todas direcciones, siendo el primero de los elementos constitutivos de la mezcla que hace explosión el algodón pólvora; de ninguna manera se debe operar con la dinamita congelada en las prensas para cartuchos.

Para deshelar estos compuestos deberá operarse por exposición en una cámara ó estufa á una temperatura á +20 á 25°, nunca por calefacción directa.

d) Los techos de vidrio de los talleres y las ventanas estarán pintados de blanco, para evitar la acción directa del sol, el cual, elevando la temperatura de la nitroglicerina, la descompone de una manera sensible.

e) Deben quemarse con cuidado las barreduras de los talleres, los residuos de los filtros y todos los recipientes en los que se practican las lociones, tal vez fuera mejor someterlos en grandes depósitos á la acción de la cal ó el sulfato ferroso para destruir la nitroglicerina.

Pólvoras sin humo y otros explosivos.—1ª. La disolución de la nitrocelulosa en la nitroglicerina ó en los disolventes apropiados que se emplean en las pólvoras de esta clase, no exige más precauciones especiales que las ya expuestas anteriormente, en particular al hablar de los productos gelatinosos;

2ª. Se elegirán esos disolventes en el mayor grado de pureza posible; la acetona, que es el menos común de los empleados, debe ser perfectamente limpia; mezclarse con el agua en todas proporciones sin dar el menor enturbamiento; tener una densidad igual á 0,7665; no tener más del 0,1 por 100 de aldehído; no acusar una acidez superior á 0,005 por 100; dar cuando menos, el 98 por 100 de productos que destilen entre +56°, 2 y +56°, 4, y conservar, cuando menos dos minutos, la coloración rosada que adquiere cuando se la trata por una solución de permanganato potásico á 0.1 por 100.

3ª. El moldeado en placas, cuadrados pequeños ó discos, cuerdas, filamentos, etc., debe hacerse con cuidado, recogiendo exactamente los vapores de acetona ó éteres empleados como disolventes, que son muy explosivos. La división de cuadros pequeños no es peligrosa porque la presión que se ejerce es relativamente escasa y hay apenas frotamientos.

4ª. No debe dejarse que se reúnan grandes cantidades de estas pólvoras, no por temor á la explosión, sino al incendio.

5ª. La fabricación de la nitrobencina no es peligrosa más que durante la nitración y por la absorción de los vapores que son muy venenosos.

6ª. La preparación del ácido pícrico no presenta peligros verdaderos, estos aparecen cuando una vez obtenido el producto éste puede mezclarse accidentalmente con ciertas sustancias como la cal, el nitrato de plomo, el clorato potásico, etc.

La fusión de este cuerpo, ya solo, ya con otras sustancias que le aglomeren, como sucede, por ejemplo, con el nitroloeno, debe practicarse con sumo cuidado, calentando la mezcla en ba-

ño de maría efectivo, es decir en el que por ningún motivo puede establecerse cámara de vapor sobre calentado y evitando todo choque ó frotamiento:

Como precauciones generales en estas clases de fabricaciones, deben adoptarse las siguientes:

1a. Establecimientos de pararrayos eficaces y en comunicación directa y fácil con la tierra por el exterior de los edificios;

2a. En el caso de que se utilice el alumbrado eléctrico (único que deberá consentirse en estas fábricas), será preciso disponer:

a) Que existan buenos conductores de pararrayos en comunicación con el circuito.

b) Que los conductores entren en el edificio por lados opuestos, para evitar la formación de circuitos cortos accidentales.

c) Que no existan juntas ni conmutadores en el interior de los talleres.

d) Que las lámparas estén cerradas en grandes globos de vidrio de cierre hermético, para evitar la irradiación colorífica.

e) Que exista una disposición eficaz que asegure al aumentar la tensión fuera del límite admitido en el circuito, el que éste se corte por sí solo.

Fabricación de los fulminatos.—Durante mucho tiempo se ha considerado á los fulminatos como derivados del cianuro de metilo, en el cual un átomo de hidrógeno se reemplazaba por un grupo NO^2 y las otras por el metal; pero hoy se les considera como derivados de un cuerpo no aislado todavía, el ácido fulmínico que cambia un átomo de hidrógeno por otro de metal.

El fulminato de mercurio se prepara disolviendo en frío tres partes de mercurio en 36 de ácido azótico y agregando en dos veces 34 partes de alcohol al azotato ácido de mercurio así formado.

Después de la primera adición, la reacción comienza por sí misma y se le modera vertiendo en la mezcla la segunda parte del alcohol. Pronto se detiene y se deposita un precipitado blanco y cristalizado de fulminato de mercurio.

Reemplazando en la operación precedente el mercurio por la plata se obtiene el fulminato de plata aun más explosivo. Por doble descomposición se forman otros fulminantes igualmente muy explosivos.

Análisis de las pólvoras nitradas en general

Como se trata de productos muy complejos, creemos más conveniente exponer los procedimientos de análisis de cada gru-

po, digámoslo así, en particular, á reserva de no repetir aquellas determinaciones que se practiquen de igual manera en todos los casos; la claridad de la exposición ganará por este medio lo poco que acaso pierda por concisión.

Celulosas nitradas.—Fulmicotón ó algodón para colodión.— Los elementos que es preciso determinar en estos compuestos y en las pólvoras por ellos constituídos son la humedad, la proporción de algodón nitrado soluble (términos inferiores de la nitración), la proporción de algodón no nitrado, el nitrógeno y las cenizas.

1.º *Humedad.*—Se obtiene este dato por desecación, á $+96^{\circ}$ á 98° en la estufa, de 10 gramos del producto, que se colocan sobre un trozo de papel desecado á la misma temperatura y pesado previamente; la pérdida de peso encontrada representa la humedad.

2.º *Algodón nitrado soluble* (términos inferiores á la nitración). Es esta una determinación que puede tener, según los casos, dos objetos: ó precisar la riqueza en fulmicotón (celulosas de nitración elevada) de un algodón para colodión, ó la inversa, obtener la proporción de algodón nitrado soluble (algodón para colodión) en un fulmicotón.

Para ésto se pesan 5 gramos de la muestra previamente desecada á $+100^{\circ}$ y expuesta después dos horas al aire; se colocan en un matraz de *Erlenmayer*, de tapón esmerilado, se añaden 280 cc. de una mezcla, de una parte de alcohol de 90° y dos de éter de 65° , se tapa el matraz y se deja su contenido en digestión por espacio de dos ó tres horas, agitando de vez en cuando; pasado ese tiempo se vierte el contenido sobre un filtro de muselina ó linón blanco; se deja escurrir y se lava con una corta cantidad de la misma mezcla de alcohol y éter, se exprime el filtro con su contenido entre papeles absorbentes, se introduce el todo en el mismo matraz en el que se hizo la digestión, se repite ésta con igual cantidad de disolvente, prolongado el contacto sólo durante una hora; se decanta el líquido, reuniéndole con el precedente del primer tratamiento; se extiende el filtro de muselina con su contenido sobre unas hojas de papel hasta que se haya evaporado todo el éter, se separa el residuo insoluble, ya casi seco y se coloca en un vidrio de reloj tarado, se determina la desecación en la estufa á $+95^{\circ}$ á 100° . se deja al aire libre durante dos horas y se pesa; la cifra obtenida representa la cantidad de fulmicotón contenida en los 5 gramos, sobre los que se ha operado, más el algodón que no ha sufrido la nitración.—Como la cantidad de éste se determina por sepa-

rado, basta deducirla del peso total obtenido para tener el peso real del fulmicotón.

3.º *Algodón no nitrado*.—Se pesan 5 gramos de la muestra que se analiza, previamente desecados á $+100^{\circ}$ y expuestos después al aire durante dos horas; se hierven con una solución saturada de sulfuro de sodio durante una hora; se deja la mezcla en contacto cuarenta y ocho horas, se decanta el líquido sobre un filtro tarado y cuyo peso de cenizas nos sea conocido, se hierve nuevamente el residuo insoluble que queda en el matraz con el que se ha practicado la ebullición con nueva porción de solución de sulfuro de sodio, se filtra por el mismo filtro anteriormente usado, recogiendo en este todo el residuo insoluble; se lava perfectamente con agua destilada, deseca y pesa, anotando la cifra obtenida; se incinera entonces el filtro siempre con el contenido y pesan las cenizas, deduciendo del total de esta la cantidad correspondiente á las del filtro; se obtiene una cifra que se resta del peso del residuo insoluble en el sulfuro de sodio; la diferencia representa exactamente la cantidad de algodón no nitrado existente en los 5 gramos de productos tomados para el ensayo.

4.º *Alcalinidad*.—Se pesan 5 gramos de la muestra que se analiza (desecada á $+100^{\circ}$ y expuesta después al aire) y se digieren con 20 cc. de ácido clorhídrico, $\frac{1}{4}$ normal, diluido en la suficiente cantidad de agua destilada para que resulten 280 cc.; se agita la mezcla durante quince minutos, poco más ó menos; se decanta entonces el líquido y se lava el residuo con agua destilada hasta que los líquidos no tengan reacción ácida; se reúnen entonces todos estos y se valora en ellos la acidez en exceso con el carbonato sódico, $\frac{1}{4}$ normal, empleando la tintura de tornasol como indicador coloreado; la diferencia que se encuentra entre la cantidad de ácido clorhídrico contenida en los 20 cc. de ácido valorado añadido y la obtenida en el ensayo final, representará la alcalinidad del producto examinado, alcalinidad que puede traducirse en carbonato sódico ó en óxido de sodio ó de calcio.

5.º *Nitrógeno*.—Es el dato que demuestra mejor la pureza del compuesto analizado y su riqueza en productos de nitración, elevada, unido con el ensayo de solubilidad, da al químico una idea muy precisa acerca de la composición del producto.

Efectivamente; si recordamos que la cantidad teórica de nitrógeno que debe contener la celulosa más rica en productos nitrados, ó sea la exanitrocelulosa, es igual á 14' 14 por 100, cifra á la que nunca se llega en la práctica, no pasando de 13' 90, y que en las celulosas nitradas que mejor resultado dan para la fabricación del colodión, esa cantidad oscila entre 6' 76 y 11' 11 por 100, podremos deducir de las cifras que obtenga-

mos en el análisis de un explosivo cual es la composición, las propiedades de éste y las aplicaciones más apropiadas de que es susceptible.

El procedimiento más expedito es el de Lunge ya tal y conforme lo estableció este autor, si fuera preciso con la modificación que introdujo en su aparato primitivo para hacerle aplicable el análisis de sustancias poco ricas en productos nitrados, ya con las variaciones indicadas por Horn, aunque, en realidad, estas tienen mayor aplicación en el examen de las pólvoras sin humo. Sin dar detalles acerca de esta determinación, que no creemos propia de este lugar, recordamos que además del procedimiento de Lunge, puede utilizarse el ideado por Champión y Pellet, fundado en que cuando se hierve la nitrocelulosa con ácido clorhídrico y solución del protocloruro de hierro desprende todo su azoe al estado del protóxido de nitrógeno, el cual se recoge y mide perfectamente. Eder ha recomendado sustituir el protocloruro de hierro por el sulfato de protóxido del mismo metal en solución clorhídrica.

Muchos autores prefieren el procedimiento de Lunge, para la determinación del nitrógeno; y más especialmente si se trata del análisis de pólvoras que contengan picratos, nitroglicerina ó derivados nitrados de la serie aromática, el de Kjeldahl, con las modificaciones introducidas en él por Goldbauer y Gunning, aplicado primeramente por Chenel al análisis de los explosivos de esta clase. Los resultados son muy exactos, y la manipulación es tan sencilla, como las anteriores y menos expuesta á errores que la exigida por el método nitrométrico de Lunge.

En los casos de análisis de nitrocelulosas ó compuestos de esta clase, no debe operarse, si se emplea este último procedimiento, más que sobre 2 á 4 decigramos de primera materia, que darán ordinariamente de 40 á 80 cc. de gas. En el caso de la nitroglicerina, esa cantidad se reduce á la mitad (0' 1 á 0' 2 gramos), y en el de las pólvoras sin humo de 0' 2 á 0' 3 gramos de la misma; un exceso sobre estas cantidades supone un volumen demasiado considerable de gases desprendidos y un gran número de dificultades prácticas que vencer, sin ventaja de ninguna especie para la precisión de los resultados.

6.º *Cenizas*.—Se pesan 5 gramos de la sustancia analizada, se colocan en un crisol, de porcelana, se cubren con un poco de parafina pura (y reconocida de antemano) se calienta á + 70 á 80° en el mismo crisol. y cuando la parafina se haya fundido, englobando la sustancia que se analiza se enciende, colocando el crisol inclinado 45° próximamente y haciéndolo girar sobre sí mismo para que el aire actúe por igual sobre la masa que contiene.

Se termina la incineración como de costumbre cuando ya deja de verse llama en el citado crisol y después de enfriado en atmósfera seca (en presencia del cloruro de calcio ó del ácido sulfúrico) se pesa; el aumento de peso observado nos dará la cantidad de cenizas en 5 gramos del producto ensayado; basta multiplicar esa cifra por 20 para tener la proporción de las referidas cenizas por 100.

Una mezcla buena de algodón para colodión analizada por este procedimiento por Gerard Sanford, le dio los resultados siguientes:

Algodón soluble.....	98.688%	} Nitrógeno 11.67%
Fulmicotón.....	0.642 „	
Algodón no nitrado.....	0.240 „	
Humedad.....	0.171 „	
Cenizas.....	0.250 „	

Dinamitas.—Su análisis comprende las siguientes determinaciones:

1.ª *Humedad.*—Se lleva á efecto esa dosificación pesando 10 gramos del producto en una cápsula de fondo plano ó un vidrio de reloj y colocando éste en un desecador sobre cloruro de calcio; á los seis ú ocho días se pesa nuevamente y la pérdida experimentada nos da el dato buscado (raras veces contiene una dinamita más del 1 por 100).

2.ª *Materia absorbente.*—Se somete la sustancia seca en un aparato de lixiviación de Soxhlet, á la acción del éter, repitiendo la operación hasta separar de la mezcla que se analiza toda la nitroglicerina, lo que exige á veces redestilar el éter, para que actúe de nuevo, hasta veinte y cuatro veces, lo que hace interminable la operación; Sanford, para evitar esto, propone introducir la muestra pesada con éter (50 cc. de éste para 10 gramos de producto) en un matraz de Erlenmayer, de capacidad apropiada y tapón esmerilado: se tapa el matraz y se mantiene la mezcla en contacto dos horas, agitando de vez en cuando; se decanta el éter sobre un filtro pesado y se repite este tratamiento tres veces, empleando en total 200 cc. de éter; el residuo insoluble que queda sobre el filtro se deseca y pesa, obteniéndose así la materia inerte que sirve como absorbente.

3.ª *Nitroglicerina.*—Sumando la humedad con la materia absorbente y deduciendo esa suma de los 10 gramos de productos que se tomaron para el análisis, se obtiene la cantidad de nitroglicerina buscada; no conviene tratar de encontrar esta directamente pesando el residuo que deje por evaporación espon-

tánea el éter utilizado para su separación, porque aun á la temperatura ordinaria y mucho más en presencia del vapor de éter, la nitroglicerina se evapora de un modo sensible y los resultados son deficientes.

Compuestos gelatinosos.—En estos es preciso determinar:

1.º *Humedad.*—De la misma manera que hemos dicho para las dinamitas.

2.º *Algodón soluble.*—Se pesan 10 gramos de la sustancia previamente desecada y se colocan en un matraz de Erlenmayer de 500 cc. de capacidad y tapón esmerilado, se añaden 250 cc. de una mezcla de dos partes de éter de 65º y una de alcohol de 90º, se agita bien y se deja doce horas en reposo; pasado ese tiempo se decanta todo sobre un filtro tarado de antemano, se lava con unos 200^{cc} de la misma mezcla de alcohol y éter, se deja escurrir bien, se deseca y pesa; el peso representa el residuo insoluble (nitrato potásico y otras sales).

La solución etéreo-alcohólica que contiene el algodón colodión y la nitroglicerina se mezcla con cloroformo, que precipita aquel bajo la forma de gelatina; se recoge esta, por filtración, sobre un trozo de muselina blanca bien limpia y se deja escurrir; una vez terminada esta operación se disuelve el precipitado recogido (sobre el mismo filtro) en la mezcla de alcohol y éter, y se vuelve á precipitar por adición de cloroformo al líquido, con el objeto de privar por completo á la celulosa nitrada de la nitroglicerina que retiene interpuesta en la primera precipitación.

Se deja entonces escurrir perfectamente el precipitado, se deseca á + 50º, hasta que se separe con facilidad del lienzo; se traslada entonces á un vidrio de reloj tarado, se termina la desecación en la estufa á + 90º y se pesa. Este peso representa el algodón soluble en los 10 gramos de producto tomado para el ensayo.

3.º *Residuo insoluble.*—El residuo insoluble que queda después del tratamiento de la gelatina por la mezcla de alcohol y éter es en el caso de la gelatina detonante, muy escaso; está compuesto generalmente por carbonato sódico; se le deseca perfectamente y se le pesa. Pero si se trata de la dinamita gelatinada ó de la gelignita, es preciso colocar ese residuo en un vaso de precipitado, hervirle tres ó cuatro veces con agua destilada, decantando cada vez el líquido sobre un filtro tarado previamente; reunir la porción insoluble en este, lavarla con agua hirviendo, desecarla á + 50º y pesarla; el aumento de peso que

se observe representará la pulpa de madera ó el algodón no nitro; el examen microscópico de este producto pondrá en evidencia su naturaleza verdadera.

Los líquidos acuosos, reunidos, se evaporan en cápsula de porcelana tarada; el residuo se deseca á $+ 110^{\circ}$ y se pesa; está constituido por nitrato potásico y un poco de carbonato sódico; se trata por el ácido nítrico puro hasta saturación, se evapora, deseca y pesa nuevamente; la diferencia entre el peso actual y el obtenido antes de hacer actuar el ácido nítrico, representa la diferencia entre el peso del ácido carbónico y del ácido nítrico que ha sustituido á aquel en su combinación con la sosa; por el cálculo se deduce la cantidad de ésta existente en las materias minerales.

4.° *Nitroglicerina*.—Se determina por diferencia al obtener la cifra de algodón soluble en el ensayo número 2, por las mismas razones que expusimos al hablar de las dinamitas.

5.° *Nitrógeno*.—Se procede cuando ya hemos dicho al hablar del análisis de las nitrocelulosas, eligiendo el método de Lunge ó el de Kjeldahl, modificado y operando sobre 0' 1 á 0' 2 gramos de primera materia.

Pólvoras complejas.—Para el análisis de estos productos, W. G. Williams recomienda un procedimiento que es muy completo, muy práctico, y que constituye un buen ejemplo de esta clase de trabajos. Vamos á exponerle con los detalles precisos.

Supongamos que se trata de una pólvora sin humo que contiene nitroglicerina, fulmicotón, un nitrato, parafina ó aceite, resina, alcanfor, azufre, urea y sales metálicas.

1.° Se determina la *humedad*, de la manera expuesta al hablar del análisis de las dinamitas.

2.° Se trata por éter una cantidad pesada en el aparato Soxhlet; ó bien, como hemos dicho que recomienda Gerard Sanford, en un matraz de Erlenmayer: la disolución etérea, que se separa por filtración del residuo insoluble, el cual se deseca y pesa, contiene la nitroglicerina, la parafina ó aceite, el alcanfor, la resina, una parte del azufre y la totalidad ó parte del picrato.

Se anota el peso insoluble y la cifra correspondiente á la parte soluble en el éter por diferencia.

3.° Si la pólvora contiene picratos se mezcla el líquido etéreo con agua en un embudo de separación de bola, se agita para facilitar la disolución de aquellos en el agua y se separa el líquido etéreo del acuoso, repitiendo la operación las veces que se considere necesario.

4.° Se deja evaporar espontáneamente el líquido etéreo; el extracto que queda después de seco á $+ 50^{\circ}$ se pesa anotando la cifra obtenida (A), y se trata después por el sulfuro de carbono, decantando este líquido en un vaso de vidrio de Bohemia, previamente tarado ó en una cápsula también de vidrio, pero de bordes ensanchados, de las que emplean especialmente para evaporaciones de líquidos volátiles, asimismo tarado; se repite este tratamiento tres ó cuatro veces y se abandonan á la evaporación espontánea estos líquidos reunidos; en ellos va disuelto el alcanfor, que se volatiliza al propio tiempo que el sulfuro de carbono. Terminada la evaporación y bien seco el producto, se pesan por separado, el residuo insoluble, el sulfuro de carbono (B) y el residuo obtenido por la evaporación de este mismo disolvente (C). La diferencia $A - (B + C)$ representa el alcanfor extraído por el sulfuro de carbono y volatilizado con este.

5.° Se reúnen los dos residuos y se tratan por la sosa cáustica en baño de maría con intermedio de agua; se deja enfriar la mezcla y se agita en una bola de decantación con éter, se separa éste y se repite dos ó tres veces el mismo tratamiento; reunidos los líquidos etéreos, se dejan evaporar espontáneamente y se pesa el residuo seco; este peso representa la *parafina* ó el *aceite* contenidos en la muestra ensayada.

6.° La solución acuosa procedente del ensayo anterior y previamente calentada en baño de maría hasta que desaparezca el olor á éter, se trata por un exceso de bromo, se añade á la mezcla ácido clorhídrico y se recoje, lava y deseca la *resina* que se separa por virtud de este tratamiento.

7.° En la misma solución acuosa, de la que se ha separado la resina por filtración, se precipita el azufre al estado de ácido sulfúrico formado por oxidación, gracias á la acción del bromo, por medio del cloruro de bario; se recoje, lava, deseca calcina y pesa el sulfato, el bario formado, deduciendo por el cálculo la cantidad de azufre que representa.

8.° El residuo del tratamiento por éter que quedó en el segundo ensayo, se trata por el agua destilada, que disuelve los picratos, nitratos, cloratos y demás sales solubles y la urea, completando un volumen conocido.

En una parte medida de esta solución, y que por lo tanto, representa un peso fijo de la pólvora se precipita el *ácido picrico* por el sulfato de cinchonina, terminando la determinación de una manera ordinaria.

En el resto del líquido acuoso se van dosificando los demás elementos, siguiendo la marcha general del análisis cuantitativo, que es bien conocida.

9.º La piroxilina, el fulmicotón verdadero, la celulosa nitrada y las cenizas, se determinan operando con nuevas cantidades de pólvora, en la misma forma que hemos dicho al exponer los procedimientos analíticos especiales para las pólvoras con base de piroxilina ó de nitroglicerina.

En lugar de hacer el primer tratamiento por éter solo (determinación N.º 2), puede emplearse una mezcla de dos partes de éter y una de alcohol, la cual disuelve los mismos elementos que el éter y además la piroxilina para colodión; una vez separados los líquidos etéreos se determina en ellos esa sustancia por una doble precipitación por el cloroformo, como ya digimos al hablar de los compuestos gelatinosos, continuando después con los líquidos separados la marcha que acabamos de exponer.



SEGUNDA PARTE



ESTUDIO

DE LAS

ARMAS DE FUEGO

Las piezas de Artillería

CAPÍTULO I

DIVERSAS CLASES DE PIEZAS DE ARTILLERÍA

Las piezas de artillería se dividen en varias clases, de las cuales uno de los tipos extremos es el *cañón* y el otro el *mortero*.

El cañón es la pieza organizada para sacar de la pólvora el rendimiento máximo, es decir, imprimir la mayor velocidad posible á un proyectil de peso dado.

Mientras más grande sea esta velocidad, más lo serán también, por una parte, la tensión de la trayectoria descrita por el proyectil para alcanzar un objetivo (que es el punto más importante para la artillería de campaña) y por otra, su fuerza de percusión ó de penetración (que es el punto capital para las artillerías de sitio, de plaza y de marina).

El tiro ejecutado en estas condiciones de velocidad máxima se llama tiro *rasante*. A menudo se tiene necesidad de hacer describir al proyectil una trayectoria más curva, sea que deba pasar por sobre una masa interpuesta entre la pieza y el el objeto, sea que éste, como los barcos acorazados, presente mucha menor resistencia á proyectiles que llegan según una dirección próxima á la vertical. Montado el cañón sobre un afuste que permita darle una inclinación conveniente, puede utilizarse para tiro curvo disminuyendo la carga; pero la fuerza viva del proyectil (1) y con ella el efecto útil del tiro, se disminuyen proporcionalmente al cuadrado de la velocidad inicial.

Para compensar la disminución que sufre uno de los factores de la fuerza viva por el aumento del otro, es mejor aumentar el peso del proyectil en lugar de disminuir la carga de pólvora, lo que se consigue tomando otro, ó más largo ó de mayor diámetro. Si solamente se hace variar la longitud del proyectil no se puede obrar más que en límites bastante restringidos, porque la forma no debe separarse mucho de algunas proporciones reconocidas como buenas, desde el punto de vista de la

(1) *Fuerza viva de un móvil* es el producto de su masa por el cuadrado de su velocidad: $m \cdot V^2$.

estabilidad durante el movimiento en el aire. Por el contrario, aumentando á la vez el diámetro y la longitud se tiene un espacio más vasto, pero esto exige que se reemplace la pieza por otra cuya ánima sea más grande. Esta será una pieza especial con la cual se renunciará á obtener grandes velocidades ó trayectorias muy tendidas; bajo esta condición, es decir, no tirando jamás más que con una carga relativamente pequeña, se le podrá dar una longitud y un espesor menores; á pesar del ensanchamiento del ánima podrá tener un peso del mismo orden que la pieza que sustituye, ser manuable hasta el mismo grado y utilizarse en las mismas circunstancias de la guerra.

Hay otra ventaja considerable en tomar el proyectil de un diámetro tan grande como sea posible en atención á la curvatura pedida para la trayectoria. La eficacia del tiro no depende solamente de la fuerza viva con que el proyectil llega al objeto, depende también, casi al mismo grado, de la cantidad de explosivo que encierra; ahora bien, esta capacidad es proporcional al cuadrado del radio mientras que no lo es más que á la primera potencia de la longitud. (1)

Tales son las consideraciones que han conducido á los artilleros á hacer uso de varios tipos de piezas de artillería que se alejan más y más del cañón propiamente dicho, y á los cuales se han dado los nombres de obuses y morteros; el género de tiro que ejecutan se llama tiro *curvo* ó sumergente, y si la trayectoria es todavía más elevada, tiro *vertical*.

A fin de fijar las ideas, digamos desde ahora que es sobre todo por la relación de la longitud del ánima á su diámetro y por la del peso de la carga al del proyectil, por lo que estos tipos se diferencian unos de otros. La primera relación es de 18 á 25 para los cañones, de 10 á 12 para los obuses, de 2 para los morteros lisos y de 5 á 6 ó más para los morteros rayados. La segunda relación es de $\frac{1}{3}$ á $\frac{1}{10}$ para los cañones, de cerca de $\frac{1}{10}$ para los obuses y de $\frac{1}{40}$ próximamente para los morteros. Además, se debe entender que las distinciones que se acaban de hacer no tienen un carácter matemático, y que cada especie de pieza de artillería no está destinada de una manera rigurosa al género de tiro para el cual se ha creado y para el que tiene más aptitud; así el cañón hecho para el tiro razante, puede ejecutar también el sumergente; el obús, hecho para el sumergente, puede efectuar asimismo el vertical, y el mortero, construído para este último, puede también ejecutar el sumergente.

(1) En vista de que los proyectiles tienen generalmente la forma de un cilindro aproximadamente y el volumen de este cuerpo es igual al producto de su base por su altura: $V = \pi r^2 \cdot h$.

En artillería de campaña en que el tiro rasante es el más frecuente y tiene una importancia capital, el tipo del cañón es generalmente único. Sin embargo, varias potencias tienen una pieza especial para la guerra de montaña; ésta es un cañón corto ó un obús, pero lo que ha hecho adoptarlo son las condiciones de peso completamente particulares y no las consideraciones de tiro.

Teóricamente, las otras piezas no son sino casos particulares del cañón y á él nos referiremos en lo que sigue, á menos de indicación contraria.

Del calibre.—La potencia de destrucción de una pieza debe ser al menos igual á la resistencia de los obstáculos que está llamada á destruir, y esta condición determina los límites inferiores de potencia; por otra parte, el grueso de la pieza está subordinado á condiciones de movilidad y de servicio de las que resultan, los límites superiores de la potencia.

Se sigue de aquí que una pieza creada para satisfacer á ciertas exigencias se encontrará, en otros casos, impotente ó inadmisibile. Por consiguiente, el artillero debe poseer una serie graduada de piezas de más en más gruesas: esto es lo que se llama *serie de calibres*, cuyos términos sucesivos, partiendo de los más pequeños se reparten en los servicios de montaña, campaña, sitio, plaza, costa y marina. Una serie semejante existe ó puede existir para cada uno de los tipos de piezas que hemos definido anteriormente. Se llama *sistema de artillería al conjunto de piezas construídas bajo principios comunes y que presentan más ó menos todas estas series*.

Con las piezas lisas, la denominación del calibre tenía por base el peso del proyectil, si era sólido, ó su diámetro exterior si era hueco. Con las piezas rayadas se emplea uno ú otro de estos dos elementos; pero ninguno de ellos, ni aun su reunión constituye una definición racional de la potencia de las piezas y no podrá servir de base para establecer entre ellas una comparación.

Condiciones de que depende la fabricación de una pieza.—Las condiciones que determinan la construcción de un cañón son de tres clases:

1a. *las condiciones balísticas.*—La pieza se construye con objeto de producir cierto resultado balístico, y es necesario que éste se obtenga lo más segura y eficazmente posible, á lo que se llega por una organización bien entendida del vacío interior que se llama ánima.

2a. *Las condiciones mecánicas.*—Es necesario que la pieza resista á las enormes fuerzas que se desarrollan en dicho vacío interior; esto se consigue por una elección conveniente de la

materia prima y una determinación racional de todas las dimensiones.

3a. *Las condiciones de servicio.*—Es necesario que la pieza se adapte bastante bien á las circunstancias en que debe emplearse, que suministre todas las facilidades deseables á los hombres encargados de servirla, etc.; de aquí resultan exigencias que á menudo estarán en oposición con las condiciones de segunda clase, y entonces habrá que sacrificar más ó menos las unas á las otras. Estas condiciones de servicio son las que determinan el peso admisible para las piezas de montaña, de campaña, de sitio, etc.; y las que, para los cañones que se cargan por la culata, deben invocarse en la elección que haya que hacer entre diversos mecanismos de cierre igualmente sólidos; en una palabra, estas condiciones presiden á todos los detalles de las formas exteriores.

Lo dicho anteriormente nos conduce á examinar sucesivamente: 1º. la organización del ánima; 2º. el metal y los espesores; y 3º. las condiciones de servicio y las formas exteriores, lo que será objeto de los capítulos que siguen :

CAPÍTULO II

ORGANIZACIÓN INTERIOR DE LAS PIEZAS DE ARTILLERÍA

Recámara.—La carga se coloca en el cañón entre el fondo del ánima y el culote del proyectil, los gases de la pólvora toman apoyo sobre este último para arrojarlo fuera del cañón. Esta parte del ánima se llama *recámara*.

En los cañones que se cargan por la culata, la recámara es cilíndrica y su diámetro debe ser igual al menos al del fondo de las rayas; en general se le da de diez á veinte milímetros de más, lo que tiene la ventaja: 1º. de permitir disminuir la densidad de carga sin acortar sensiblemente la longitud de ánima recorrida por el proyectil. 2º. disminuir la longitud del cartucho, pues cuando estos son muy largos, están expuestos á inflamaciones irregulares. La recámara se une al lugar en que se coloca el proyectil por medio de un tronco de cono cuya generatriz tiene 0,1 de inclinación próximamente sobre el eje; frecuentemente esta unión es de dos pendientes, sirviendo la anterior, que es la más fuerte, para detener el proyectil.

Punto de inflamación de la carga.—La acción de la carga sobre el proyectil depende, hasta cierto punto, del lugar por donde se inflame, es decir, de la posición que ocupa, con relación al fondo del ánima. Esta puede encontrarse: 1º. adelante del cartucho; 2º. hacia el medio; 3º. atrás; 4º. en el fondo de la

recámara. Con un cartucho lleno, la posición segunda es la más ventajosa para una combustión completa de la carga, pero la cuarta lo será igualmente si se practica un vacío cilíndrico como en el sistema Reyffie. La posición cuarta y la tercera tienen la ventaja de que los restos de pólvora incompletamente quemados son expulsados con más seguridad después del proyectil.

Del ánima propiamente dicha, su papel y longitud.—La parte que se extiende desde el lugar en que se coloca el proyectil hasta la boca de la pieza, es el ánima propiamente dicha. Tiene un doble objeto: 1º guiar el proyectil de tal manera que el primer elemento de su trayectoria coincida con una dirección dada; 2º permitir á los gases de la pólvora obrar sobre él durante un trayecto bastanté largo para que su trabajo transformado en fuerza viva le comunique al fin la velocidad querida. En los cañones rayados desempeña un tercer papel cuyo examen haremos más adelante.

Es fácil ver que si se considera el proyectil moviéndose en una ánima de longitud indefinida, su velocidad aumentará hasta cierto valor máximo, para disminuir después.

En efecto, tan pronto como se han desarrollado bastantes gases para vencer las resistencias de la partida, el proyectil se mueve y su velocidad, partiendo de cero, crece muy rápidamente porque se forman á cada momento y en gran abundancia, nuevos gases que agregan sus impulsos á los anteriores. Pero á medida que aumenta el espacio en el que les es permitido desarrollarse, estos gases pierden su tensión, y la aceleración que imprimen al proyectil viene á ser de más en más débil. Por otra parte, el frotamiento, la resistencia del aire en el ánima y otras causas retardatrices disminuirán la velocidad del proyectil. Llegará, pues, un momento en que dichas resistencias neutralizarán los impulsos de los gases á partir del cual la velocidad no podrá más que decrecer.

Suponiendo que quisiéramos tener un cañón, es decir, la pieza que saca de la pólvora el mayor rendimiento posible, sería necesario cortar el ánima indefinida en el punto en que el proyectil tenga su mayor velocidad, porque una longitud mayor sería nociva, puesto que la velocidad á la salida sería menor, y una longitud inferior no permitiría utilizar convenientemente los impulsos de los gases. Llamaremos *longitud teórica* á la longitud del ánima así determinada.

Esta longitud es tanto mayor cuanto mayor sea el coeficiente de carga ó sea la relación entre los pesos de la carga y el del proyectil es por el contrario tanto menor cuanto más viva sea la pólvora; y menor para un cañón rayado que para uno liso

del mismo diámetro, porque el proyectil teniendo más masa estando retardada su salida por efecto de las rayas, permanece mayor tiempo en el ánima de un cañón rayado.

Como se ha dicho ya, las longitudes generalmente adoptadas para los cañones son de 18 á 25 veces el diámetro del ánima. Esta última cifra es un poco inferior á la de la longitud teórica, la que daría un cañón muy incómodo para los transportes y el servicio, por lo que se disminuye un poco su longitud sin que se disminuya sensiblemente la velocidad de salida del proyectil.

El rayado; sus ventajas é inconvenientes.—En los cañones que lanzan proyectiles oblongos, el ánima desempeña un tercer papel que consiste en dar á dichos proyectiles un movimiento de rotación al derredor de su eje, movimiento sin el que sería inadmisibles la forma oblonga. No es durante el movimiento en el aire cuando es más fácil producir la rotación, sino durante el movimiento en el ánima, aun cuando ésta no sea más que una fracción muy pequeña del trayecto total. Para conseguir este movimiento se puede colocar sobre la superficie del proyectil partes salientes que sean guiadas por ranuras helicoidales abiertas en la pared del ánima, ó por el contrario practicar filetes helicoidales salientes en la pared del ánima y que penetren en las capas superficiales del proyectil. Esto fue lo que condujo á proyectar los cañones rayados cuyo empleo bien pronto se hizo general en todas las artillerías del mundo.

Si se les compara con los antiguos cañones lisos, se encuentran las ventajas siguientes :

1a. El proyectil oblongo tiene, relativamente al proyectil esférico del mismo diámetro, un peso mayor por unidad de superficie de la sección transversal, y por consiguiente una aptitud mayor para conservar su velocidad en el aire, y para vencer la resistencia de los medios sólidos. A pesar de su superioridad de peso, se ha llegado á lanzar el proyectil oblongo con bastante velocidad para que en virtud de esta propiedad suministre mayores alcances, ó que á una misma distancia de combate posea una fuerza viva superior.

2a. El proyectil oblongo tiene también, relativamente al proyectil esférico, una capacidad interior mayor que le permite recibir, según el objeto á que se destine, ya sea una carga más fuerte de pólvora, ya un número mayor de balas.

3a. La posibilidad de hacer variar la longitud del proyectil permite dar el mismo peso á las diversas clases de proyectiles que lanza una misma pieza, y por consiguiente tener una sola carga. Recíprocamente, es posible hacer un proyectil especial

más pesado que los destinados á las circunstancias ordinarias; sería igualmente posible hacerlo más ligero.

40. Es posible organizar especialmente el proyectil para obtener ciertos efectos, como los del Shrapnel, dispuesto de manera que, al reventar en el aire, dé un haz de balas dirigidas hacia adelante.

50. Se puede dar á la parte anterior la forma que se juzgue más conveniente, sea para vencer la resistencia del aire, sea para penetrar en obstáculo resistente. Las balas de ruptura muy particularmente se han podido, según el objeto á que se destinan, terminarse en punta, lo que aumenta mucho su fuerza de penetración, concentrando su fuerza viva sobre una superficie muy pequeña, ó dejarla plana para producir poderosos efectos de conmoción y de ruptura.

60. En fin, teniendo el proyectil al rededor de su centro de gravedad un movimiento regular y determinado, el problema de la espoleta de percusión se hizo mucho más fácil de resolver.

Pero estas considerables ventajas no han dejado de acarrear algunos inconvenientes, á saber:

10. Se ejercen mayores esfuerzos que tienden á romper la pieza ó á deformar la superficie del ánima.

20. Los proyectiles están más sujetos á averías en los almacenes ó transportes por la necesidad que hay de adaptarles tetones, cinturas ó envolturas de metal poco duro.

30. El material es más complicado y más costoso.

40. Si el proyectil no hace explosión en el punto de caída es menos peligroso para el enemigo que el esférico porque da botes menos numerosos, menos rasantes y menos regulares.

Clasificación de los medios empleados para forzar el proyectil á tomar un movimiento de rotación al rededor de su eje.—Hemos indicado ya dos maneras de forzar el proyectil á tomar un movimiento en el ánima al rededor de su eje. El primero consiste en abrir en la pared del ánima ranuras helicoidales, á las que se ha dado el nombre de *rayas*, que sirven de guía á las partes salientes producidas sobre la superficie del proyectil, sea de antemano, sea durante el tiempo que se mueve; esto da lugar á dos grupos que se llaman *sistema de tetones* y *sistema de expansión*. El segundo consiste en practicar sobre la pared del ánima filetes helicoidales salientes á los que se da el nombre de *tabiques*, que sirven de guía á ranuras de la misma forma abiertas

sobre la superficie del proyectil, sea de antemano, sea durante el tiempo que se mueve; esto da otros grupos que se llaman *sistema de costillas y sistema de forzamiento*.

Vamos á examinar sucesivamente estos cuatro grupos. El último exige cañones que se cargan por la culata, pero los otros pueden aplicarse indistintamente á éstos y á los de carga por la boca. Agreguemos que la palabra *tabiques* se emplea también para designar las partes llenas en los sistemas de la primera especie y el de rayas para designar las partes huecas de los de la segunda.

Sistema de tetones.—Número de éstos y de rayas.—*Viento.* Los *tetones* son de un metal menos duro que el del cañón; de zinc si aquel es de bronce y de bronce ó cobre si es de acero. Se disponen en dos planos perpendiculares al eje del proyectil, uno hacia delante, el otro hacia el culote; (fig. 10) una sola corona



Fig. 10

de tetones no aseguraría bastante la estabilidad del proyectil durante su trayecto en el ánima aun cuando dicha corona estuviera colocada en el mismo plano que el centro de gravedad.

Se necesitan también por lo menos dos rayas, y este fue el número que tuvieron los primeros cañones rayados construidos en 1845 y 1846 por Caballé. Pero no se tardó en encontrar insuficiente este número y se aumentaron sucesivamente de 3 á 8 el número de ellas.

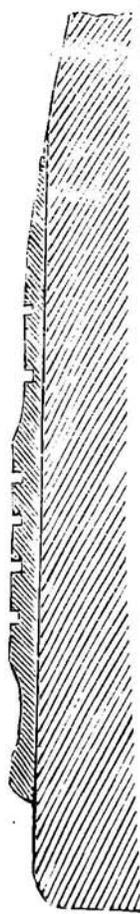
El proyectil y los tetones deben tener cierto juego que se llama *viento*. Este último debe reducirse lo más posible; pero importa sobre todo que, á la salida del proyectil, quede repartido simétricamente al rededor de éste; esto es lo que se llama *centrar el proyectil*.

Animas poligonales.—Los cañones de ánima poligonal pueden clasificarse como los anteriores, la sección del ánima es en ellas poligonal y el proyectil de una forma análoga y sin tetones.

El exágono da formas admisibles bajo todas las relaciones y constituye un sistema de artillería de los más notables, el sistema Withworth.

Sistemas de expansión.—En lugar de practicar de antemano sobre la superficie del proyectil los salientes que deben penetrar en las rayas, determinando así el movimiento de rotación,

se puede hacer de manera que se produzcan automáticamente por la presión de los gases; este es el sistema de expansión, el que desempeña un papel mucho menos importante en la historia de los cañones que en la de las armas portátiles. En los Estados Unidos se ha empleado este sistema en los cañones Parrot, cuyas rayas tienen la parte vacía igual á la llena. El proyectil,



liso en toda su extensión, lleva un anillo de latón vaciado en una ranura practicada en la parte posterior del cilindro; la disposición de entrantes y salientes practicados en la ranura impiden al anillo girar en el proyectil, y la forma cónica dada al reborde evita que se arranque. Este anillo es el que, ensanchado por la presión de los gases y forzado en las rayas, hace girar al proyectil.

Este sistema no da resultados satisfactorios porque el proyectil, sostenido únicamente por una estrecha zona situada en su parte posterior se bambolea en el ánima, y porque las rayas no pueden tener sino una profundidad muy pequeña para que por la expansión puedan llenarse.

Cañones de costillas.—En 1872, el señor Vavaseur, ingeniero inglés, inventó unos cañones de acero cuya sección presentaba tres costillas salientes que penetraban en ranuras practicadas en el proyectil. En este sistema el frotamiento se produce entre metales duros y sobre anchas superficies. Como el proyectil tiene practicadas ranuras, sufre menor resistencia del aire que las que presentaría otro proyectil con tetones.

Sistema de forzamiento con cubierta de plomo.—En las armas portátiles que se cargan por la culata el forzamiento de la bala no exige ninguna disposición artificial, pero no es lo mismo para los proyectiles de artillería que son de fundición y deben por lo mismo, cubrirse su superficie, en todo ó parte con una envoltura de metal menos duro.

Los diversos sistemas que existen pueden dividirse en dos grupos. En el primero la envoltura es de plomo ó de una aleación en que domine este metal, y cubre al proyectil desde el nacimiento de la ojiva hasta cerca del culote, (fig. 11) presentando algunas veces una interrupción en su parte media. En el se-

Fig. 11

gundo el forzamiento se obtiene por medio de una ó dos cinturas de cobre muy angostas. (fig. 12)

La envoltura de plomo tiene un diámetro igual al de los tabiques, pero presenta cierto número de partes salientes circulares, llamadas cordones y cuyo diámetro es igual al del fondo de las rayas. El proyectil introducido por la culata se coloca en una recámara lisa unida con la parte rayada por una porción troncóica, contra la que viene á apoyarse la envoltura de metal blando que tiene una superficie de la misma forma. Esta porción troncóica se prolonga hasta los tabiques, los que comienzan así por una especie de plano inclinado, que hace más fácil la penetración. El resto del movimiento se facilita por un lubricador que consiste, ya sea en una rondana de grasa colocada delante del cartucho, ó en una materia grasosa colocada entre los cordones.

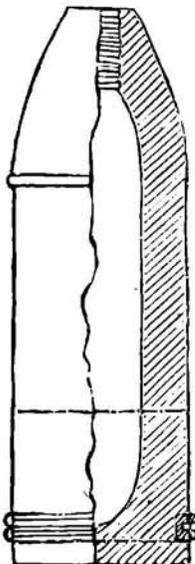


Fig. 12

Debe haber cierta relación, por una parte, entre el volumen de los cordones y su separación y por otra entre el perfil de los tabiques y el de las rayas. Si el volumen de los cordones es insuficiente, las rayas no se llenarán, la formación de filetes sobre el proyectil será imperfecta y el forzamiento incompleto; si el volumen es muy considerable, quedará después de llenarse las rayas, cierta cantidad de metal blando que no encontrará donde alojarse, resultando presiones nocivas.

Forzamiento por medio de cinturas de cobre.—En las investigaciones hechas desde 1870 para aumentar el rendimiento de las piezas de artillería é imprimir á los proyectiles mayor velocidad inicial, se ha encontrado que la envoltura de plomo no resistía al esfuerzo ejercido sobre ella y frecuentemente se arrancaba del proyectil. Se ha obtenido mayor solidez reemplazándolas por dos cinturas de cobre de un centímetro próximamente de anchura, alojadas en ranuras de sección de cola de milano, torneadas después con gran precisión á las dimensiones deseadas.

Una de dichas cinturas, comunmente la de atrás, es la única que se forza en las rayas, la otra se puede sustituir por un espesor mayor en la parte anterior del proyectil, que está

destinado únicamente á servirle de apoyo. (fig. 13) De esta manera se puede hacer la raya de paso progresiva y es claro que el sistema permite igualmente la progresión para la anchura y el espesor de los tabiques.



Fig. 13

Paso de las rayas.—El proyectil está sujeto, durante su movimiento en el aire, á numerosas causas desviatrices. La más importante, porque lo acompaña durante todo su trayecto, es la resistencia del aire que tiende á hacerlo voltear de adelante hacia atrás al rededor de un eje perpendicular al plano del tiro. La rotación que se hace tomar al proyectil por medio de las rayas, tiene por resultado transformar aquel movimiento en uno cónico de precesión, movimiento regular cuyos inconvenientes tienen poca gravedad, mientras que el otro suprimiría la precisión del tiro y el alcance. Desde este punto de vista importa poco que la raya sea uniforme ó progresiva si todas tienen una misma inclinación final, suponiendo la misma velocidad de traslación adquirida por el proyectil en el plano de la boca, porque la medida del efecto buscado no depende más que de la velocidad de rotación que posee el proyectil en el mismo instante de salida.

El ángulo del paso, ó lo que es lo mismo, el paso final de la raya, no debe ser demasiado grande ni demasiado pequeño. En el segundo caso la velocidad no sería suficiente para producir el efecto querido; en el primero una parte del trabajo de los gases sería transformado solamente en fuerza viva de rotación. Por consiguiente, para una pieza, un proyectil y una carga dados hay un valor del ángulo del rayado más ventajoso que todos los demás.

El paso final puede ser más grande en los cañones de forzamiento que en los de antecarga, porque á causa de la supresión del viento, las causas perjudiciales para la buena dirección del proyectil son menos considerables en aquellos. Además, se puede decir que debe ser más pequeño para las piezas destinadas á los tiros curvos (obuses y morteros) que para los cañones: la velocidad de rotación que con una trayectoria tendida, contrarresta suficientemente la acción de voltearse el proyectil ejercida por la resistencia del aire, no lo hace con una muy elevada.

La raya puede dar vuelta de izquierda á derecha ó al contrario.

La derivación que resulta de la combinación del movimien-

to de rotación con la resistencia del aire, tiene generalmente lugar á la derecha del plano de tiro, en el primer caso, y en el segundo, á la izquierda.

Generación del ánima rayada.—Cuando se ha determinado la sección transversal del proyectil y por consiguiente la del ánima y de las rayas del cañón, la generación del tubo se obtiene haciendo pasar por el centro de gravedad de esta sección un eje perpendicular que viene á ser el eje del ánima. Suponiendo que se mueva esta sección generatriz según el eje en cuestión y paralelamente á sí misma, cada punto de su contorno describirá una línea recta paralela al eje y el conjunto de todas las rectas así engendradas constituirá la forma del ánima, y como en este caso todos los puntos del contorno de la sección, así como de las rayas recorren líneas rectas, el ánima del cañón obtenida de esta manera será rectilínea.

Si la sección generatriz se mueve, como hemos dicho antes, á lo largo del eje, pero girando simultáneamente al rededor de él, todos los puntos de su contorno describirán curvas que engendrarán superficies torcidas cuyo conjunto constituirá la envolvente del ánima. Como en este caso las rayas son torcidas, se obtiene una envolvente helicoidal que se llama ánima rayada.

La longitud del camino rectilíneo efectuado por la sección generatriz en una revolución entera se llama *longitud del paso*.

Se distingue el paso alargado ó de pequeña curvatura y el paso corto ó de fuerte curvatura.

Comunmente existe una relación constante entre el movimiento rectilíneo y la rotación de la sección generatriz. De manera que si la longitud correspondiente á una revolución entera se divide por mitad, tercio, cuarto, etc., estos puntos de división corresponderán respectivamente á la mitad, tercera cuarta parte, etc., de la rotación completa. En este caso todo punto de la sección generatriz determinará un paso uniforme y constante.

Si por el contrario varía la relación entre los movimientos rectilíneo y de rotación de la sección generatriz, resultará un paso variable y progresivo, y según la ley de esta relación se obtendrá el paso circular, el parabólico, etc. Al paso uniforme y constante corresponde, en todos los puntos del ánima, una curvatura constante. Comunmente se indica este paso por la longitud que corresponde á una revolución entera de la sección generatriz.

Paso constante ó uniforme.—Aún cuando el modo de generación del ánima de un cañón rayado, como se acaba de indicar, ponga en evidencia la estructura de las rayas y de las curvas

que describen, es útil exponer el trazado de la curva correspondiente al paso.

Sea ABC (fig. 14) un triángulo rectángulo, cuyo lado AC es

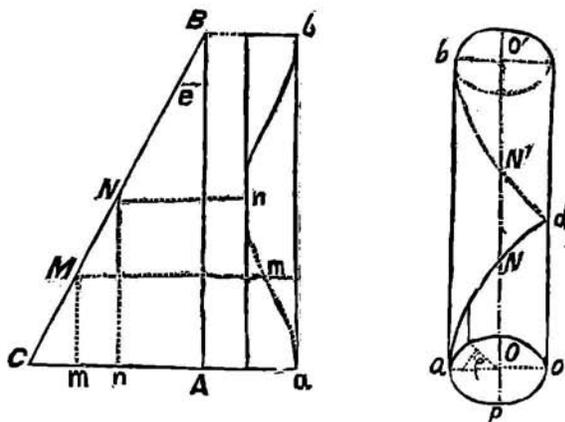


Fig. 14

igual á la circunferencia del cilindro ab , y cuyo lado CB corresponde á la inclinación del paso. Basta aplicar el lado AB de este triángulo rectángulo sobre una de las generatrices del cilindro ab y enrollarlo sobre la superficie de este cilindro para obtener la línea de la hélice ó línea del paso a, n, n', b , determinado por la hipotenusa BC del triángulo. Recíprocamente, el desarrollo de la superficie del cilindro sobre que está trazada la hélice a, n, n', b , dará un triángulo rectángulo ABC, cuya altura AB es igual á la proyección de la hélice, la base AC á la circunferencia del cilindro y la hipotenusa BC á la línea de la hélice rectificada.

Por este modo de generación se ve, que la línea de doble curvatura $a n n' b$, obtenida por el enrollamiento del triángulo forma con todas las generaciones del cilindro un ángulo constante ABC y que la longitud de la hipotenusa BC es igual á la de la hélice rectificada, para una circunferencia entera.

Ángulo y longitud del paso.—El ángulo que forma la hélice con la generatriz del cilindro, es decir, con una línea paralela al eje del ánima y situada sobre la envolvente de ésta, suministra la relación constante entre el movimiento rectilíneo y el de rotación simultáneo de la sección transversal generatriz. Este ángulo se llama el *ángulo del paso*.

Dicho ángulo varía según el diámetro del cilindro sobre el

se enrolla sobre el cilindro, engendrando una hélice de paso constante y uniforme. El enrollamiento de la porción FGDBC de este triángulo, que está limitada por una línea curva tal como FGD engendrará por medio de esta línea, una hélice de paso variable ó progresivo, cuyo ángulo con la generatriz del cilindro en los diversos puntos de la curva FGD, será evidentemente variable, como se ve en la figura, y la hélice de paso progresivo FGDB será más corta que la del paso común ó constante ADB.

Como la figura limitada por FGDBC tiene una parte de contorno rectilíneo de D á B, común con el triángulo ABC, el paso progresivo se confundirá igualmente de D á B con el paso uniforme común, y por consiguiente, una ánima rayada según esta hélice de naturaleza mixta, conservará al proyectil en la porción DB de su camino, una relación constante entre los movimientos de rotación ó rectilíneo simultáneos, como si el ánima estuviera rayada según la hélice de paso constante engendada por la recta AB. Se puede considerar el contorno curvilíneo FGD como un polígono de una infinidad de lados pequeños, y éstos como elementos de una hélice de paso constante común y se podrá determinar, para cada uno de ellos, el ángulo del paso correspondiente.

Si se estudian las relaciones de los movimientos de un proyectil, en una ánima rayada según la hélice engendada por el contorno mixtilíneo FGDB, suponiendo que un punto cualquiera de este proyectil esté sujeto á seguir el movimiento helicoidal de tal manera que la entrada F de la hélice esté situada en la recámara de combustión de la pólvora y su salida B en la boca del cañón; si la curva generatriz FGD es tal que en el origen F de su trazado haga un ángulo nulo con la generatriz BC del cilindro, el proyectil no recibirá en este punto más que un movimiento de traslación rectilíneo sin ningún movimiento de rotación. Y si el ángulo del paso aumenta con las distancias de los puntos GD..... al origen F de la hélice, el proyectil recibirá un movimiento de rotación proporcional á estos diferentes ángulos y simultáneamente á su movimiento rectilíneo. Así, la rotación comenzará con una velocidad nula que crecerá progresivamente hasta el punto D en que será máxima y de D á B esta velocidad permanecerá constante.

Según este trazado se ve que las rayas engendradas por esta curva helicoidal tiene la gran ventaja de imprimir al proyectil un movimiento de rotación acelerado, al mismo tiempo que se mueve según el eje de la pieza, y de aumentar la velocidad hasta un grado conveniente; se ve también que estas rayas, para una velocidad de rotación final determinada, son más cortas que las helicoidales uniformes.

El principal defecto del rayado de paso constante es que tanto el proyectil como el cañón experimentan al principio una fatiga enorme, la que se hace casi nula al fin. En el rayado progresivo se evita este inconveniente, haciendo que la resistencia que opone la inclinación de la raya al proyectil vaya aumentando paulatinamente.

CAPÍTULO III

CONDICIONES MECÁNICAS DE LAS PIEZAS DE ARTILLERÍA

La resistencia de una pieza resulta:

10. Del metal ó metales empleados en su construcción;
20. De las dimensiones dadas á sus diversas partes.

Condiciones que debe presentar un metal para cañón.—Principales metales empleados.—El metal para la fabricación de los cañones debe tener: *tenacidad* para resistir á la presión de los gases; bastante *elasticidad* para que las moléculas distendidas en el momento del tiro tomen en seguida su posición primitiva; *dureza* para no ser deteriorado por los choques del proyectil en el ánima; una *inalterabilidad química* tal que no sea atacada ni por los gases de la pólvora á pesar de su elevada temperatura, ni por los residuos de la combustión.

Se llama *límite de tenacidad* la tensión por unidad de superficie, que no puede sobrepasarse sin peligro de ruptura y *límite de elasticidad* el que es necesario no traspasar si se quiere que el metal no adquiera un alargamiento permanente, es decir, que pueda volver á sus primitivas dimensiones cuando deja de obrar el esfuerzo de tensión. Para los cañones en que el proyectil debe ajustarse con una precisión muy grande es evidentemente este segundo límite el que se debe tenerse más en cuenta, mientras que con los que se cargan por la boca se le puede sobrepasar y aproximarse más al primero; así es que los metales que convienen para los segundos no son á propósito para los primeros.

Los principales metales ó ligas que se han empleado para la construcción de los cañones son: el *bronce*, el *ferro fundido*, el *acero fundido* y el *ferro forjado*. El primero es una liga de 100 de cobre y 10 ú 11 de estaño. Las otras tres resultan de la unión del hierro químico con el carbono y se distinguen principalmente unos de otros según la proporción de este último elemento, siendo el hierro forjado el que contiene más. Pero esta distinción no es absoluta, porque hoy se encuentran en el comercio metales llamados fierros dulces que contienen de 0,08 á 0,44 por ciento de carbono; otros llamados aceros que contie-

nen de 0,10 á 1,50 y otros llamados fierros fundidos que tienen menos de 1,50. En general á la primera denominación corresponde un metal poco fusible y muy maleable, á la segunda uno á la vez fusible y maleable y á la tercera uno fusible y no maleable.

El bronce.—Se llama bronce, en general, toda aleación de cobre y estaño, reciba ó no la adición de otro metal ó cuerpo.

A los broncees destinados á ciertos objetos, se les adicionan otros cuerpos en grandes ó pequeñas porciones, á fin de darles determinadas cualidades que necesitan.

Las propiedades del bronce cambian por una parte según su diversa composición; y por otra según el método de producción; así es que dos broncees de composición química exactamente igual pero obtenidos de distinto modo, uno por ejemplo, á alta temperatura con enfriamiento lento en el molde, el otro á baja temperatura y enfriamiento brusco, manifiestan propiedades completamente diferentes.

Como propiedad general característica de las aleaciones del cobre con el estaño, debe notarse que dichas aleaciones poseen siempre mayor dureza que uno ú otro de sus metales componentes. La dureza aumenta constantemente hasta la proporción de 5 equivalentes cobre por 1 estaño, con la cual se obtiene la aleación más dura de estos metales; siendo la proporción de estaño mayor que la expresada, empieza ya á disminuir la dureza del bronce.

Temperatura de fusión.—La temperatura de fusión varía con la proporción de la cantidad de estaño de la aleación; en la reglamentaria para cañones (11 partes estaño y 100 cobre) es de 900° centígrados.

Dilatación del bronce por el calor.—El coeficiente de dilatación, esto es, la dilatación lineal, al elevarse el calor desde 0 á 100 grados es para el bronce de cañones $0,001818$ ó bien $\frac{1}{5480}$.

Contracción del bronce.—La contracción que experimenta el bronce al pasar del estado fluido al sólido y durante su enfriamiento hasta la temperatura ordinaria del aire, asciende: para el bronce de cañones á $\frac{1}{30}$ hasta $\frac{1}{24}$ próximamente ó sea 0,007692 hasta 0,00746.

Esta contracción es una de las causas porque los lingotes de bronce, especialmente los de grandes dimensiones, adquieren rara vez el mayor peso específico posible: la misma contracción origina en determinados puntos vientos y cavidades, cuando el fundidor no toma las disposiciones necesarias para que se verifique con igualdad en todas las partes del lingote.

Conductibilidad del bronce para el calor.—La conductibili-

dad del bronce para el calor, es mayor que la del hierro y acero y menor que la del cobre: disminuye por una parte, en proporción á la mayor cantidad de estaño y por otra á la de los óxidos disueltos.

Peso específico del bronce.—La exacta determinación del peso específico es de la mayor importancia, no sólo para juzgar la capacidad de resistencia de un lingote contra las fuerzas que obren sobre él, sino también para apreciar las condiciones bajo las cuales ha sido producido.

Es un hecho incontestable que el peso específico de un lingote de determinado metal se halla en conexión directa é íntima con la capacidad para la resistencia, ó en otros términos: *la máxima resistencia coincide siempre con el máximo peso específico; el decrecimiento de la resistencia es proporcional á la disminución del peso específico.*

Constitución molecular del bronce.—Aunque el bronce haya sido producido y fundido de tal modo que en toda la masa del lingote haya homogeneidad completa respecto á su composición química, y por lo tanto que no se note en ningún punto la liquación ó separación de aleación rica en estaño, puede sin embargo poseer constitución molecular completamente diversa. Dos ó más lingotes de exacta composición química tendrán diferente capacidad para la resistencia contra fuerzas iguales según que *á causa de un desigual enfriamiento* en el molde, uno de los lingotes afecte formas cristalinas tan finas que parezca amorfo, otro manifieste en su fractura textura cristalina, un tercero grandes cristales y un cuarto una mezcla de cristales y textura amorfa. Esta diversa constitución molecular debe sólo atribuirse á la clase de enfriamiento más ó menos favorable, al pasar el bronce del estado líquido al sólido, pues precisamente *la transmisión del calor en el momento y poco después de la solidificación es lo que determina la constitución molecular del metal solidificado.*

Bronces ternarios.—Diferentes ensayos se han hecho para mejorar el bronce ordinario por medio de la adición de un tercer metal, pero casi todos han conducido á un resultado negativo, al menos en cuanto á las propiedades generales físicas de la liga de tal modo constituida. Así, por ejemplo, con la adición de cierta cantidad de hierro ó nickel, se ha conseguido dureza algo mayor, pero en cambio de esta pequeña ventaja se ha perdido considerablemente por lo que toca á la tenacidad que caracteriza al buen bronce ordinario de cañones.

La adición del fósforo es la única, hasta hoy, que mejora el bronce de cañones. El señor Kunzel, asociado con el Coronel

Lavroff, de la artillería rusa, han practicado experiencias que demuestran la superioridad del bronce fosforoso sobre el ordinario.

El bronce reúne las diversas condiciones enumeradas antes para un buen metal de cañones, pero no posee ninguno de ellos un grado bien elevado. Mientras no ha habido necesidad de enormes presiones para lanzar los pesados proyectiles actuales, con velocidades tan grandes como las que se requieren, se le ha considerado como el metal para cañón por excelencia; hoy se le reprocha con justicia que no es suficientemente duro ni suficientemente elástico, que le falta homogeneidad y se altera demasiado fácilmente. No se rompe más que bajo una presión de 2,400 kilogramos por centímetro cuadrado; pero su límite de elasticidad no es más que de 1,000 kil.

Se ha tratado de atenuar estos defectos, modificando primero la composición de la aleación (metal Sterro, bronce de aluminio y bronce fosforoso) y más recientemente mejorando los métodos de colado y sometiendo el metal á algunas operaciones mecánicas (bronce Lavroff y bronce Uchatius.)

Los bronce Lavroff y Uchatius adoptados el primero en Rusia y el segundo en Austria están caracterizados: 1º. por el molde en *suajes* que tiene sobre el molde en arena, la ventaja de conservar una figura invariable y procurar al metal un enfriamiento rápido; 2º. en que el ánima, perforada primero á un diámetro un poco menor que el calibre, se agranda en seguida haciendo pasar una serie de *mandrines* de acero introducidos por una poderosa prensa hidráulica; durante esta operación el cañón está empotrado en un cilindro de acero que le impide dilatarse y encorvarse por el efecto de la presión. El ensanchamiento del diámetro que es de 5 á 6 por ciento, tiene por resultado aumentar la dureza de la pared del ánima y poner las capas interiores en un estado de compresión, al mismo tiempo que las exteriores se ponen en uno de tensión, lo que produce en cierto grado el efecto del sunchamiento.

Fundición de hierro.—La reducción de los minerales de hierro por el carbón á la elevada temperatura que se desarrolla en los altos hornos, da por resultado un compuesto de hierro y carbono denominado *fundición de hierro* ó *hierro colado*, que puede considerarse como un producto intermedio entre el mineral y el hierro puro.

Este compuesto difiere notablemente del hierro dulce; no es maleable ni dúctil, pero sí se funde fácilmente.

Las diferentes proporciones de carbono y su estado de mezcla ó combinación en las fundiciones, dan lugar á la formación de muchas clases, entre las que se distinguen las llamadas: *fundición gris*, *fundición mezclada* y *fundición blanca*. También

se clasifica este producto en: *fundición al carbón vegetal y fundición al cok* ó *fundición al aire frío y fundición al aire caliente*, según sea el combustible ó el estado del aire empleados en los hornos de donde provienen. Tomando en cuenta la presencia de alguna materia extraña que altere ó modifique las propiedades de las fundiciones, se clasifican en: *fundiciones sulfurosas, fundiciones manganesíferas, etc.*; y por último, se llama hierro colado de primera ó segunda fusión, según proceda directamente de los altos hornos, ó haya sufrido una refundición.

Las *fundiciones blancas* son las que contienen casi todo su carbono en combinación, ya porque se encuentren en pequeña proporción, ya porque se hayan solidificado con rapidez, ya también por la presencia de otros cuerpos, que, como el fósforo y el azufre, impiden la separación del carbono: su textura es de grano fino y apretado, más blanco que el hierro dulce; son muy duros, quebradizos, elásticos y sonoros; su densidad varía entre 7,5 y 7,8; se funden á la temperatura de 1,100° á 1,300° centígrados, y son poco fluídas en estado líquido.

En las *fundiciones grises* una parte de su carbono está combinado con el hierro y otra queda en estado libre, repartida en la forma de pequeñas láminas, en el interior de la masa. Cuando es grande la proporción de carbono, la parte de éste no combinada se presenta á la vista con aspecto de grafito; lo que dá á la fundición un color gris tanto más oscuro, cuanto mayor sea su cantidad. La fractura es granulosa desigual, de grano más grueso en las más oscuras; su densidad es 7,8 por término medio; las fundiciones grises son menos duras que las blancas y se dejan trabajar mecánicamente; al paso que estas resisten á igual género de trabajo, su fusibilidad es menor que en las blancas, pues necesitan 1,200° centígrados para liquidarse, y en este estado presentan bastante fluidez.

Las *fundiciones mezcladas ó manchadas*, presentan en su fractura un aspecto de color blanco salpicado de puntos grises ó de color gris con puntos blancos, según predomine una ú otra clase de fundición y á veces la mezcla aparece formada con cintas ó zonas. Las propiedades de la fundición mezclada se aproximan más ó menos á las que corresponden á la gris ó á la blanca, según la mayor ó menor dosis de estas, que contenga la mezcla.

La presencia del azufre ó del fósforo, cuando se encuentran en ciertas dosis, aumenta la fusibilidad de las fundiciones y disminuye su tenacidad; y el arsénico, el silicio, el estaño y el cobre, las hacen más ó menos quebradizas. El silicio suple en parte al carbono, y está contenido en algunas fundiciones

grises en proporción, tanto mayor cuanto menor es la dosis del último.

La fundición manganesífera es muy dura y muy resistente y presenta una fractura de láminas anchas y brillantes: recibe por esta causa los nombres de *laminosa* y *especular*, y se obtiene con minerales espático-manganesíferos.

La fundición de hierro presenta, como el agua, la particularidad de dilatarse al pasar del estado líquido al sólido, siendo este aumento de volumen más sensible en las grises que en las blancas, y al enfriarse para tomar la temperatura ordinaria, se contrae siguiendo las leyes generales de la contracción de todos los cuerpos.

Los efectos de este segundo fenómeno son superiores á los que origina el primero, y en consecuencia, las fundiciones de hierro, disminuyen de volumen al pasar á la temperatura ordinaria desde temperaturas superiores á la fusión. Se conceptúa que las fundiciones blancas, después de refundidas, se contraen el 2 por ciento en todas direcciones y la gris ordinaria el 1 por ciento.

La resistencia del hierro colado á los esfuerzos de tracción y compresión es muy variable por ser numerosas las especies de este producto que se presentan en la industria. Concretándonos á las fundiciones grises, podemos decir: que la carga que es capaz de producir la rotura por tracción, varía entre 8 kg. y 18 kg. por milímetro cuadrado; pero las experiencias practicadas han fijado, como término medio, la cifra de 11,60 kilogramos. La tenacidad del hierro colado aumenta cuando ha sido refundido en hornos de reverbero. En las construcciones se toma como carga de seguridad la sexta parte próximamente.

Para los esfuerzos de compresión, la carga de rotura oscila entre 50 y 91 kilogramos por milímetro cuadrado, dando la experiencia 63,20 kilogramos como tipo medio práctico, y la sexta parte como carga de seguridad para cuerpos de forma cúbica ó aproximada.

Desde hace más de un siglo, el hierro colado tiene numerosas aplicaciones; es la primera materia para obtener el acero y el hierro dulce por decarburación parcial ó total; las cualidades de la fundición, y en particular su bajo precio, han hecho que sustituya al bronce en la fabricación de algunos cañones.

El fierro fundido es más duro que el bronce, pero mucho menos tenaz y menos elástico. Los cañones que se hacen con él están expuestos á explosiones inesperadas de las cuales no se preservan más que exagerando sus espesores y guarneciéndolos con acero; estas piezas son también bastante macizas y no convienen más que á los servicios que no exigen movilidad.

Acero.—El acero es un producto siderurgico intermedio entre la fundición y el hierro dulce, de la que se distingue químicamente por la cantidad de carbono que entra en su composición; si bien suele confundirse con el primero de los productos expresados, cuando la dosis del metaloide se aproxima al máximo y con el hierro dulce cuando dicha dosis es muy pequeña.

Tomando en consideración la cantidad de carbono que contienen, se clasifican aquellos del modo siguiente:

Hierro dulce	de 0,	á	0,25 %
„ acerado	„ 0,25	„	0,50 „
Acero.....	„ 0,50	„	1,50 „
Fundición afinada..	„ 1,50	„	2,00 „
Fundición ordinaria.	„ 2,00	„	5,00 „

Esta clasificación no debe considerarse como absoluta, porque ciertos cuerpos, como el silicio, el manganeso y el nitrógeno, intervienen algunas veces en la composición de los productos féreos y modifican sus propiedades físicas, supliendo en parte al carbono.

El acero es de color más blanco que el hierro, de textura mate con grano menudo é igual, apretado y tanto más fino cuanto mejor es su calidad; la densidad varía entre 7,62 y 7,92 y la temperatura de fusión entre 1,300° y 1,400° C.

Como producto intermedio entre la fundición y el hierro dulce, participa de las propiedades de ambos; es fusible, aun cuando no tanto como la fundición, y se puede trabajar por medio de la forja, pero no tan fácilmente como el hierro dulce; se suelda consigo mismo y con el hierro, pero esta operación debe ejecutarse con inteligencia para evitar la decarburación. Los aceros más carburados son más fusibles, más duros y menos maleables que los que contienen menor cantidad de carbono.

Cuando una barra de acero se calienta al rojo y se enfría rápidamente por inmersión en el agua ú otro medio, cuya operación se llama *templar*, el acero se hace sumamente duro y elástico. El hierro forjado no admite esta transformación cuando se le somete á una operación semejante, circunstancia que sirve para distinguir una y otra clase de metal, sin necesidad de recurrir á su composición química ó á otras pruebas. Igualmente se distingue al acero de la fundición; por la cualidad de poderse trabajar por forja. La operación del temple disminuye la densidad del acero.

Existen varias clases de acero, que se distinguen ordinariamente por el sistema empleado en su fabricación: el *acero natural* se obtiene directamente del tratamiento de los minerales de hierro; el *acero cementado* se prepara carburando el hierro dulce; el *acero pullado* resulta de la decarburación parcial

de la fundición blanca; el *acero Bessemer* se fabrica decarburando en extremo la fundición en estado líquido, por la inyección violenta del aire, y adicionando una cantidad de fundición especial que suministra el carbono necesario para constituir el acero.

El *acero fundido* resulta en general de mezclar una proporción conveniente de hierro dulce con la fundición en estado de baño, para obtener un producto carburado en el grado necesario. Los procedimientos de Martin y Krupp, que son aplicados en mayor escala, están comprendidos en esta última clase, y con ellos se obtienen, á voluntad, aceros homogéneos de más ó menos dureza, combinando convenientemente la fundición, con el hierro dulce, ó con un acero poco carburado como el Bessemer, ó poco homogéneo como el cementado.

Independientemente de la clasificación hecha de los aceros, atendiendo á su sistema de fabricación, se dividen ordinariamente en tres agrupaciones, la primera comprende todos los que, por ser más carburados, poseen en alto grado las propiedades de dureza y elasticidad, y se les llama *aceros duros*; la tercera abarca los poco carburados, que son menos duros y más maleables que los primeros y se distinguen con el nombre de *aceros suaves ó dulces*; y los aceros de composición y propiedades intermedias.

El acero en estado líquido disuelve los gases que tiene en contacto, principalmente el óxido de carbono; este poder disolvente disminuye con la temperatura. Por efecto de esta circunstancia, cuando el acero que llena los moldes ó lingoteras está en el período de enfriamiento que precede á su cambio de estado, los gases se desprenden en forma de burbujas; pero algunas de estas, que encuentran solidificada la superficie, quedan aprisionadas en el interior de la masa. La propiedad citada perjudica notablemente la homogeneidad del acero fundido, y es causa de que los objetos colados con esta materia en los moldes, resulten con porosidades en el interior y en la superficie. Para que el acero adquiera homogeneidad y quede compacto, es preciso fundirlo en lingotes que se someten á la acción eficaz de un martillo-pilón de gran potencia. Los procedimientos de fundición y forja se emplean por lo tanto, para dar forma á los objetos fabricados con acero, por más que en algunos casos baste uno de los dos medios de trabajo.

Se fabrican aceros exentos de ampollasidades con la intervención del silicio, que sustituyendo en gran parte al carbono y no da lugar á productos gaseosos cuando se oxida.

La tabla siguiente, que indica la resistencia del acero á la tracción, puede considerarse como el resultado de numerosas

experiencias ejecutadas en diversos establecimientos con aceros de diferentes procedencias.

	Esfuerzo en kilogramos por milímetro cuadrado	
	Capaz de producir la rotura	Que puede soportar con seguridad
Acero fundido y forjado en barras pequeñas.....	100	16,67
Acero menos duro, término medio. Id. mediana calidad, en barras gruesas	75	12,50
	48	8,00

El acero fundido, tal como se fabrica hoy en las fábricas especiales, es, de todos los metales, el que presenta en más alto grado las cualidades de tenacidad, elasticidad, resistencia á la compresión, en una palabra, las diversas propiedades que están puestas en juego en un tubo que soporta grandes esfuerzos sea interiores, sea exteriores.

Fierro forjado.—El fierro forjado, empleado sobre todo en Inglaterra, está caracterizado por la estructura fibrosa que le dan la operación de estirarlo ó el martilleo. Se le pone en obra bajo forma de barras más ó menos gruesas, enrolladas en caliente según una hélice cuyas espiras se soldan en seguida por medio del martillo-pilón. Un poco más duro que el bronce, este metal es mucho menos que el fierro y el acero fundidos, así en los cañones ingleses que se construyen desde 1868, no forma ya directamente la pared del ánima y siempre está puesto al rededor de un tubo de acero.

Comparación entre los cuatro metales bajo los diversos puntos de vista que interesan á la artillería.—La comparación entre los cuatro metales que acabamos de examinar separadamente, debe basarse sobre los puntos siguientes: seguridad contra la explosión; cualidades que conciernen al ánima, á saber: dureza, inalterabilidad, resistencia á la expansión, deterioro por los agentes atmosféricos; economía; facilidad de fabricación; facilidad para cambiar en blocks el sistema de artillería.

10. *Seguridad contra la explosión.*—Bajo la presión de los gases el bronce se distiende experimentando una especie de golpe de martillo, pero jamás estalla de improviso, y la pieza se encuentra fuera de servicio á consecuencia de un ensanchamiento permanente ó de una alteración molecular antes que sea de temer la ruptura. Así es que los cañones de bronce presentan una seguridad, por decirlo así, absoluta. Este juicio, formulado

desde hace mucho tiempo, parece que puede extenderse al fierro forjado.

2.º *Cualidades que conciernen al ánima.*—Ya hemos dicho que el bronce común carece de dureza y homogeneidad. Cuando el cobre y el estaño están mezclados en el estado líquido en la proporción que constituye el metal de cañón, se forman en muchos puntos combinaciones definidas más ricas en estaño y más fusibles que el resto de la masa: las que se encuentran en la superficie del ánima son extremadamente perjudiciales, porque se funden durante el tiro y dejan el ánima acribillada de picaduras, cuyo conjunto recibe el nombre de *avisperos*.—Parece que por artificios de fusión y de colado, el General Uchatrurs ha logrado localizar estas manchas de estaño cerca del eje de los lingotes.

Pero no es esto todo. Blando y compresible y con ésto poco elástico el bronce común toma, en el lugar ocupado por la carga y el proyectil un ensanchamiento permanente que obliga á mantener el peso de ambos muy abajo de los valores que corresponderían á la mejor utilización del trabajo de los gases, bajo pena de ver bien pronto tomar al ánima un diámetro demasiado grande, disminuir la velocidad impresa al proyectil y franquear los tetones ó coronas los tabiques sin introducirse en las rayas, etc. y si el cañón se carga por la culata, cesar bien pronto de ajustarse en su alojamiento la pieza de cierre. Este segundo defecto es el que atenúa la operación de mandrinar.

3.º *Deterioro por los agentes atmosféricos.*—El bronce es menos oxidable que el fierro y el acero y se deteriora menos fácilmente en la hipótesis de la falta de cuidados. Pero los cuidados exigidos para el cañón de acero son muy sencillos, sobre todo si se tiene el de producir anticipadamente una capa de óxido magnético sobre las superficie exteriores (pavón). El hecho es que el fierro ó el acero forman el armamento de todas las infanterías, y desde hace más de cuarenta años el de las principales artillerías y que jamás han dado que sentir desde el punto de vista de que se trata.

4.º *Economía.*—A pesar de que el precio del bronce es muy elevado por la necesidad de emplear los componentes en el mejor estado de afinación, son sin duda más baratas las piezas fabricadas con él que las de acero, habiendo por otra parte, la ventaja de poder aprovechar fácilmente el metal de las piezas que se inutilizan.

5.º *Facilidad de la mano de obra.*—Está seguramente en favor del bronce, pero si la industria general no ha llegado todavía á vencer todas las dificultades de fabricación del fierro forjado ó del acero, á ello tiende rápidamente.

6.º *Facilidad para la renovación del material.*—Este último elemento no deja de tener importancia, sobre todo hoy que los sistemas de artillería están destinados á desaparecer por reprobación de conjunto, más bien que por el deterioro individual de los cañones, se hará más fácilmente y á menos costo si son de bronce, porque desde luego se tendrá á la mano la materia prima para la nueva fabricación. Pero esto no es más que cuestión de recursos y se cifra en sumas insignificantes al lado de lo que cuestan todas las fuerzas militares de un país.

En resumen: la seguridad contra la explosión se encuentra en más alto grado en los cañones de bronce y en los en que el fierro forjado forma la base; sin embargo, esta ventaja de seguridad en favor del bronce no es real más que con los cañones de una sola pieza, pero desaparece en los sistemas de carga por la culata. Hay buenas razones para creer haber dado también al acero una gran seguridad contra explosiones. Un cañón de bronce se deteriorará menos al aire si no se le vigila, pero los otros no exigen más que un aseo regular muy sencillo; el armamento de bronce es menos caro que los otros, su fabricación más sencilla y se presta mejor á un cambio de sistema; por último, la elasticidad y las cualidades especiales que reclama la superficie del ánima no se encuentran casi más que en el acero al menos en el estado actual de los conocimientos.

Esta última consideración es la que tiene más peso y teniendo en cuenta, es la que parece que ha dado la preeminencia al acero.

CAPÍTULO IV.

TEORÍA DE LOS ESPESORES.

De las propiedades elásticas de los cuerpos sólidos.—El estudio de las condiciones de resistencia de los cañones se apoya en algunos hechos y principios fundamentales que sirven de base á la teoría de la elasticidad. Recordaremos someramente estos hechos y principios haciendo notar, que aunque no todos sean absolutamente rigurosos, pueden conducir á una solución suficiente para las necesidades de la práctica. En efecto, por una parte, las deformaciones producidas en el ánima de los cañones son siempre muy pequeñas y en este caso pueden considerarse como exactos los principios de elasticidad; por otra parte, al proyectar un cañón hay que permanecer siempre bajo de los límites de resistencia suministrados por la teoría; por consiguiente, no hay inconveniente en considerar como buenos los resultados que vamos á formular.

Efecto de los esfuerzos de tracción y de compresión.—Cuando se somete un prisma rectangular á un esfuerzo de tracción paralelo á una de sus aristas y uniformemente repartido sobre la sección perpendicular á esta dirección, se nota que el prisma se alarga en el sentido de la tracción y se estrecha en los sentidos perpendiculares. La experiencia demuestra que aproximadamente el alargamiento producido varía proporcionalmente á la tracción, siempre que ésta no sobrepase cierto límite.

Sea i el alargamiento por unidad de longitud y f la tracción por unidad de superficie, se tiene:

$$i = \frac{1}{E} f \quad (*)$$

E es lo que se llama el módulo de elasticidad de la sustancia del prisma; su expresión es: $E = \frac{f}{i}$ ó sea la relación que existe entre la tracción y el alargamiento producido por ella.

Si se supone que $i=1$, se ve que se puede definir este módulo de la manera siguiente: es la fuerza teórica que sería necesario aplicar á la unidad de superficie para duplicar la longitud del prisma.

Si se designa por ϵ el acortamiento por unidad de longitud en el sentido transversal, la experiencia demuestra que para una misma tracción f se tiene:

$$\epsilon = mi$$

siendo m un coeficiente que se puede considerar como constante é igual á $\frac{1}{2}$.

Este coeficiente es constante no solo para las diversas direcciones en el interior de una misma sustancia *isótropa* sino para todos los cuerpos *isótropos*.

Del conocimiento de m resulta, que si se sabe el alargamiento de i producido por unidad de longitud en el sentido de la tracción, se obtendrá el acortamiento producido por unidad de longitud en las direcciones transversales, por dicha tracción encontrando el producto $m \times i$.

Si en lugar de una tracción se somete el prisma á una compresión, habrá acortamiento en el sentido de la compresión y alargamiento en los sentidos rectangulares y la experiencia hace ver que en este caso *los efectos de tracción son los mismos en magnitud absoluta, que los de compresión, variando solamente su sentido.* En todo lo que sigue se pueden, pues, emplear indistintamente las palabras tracción y compresión (tensión ó pre-

(*) La tabla 1.a que va al fin de este capítulo da el valor del módulo de elasticidad para los metales.

sión), alargamiento y acortamiento, con tal que se convenga en que una compresión ó un acortamiento son una tracción ó un alargamiento negativos.

Principio fundamental relativo á la independencia de los efectos de varias fuerzas que obran simultáneamente.—En el caso en que el prisma en lugar de estar sometido á un esfuerzo de tracción dirigido en el sentido de una de sus aristas, lo esté á varios esfuerzos dirigidos respectivamente según sus diversas aristas, se produce una serie de alargamientos y acortamientos que es fácil valuar por medio del siguiente principio de mecánica:

Cuando varias fuerzas obran separadamente, produciendo efectos muy pequeños, estos efectos se suman pura y simplemente, si las fuerzas obran simultáneamente.

Esto equivale á decir que si se tienen dos ó varias tracciones (positivas ó negativas) obrando paralelamente á las diversas aristas del prisma, se obtendrá en cada dirección el alargamiento (positivo ó negativo) que resulta de su acción simultánea, haciendo la suma algebraica de los alargamientos que cada una de las fuerzas produciría obrando aisladamente.

Así, sean AB y AC (fig. 16) dos direcciones de las aristas del prisma, y supongamos que en el sentido AB se ejerce una compresión p que produzca por unidad de longitud y según AB un alargamiento negativo de valor absoluto i , y que en el sentido AC se ejerce una tracción que produzca un alargamiento positivo i' ; el efecto que resulte de estas compresión y tracción, será un alargamiento:

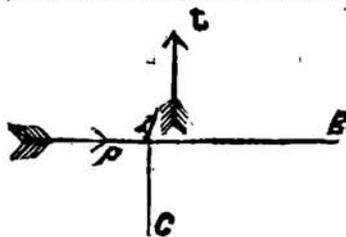


Fig. 16

en el sentido AB $= -i - mi'$ }
 en el sentido AC $= +mi + i'$ } por unidad de longitud

porque el efecto de p es igual á $-i$ en el sentido AB, y á $+mi$ en el AC; y el de t es igual á $+i'$ en el sentido AC y á $-mi'$ en el AB.

Si la sustancia de que se trata es isótropa, es decir, tal que el módulo de elasticidad sea el mismo en todos sentidos, expresaremos con la mayor facilidad y simplemente por medio de funciones lineales las deformaciones experimentadas por el prisma paralelamente á sus aristas, en función de las tracciones á que esté sujeto.

En efecto, supongamos que paralelamente á los tres siste-

mas de aristas, (fig. 17) se ejercen tracciones positivas ó negativas respectivamente iguales, por unidad de superficie, á p , q , t los alargamientos positivos ó negativos resultantes serán:

$$\begin{aligned} \text{en la dirección de } t & \dots\dots\dots \frac{1}{E} (t - mp - mq). \\ \text{en la dirección de } p & \dots\dots\dots \frac{1}{E} (p - mt - mq). \\ \text{en la dirección de } q & \dots\dots\dots \frac{1}{E} (q - mp - mt). \end{aligned}$$

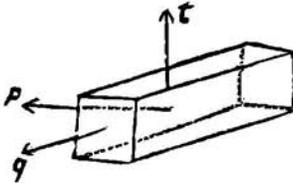


Fig. 17

En el caso en que E no fuera constante, el problema no sería mucho más complejo, pero es inútil ocuparnos de él, porque en los metales para cañones se admite generalmente la constancia de E , cualquiera que sea la dirección de las fuerzas exteriores, aún cuando esta constancia no existe rigurosamente, porque las

operaciones metalúrgicas tales como las de laminar, forjar, templar, etc. pueden alterar la constancia del coeficiente E .

Límites de elasticidad.—Carga de ruptura.—Se ha dicho que los alargamientos eran, con cierta aproximación, proporcionales á los esfuerzos que los producían. Esto no puede considerarse como suficientemente exacto, sino cuando no se sobrepasa lo que se llama límite de elasticidad del metal.

Si después de someter un prisma á la acción de una tracción, deja de obrar ésta sobre aquel, y el alargamiento producido desaparece y el cuerpo toma sus dimensiones primitivas; se dice entonces que el alargamiento ha sido una deformación elástica.

Pero esto no tiene lugar cualquiera que sea la intensidad de la fuerza de tracción; en efecto, si esta intensidad es muy considerable, no desaparecerá más que en parte el alargamiento producido y el cuerpo acusará una deformación permanente.

Se llama límite de elasticidad la fuerza de tracción que es necesario aplicar á la unidad de superficie para producir una deformación permanente; este límite es muy variable en los diversos metales y se le expresa en kilogramos por milímetro cuadrado de sección; así está tomado en la tabla número 2, que se encuentra al fin de este capítulo. También se le expresa en kilogramos por centímetro cuadrado.

En realidad el límite de elasticidad no puede determinarse muy rigurosamente á causa de la dificultad que se encuentra cuando se trata de probar las deformaciones permanentes en extremo pequeñas: desde el punto de vista de las experiencias

de laboratorio, se puede decir que en muchos casos no existe el límite de elasticidad.

En la práctica, el límite de elasticidad puede definirse por esta condición: que todo esfuerzo inferior á este límite no produce más que una deformación permanente insensible á los instrumentos comunes de medida y completamente despreciables en las aplicaciones. En la teoría que sigue, no se considerarán más que esfuerzos inferiores al límite de elasticidad así definido, suponiendo el metal en el estado que se encuentra cuando la pieza está terminada.

Lo que se acaba de decir tratándose del límite de elasticidad á la tracción, se puede decir del de elasticidad á la compresión. Se ha encontrado que los dos son sensiblemente iguales.

De las consideraciones que preceden resulta *a priori* que desde el punto de vista de la conservación de las piezas hay interés en utilizar para su construcción metales que tengan un límite de elasticidad tan grande como sea posible; pero otra cantidad que no deja de tener influencia sobre la elección del metal, es la carga de ruptura.

Se llama carga de ruptura la fuerza necesaria para producir la ruptura del prisma.—Esta carga siempre es superior al límite de elasticidad y se expresa como ésta en kilogramos por milímetro ó centímetro cuadrado de sección. Fácilmente se consibe que la seguridad que puede presentar un metal para cañón, no solamente depende de la magnitud absoluta de la carga de ruptura, sino también de la relativa con relación al límite de elasticidad.

Resistencia de los cañones simples.—Se designa bajo el nombre de cañón simple, todo cañón formado de un solo tubo de metal homogéneo.

Vamos á determinar por una parte qué presión interior podrá resistir un cañón simple, de espesor dado, y por otra, cual es el espesor que debe dársele para que pueda soportar una presión dada.

Presión máxima que puede soportar una pieza simple.—Cuando se trata de una pieza simple se puede considerar como despreciable la presión exterior, porque se trata de la presión atmosférica. Las fórmulas que nos servirán para resolver el problema propuesto serán las siguientes del General Virgile, que han sido determinadas por el cálculo infinitesimal:

$$T = P \frac{R^2 + R'^2}{R'^2 - R^2} \dots \dots \dots (1)$$

$$T' = P \frac{2R^2}{R'^2 - R^2} \dots \dots \dots (2)$$

en las cuales las letras tienen el significado siguiente :

T=tensión interior ó resistencia del metal.	T'=tensión exterior.
P=presión de los gases de pólvora.	P'=presión exterior.
R=radio interior del cañón.	R'=radio exterior.

Para conocer la presión máxima, que podrá soportar un cañón de espesor dado; despejamos á P de la primera fórmula y tendremos :

$$\frac{T}{P} = \frac{R^2 + R'^2}{R'^2 - R^2}$$

$$P = T \frac{R'^2 - R^2}{R^2 + R'^2} \dots \dots \dots (3)$$

Se ve que el valor de la fórmula anterior aumenta con el espesor pero no puede alcanzar el valor T puesto que éste es el que da la fórmula cuando se hace $R' = \infty$.

En las piezas antiguas se hacía $R' = 3R$, es decir, que el espesor era igual al calibre; en este caso se tenía $P = 0,8T$. Hubiera sido inútil aumentar este espesor, porque llevándolo á $R' = 2$ calibres, $R' = 5R$ la resistencia no hubiera variado más que $\frac{1}{1000}$, mientras que el peso del cañón hubiera sido más que doble.

Ahora bien, el peso del cañón está generalmente limitado, por consideraciones de servicio; por otra parte, las piezas grandes de metal son de una confección difícil y por último, á menudo se ve uno obligado á admitir para algunas piezas una presión P, superior al valor de T que puede admitirse para el metal de que están formadas.

Por estos diversos motivos, ha habido necesidad de construir las piezas de varias envolturas (tubos ó sunchos), cuyos diversos modos de colocación y condiciones de resistencia de estos sistemas complejos se indicarán más adelante.

Cálculo del espesor de un cañón simple.—En las piezas de pequeño y medio calibre, el valor de P permanece, casi siempre, abajo del límite que se puede admitir para T con tal que se elija un metal de muy buena calidad. En este caso, se puede calcu-

lar el espesor mínimo que debe darse á la envoltura supuesta simple, resolviendo la ecuación (1) con relación á R' y se obtiene:

$$T = P \frac{R^2 + R'^2}{R'^2 - R^2}$$

$$T (R'^2 - R^2) = P (R^2 + R'^2)$$

$$TR'^2 - TR^2 = PR^2 + PR'^2$$

$$TR'^2 - PR'^2 = PR^2 + TR^2$$

$$R'^2 (T - P) = R^2 (P + T)$$

$$R' = R \sqrt{\frac{T + P}{T - P}} \dots \dots \dots (4)$$

Como se puede ver, este valor no es real sino cuando T es mayor que P , y es tanto mayor cuanto más se aproximan estas dos cantidades á ser iguales.

Si P es notablemente inferior á T , se encontrará un valor admisible para R' y á menudo será conveniente aumentarlo á fin de dar á la pieza mayor seguridad á la resistencia y el peso que se juzgue conveniente bajo el punto de vista de la velocidad de retroceso y á la resistencia del afuste.

De las vibraciones. Cargas de seguridad adoptadas para las aplicaciones.—Al establecer las fórmulas del general Virgile, se ha supuesto implícitamente que la acción de los gases de la pólvora podía asimilarse enteramente á una presión estática. Ahora bien, esta presión se desarrolla de una manera más ó menos progresiva, alcanza un máximo y decrece en seguida; además, no es la misma en el mismo instante en los diferentes puntos del ánima.

Para evitar tomar en cuenta las variaciones de presión de un punto á otro, bastará calcular los espesores sobre una determinada longitud á partir del fondo del ánima, como si la presión fuese en toda esta parte igual á su máximo; más adelante de este punto el número y espesor de las envolturas irá disminuyendo según reglas que se determinan principalmente por las necesidades de la construcción.

El desarrollo más ó menos brusco de la presión da necesariamente lugar á vibraciones que aumentan la fatiga de la pieza. Sea l el alargamiento que toma la capa interior del ánima bajo la acción de la presión máxima supuesta en el estado está-

en el caso de una presión progresiva, esta capa se dilatará sucesivamente y cuando haya llegado á la posición que corresponde al alargamiento l poseerá una velocidad determinada; siendo lo mismo con las otras capas.

Por consiguiente, estas capas sobrepasarán esta posición y vendrán cuando su fuerza viva haya quedado destruida por bajo de las reacciones elásticas; después volverán hacia la posición de equilibrio estático que sobrepasarán de nuevo en virtud de su velocidad adquirida y así sucesivamente. Así, si la presión se mantiene durante algún tiempo en su máximo, la capa interior ejecutará una serie de vibraciones, variando el alargamiento del metal entre los límites $l+\epsilon$ y $l-\epsilon$. Fundándose el General Virgile en algunas hipótesis, especialmente en la del desarrollo instantáneo de la presión, ha llegado á concluir que $l+\epsilon$ es igual á $2l$ y como la fatiga del metal es proporcional á la deformación, se debe admitir que los esfuerzos soportados en algunos momentos son el doble de los que se calculado por las fórmulas citadas. En consecuencia cuando empleen estas fórmulas para calcular la resistencia máxima debe atribuir á T un valor cuando más igual á la mitad nite de elasticidad.

Por otra parte, la hipótesis del General Virgile se aparta notablemente de la realidad; porque la presión máxima dura poco tiempo y esta circunstancia tiende á hacer creer que puede elevar sensiblemente el límite indicado antes. En consecuencia, T designará siempre el máximo valor que se puede admitir para la tracción t , y este valor lo llamaremos, por analogía con la expresión admitida en el arte de las construcciones, *de seguridad* á la tracción.

El símbolo τ designa el límite de elasticidad á la tracción, el valor que estará comprendido entre τ y $\frac{1}{2}\tau$.

Hay que observar que cada elemento de metal soporta, independientemente de la tracción tangencial t , una presión p y á veces una tracción longitudinal q . ¿Hasta qué punto pueden soportar estos dos últimos esfuerzos el límite que se puede admitir para t ? Los datos teóricos ó experimentales que se poseen hasta ahora no permiten responder de una manera segura á esta pregunta.

Después de haber indicado las numerosas consideraciones que deben tenerse en cuenta para fijar la carga de seguridad, diremos que el mejor método consiste en deducir este elemento de seguridad de las piezas que existen y han resistido bien. Así que al llegar á establecer las reglas siguientes:

Comunmente se exige que el acero destinado á la fabricación de cañones tenga un límite de elasticidad superior á 30 kg.

por milímetro cuadrado: en estas condiciones, la carga de seguridad puede fijarse entre 20 y 25 kg. por milímetro cuadrado.

Se toma el límite superior, $T=25$, para los sunchos y en general para las piezas que se trabajan en descantillones pequeños y que no soportan más que los esfuerzos p y t .

Por el contrario, se toma el límite inferior $T=20$, para el tubo inferior ó el cuerpo de un cañón y en general para las piezas de gran descantillón, para aquellas que trabajan en la resistencia al desculamiento ó que experimentan la acción directa de los gases, los cuales pueden calentar el metal ó producir erosiones en su superficie, etc.

Resistencia de una pieza compuesta. — Si suponemos que desde antes del tiro se está desarrollando una presión P' en la superficie exterior hacia la interior del tubo, las capas interiores podrán, antes de romperse, soportar una presión mucho más considerable. En efecto, el tubo antes de romperse podrá desarrollar el valor máximo que el metal puede soportar. Porque la presión producida por la explosión deberá utilizarse, parte en anular la compresión primitiva y parte en producir la tensión final, en lugar de utilizarse simplemente en lo segundo; por consiguiente, su valor habrá aumentado.

Tales son, poco más ó menos, las consideraciones que permiten explicar por qué se ha llegado á construir las piezas compuestas, (figuras 18 y 19) es decir, de varias envolturas superpuestas con apriete. El apriete de cada envoltura sobre la anterior da lugar á un esfuerzo normal, que es precisamente la presión exterior P' de que se acaba de hablar.

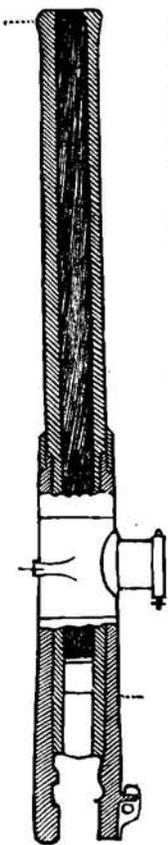


Fig. 18



Fig. 19

Ahora vamos á estudiar por medio de las fórmulas que estableceremos las condiciones de resistencia de las piezas así construidas.

Consideremos un tubo formado de m envolturas sucesivas que supondremos numeradas del centro hacia el exterior. Sean $R_0, R_1, R_2, \dots, R_{m-1}$ (figuras 20 y 21) los radios interiores de

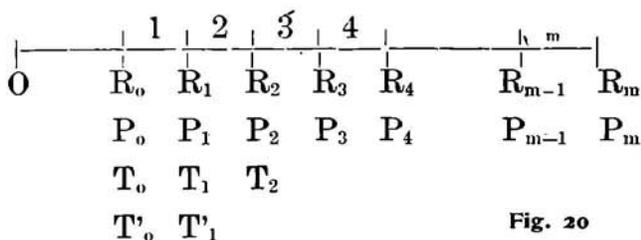


Fig. 20

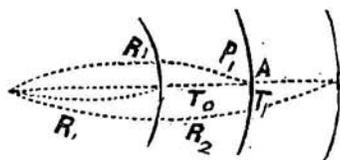


Fig. 21

estas envolturas, el índice del radio indica el número de la envoltura. (Se designan por radios interiores los de los tubos puestos en su lugar) Designemos por P_0, P_1, \dots, P_m las presiones desarrolladas normalmente á las superficies de radios R_0, R_1, \dots, R_m , por T_0, T_1, \dots, T_{m-1} , las tensiones en la superficie interior de cada tubo, y por T'_0, T'_1, \dots, T'_m , las tensiones en su superficie exterior.

Generalmente P_m será la presión atmosférica y podrá despreciarse.

Buscaremos qué presión podrá soportar el tubo compuesto, es decir, buscaremos el valor máximo de P partiendo de la fórmula siguiente del General Virgile,

$$T = P \frac{R^2 + R_c^2}{R^2 - R_c^2} - P' \frac{2 R^2}{R^2 - R_c^2} \dots \dots (5)$$

introduciendo las notaciones anteriores se tiene:

$$T_0 = P_0 \frac{R_0^2 + R_1^2}{R_1^2 - R_0^2} - P_1 \frac{2 R_1^2}{R_1^2 - R_0^2}$$

despejando á P_0 se tiene:

$$T_c + P_1 \frac{2 R_1^2}{R_1^2 - R_c^2} = P_0 \frac{R_c^2 + R_1^2}{R_1^2 - R_c^2}$$

$$\frac{T_c (R_1^2 - R_c^2) + P_1 2 R_1^2}{R_1^2 - R_c^2} = P_0 \frac{R_c^2 + R_1^2}{R_1^2 - R_c^2}$$

$$P_0 = T_c \frac{R_1^2 - R_c^2}{R_1^2 + R_c^2} + P_1 \frac{2 R_1^2}{R_1^2 + R_c^2} \dots \dots \dots (6)$$

Esta relación existe para un tubo cualquiera k , por consiguiente, de una manera general se tendrá:

$$P_k = T_k \frac{R_{k+1}^2 - R_k^2}{R_{k+1}^2 + R_k^2} + P_{k+1} \frac{2 R_{k+1}^2}{R_{k+1}^2 + R_k^2} \dots \dots (7)$$

Si en esta expresión se hace sucesivamente á $K=0, 1, 2, \dots \dots \dots m-1$, se obtendrán los valores de $P_1, P_2, \dots \dots \dots P_{m-1}$.
Notando que $P_m=0$, se tiene:

$$P_{m-1} = T_{m-1} \frac{R_m^2 - R_{m-1}^2}{R_m^2 + R_{m-1}^2} \dots \dots \dots (8)$$

Conociendo P_{m-1} haremos $K=m-2$ en la fórmula (7) y tendremos P_{m-2} , y así sucesivamente de aproximación en aproximación hasta P_0 .

Pero si en lugar de operar así de aproximación en aproximación, suponemos escritas todas las relaciones obtenidas haciendo sucesivamente $k=0, 1, \dots \dots \dots m-1$, en la fórmula (7) obtendremos m relaciones entre las que podremos eliminar $P_1, P_2, P_3, \dots \dots \dots P_{m-1}$ y se tendrá una fórmula que dé directamente P_0 .

Efectuando estos cálculos en el caso de tres envolturas concéntricas se tendrá:

$$P_2 = T_2 \frac{R_3^2 - R_2^2}{R_3^2 + R_2^2}$$

$$P_1 = T_1 \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_2^2 + R_1^2} + P_2 \frac{2 R_2^2}{R_2^2 + R_1^2}$$

$$P_0 = T_0 \frac{R_1^2 - R_c^2}{R_1^2 + R_c^2} + P_1 \frac{2 R_1^2}{R_1^2 + R_c^2}$$

Eliminando á P_1 y P_2 entre estas tres ecuaciones se obtiene:

$$P_0 = T_0 \frac{R_1^2 - R_0^2}{R_1^2 + R_0^2} + T_1 \frac{2 R_1^2}{R_1^2 + R_0^2} \cdot \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_2^2 + R_1^2} \\ + T_2 \frac{2 R_1^2}{R_1^2 + R_0^2} \cdot \frac{2 R_2^2}{R_2^2 + R_1^2} \cdot \frac{R_3^2 - R_2^2}{R_3^2 + R_2^2} \dots \dots (9)$$

En esta fórmula, el primer término representa la resistencia propia de la primera envoltura y cada uno de los otros la fracción de resistencia que soporta cada una de las envolturas sucesivas.

Resumen de las circunstancias que deben tomarse en cuenta para la fabricación de los cañones compuestos.—Los cañones compuestos son piezas formadas de un tubo central sobre el que se colocan varios anillos ó sunchos, los cuales en el momento de ponerse en su lugar reciben una tensión ó una compresión inicial, de manera que aumentan considerablemente la resistencia que son susceptibles de oponer las paredes á las presiones ejercidas por los gases de la pólvora.

En los cañones de un solo block, las capas externas se fatigan mucho menos que las internas, y en una escala tanto mayor cuanto más considerable es el espesor de las paredes, relativamente al calibre. Por ejemplo, cualquiera que sea la naturaleza del metal empleado, si los espesores de las paredes son $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, $1\frac{1}{2}$ y 2 calibres, las proporciones de los esfuerzos que experimentan las capas externas con relación á las internas son respectivamente: $\frac{1}{2.5}$, $\frac{1}{3.62}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{8.5}$ y $\frac{1}{13}$. Por esto se ve que haciendo crecer el espesor de las paredes más allá de dos calibres, se aumenta inútilmente el peso de los cañones, sin darles más resistencia. Tampoco es posible, cualquiera que sea el espesor á que se llegue, obtener una pieza que pueda soportar sin deteriorarse, la presión ejercida por los gases de la pólvora, cuando esta presión es superior á la tenacidad del metal empleado, es decir á

2,800 kil. por cent. cuadrado,	para el mejor fierro fundido
2,800 " " " "	" bronce de cañones
5,000 " " " "	" fierro forjado, y
10,000 " " " "	" acero fundido.

Por consiguiente, la más alta presión que puede resistir un cañón, suponiendo el caso más favorable, es de

2,710 atmósferas para el fierro fundido y el bronce

4,840 atmósferas para el fierro forjado.

9,680 atmósferas para el acero fundido.

Por otra parte, siendo bastante imperfectos los manómetros de que se dispone, no se ha podido hasta el presente valuar la tensión de los gases más que de una manera aproximada; así, pues, no debe aceptarse que los números anteriores expresen una resistencia suficiente de los cañones para todos los casos de la práctica; pero si en lugar de la tenacidad *máxima* se consideran la *mínima* ó la *media*, se tendrán números muy inferiores. Por otra parte, para las piezas de artillería como para todas las construcciones industriales, es necesario dar á la resistencia un valor triple por lo menos al del esfuerzo que deban soportar, á fin de tener la seguridad conveniente.

Una pieza compuesta, no puede presentar una resistencia superior á la de un cañón de una sola pieza que tenga las mismas dimensiones, sino cuando soportando todas las diversas capas de las paredes sensiblemente los mismos esfuerzos, las externas tomen en la resistencia total una parte más considerable que la que se les da en el caso de un cañón simple: en otros términos, todas las capas deben someterse simultáneamente á la tensión máxima.

Cuando sobre un cilindro hueco se coloca un suncho cuyo diámetro interior, medido en frío, es menor que el exterior del cilindro, este último experimenta cierta compresión, mientras que el primero experimenta una dilatación del mismo orden. Si sobre el primer suncho se agrega otro, aumenta la compresión del cilindro, la dilatación del primer suncho disminuye y el segundo experimento á su vez cierta extensión.

Arreglando convenientemente los espesores de los diversos sunchos y las diferencias que existen entre los diámetros exteriores de unos y los interiores de los otros, se puede hacer que en las capas *más próximas del ánima*, las tensiones se repartan conforme á los principios admitidos para la construcción de los cañones compuestos. Pero para las capas *superiores* no hay ya, como para las primeras, equilibrio entre la resistencia y el esfuerzo que tienen que soportar. En efecto, en cada uno de los sunchos, considerado aisladamente como un cañón de una sola pieza, las capas concéntricas que lo componen no toman simultáneamente su extensión *máxima* bajo la acción de la fuerza que los solicita de dentro á afuera. De aquí se sigue que un cañón compuesto se aproximaría tanto más á la perfección, cuanto más grande fuera el número de envolturas concéntricas de que estuviera constituido y que, desde el punto de vista teórico, hay ventaja en multiplicar el número de sunchos de los cañones. Las

dificultades de construcción y las condiciones del servicio obligan, por el contrario, á limitar ese número que jamás pasa de tres, reduciéndolo á menudo á dos y aun á uno, según el calibre.

Los límites extremos del apriete se determinan por las dos condiciones siguientes:

1a. Jamás deben ser bastante fuerte para que, después de puestos los sunchos, la tensión desarrollada en éstos ó la compresión producida en el tubo central, sea superior al esfuerzo á que corresponde el límite de elasticidad del metal y menos aún al que produce la ruptura. De otra manera se debilitaría la pieza en lugar de reforzarla y no tendría siquiera la resistencia que pudiera presentar un cañón simple de las mismas dimensiones, pues á los primeros disparos se produciría la ruptura de los sunchos desmesuradamente distendidos ó del tubo interior demasiado apretado. Además es necesario no olvidar que el acero no puede calentarse más allá de cierta temperatura, que no puede ser muy elevada, sin que se exponga á perder por un enfriamiento lento una parte de las cualidades que le hacen precioso como metal para cañones. Por regla general el apriete debe ser tal que los sunchos calentados al rojo cereza obscuro, puedan ponerse fácilmente en su lugar.

2a. El apriete debe ser bastante enérgico para que los sunchos jamás se aflojen por las violentas reacciones que se producen en el momento del tiro. De no serlo no se llenarían las condiciones que deben satisfacer los cañones compuestos, los cañones no tendrían en realidad, más que la resistencia propia á los tubos interiores y serían también, pero por razones diferentes, inferiores á los cañones simples del mismo espesor.

Resistencia al desculatamiento.—El desculatamiento de un cañón puede producirse de tres maneras diferentes:

10. Por fractura de los filetes del tornillo ó de la tuerca.
20. Porque se desatornille la culata.
30. Por ruptura transversal.

Desculatamiento por fractura de los filetes del tornillo.—Sean r_0 el radio del obturador y P_m la presión máxima ejercida contra el plano anterior de la culata (referida esta presión á la unidad de superficie.)

La presión total soportada por el tornillo de culata será:

$$P_m \pi r_0^2$$

Sea además c el esfuerzo necesario para producir la fractura (que se ejerce por unidad de superficie) sobre los filetes del tornillo y de su tuerca.

La superficie sobre que se aplica esa fuerza de fractura será un semi-cilindro de altura $L-n$ a puesto que los filetes no

existen más que sobre la mitad del contorno del tornillo (fig. 22).

Por consiguiente, para que haya fractura será necesario que la fuerza de fractura c por su superficie de aplicación sea igual á la presión máxima de los gases P_m ó sea:

$$c \pi r (L - n a) = P_m \pi r_0^2$$

De esta relación se saca:

$$c = \frac{P_m r_0^2}{(L - n a) r}$$

valor que deberá permanecer abajo del límite para el cual tiene lugar la ruptura.

El examen de esta fórmula manifiesta que para determinados valores de P_m , r_0 y L el esfuerzo de fractura es máximo cuando r es mínimo.

Por consiguiente, en el fondo de los filetes del tornillo es donde hay más probabilidades de que haya fractura. Por otra parte, mientras más pequeña sea L , más aumenta el esfuerzo, por consiguiente, los tornillos no deben ser demasiado cortos.

Permaneciendo constantes L y r , así como P_m , se ve que c aumenta como el cuadrado r_0 .

Su puede pues, decir, bajo el punto de vista de la resistencia de los filetes del tornillo, que hay ventaja en emplear tornillos largos y de gran radio y dar á la recámara un diámetro tan pequeño como sea posible.

Si suponemos que no sean del mismo metal el tornillo y la tuerca, la sección cilíndrica más peligrosa corresponderá generalmente al fondo de los filetes que están formados del metal menos resistente. Si los filetes de la tuerca estuvieran tarrajados en el bronce, en los cañones de este metal, sería necesario dar al tornillo una longitud muy grande y además, el bronce, resistiría mal á los continuos frotamientos que se producen en la maniobra.

Ha habido por consiguiente necesidad de adaptar anillos de acero á las piezas de bronce á fin de alojar en ellos el mecanismo de culata. El problema de fractura de los filetes del mecanismo se presenta entonces en las mismas condiciones que para las piezas de acero; pero hay además que preocuparse de la frac-

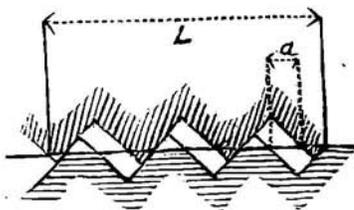


Fig. 22

tura de los filetes que sostienen el anillo. La superficie de fractura queda así aumentada, puesto que el radio exterior del anillo es mayor que el del tornillo y además se duplica, porque se puede filetear la circunferencia entera, de manera que generalmente se puede asegurar con facilidad la resistencia.

Desculatación porque se desatornille la culata.—Se evita por medio de los dispositivos particulares de cada sistema de cañones.

Desculatación por ruptura transversal.—*Cargas de seguridad.*—En la ruptura transversal la separación tiene lugar según una sección perpendicular al eje de la pieza. En el estudio de este modo de ruptura, es necesario examinar desde luego el sistema de construcción de la pieza, á fin de reconocer cómo puede operarse la separación de las dos partes. Comunmente la separación implica la ruptura de una de las envolturas; esta envoltura será la que suministre la mayor parte de la resistencia al desculatación, las otras podrán suministrar resistencias accesorias, por ejemplo, ejerciendo algunos frotamientos sobre los dos trozos.

Se calculará la tensión del metal como si la envoltura que está expuesta á romperse, sea la única que resiste; las resistencias accesorias que se desprecian en el cálculo aumentan la seguridad.

En los cañones que no llevan más que una sola línea de sunchos, el cuerpo del cañón es el único que resiste: los sunchos no prestan ningún concurso, porque la separación puede tener lugar según una juntura. Si hay varias líneas de sunchos con juntas alternadas, estos sunchos concurren á la resistencia, pero solamente por el frotamiento; atendiendo á que la separación puede operarse en la juntura de alguno de ellos. Entre los medios que se pueden emplear para aumentar este género de resistencia, se debe citar el de los sunchos bi-cónicos.

En los cañones que llevan un cañón interior atornillado á la culata, el cuerpo del cañón, es decir, la segunda envoltura, es la que suministra la resistencia principal, el tubo interior suministra por su frotamiento una resistencia accesoria.

Esta revista de la cuestión manifiesta que, en los tipos de cañones actualmente en servicio, una de las envolturas interiores (generalmente la primera), es la que soporta la mayor parte del esfuerzo longitudinal. Al mismo tiempo que el esfuerzo al desculatación soporta el cañón una presión p y una tensión t , en otros sentidos ambos considerables, y se ha dicho que al presente no se puede apreciar de una manera cierta, la superposición de estos esfuerzos. Por esta razón convendrá mantener el esfuerzo longitudinal abajo de un límite pequeño, por ejemplo, 10-

TABLA N^o 1

Módulo de elasticidad E :

UNIDADES QUE DEBEN TOMARSE EN LAS APLICACIONES:
EL KILÓGRAMO Y EL MILÍMETRO

Fierro forjado	20,000	KIL.
Alambre de fierro.....	20,000	"
Fierro fundido.....	10,000	"
Alambre de acero.....	10,700	"
Acero fundido no templado.....	22,000	"
Acero para resortes, templado.....	22,000	"
Acero fundido forjado y templado	22,000	"
Cobre rojo.....	11,000	"
Alambre de cobre.....	12,000	"
Alambre de latón	10,000	"
Bronce	10,000	"
Acero pudlado templado al agua.....	18,800	"
Acero pudlado templado al aceite.....	18,800	"
Acero para sunchos Krupp, no templado.....	19,700	"
Acero para sunchos templado al aceite	20,714	"

TABLA N° 2

Límites de elasticidad.—Valores de T

UNIDADES QUE DEBEN EMPLEARSE EN LAS APLICACIONES:

EL KILÓGRAMO Y EL MILÍMETRO

Fierro forjado ó estirado en barras, medio.....	15	KIL.	
Alambre de fierro de 0 ^m / _m 5 á 1 m. m. de diámetro fuerte.....	80	„	
Alambre de gran diámetro, pequeño.....	50	„	
Alambre de 1 m. m. á 3 m. m. de diámetro.....	60	„	
Fundición gris de fierro	6	„	
Palastro	14	„	
Cobre rojo.....	3	„	
Latón	4	„	
Bronce ordinario para cañones.....	10 á 14	„	
Bronce mandrinado (abultamiento interior de 33 por ciento).....	30	„	
Bronce mandrinado (abultamiento interior de 27 por ciento).....	27	„	
Acero semidulce para } culatā	36	„	
cañón templado. } caña.....	40	„	
Acero colado para cañones, (Bressemer ó Martin), for- jado y después templado.	para sunchos Krupp, no templado.....	26	„
	„ „ templado al aceite	29	„
	„ cañones del Creusot, no templado	26	„
	„ cañones del Creusot, templado al aceite....	38.5	„
	„ cañones del Creusot, recocido después de templado.....	33.5	„

CAPÍTULO V

CONDICIONES DE SERVICIO.—FORMAS EXTERIORES

Elementos principales.—Los principales puntos por considerar en las formas exteriores de los cañones, son: 1º el calibre; 2º la longitud total; 3º las dimensiones transversales; 4º los muñones; 5º el fogón cuando lo haya; 6º y último, la parte posterior del cañón y en particular el mecanismo de cierre, si es de retrocarga.

Se ha visto que solamente elevándose en la escala de los calibres es como se puede aumentar notablemente la potencia de una pieza.

Las circunstancias en que la artillería está llamada á cumplir su obra de destrucción, son de tal manera variadas y hay siempre tan grande importancia en producir el máximo de efecto en atención á las condiciones en que se encuentra, que un solo calibre no podría bastar para todas las necesidades. Estas condiciones presentan una infinidad de combinaciones; sin embargo, casi todas las artillerías han hecho en sus piezas la misma clasificación, distinguiendo las destinadas á la guerra de campaña, al ataque de las plazas, á su defensa, á la defensa de las costas y al armamento de los barcos.

Piezas de campaña.—Las condiciones especiales de la artillería de campaña son las siguientes: 1º es necesario que sea bastante movable, para seguir á las tropas en todos sus movimientos y aun avanzarlas cuando sea necesario; 2º el tiro debe tener una gran precisión, la trayectoria debe ser muy rasante; el proyectil debe conservar, hasta muy grandes distancias, una fuerza viva suficiente para poner fuera de combate á los hombres y á los caballos, destruir los afustes y los carruajes y tener cierta eficacia contra los muros de las construcciones comunes, las obras de fortificación pasajera, etc.; 3º la pieza debe estar acompañada de un número de proyectiles suficientes para no verse expuesta á que le falten durante un combate; 4º la pieza debe ser de una conservación y un servicio fáciles y permitir un tiro suficientemente rápido.

La primera condición limita el peso de la pieza y la tercera el del proyectil. Pero el peso de la pieza está ligado al del proyectil por las consideraciones del capítulo II que determinan la longitud del ánima y las del III que determinan los espesores. Lo está también por la condición de la conservación del montaje, la cual impone á la velocidad de retroceso de la pieza un límite que puede fijarse en cuatro metros próximamente y suponiendo al proyectil una velocidad inicial de 400 á 450 metros en virtud

del teorema de las cantidades de movimiento, un valor próximamente de ochenta para la relación del peso del cañón al del proyectil.

En definitiva, todo está reducido al peso del proyectil: si es pequeño, la eficacia del tiro podrá ser insuficiente; si es grande podrá faltar movilidad á la pieza y las municiones se agotarán antes que termine el combate. Hoy es más de temer el primer defecto, porque mientras más pesado es un proyectil conserva mejor su velocidad, tiene mayor fuerza de penetración y si es cierto que hay menos en un cofre, también lo es que cada uno da mayor número de cascos ó de balas.

Habrá ventajas bastantes en no tener más que un solo calibre en el servicio de campaña. Pero hasta ahora esto no se considera posible y todas las artillerías de las grandes potencias tienen dos, uno que representa el máximun de movilidad, compatible con una eficacia suficiente, y otro el máximun de eficacia compatible con una suficiente movilidad. El primero pesa trescientos á cuatrocientos kilogramos y lanza un proyectil de cinco kilogramos, próximamente, y el segundo pesa de quinientos á setecientos y el proyectil que lanza es de ocho á diez kilogramos.

En vista de circunstancias excepcionales, pueden encontrarse también en los trenes de campaña piezas de un calibre aún más elevado llamadas de posición y que lanzan un proyectil cuyo peso es hasta de doce kilogramos. Pero para dar á un cañón de este calibre la suficiente movilidad, es preciso reducir la longitud, los espesores, la carga, etc., en una palabra hacer un cañón corto. Algunos autores piensan que sería mejor entrar francamente en esta vía é introducir en el material de campaña un verdadero obús, del calibre de catorce á quince centímetros tan movable como un cañón de doce, que lanzara un proyectil con una carga de pólvora mucho más fuerte, el cual produciría efectos mucho más poderosos contra obstáculos de tierra ó de mampostería.

En varias naciones hay además, en el material de campaña, una pieza bastante ligera para ser transportada por mulas y ponerse en batería sobre puntos inaccesibles á los carruajes. Esta condición limita el peso á cien kilogramos. Si con un cañón tan ligero se hubiera querido dar al proyectil la misma velocidad inicial que con las otras, se hubiera necesitado que éste hubiera sido muy pequeño para tener un buen coeficiente balístico y para producir efectos de explosión bien perjudiciales. También el cañón de montaña lanza en casi todas las naciones el mismo proyectil que el cañón ligero de campaña y es con relación á él un verdadero obús; sin embargo, puede tener un ca-

libre interior ó con el mismo calibre lanzar un proyectil más ligero.

Artillería de sitio.—Las piezas de sitio están destinadas á bombardear las plazas fuertes, á destruir sus abrigos abovedados, á demoler sus parapetos ó hacer brechas en ellos y á desmontar su armamento. Expuestas á los tiros de piezas instaladas de antemano, es necesario que permanezcan detrás de abrigos hasta que hayan terminado su obra y comunmente se puede llevarlas allí con comodidad. Por consiguiente, la cuestión de movilidad tiene aquí menos importancia que en el caso anterior; basta que estas piezas puedan circular sobre los caminos y que se presten á las maniobras que constituyen el armamento ó desarme de las baterías.

Para el tren de sitio como para el de campaña serán necesarios dos cañones que presenten, uno el máximo de velocidad y otro el máximo de potencia. El primero tendrá un calibre de diez á doce centímetros con un peso de setecientos á mil quinientos kilogramos y el segundo un proyectil de treinticinco á cuarenta kilogramos, tendrá un calibre de quince á diecisiete centímetros y su peso no deberá exceder de tres mil kilogramos, porque con el del afuste y el del *avan-tren* aumentará hasta cinco mil kilogramos, próximamente, con cuyo peso el transporte en los caminos será casi imposible aun por buenos caminos. Alejándose más del cañón tipo, es decir, aumentando más el diámetro y el peso del proyectil y disminuyendo la carga del tiro, la longitud del ánima y los espesores de las paredes, se llega á otro tipo extremo: el mortero rayado. La mayor parte de las potencias tienen ya calibres de veinte á veintiocho centímetros. Hasta ahora solo se ha empleado esta pieza como un instrumento de bombardeo.

Artillería de Plaza.—Las condiciones á que deben satisfacer las piezas de plaza son casi las mismas que las de sitio. Es necesario que tengan por lo menos tanta potencia como éstas, puesto que están llamadas á luchar contra ellas, tal vez no tienen necesidad de tanta movilidad, pero sin embargo, deben tener bastante para que el sitiado pueda llevarlas rápidamente á los puntos en que sea necesaria su presencia. Los calibres destinados al servicio de las plazas son generalmente iguales á los de sitio; además es útil tener en cada plaza algunas piezas de una potencia superior, instaladas en puntos determinados con objeto de matener al enemigo á distancia el mayor tiempo posible.

Artillería de costa y de marina.—Las piezas de costa y las de marina deben tener todavía más potencia que las anteriores, porque es necesario que su proyectil atravesase guesas cora-

zas de hierro para ofender los barcos en sus obras vivas, desmontar su artillería y diezmar su tripulación. La condición de movilidad se nulifica por completo ante esta exigencia imperiosa. Así, mientras que la ciencia del ingeniero ha aumentado la resistencia de los barcos llevando sucesivamente el espesor de su coraza de 12 á 15, 20, 25, 30 y aun 50 centímetros, la artillería aceptando el desafío, ha aumentado en la misma proporción la potencia de sus cañones y ha llegado hasta esas formidables máquinas que pesan más de cien toneladas y que arrojan á más de un miriámetro de distancia masas de mil kilogramos.

Esta lucha entre la placa y el proyectil ha conducido á la artillería á la idea de buscar un resultado más eficaz en el tiro vertical. En efecto, no existe barco que pueda resistir á un proyectil de un centenar de kilogramos cayendo verticalmente y es casi seguro que jamás se llegará á obtener semejante resultado. Los obuses rayados y mejor todavía los morteros rayados, parecen, pues, eminentemente propios para defender las costas contra la aproximación de los barcos acorazados.

Desgraciadamente la precisión del tiro con bombas, es muy pequeña en comparación de la del tiro directo.

La artillería de marina debe poseer también piezas de mediano y pequeño calibre para armar los barcos comunes y las embarcaciones.

Longitud total de los cañones.—La longitud total es igual á la del ánima, aumentada en lo que es necesario conservar atrás del fondo de ésta, sea para la resistencia de esa parte, sea para la colocación y manejo del mecanismo de cierre. La longitud de ánima depende de las condiciones balísticas, pero se ha visto que éstas permiten hacerla variar entre límites bastante distantes uno de otro, la condición de peso es sobre todo la que fija el valor que se debe adoptar definitivamente.

Para los cañones destinados á tirar en troneras hay interés en aumentar esta longitud tanto como sea posible, á fin de que los gases inflamados al salir del cañón con el proyectil no destruyan demasiado los revestimientos.

La longitud de los morteros que se cargan por la boca debe ser muy pequeña (de un calibre á uno y medio), á fin de que los sirvientes puedan elevar el proyectil á la altura de la boca. Esta pequeña longitud es desventajosa bajo el punto de vista balístico y es una de las razones por la que los morteros rayados deben cargarse por la culata; se puede en este caso llevar la longitud á cinco veces el calibre ó un poco más.

Muñones.—La pieza descansa sobre el afuste por sus dos muñones y á menudo tiene un tercer punto de apoyo sobre el

tornillo de puntería. En lo que concierne á los muñones hay que considerar su posición, su diámetro y su longitud.

En el momento del tiro la pieza está sometida á diversas causas de deterioro, á saber: 1º el cabeceo, principalmente en el caso del tiro bajo ángulos pequeños ó negativos; 2º la falta de simetría de las presiones ejercidas por los gases contra las paredes del ánima (remolinos); 3º la presión del proyectil; 4º una construcción viciosa á consecuencia de la cual el centro de gravedad de la pieza no esté sobre el eje.

Algunos de estos defectos se atenúan colocando los muñones adelante del centro de gravedad; de aquí resulta una preponderancia de culata que tiene las ventajas de acelerar la puntería haciendo que la culata descienda sola cuando se baja el tornillo y de asegurar la estabilidad en los transportes.

La preponderancia se mide, sea por la presión en kilogramos que la culata ejerce sobre el tornillo de puntería (Artillería francesa), sea por la fuerza que dirigida de abajo á arriba y aplicada á un metro atrás de los muñones, mantiene la pieza en equilibrio (Artillería italiana). Presenta variaciones bastante grandes en los diversos sistemas de artillería y casi no se puede dar con este objeto una indicación general. Puede ser menor para los cañones de mayor calibre y comunmente es nula en los cañones de grueso calibre, porque su masa le sustrae más á las causas de deterioro.

En los cañones rayados, el eje de los muñones se encuentra generalmente á la misma altura que el de la pieza.

El grueso del muñón debe arreglarse para resistir á la percusión recíproca que se produce entre él y su encastre percusión tanto más fuerte cuanto menor es el peso del afuste con relación al de la pieza y más se reduce el retroceso del sistema. Naturalmente es en su unión con la pieza donde debe temerse la ruptura del muñón y por esto está compuesto de dos partes, la adyacente á la pieza (el contra-muñón) notablemente más gruesa que la que corresponde al encastre. El muñón tiene generalmente un diámetro igual al calibre para los cañones de bronce, fierro ó acero y un poco más para los de fierro fundido. El contra-muñón tiene un calibre y cuarto ó un calibre y medio, y se redondea su contorno cuando el cañón debe descansar en una cureña de gualderas convergentes.

La percusión soportada por los muñones es generalmente más considerable en los morteros que en los cañones, por lo que casi siempre se refuerzan éstos.

El fogón.—En los cañones de bronce el fogón se practica en un cilindro de cobre llamado grano de fogón; el cobre rojo, menos fusible que el bronce, dura más tiempo y además cuando

el fogón se ha agrandado demasiado, puede sustituirse el grano.

En los cañones que se cargan por la culata el fogón puede colocarse de diversas maneras en el mecanismo de cierre; es bueno que esta colocación sea tal que no se pueda hacer fuego antes que dicho mecanismo esté completamente cerrado.

En los cañones de campaña más modernos el fogón no existe, se da fuego á la carga por medio de un percutor del sistema de cierre y el fulminante, que sirve para la inflamación de la carga, está colocado en el culote de la vainilla tal como en las armas de pequeño calibre.

Mecanismo de cierre.—*Condiciones generales á que debe satisfacer.*—Las piezas se dividen en dos grandes clases: de antecarga y de retrocarga. Esta segunda manera es la más natural, y en efecto, fue la que primero se presentó á los inventores que hace algunos siglos lograron utilizar la fuerza de la pólvora como fuerza de proyección. Pero los procedimientos industriales de aquella época eran demasiado imperfectos para que pudiera tener la culata una solidez suficiente; así es que la idea de tener un fondo que hiciera cuerpo con la pieza é introducir la carga por la parte anterior, fue entonces un verdadero perfeccionamiento. Hoy los progresos realizados por la industria permiten volver á la carga por la culata, con lo cual es posible obtener de la pólvora mayor rendimiento y efectos más regulares.

El mecanismo de cierre, cualquiera que sea su principio, debe satisfacer diversas condiciones, á saber:

1.º—Que no pueda haber escape de gases por ninguna junta. El inconveniente de estos escapes no consiste precisamente en que una parte de la fuerza se pierda en lugar de obrar sobre el proyectil, porque la cantidad de gas que puede escaparse así, es bien pequeña con relación á la que llena el ánima y aun con relación á la que, en muchos sistemas, se escapa por el fogón. El inconveniente consiste en que los gases ejercen sobre las paredes por entre las cuales se escapan una presión que es comparable á la que obra en el cañón, y que debe poner rápidamente fuera de servicio las piezas del mecanismo á que pertenecen estas paredes. La obturación se produce generalmente por un órgano particular más ó menos independiente del mecanismo propiamente dicho y que corresponde á otro orden de ideas: nos ocuparemos de esto más adelante.

2.º—Todas las piezas del mecanismo deben estar bien ajustadas. Para darnos cuenta de la importancia de esta condición recordemos la experiencia bien conocida de un peso que cae de cierta altura sobre un pedazo de plomo: la fuerza viva que adquiere en su descenso, ocasiona sobre el metal comprimido una deformación mayor que la producida por la presión estática

de un peso mucho más considerable. De la misma manera, si una de las piezas del mecanismo de cierre puede ceder al empuje de los gases y recorrer cierto camino antes de transmitirlo á sus apoyos, la acción y la reacción serán desde luego mucho más intensas que en el caso de un ajuste perfecto. Esta condición debe realizarse, no solamente para las piezas que reciben y transmiten directamente el choque de los gases sino también para todos los demás del mecanismo, porque de otra manera las vibraciones producidas por el tiro darían por resultado, vista su gran amplitud y su repetición frecuente, choques desastrosos entre las superficies inmediatas.

3.º—Cada una de las piezas del mecanismo lo mismo que cada una de las partes de la pieza que sirven de apoyo, deben tener una solidez proporcional á los esfuerzos que han de soportar, un proyecto racional debe por consiguiente, comenzar por determinar los esfuerzos producidos por el tiro y después calcular las dimensiones de los diversos órganos.

4.º—Los movimientos de abrir y cerrar el mecanismo deben hacerse fácil y rápidamente y la fuerza necesaria para ejecutarlos no ha de ser superior á la de los sirvientes; las piezas móviles y en particular los tornillos, deben estar provistos de manivelas, que den á aquellos un punto cómodo de aplicación.

5.º—El mecanismo debe ser sencillo en su disposición, porque complicado exigiría demasiado cuidado en su manejo y sería fácil de deteriorarse.

6.º—El mecanismo no debe aumentar mucho el peso ni la longitud de la pieza, deberá, pues, arreglarse de manera que no sea molesto en el tiro bajo grandes ángulos; por último debe prestarse sin trabajo á la sustitución de las piezas inutilizadas.

Principales sistemas de carga por la culata.—Los dispositivos que permiten la carga por la culata pueden dividirse en dos categorías: 1.º el ánima atraviesa el cañón de parte á parte y la carga se introduce por atrás; 2.º el cañón está cerrado en el extremo posterior y la carga se introduce por un costado ó por arriba.

Este segundo sistema ha tenido muchas aplicaciones en las armas portátiles, pero muy pocas en las piezas de artillería.

Cuando el ánima atraviesa de parte á parte, hay dos maneras de cerrarla: 1.º Un cilindro se introduce, según su longitud, en la parte posterior del cañón, formando su base anterior el fondo de la ánima y se mantiene en su lugar por filetes helicoidales que engranan en otros de la misma forma practicadas en la pared de su alojamiento. A este cilindro se le da el nombre de tornillo de cierre; 2.º Un block metálico puede moverse per-

pendicularmente al eje de la pieza en una mortaja horizontal ó vertical y formar el fondo del ánima con su cara anterior; á éste se le da el nombre de cuña.

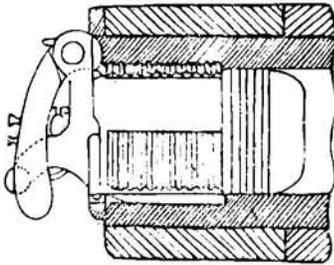


Fig. 24

Tenemos por consiguiente que examinar dos sistemas: cierres de tornillo y de cuña.

Cierres de tornillo.—*Tornillos de filetes interrumpidos.*—Describiremos los de los cañones de Bange que pertenecen á este sistema (figuras 24 á 27).

En los cañones de acero, sunchados, construídos bajo la dirección del Coronel de Bange, el mecanismo de cierre se apoya siempre en el principio de filetes interrumpidos.

El mecanismo se abre y cierra por medio de una asa fija que obra según el eje del tornillo para producir el movimiento longitudinal y un manubrio que sirve para ejecutar el movimiento de rotación. La asa fija está un

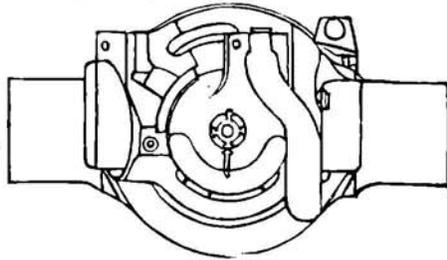


Fig. 25

poco encorvada á fin de dejar descubierto un vacío central que sirve para recibir el órgano de obturación; hay dos asas simétricas en los cañones de grueso calibre. El manubrio está articulado á charnela en el plano exterior del tornillo y presenta en este lugar un talón excéntrico, o puesto al mango. Se le levanta para hacer girar el tornillo cuando se trata de abrir la culata (figuras 24 y 25).

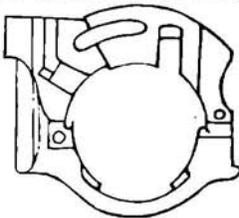


Fig. 26

Cuando la culata está cerrada se baja esta misma palanca y el talón se aloja en una escopladura del postigo (fig. 26) haciendo el oficio de un poderoso lingote de seguridad.

El pestillo (fig. 27) lo forma un picaporte movible al rededor de un perno. Este picaporte está provisto de un talón y de una parte saliente que se introducen alternativamente el primero en el tornillo y el segundo en el cañón é impiden todo movimiento relativo, sea del tornillo y del picaporte, sea de éste y del cañón, según las facés de la abertura y

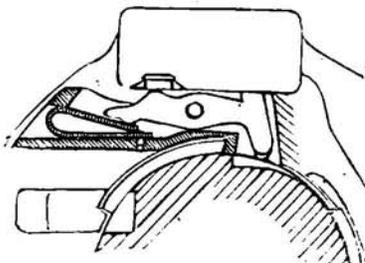


Fig. 27

cierre de la culata. El resultado se obtiene automáticamente por medio de una ranura transversal y otra longitudinal, ambas de profundidad progresiva, terminando la segunda en una mortaja más profunda; un resorte plano de dos ramas es el que obliga al talón á apoyarse constantemente contra la superficie del tornillo de cierre y á penetrar en estas ranuras cuando el movimiento dado al tornillo los lleva bajo de él; un plano inclinado practicado en el cañón es el que levanta el picaporte para desprender su talón de la mortaja en el momento en que se acaba de cerrar el postigo y que se va á empujar el tornillo hacia adelante.

El suncho posterior sobresale del plano del tubo, á fin de proteger el mecanismo contra los choques. El postigo se abre á la izquierda, y el mecanismo se dobla contra el cañón, á fin de dejar descubierta completamente la entrada de la recámara; esta disposición permite que un solo sirviente ejecute las principales funciones de la carga. Por último, para que el tornillo de cierre se coloque siempre convenientemente delante de su alojamiento en el cañón, á pesar del juego que pueda tener la charnela del postigo, éste último está provisto en su parte inferior de una espiga oblicua que penetra en una muesca practicada hacia atrás del tubo.

Cierres de cuña.—El cierre así llamado consiste en una pieza que entra en una mortaja horizontal ó vertical que atraviesa de parte á parte la posterior del cañón. Esta pieza presenta formas muy variadas: se distinguen los antiguos de cuña doble y las modernas de cuña simple.

Doble cuña.—En el primer sistema el cierre se compone de dos cuñas A y B (figura 28) aplicadas una contra otra y que forman, por su reunión, un prisma recto cuya parte posterior está comunmente redondeada: el plano de unión CD es ligeramente oblicuo en el sentido de la longitud del prisma. Las dos cu-

ñas están ligadas una á otra por un tornillo E que hacienda cuerpo con la cuña B se introduce en una tuerca M practicado

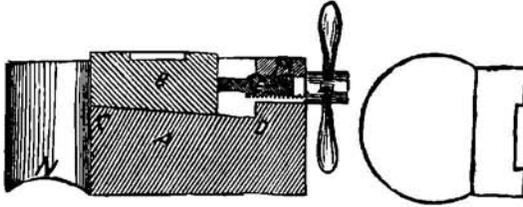


Fig. 28

en la cuña A, relativamente á la cual no puede tomar más que un movimiento de rotación. Moviendo el tornillo por medio de una manivela situada del lado izquierdo

se puede avanzar la cuña de adelante sobre la otra y por consiguiente á causa de la oblicuidad de la superficie de unión, aumentar ó disminuir en ciertos límites el espesor total. Por el aumento de espesor se ajusta muy fuertemente la doble cuña contra la cara anterior y posterior de su alojamiento y forma, por decirlo así, un solo cuerpo con el cañón sin experimentar, en el momento del tiro, choques que pudieran dar malos resultados. Por la disminución de espesor se le da el juego necesario para que se le pueda retirar de una sola vez, abrir el cañón é introducir la carga. A fin de que no sea necesario sacar las cuñas de la mortaja, la cuña A, más larga que la B, lleva en su prolongación una abertura circular N que tiene el mismo diámetro del ánima y puede colocarse de manera que su eje coincida con el de ésta; un tornillo de retención lo detiene justamente en esta posición y evita todo tanteo, basta desatornillararlo cuando se quiere retirar la cuña completamente. El extremo de la cuña de adelante está sesgado según lo exige la abertura circular N llamada falsa ánima, algunas veces esta cuña es tan larga como la de atrás y entonces está provista de una abertura que corresponde exactamente con la N cuando se ha desengranado el tornillo del manubrio.

Cuña simple.—En los sistemas de cuña simple la sección horizontal ó vertical de la mortaja es un trapecio $a b c d$ (figura 29) que tiene la base anterior $a c$ perpendicular al eje del cañón y la posterior $d b$ ligeramente oblicua á este eje. La cuña tiene una forma semejante. Hacia su extremidad derecha se encuentra la falsa ánima A, que por medio de un diente que se desliza en una ranura inferior ligeramente oblicua, avanza cuando se tira de la cuña, suprimiendo toda solución de continuidad entre la falsa ánima y el ánima del cañón.

Del lado izquierdo la cuña tiene una cavidad que sirve de

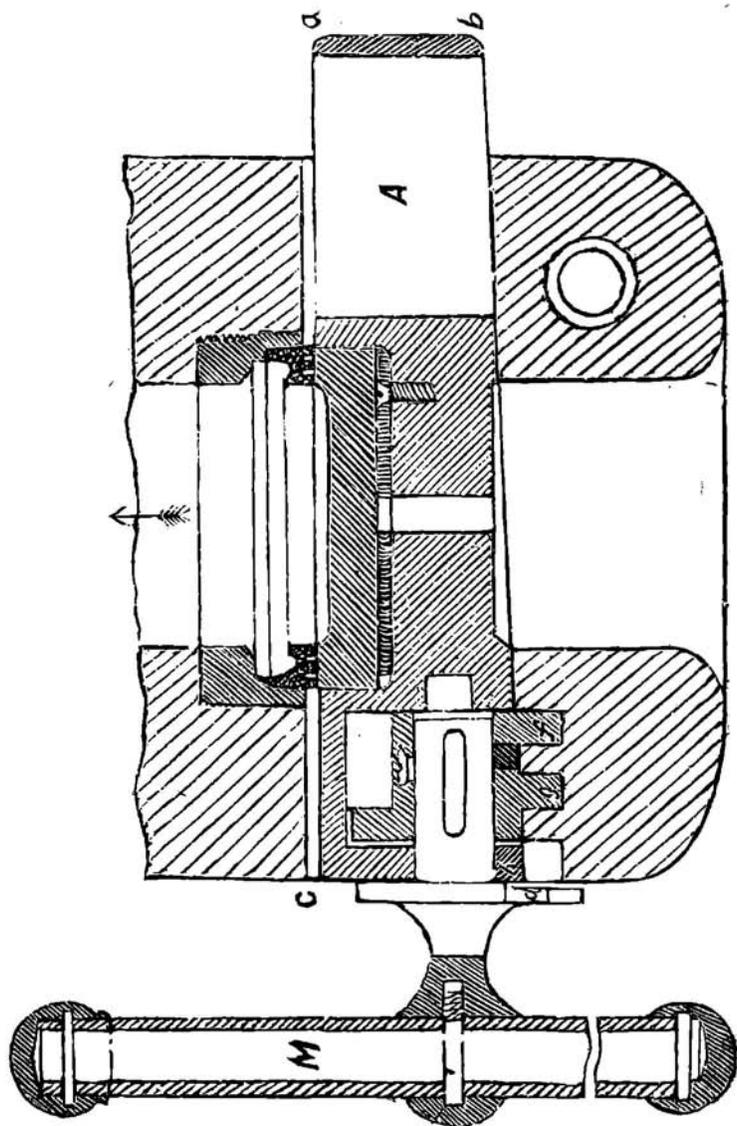


Fig. 29

alojamiento al tornillo de cierre; éste está formado de tres gruesos filetes cuadrados *h f g* practicadas solamente en una semi-circunferencia. Se le maneja por medio de una manivela *M* exterior y sus filetes se adaptan en una mitad de tuerca ahuecada en la mortaja. Cuando se han introducido, la cuña está ajustada y se puede dar fuego á la carga; si se da una media vuelta á la manivela, la cuña queda desatornillada, la parte no fileteada se coloca en frente de la tuerca y se puede tirar de la cuña para introducir la carga á través de la falsa ánima.

La existencia de la falsa ánima obliga á hacer la cuña notablemente más larga que el espesor total del cañón. En algunos cañones de grueso calibre se suprime la falsa ánima y su papel queda desempeñado por un cilindro de carga, que se pone ó quita á voluntad.

En los últimos sistemas de cuña, empleados en las piezas de campaña de tiro rápido Krupp y Gruson, no existe más que la mitad de la falsa ánima.

La cuña se mueve en su mortaja por medio de una palanca en vez de la manivela y tornillo anteriormente descritos y la mortaja puede estar colocada horizontal ó verticalmente.

Obturadores.—Condiciones generales.—Cualquiera que sea el sistema, el órgano de obturación debe satisfacer las condiciones siguientes:

1° Funcionar con seguridad á temperaturas que varíen de 20° á 100°.

2° No contraer ninguna adherencia con la pieza y separarse fácilmente en la maniobra de abrir la culata.

3°—Ser bastante maleable para amoldarse en su alojamiento y bastante rígida para no penetrar en la juntura que tiene la misión de cubrir.

4°—En el momento que los gases puedan introducirse en las junturas que forma el obturador; sea con el cañón sea con la culata, debe aplicarse sobre las paredes de su alojamiento con una presión superior á la de los gases en estas mismas junturas.

Hay que distinguir los obturadores que se cambian á cada disparo de los que, puestos de una manera estable, no deben cambiarse sino cuando están quebrados ó muy deteriorados.

Obturadores que se cambian á cada disparo.—En las armas portátiles y cañones modernos de tiro rápido de campaña la obturación más sencilla y eficaz es la que suministran los cartuchos metálicos.

Obturadores fijos.—Los tres tipos que más importa citar son: el obturador empleado por la marina francesa en los cañones modelo de 1864, el anillo de Broadwell y el obturador de Bange.

1°—El primero de palastro de acero, tiene la forma de un platillo circular A (figura 30) con reborde troncócnico; un perno central *a* de cabeza larga lo fija sobre una arandela de acero B, que á su vez está unida al tornillo de cierre C de manera que pueda girar al rededor de su eje independientemente. A la entrada de la recámara están practicados en el cañón dos alojamientos de obturador á fin de que la pieza pueda todavía servir en el caso en que el primero de estos alojamientos se haya desperfeccionado, bien entendido que hay para cada alojamiento un modelo de obturador y uno de arandela.

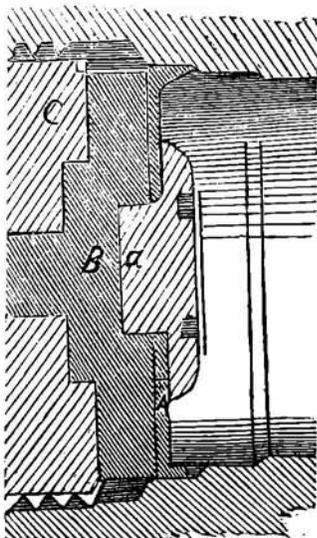


Fig. 30

sea en una fresadura hecha á la entrada del ánima como en la figura 29.

La sección del anillo es una figura formada de líneas rectas ó curvas, pero su forma general se aleja poco de un triángulo rectángulo cuyo ángulo recto se aplica contra la junta por tapar. Sobre las caras adyacentes á estas juntas están practicadas gargantas circulares, á fin de suministrar espacio á los gases que llegarán á pasar y disminuir su tensión. El anillo Broadwell exige que se laven frecuentemente las superficies de sus juntas lo que es un grave inconveniente, sobre todo para los cañones de campaña.

3°—El obturador de Bange (figura 31) está formado por una sustancia plástica (pasta de sebo y amianto) encerrada en una en-

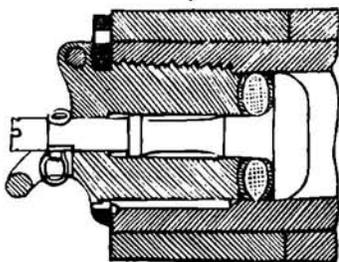


Fig. 31

voltura de tela mantenida entre dos copelas de estaño y protegida hacia adelante y atrás por anillos de latón. La presión de los gases se trasmite al obturador por una cabeza movable cuyo vástago le atraviesa en su medio y en seguida penetra en el tornillo de cierre, donde puede girar libremente.

La presión de los gases haciendo fuerza sobre la cabeza movable comprime la materia plástica entre esta cabeza y el cuerpo del tornillo haciéndola expanderse y adherirse á la paredes del ánima.

Resumen de las condiciones que debe llenar el material de artillería de campaña:

1°—Que se excluyan las piezas de un calibre relativamente grueso, á causa de su peso considerable y del difícil transporte de sus municiones y utensilios.

2°—Que se excluyan á la vez, del material destinado á ese mismo servicio, las piezas de muy pequeño calibre.

3°—Que las piezas puedan producir en un punto y en un momento dados efectos muy mortales é irresistibles para lo cual se necesitan una gran precisión y suficiente rapidez de tiro, así como una disposición particular de los proyectiles.

4°—Que la trayectoria de éstos sea lo más tendida que se pueda conseguir, y que la velocidad no disminuya de una manera sensible.

5°—Que el conjunto del material posea en prudentes proporciones, *movilidad*, potencia y solidez; lo que quiere decir que sea á la vez *ligero, resistente, mortífero*, dotado de gran alcance y de precisión y susceptibles de ejecutar disparos rápidos en caso necesario, sin que esta última cualidad deba considerarse preferente á las demás. Debe, sin embargo, notarse, por lo que respecta al alcance, que á más de 4,000 m. sobre todo en terrenos montañosos, se cometen tales errores en la valuación de las distancias, que no puede considerarse como condición absolutamente indispensable el que las piezas tengan alcances excesivos.

6°—Que para evitar complicaciones en el servicio de abastecimientos, dicho material comprenda un número restringido de calibres.

7°—Que la artillería de montaña sea ligera y poco embarazosa, sacrificando en parte á estas cualidades las propiedades exigidas por los otros materiales de campaña. Las piezas destinadas á este servicio no deben pesar más de 100 kilos. Para producir con ellas buenos efectos se reduce en lo posible la velocidad inicial de sus proyectiles, los cuales nunca deben ser de un calibre tan reducido que dejen de prestar los servicios indis-

pensables á todo material de campaña. Por otra parte, un proyectil excesivamente ligero marcha en el aire con mucha menos regularidad que otro relativamente pesado.

8°—Que la ventaja de la precisión del tiro de las piezas no quede contrabalanceada con el inconveniente de tener una pieza demasiado complicada y difícil de manejar.

9°—Que las piezas sean sólidas y durables, puesto que no se puede contar con que los artilleros, durante una campaña las manejen con todas las precauciones y con todos los cuidados requeridos.

10.—Que sean suficientemente ligeras y de fácil manejo, para que no exijan de parte de lós hombres y del ganado que las sirvan esfuerzos tales que, á la larga, los incapaciten para continuar su servicio.

11.—Que el sistema de obturación de las piezas de retrocarga se preste á ser manejado más ó menos rudamente, sin necesidad de especiales y minuciosos cuidados, que no pueden tenerse en campaña y mucho menos durante un combate.

12.—Que el peso de las piezas y de sus cureñas esté siempre de acuerdo con el servicio que han de prestar, adoptando como máximos en las de campaña el de 950 kil. para el de avantren con su cofre provisto de municiones.

En cuanto á los proyectiles, siendo como la carga de pólvora factores importantes de los cuales depende en gran parte, el peso de una pieza, excusado es decir que su forma, dimensiones y clase deben fijarse, después de maduro estudio, de manera que entre sus varias condiciones, tengan la esencialísima de producir los efectos que se deseen, según el objeto á que se destinen. Por otra parte, el calibre habrá de determinarse por las condiciones de que el proyectil sea bastante pesado para conservar su velocidad inicial, sin ser excesivo á fin de que pueda abastecerse suficientemente.

El objeto de un proyectil para arma portátil es, por decirlo así, individual, y la reducción de su calibre está en relación dentro de ciertos límites con dicho efecto y con la cantidad de cartuchos que pueda llevar ó que convenga que lleve consigo el soldado. Pero los proyectiles de la artillería destinados á destruir obstáculos lo mismo que los hombres y ganado, deben producir destroz material y efecto moral, y en muchos casos, ambas cosas á la vez.

Todas la piezas, sea cual fuere su destino especial, deben estar en aptitud de obrar eficazmente de una ú otra manera, en caso necesario. A la artillería de campaña sobre todo le está impuesta esta clase de tiro contra blancos animados á la vez que contra obstáculos de mediana resistencia, de los que se presen-

tan siempre en el campo de batalla, tales como paredes de casas, obras de fortificación pasajera, etc.

De allí resulta que la determinación de los calibres imponga exigencias que es preciso satisfacer, so pena de tener un material deficiente, sobre todo si se atiende de preferencia á llenar aquellas condiciones que, aunque de utilidad innegable, no constituyen más que una excepción.

Los calibres más generalmente adoptados para la artillería de campaña con la mira de hacer en campaña un empleo provechoso de los tiros directos é indirectos están comprendidos entre 75^m/m y 95^m/m. Para la artillería de montaña que no obstante la ligereza y reducidas dimensiones impuestas á sus piezas por razón de su servicio especial, debe producir, aunque en menor escala, debido á su misma constitución, efectos parecidos á los de la batalla, los calibres varían entre 70^m/m y 80^m/m. No deben olvidarse al tratar de este asunto las ventajas que proporciona el aumento de calibre, guardando las debidas condiciones de analogía dentro del sistema de artillería adoptado.

Por lo que respecta al tiro, las piezas, exigiéndose la rapidez del disparo, sobre todo para proteger una retirada, preparar un ataque ó defender un punto en una guerra de posiciones en cuyos casos pueden producir un efecto realmente destructor sobre las fuerzas del adversario, no podrán por esta sola condición sujetarse á calibres demasiado pequeños, ni menos aún dotarse de mecanismos cuya complicación y relativa delicadeza constituyen un defecto más bien que una ventaja, puesto que, no pudiéndose contar con ellos en todas las circunstancias de una campaña, y quizá precisamente cuando más necesite de su auxilio para alcanzar un fin determinado, serán en la generalidad de los casos más estorbosos que útiles.

Las ventajas del tiro rápido en el servicio á campo raso ó en la guerra de montaña son reales cuando se hace fuego contra objetos inmóviles ó animados de un movimiento lento, pero serán ilusorias desde que, por cualquier motivo, haya que rectificar frecuentemente punterías.



TERCERA PARTE



ESTUDIO

DE LOS

PROYECTILES Y ESPOLETAS

Proyectiles y espoletas

Hemos estudiado el cañón, es decir, el instrumento con que el artillero llega á producir en un tiempo muy corto, una cantidad de fuerza viva que asciende á miles de kilográmetros.

Nos queda por ver el medio por el que la fuerza viva así engendrada se transporta sobre el objeto para producir el efecto que se desea: este es el *proyectil*.

La organización del proyectil debe estudiarse de la manera siguiente:

1ª. Es necesario que llene las mejores condiciones para su movimiento en el ánima del cañón y en el aire.

2ª. Se debe aumentar lo más que sea posible su potencia de acción contra los obstáculos materiales y contra las tropas.

CAPÍTULO I

DETALLES SOBRE EL MODO DE GUIAR EL PROYECTIL DENTRO DEL ÁNIMA

El proyectil debe tomar en el cañón dos movimientos, uno de rotación y otro de traslación.

Respecto de este último basta decir que la parte cilíndrica debe tener una altura bastante grande, relativamente á la ojiva, para que el centro de gravedad se encuentre en la primera; de otra manera no quedaría suficientemente asegurada la estabilidad del proyectil, durante su trayecto en el ánima. Esta condición se satisface siempre ampliamente, pero pone un límite á la tendencia que hay de alargar más y más la ojiva.

La rotación se obtiene por medio de rayas helicoidales abiertas de antemano sobre la pared del ánima, en las cuales penetran algunas porciones superficiales del proyectil.

Al estudiar las rayas hemos hecho ya la distinción de *sistemas de tetones*, que es el caso en que los salientes conductores existen sobre la superficie del proyectil, y de *sistema de forzamiento*, en los que los salientes se producen automáticamente desde que el proyectil comienza á moverse.

2 *Proyectiles de tetones* (fig 10).—Los tetones se colocan en frío en los *alveolos* hechos sobre la superficie del proyectil, estos alveolos presentan en todo el contorno una especie de cola de

milano en la que se obliga al metal del tetón á extenderse por comprensión ó á golpes de martillo.

3 *Envoltura de plomo.*—Comienza abajo de la ojiva por un tronco de cono que, en la carga se aplica contra aquel sobre el cual comienzan las rayas y se extienden hasta cerca del culote, presentando á veces una interrupción sobre su parte media. Para disminuir el frotamiento contra la pared del ánima, se la forma de partes alternativamente salientes y entrantes: las primeras llamadas *cordones*, son las únicas que penetran hasta el fondo de las rayas y las segundas, que no concurren al forzamiento, sirven para asegurar la solidaridad de las primeras, así como la adherencia á la fundición. A fin de que los gases no puedan esparcirse al rededor de las partes cilíndricas del proyectil cuando no está enteramente introducido en la parte rayada, es bueno (fig. 11) que el primer cordón cerca del culote, tenga un diámetro un poco mayor que la recámara del proyectil: dicho cordón se apoya contra un pequeño tronco de cono que separa esta recámara de la del cartucho.

El forzamiento por envoltura de plomo permite centrar bien el proyectil aún con grandes tolerancias en las dimensiones, porque la moldura se amolda bien en las rayas, suministrándole gran superficie de apoyo. Pero esta envoltura se arrancaríá en el tiro con fuertes cargas y no satisfaría á las exigencias de una artillería poderosa. Además se han señalado los defectos siguientes:

1a. Se deforma fácilmente la envoltura, lo que hace necesario muchas precauciones en los transportes (empaques de cajas para un solo proyectil), bajo pena de encontrar gran número que no puedan entrar en el cañón.

2a. La adherencia del plomo á las rayas, á pesar de todos los artificios que se usan para engrasar y limpiar, alteran muy pronto la precisión del tiro y exige que se adopten instrumentos especiales para quitarlo.

3a. La envoltura de plomo no es compatible con el rayado progresivo.

4a. Aumento de resistencia del aire por los cordones salientes y por las ranuras que los tabiques abren en ellos.

5a. La envoltura de plomo perjudica los efectos de explosión y penetración.

6a. y último. Como la colocación de la envoltura no puede hacerse más que caliente, esta operación puede alterar la estructura molecular en los proyectiles de acero ó de fundición dura.

4 *Cinturas.*—Con los cañones de acero se han suprimido todos los inconvenientes, sustituyendo la envoltura de plomo por cin-

turas de un metal más resistente. Se ha dado la preferencia al *cobre rojo* porque lo recomiendan su *tenacidad* ocho veces mayor que la del plomo y su *homogeneidad* que hace que se incruste regularmente en los tabiques.

Hay que considerar en las cinturas el papel que desempeñan, el *perfil*, la *posición* y la *colocación*.

5 *Papel de las cinturas*.—Primeramente se pensó que era necesario apoyar la granada en las rayas por medio de dos cinturas colocadas á una y otra parte del centro de gravedad (figs. 12 y 33) pero bien pronto se reconoció que la de atrás bastaba para producir la obturación y la rotación, y á la de adelante, reducida al papel de la *cintura de apoyo*, se le dio el mismo diámetro que hay entre los tabiques.

Se encontró así la ventaja de poder emplear la raya progresiva. Poco después se tuvo la idea de suprimir la cintura y la de sustituirla por un simple abultamiento. (fig. 35)

Así es como se hacen actualmente los proyectiles de la artillería. El abultamiento de apoyo es una superficie cilíndrica que sigue á la ojiva: apenas es perceptible, porque su diámetro no sobrepasa al proyectil más que algunos décimos de milímetro.

La cintura posterior se llama también á causa del papel que desempeña, *cintura forzadora* ó *directriz*.

6 *Perfil de las cinturas*.—En los cañones de rayado progresivo, varía la anchura de la cintura directriz de $\frac{1}{10}$ del calibre para los proyectiles disparados con fuertes cargas y de $\frac{1}{20}$ para los disparados con débiles cargas.

El forzamiento resulta de la diferencia en más que hay entre el diámetro de la cintura y el del fondo de las rayas. Comunmente es de 4 á 6 décimos de milímetro. Cuando es insuficiente, la cintura puede ser arrasada y á este resultado casi siempre sigue una grave anomalía en el tiro. Así se reducen al mínimo extremo las tolerancias admitidas sobre las dimensiones de que depende.

Las mismas consideraciones se aplican á la cintura anterior, cuando también está forzada (rayas de paso constante). Cuando no lo está, sino que sirve únicamente de apoyo, es necesario que tenga algún juego con el cañón, á fin de que se pueda introducir el proyectil en el ánima, hasta que se detenga por el choque de la cintura posterior contra el bisel de los tabiques. Este juego es decir, la diferencia éntre el diámetro de los tabiques y el de la cintura (ó del abultamiento que la sustituye) es de 0^m,^m 5 para los calibres pequeños y de 1^m,^m para los grandes.

Aunque reducido á cifra tan pequeña, da origen todavía á cabeceos que, en el momento que el proyectil abandona el ca-

ñón engendran una rotación perturbatriz. De aquí resulta que el proyectil parte girando al rededor de un eje, que difiere más ó menos del geométrico; hay por esto separaciones irregulares y sufre más la resistencia del aire. Se atenúan estos defectos determinando racionalmente, como vamos á exponer, la distancia entre las dos cinturas.

Posición de las cinturas.—La distancia entre la cintura posterior y el culote es comunmente igual á $\frac{1}{4}$ de calibre. De aquí resulta un mínimum que se puede fijar en diez milímetros próximamente para los calibres pequeños, y desde luego parece ventajoso mantenerse cerca de este límite á fin de atenuar las acciones oblicuas ejercidas por los gases de la pólvora que se esparcen al rededor de la parte cilíndrica posterior á las que se deben los cabeceos de que se acaba de hablar.

CAPÍTULO II

PROYECTILES DE CAMPAÑA

Condiciones de eficacia.—El proyectil de artillería de campaña está destinado á obrar contra objetos animados, hombres ó caballos; en casos especiales (de ataque de obras de mampostería ó de fortificación de campaña,) la mayor parte de los ejércitos emplean una granada particular.

La granada normal, debe, pues, dar la mayor cantidad de balas ó de cascos mortíferos posible; debe además estar dispuesta de manera que permita la observación del tiro; condición indispensable para el reglaje del tiro y el buen empleo de la munición. Para este doble objeto debe tener una espoleta de doble efecto, que produce la explosión, sea por el choque (sistema de percusión), sea á una distancia deseada del cañón, y, por consiguiente, en una posición conveniente con relación al adversario (sistema de tiempo). Las espoletas serán materias de un capítulo especial.

Se enseña en los cursos de tiro que la espoleta se emplea comunmente como de percusión para las operaciones del reglaje del tiro, sirviendo para fijar el alza conveniente para alcanzar el objetivo, después como de tiempo para producir el máximo de efecto sobre los blancos.

En uno y otro caso, su funcionamiento debe producir una nube de humo bastante densa para permitir la observación.

La eficacia del proyectil depende de la fuerza viva de sus balas ó fragmentos en el momento en que ellas alcanzan el objetivo. Su haz constituye el cono de dispersión.

Conviene, pues, indicar según qué principios estará forma-

da la granada para obtener la fragmentación más eficaz y el haz mejor dirigido.

1o. *Número de balas y de cascos.*—Este número es consecuencia obligada del peso y de la construcción de la granada, y además del peso y densidad de cada bala. Mientras más pesado es el proyectil, permaneciendo los demás elementos iguales, más ventajosos serán sus resultados.

2o. *Fuerza viva de choque.*—Según Vallier es necesario para poner fuera de combate un hombre ó un caballo, respectivamente:

	hombre	caballo			
Con una bala de 11 gramos,	162	y 350	metros de velocidad		
" " " " 13	"	158 y 330	" " "		
" " " " 15	"	154 y 332	" " "		

ó sea el doble de las que calcula Langlois para los mismos proyectiles.

3o. *Abertura del haz.*—La abertura del haz depende de la velocidad de rotación de la granada que proyecta hacia adelante las balas ó cascos, de la velocidad de rotación que los impulsa hacia los costados y de la acción propia de la carga de explosión.

Esta última puede en efecto romper simplemente la envoltura del proyectil ó bien comunicar á las balas y cascos una velocidad suplementaria, velocidad cuya acción se agrega igualmente á la potencia de choque.

Pasemos ahora en revista los diversos proyectiles existentes:

En 1870 tanto los franceses como los alemanes disponían de una granada ordinaria de fundición y granadas de balas, ambas provistas de espoletas de tiempo. Estas últimas dieron poco resultado tanto de una como de otra parte.

Las granadas ordinarias no dieron igualmente más que un resultado relativamente débil, debido á la irregularidad de su fragmentación; algunos cascos eran demasiado pequeños y otros demasiado grandes y la irregularidad de su forma les hacía perder rápidamente su velocidad.

Por este motivo los estudios se dirigieron á mejorar estos proyectiles con la ayuda de una fragmentación preparada.

Citaremos algunas:

1o. *Granadas de doble pared* (fig. 32)



Fig. 32

compuesta de dos proyectiles, metido uno dentro del otro, el interior presentaba salientes de forma piramidal y por consi-

guiente con una serie de líneas de ruptura. Este proyectil es aún de una fabricación incierta y expuesta á explosiones en el interior del ánima, debido á incidentes del colado.

20. *Granadas de coronas* del General Uchatius (fig. 33) compuesta como la anterior de una granada interior formada por coronas horizontales dentadas y una envoltura exterior.

30. *Granadas de segmento de*

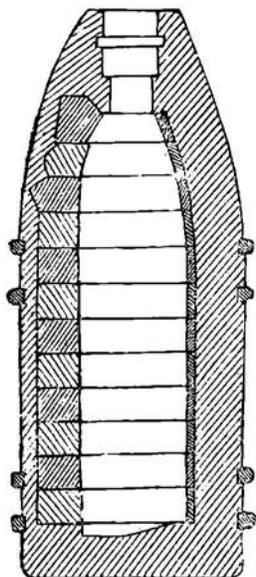


Fig. 33

Armstrong, (fig. 34) en las cuales las coronas precedentes están fraccionadas por líneas meridianas, lo que prepara un doble fraccionamiento.

4º. *Granada de balas francesas*, modelo de 1879, (fig. 35) en la cual

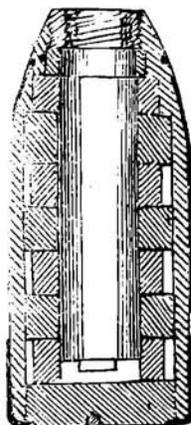


Fig. 34

las coronas precedentes se componen de balas fundidas y la pared exterior presenta alojamientos meridianos para recibirlas.

50. *Granada de metralla*, adoptada en Francia en 1883,

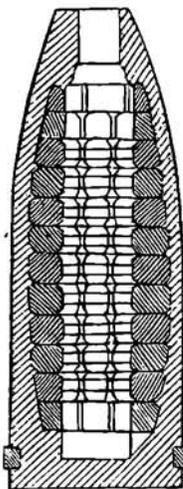
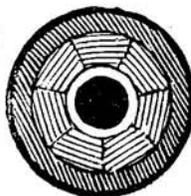


Fig. 35



(fig. 36) que se compone de un cierto número de galletas fundidas y superpuestas. Unos alojamientos hemisféricos están colocados en estas galletas de manera que puedan recibir balas de plomo endurecido protegidas así contra las deformaciones.

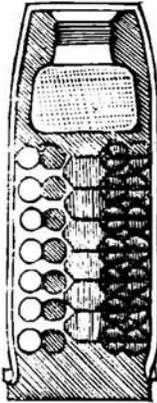


Fig. 36

En un culote de acero termina el proyectil y una granada de fundición que recibe la carga explosiva y la espoleta está colocada en la parte superior; todos estos elementos están reunidos por una camisa delgada de lámina de acero unida al culote.

La granada de metralla ha dado buenos resultados en los tiros en que se le ha empleado; sin embargo se le puede reprochar la forma irregular de los fragmentos de fundición que lanza y que no les permite conservar largo tiempo su velocidad. Su eficacia disminuye, pues, rápidamente con la distancia, porque esta distancia, aumentando, disminuye la velocidad restante del proyectil y por consiguiente de sus fragmentos, sin ninguna compensación.

6.º—*Granada de balas propiamente llamada Shrapnel* (fig. 37).—Lleva el nombre de su inventor, es un proyectil en el cual están encerradas las balas en un número tan considerable como es posible, provisto de una espoleta y de una carga de explosión conveniente. Solo se le ha podido establecer en buenas condiciones en una época relativamente reciente.

Ha sido necesario en efecto poder

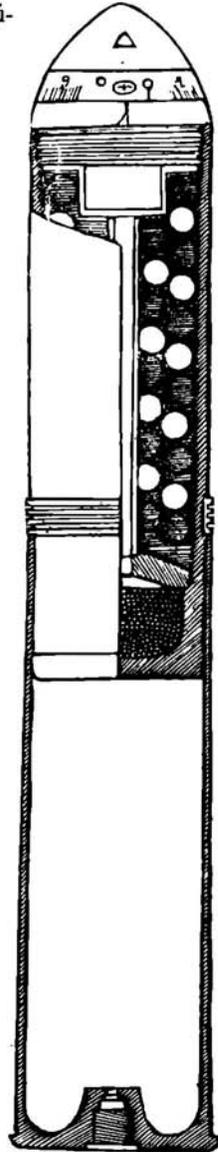


Fig. 37

construir tales granadas de manera que pudieran resistir á las fuertes presiones del tiro, sin engrosar demasiado las paredes á fin de poder colocar una carga suficiente.

En el momento del tiro es sabido que las balas en virtud de su inercia, son lanzadas fuertemente hacia el culote y comprimidas las unas contra las otras; les es necesario, pues, unir gran dureza para no ser deformadas, para lo cual se ha debido reemplazar en su composición el plomo ordinario por el plomo endurecido con la adición de antimonio.

La envoltura lateral debe á su vez resistir por una parte al esfuerzo de los gases de la carga de proyección y por otra á la presión de las balas provenientes de la reunión de su marcha hacia atrás y de la fuerza centrífuga originada por el movimiento de rotación. Por consiguiente en la vecindad del culote, no lejos de la cintura posterior es donde se encuentra la región peligrosa.

Es necesario, pues, bajo pena de reducir extremadamente el vacío interior, evitar el aumento de espesor de las paredes, empleando para la construcción de la envoltura un metal muy resistente tanto más cuanto que la experiencia ha demostrado que los cascos de la envoltura no producen más que un efecto mortífero muy pequeño con relación á aquel de las balas. Por esto se le construye de lámina de acero.

La carga de explosión puede estar colocada ya sea adelante, en un tubo central ó atrás.

La carga de adelante tiene la ventaja de presentar un arreglo fácil y una comunicación sencilla entre la espoleta y la pólvora y de asegurar así la regularidad del funcionamiento; pero ella disminuye la velocidad restante de las balas, y por consiguiente, la extensión de la zona batida y la eficacia de las balas ó cascos.

La carga central aleja las balas normalmente á la trayectoria y hoy día no es empleada sino en casos excepcionales.

La carga posterior presenta la gran ventaja, de que en el momento de la explosión, proyecta hacia adelante del cuerpo de las granadas las balas que la preceden, aumentando su velocidad en proporciones considerables; á condición de tener un peso apreciable que depende del peso total disponible para las balas.

En cambio, la organización es más complicada; la transmisión del fuego desde la cabeza de la granada hasta el culote es más difícil de asegurar.

Cualquiera que sea la posición de la carga, es necesario, en todo caso, que ella produzca una nube de humo bastante intensa para permitir la observación aún á varios kilómetros. Esta es

una de las grandes dificultades de la organización actual de los proyectiles.

Organización de las balas.—Las balas deben poseer en el choque un minimum de fuerza viva igual á ocho kilográmetros para poner á un hombre fuera de combate. Por consiguiente, á pequeñas distancias una bala liviana sería suficiente, puesto que la velocidad restante que le es común con la granada, es considerable; á las grandes distancias que son hoy las distancias de tiro más probables; al contrario la bala debe ganar por su peso, la insuficiencia de velocidad.

Los principales datos de los shrapnels empleados por las grandes potencias militares están dados en las tablas siguientes:

Tabla de los principales elementos de los

País donde se construye	Modelo	Tipo	Calibre α	Largo total en calibres	Peso total P	Metal de la envoltura	Número de balas
Francia ..	1885	Granada de	80	3,38	6 kg 280	Lámina de acero	162
	1883	metralla	90	3,31	8, 685		237
	1886		95	3,60	12, 300		250
Alemania	1882	Shrapnel carga central	88	2,29	8, 15	Fierro id. acero	262
	1882		78,5	"	5, 6		167
	1891		88	"	"		"
Inglaterra...	1891	Shrapnel carga adelante	76	2,75	5, 67	Acero	177
	ENSAYO		76	"	6, 8	"	252
Austria ..	1875	Shrapnel carga atrás	87	2,29	7, 16	Fierro	165
			75	"	4, 8	"	105
	1891		87	"	6, 5	"	154
España ...	1880	Shrapnel carga atrás	7,85	3,50	6, 43	Acero	231
	1891		7,85	3,82	7, 26	"	231
Italia	1874	Shrapnel carga central	8,7	"	6, 7	Fierro	177
	1874		7,5	"	4, 2	"	103
Rusia.....	1877	Shrapnel carga atrás	10,7	"	12, 5	Fundición	345
			8,7	"	7, 85	Acero	200
	1877		8,7	"	6, 85	Fundición	167
Suiza	"	Shrapnel carga atrás	84	"	6, 7	Acero	185
EE. UU...	1889	Shrapnel carga atrás	8,13	"	6, 12	Acero	170
	1889		9,14	"	9, 07	"	"
Italia	1881	Shrapnel carga atrás	8,7	"	7, 0	Acero	177
	1881		7,5	"	4, 5	"	109

shrapnels y granadas de metralla de campaña

Balas peso en gramos	Peso total de las balas p	Peso de la carga s	$p: P$	$\omega: P$	Datos balísticos		
					$P: \pi R^2$	$\frac{P}{d} : \frac{4}{3} \pi R^3$ (1)	V_0
15	2,99	80 gr.	0,47	0,013	125	3,35	465
15	4,43	130	0,51	0,015	136,5	3,25	432
20	"	175	0,49	0,014	173,5	3,91	440
13	3,41	22,5	0,418	0,027	132,6	3,23	419
13	2,14	19	0,385	0,034	116,	3,15	452
11	?	?	?	?	?	?	442
13	2,30	21	0,41	0,0037	124,5	3,5	524
11	2,79	"	0,41	"	149	4,19	472
13,1	2,16	85	0,30	0,0119	120,4	2,97	430
13,1	1,36	45	0,28	0,0093	108,7	3,08	409
10	1,54	90	0,235	0,0014	"	"	450
11,4	2,63	81	0,41	0,013	133	3,63	460
13	3,0	136	0,41	0,019	150	4,09	510
16,3	2,89	17	0,43	0,025	113	2,78	457
16,3	1,68	13	0,40	0,031	95,1	2,72	435
11	3,76	110	0,30	0,0088	142,7	2,88	374
11	2,20	102	0,31	0,0146	177	2,88	442
11	1,83	68	0,27	0,0106	119,1	2,93	442
12,5	2,31	65	0,34	0,0097	121	3,09	445
13,3	2,26	113	0,37	0,0085	118	3,15	518
"	"	"	"	"	138	3,24	474
13	2,29	80	0,33	0,0114	117	2,88	448
13	1,42	50	0,30	0,0111	101	2,89	423

(1) d , densidad de la fundición.

Tabla de los principales elementos de los

CONSTRUCTOR	Modelo	Tipo	Calibre α	Largo total en calibres	Peso total P	Metal de la en- volutura	Número de balas
Canet.....	Tiro rápido	Granadas de metralla	7,0	4,36	5,8	Acero	205
	Corto		7,5	3,28	4,6	"	115
	Largo		7,5	3,44	5,2	"	135
	Tiro rápido		7,5	3,67	6,0	"	175
Gruson	Cañón de 30 calibres de largo.	"	5,3	3,2	2,00	Acero	56
			5,7	3,2	2,72	"	64
			7,5	3,8	7,00	"	192
			8,0	3,1	7,00	"	200
			8,2	2,9	7,96	"	220
Hotchkiss.....	"	G. de M.	7,5	3,74	6,00	Acero	231
Armstrong.....	"	Shrapnel	9,0	"	8,00	Acero	160
	T. R.	carga	8,4	"	6,8	"	220
	T. R.	atrás	7,6	"	5,67	"	180
	"	G. de M.	7,5	"	5,67	Acero	110
			7,5	"	4,3	"	70
			"	"	4,3	"	70

Shrapnels y granadas de metralla de campaña

Balas peso en gramos	Peso total de las balas p	Peso de la carga ω gr.	$p : P$	$\omega : P$	Datos balísticos		
					$P : \pi R^2$	$\frac{P}{d} : \frac{4}{3} \pi R^3$	V_0
15	3,60	80	0,62	0,013	151	4,61	423
15	2,35	80	0,51	0,015	104	2,97	„
15	2,75	70	0,53	0,013	120	3,36	„
15	3,60	80	0,60	0,013	131	3,88	500
14	0,80	30	0,40	0,015	90	4,66	505
14	0,90	35	0,33	0,013	107	4,01	515
13,5	0,26	60	0,37	0,009	158	4,53	520
13	0,26	60	0,37	0,009	139	3,73	597
12,2	0,27	85	0,34	0,011	133	3,46	597
„	3,60	90	0,60	0,015	132	3,88	530
„	„	„	„	„	„	„	466
„	13	2,30	21	0,0037	124,5	3,5	494
„	„	„	„	„	„	„	613
„	„	„	„	„	„	„	480
„	„	„	„	„	„	„	460
„	„	„	„	„	„	„	460

Bote de metralla.—El bote de metralla (fig. 38) es un recipiente de balas destinado á romperse en el ánima debido á la fuerza de los gases y á proyectar así á corta distancia contra las tropas enemigas las balas que él encierra. Todos estos botes de metralla son análogas y se componen de un cilindro de zinc ó latón cerrado en una extremidad por un culote de zinc y en la otra por una cubierta delgada de metal de la envoltura.

Los botes de metralla encierran un gran número de balas de plomo endurecido, de un peso y dimensiones mayores que las de los *shrapnels*. Ellas están unidas por medio de azufre fundido que llena todos los huecos que quedan entre las balas y su envoltura.

Granada de explosivo.—Este proyectil tiene el aspecto exterior de una granada ordinaria, pero no está preparada para la fragmentación sistemática. Contiene una carga explosiva y una carga de inflamación que no se coloca en su sitio, sino antes de cargar el cañón; usa una espoleta que en los transportes está lista para el tiro de percusión. Es del mismo peso que la granada ordinaria y está pintada comunmente de color amarillo.

Esta granada cuyas paredes y sobre todo el culote deben ser muy fuertes para evitar las explosiones en el ánima se hace actualmente de acero y proporciona más ó menos quinientos fragmentos muy diferentes los unos de los otros por su forma y por sus dimensiones.

La carga interior no está colocada directamente si no en una envoltura particular destinada á separarla de los metales que constituyen el proyectil y el detonador, con los cuales esta carga podría formar sales explosivas.

La envoltura de la carga se introduce por el orificio superior del proyectil.

La carga comunica á los fragmentos

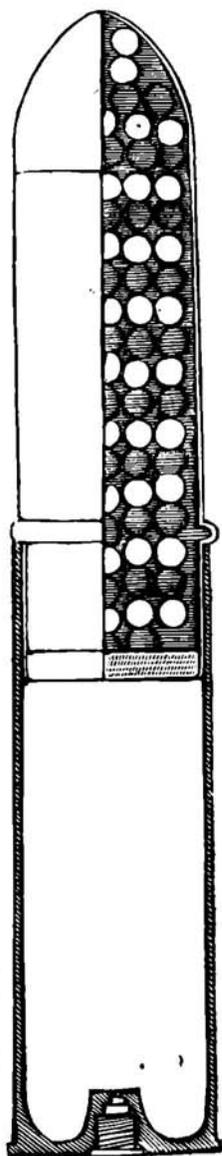


Fig. 38

una velocidad más ó menos de setecientos metros. Y resulta que los fragmentos de la ojiva y los del culote son proyectados según la tangente á la trayectoria, unos adelante con una gran velocidad, los otros hacia atrás con una velocidad igual á la diferencia entre setecientos metros y la velocidad tangencial restante del proyectil; ninguno de estos puede ser eficaz contra tropas colocadas tras de abrigos.

Los fragmentos de la parte cilíndrica son por el contrario proyectados según un cono de revolución excesivamente abierto reducido casi á un plano vertical normal á la trayectoria, en razón de la extrema velocidad lateral comunicada por la carga. Una tropa colocada en línea detrás de una trinchera será ofendida si la granada estalla á su altura; resultando que los otros tipos de granada no pueden alcanzar.

Algunas potencias europeas lo usan para su material de campaña en una proporción de $\frac{1}{2}$ del total de granadas.

No solo se le emplea para el tiro directo contra los obstáculos sino también en el tiro sumergente contra tropas abrigadas y este será probablemente su papel principal. En este último caso el punto de explosión más favorable es á un metro encima y cinco metros adelante de la cresta del abrigo para una distancia máxima de 3000 metros.

En otros ejércitos el papel de las granadas de explosivo en lo que concierne al tiro contra tropas abrigadas corresponde á proyectiles de mayor calibre análogos al shrapnel de campaña disparados por cañones cortos ú obuses.

CAPÍTULO III.

PROYECTILES DE SITIO Y DE PLAZA.

Diferentes tipos de proyectiles.—Los proyectiles de sitio y de plaza son:

- 1.º—Las granadas ordinarias fundidas.
- 2.º—Las granadas de bala ó los shrapnels.
- 3.º—Las granadas de explosivos y granadas torpedos.

1.º—*Las granadas ordinarias fundidas desaparecen poco á poco de los aprovisionamientos, en razón de la debilidad relativa de sus efectos.*

Su forma general es cilindro-ojival de un diámetro poco menor que el calibre del ánima. En la unión de la ojiva y la parte cilíndrica presenta un ensanchamiento que aumenta el diámetro. Termina hacia la punta en un corte plano, en el cual se ha hecho un orificio tarrajado. Es por este orificio donde se introduce la carga de pólvora destinada á producir la explosión;

y se le cierra en seguida por la espoleta que se atornilla fuertemente.

El hueco interior tiene también la forma cilindro-ojival, semejante al contorno exterior. Sin embargo está terminado hacia el culote por una parte tronco-cónica á fin de aumentar el espesor á la altura de las cinturas.

2.º—*Las granadas de metralla ó los shrapnels* presentan con los de campaña la mayor analogía.

3.º—*Las granadas de explosivo* se encuentran sobre todo en el material de plaza y de sitio y se les puede agrupar en dos categorías.

Las primeras contienen una carga relativamente debil y están destinadas sobre todo á obrar contra tropas colocadas tras de abrigos ó parapetos y cuyo efecto se ejerce lateralmente.

Los segundos por el contrario son granadas de paredes débiles de gran capacidad llamadas comunmente *granadas torpedos*.

Estas están destinadas en la guerra terrestre á obrar contra la mampostería y contra los abrigos de tierra.

Ellas jugarán seguramente un gran papel en los bombardeos, tanto por su efecto real como por el efecto moral que produce su explosión.

Teoría de la granada torpedo.—Así como la granada ordinaria consigue su objeto y poder con la fuerza viva con que está animada para destruir ó atravesar los obstáculos fuerza á la cual viene á agregarse la de la carga de la pólvora que ella contiene; la granada torpedo obra solamente como vehículo del explosivo que ella encierra. Basta entonces que sus paredes tengan justamente la fuerza necesaria de resistencia para soportar el choque en el ánima del cañón, choque que será tanto menor cuanto que no tiene otro objeto que comunicarle la energía que le es indispensable para recorrer el aire hasta el objetivo de ataque. Esta reducción de espesor de las paredes puede asociarse con un gran alargamiento del proyectil, pues que no se trata de comunicarle grandes cualidades balísticas.

La granada torpedo será, pues, larga, de paredes delgadas y no obrará más que por la energía química que ella transporta al punto de impacto. Su organización no debe ser estudiada, sino desde el punto de vista del trabajo de esta energía y de la seguridad de su manejo en el tiro.

El estudio de esta organización debe ser precedida del examen de las condiciones, en los cuales pueden ser empleados los explosivos.

Los elementos que deben tenerse en cuenta para la elección del explosivo son:

1.º—Su fuerza, es decir, el esfuerzo que puede desarrollar en un espacio cerrado;

2.º—La velocidad de reacción que debe ser tal, en el caso que nos ocupa, que ella esté terminada antes de que se rompan las paredes del proyectil.

3.º—La estabilidad tanto en las manipulaciones preliminares como en el choque de partida en el ánima del cañón y á la llegada contra el obstáculo resistente. Esta estabilidad comprende no solamente una resistencia al choque propiamente dicho, sino para atravesar los obstáculos una resistencia al calentamiento proveniente de la transformación térmica de la energía del proyectil.

Una vez estudiado el explosivo se deberá estudiar en seguida el sistema de inflamación más conveniente para producir la detonación en el momento oportuno.

La estabilidad del explosivo depende de la composición química y de su estado físico.

Cuando en un cuerpo la proporción de combustible y comburente son tales que debe haber combustión completa, con producción de ácido carbónico y no de óxido carbono, la unidad de peso dispone naturalmente, en la reacción, de una gran cantidad de calor; y puede producir un trabajo muy considerable; por el contrario en razón de sus mismas proporciones los elementos tienen una fuerte tendencia á separarse para llegar á la nueva combinación; el cuerpo es entonces inestable, de un manejo peligroso á menos que su estado físico se oponga á la reacción.

Un cuerpo en que el oxígeno sea menos abundante, dispondrá de una menor cantidad de trabajo; pero el volumen del óxido de carbono siendo el mismo que el del ácido carbónico, sus elementos gaseosos tratarán de ocupar un volumen equivalente y los efectos de percusión podrán no ser inferiores á pesar de que la estabilidad esté más asegurada, puesto que, la reacción no debe desarrollar tanto calor.

Un explosivo rompedor para ser empleado con seguridad debe dar de preferencia óxido de carbono y no ácido carbónico.

Esto es, lo que explica porque los explosivos de la serie aromática son empleados de preferencia á aquellos de la serie grasa, por ser de un manejo menos peligroso.

Para los unos como para los otros, la adición de materias inertes aumenta la seguridad y disminuye la velocidad de reacción, como lo digimos al tratar de los explosivos en general, en la primera parte de esta obra.

Es necesario también considerar el estado físico.

Un explosivo cristalizado será más peligroso que si estuviera en el estado de fundición, en este último estado será más

peligroso que si está comprimido en el estado morfo, porque en este último estado no hay que temer que se produzcan huecos en el interior de la masa, los que en el momento del choque de partida causarán choques susceptibles de hacer detonar el explosivo, si no tiene gran estabilidad química.

En resumen, colocándose en el punto de vista de la carga de los proyectiles, se ve que los explosivos destinados á este empleo no deben ser cuerpos de combustión completa, pues la sensibilidad es tanto más viva cuanto el cuerpo tienda á desarrollar más calor en su descomposición.

Sin atribuir un valor matemático á la regla siguiente se puede decir que *la sensibilidad del explosivo es proporcional al cuadrado de la cantidad de oxígeno contenido en la unidad de peso de este explosivo, en tanto que su efecto rompedor lo es á esta misma cantidad hasta el empleo del necesario para la conversión total del carbono en óxido de carbono.*

Para una misma composición química el estado cristalino es el más peligroso, el estado fundido viene en seguida; el mejor es, una materia morfa en estado comprimido y así exenta de cavidades.

Para producir el funcionamiento de un explosivo es necesario llevar á uno ó varios puntos una temperatura tal en que se descomponga. Los gases desarrollados en cada uno de estos puntos obran sobre las capas inmediatamente vecinas las que se descomponen á su vez, obrando de igual manera sobre las capas subsiguientes, produciendo una verdadera onda explosiva que camina con la velocidad de varios kilómetros por segundo como se ha dicho al tratar de los explosivos en general. Si el explosivo es lento y estable conviene para producir su funcionamiento recurrir á un intermediario más sensible ó sea á una carga de detonación. Se concibe que la cantidad de esta carga, juega un papel esencial y que deba ser tanto más grande cuanto más inerte sea el explosivo hasta un cierto límite más allá de la cual, estando la inflamación bien asegurada, el exceso no contribuye más que con su propia energía.

La acción de esta carga sobre el explosivo principal será tanto más enérgica cuanto más considerable sea la superficie sobre la cual se trasmite esta acción.

En la organización de los proyectiles conviene arreglar el funcionamiento de la inflamación de tal suerte que la granada estalle ya sea al choque mismo con el obstáculo que encuentra, ó bien después de un cierto tiempo, durante el cual él ha penetrado más ó menos en el obstáculo.

El detonador funciona por un fulminante de fulminato de mercurio con ó sin retardo.

Empleo de las granadas torpedos en el material de sitio y de plaza.—Se ha visto de cuantas precauciones es necesario rodear el manejo de las granadas torpedos en razón de la sensibilidad del explosivo, que se hace más apreciable aun debido á la debilidad de las paredes del proyectil que, como ya se ha dicho, no siendo éste más que un vehículo del explosivo debe tener una capacidad interior tan vasta como sea posible. Por esto no se dispara comunmente con estos proyectiles sino bajo presiones y con velocidades relativamente pequeñas.

Los proyectiles de esta naturaleza que se emplean en las diversas potencias son los siguientes:

Alemania usa granadas rompedoras de tres calibres de largo más ó menos (Sprenggranaten) y granadas alargadas (Langgranaten) de acero de cinco calibres de largo más ó menos, la ojiva es movable para permitir la carga interior. Esta carga se compone de algodón pólvora, empleado en estado húmedo en rondelas bien comprimidas contenidas en envolturas metálicas. También se emplea el ácido pícrico fundido y encerrado en un envoltorio de cartón.

En *Italia* se emplea la granada mina para morteros de 24. Es más larga que la granada ordinaria y de paredes más delgadas. La carga interior compuesta de algodón pólvora húmeda y en granos, se introduce con la ayuda de un embudo, se le une por una mezcla de $\frac{2}{3}$ de parafina y $\frac{1}{3}$ de cera vegetal, fundida á la temperatura de 85°.

Emplea también la granada torpedo, formada de una camisa de acero sobre la cual se atornilla una ojiva fundida. Su forma es la de una granada ordinaria, pero más larga. La carga es de algodón-pólvora cerrada en una envoltura de zinc.

Para cargarla se divide la ojiva, se sumerge casi completamente el proyectil en una caldera de agua caliente, se vacía en él una cantidad de parafina fundida, tal que cuando la envoltura se coloque en su lugar el intervalo entre ella y el cuerpo del proyectil esté lleno, se deja enfriar el proyectil, hasta que la mano soporte su temperatura, se retira de la caldera y se le introduce la envoltura calentada de antemano; por fin se revisa la ojiva empleando discos de cartón para asegurar su unión con la envoltura.

En *Rusia* las granadas de explosivos están cargadas con algodón pólvora ó ácido pícrico.

En *Inglaterra* se carga la granada explosiva con lydita ó ácido pícrico.

En *Estados Unidos* el explosivo empleado es la *emencitz.* ó bien la gelatina explosiva ó el algodón pólvora.

En *Austria Hungría* se les carga con *ecrasita.*

CAPÍTULO IV

TRAZADO DE LOS PROYECTILES

Después de haber indicado la naturaleza de los proyectiles, es necesario mostrar cómo se establece su trazado, conciliando las diversas necesidades balísticas y de eficacia, de las cuales se calculan todos los elementos de manera de asegurarse que la granada sea establecida en buenas condiciones. Tomemos por tipo la granada ordinaria.

Formas exteriores.—Actualmente los proyectiles oblongos, las granadas ordinarias, por lo menos, tienen tres calibres de largo y un peso tres veces mayor que la bala esférica que podría dispararse en un cañón liso del mismo calibre.

La experiencia ha demostrado que es ventajoso terminar por una punta muy afilada los proyectiles que deben emplearse con una gran velocidad.

Los proyectiles disparados con pequeñas velocidades están comunmente terminados por una punta menos aguda.

Trazado de la parte anterior.—Una vez fijas las dimensiones generales del perfil, la elección de la curva que debe reunir la punta con el cuerpo del proyectil se puede hacer de una manera bastante arbitraria, si solamente preocupan las propiedades balísticas. Así, en la práctica, se hace uso de un trazado simple, constituido ordinariamente por un arco de círculo. Para los proyectiles destinados á ser disparados en cañones cortos de grueso calibre, se reemplaza algunas veces el arco de círculo por un arco de elipse.

En la artillería de tierra, francesa, el perfil de la punta no se une tangencialmente con las generatrices de la parte cilíndrica de la granada. A fin de asegurar el aislamiento del proyectil se da á la base de la ojiva un

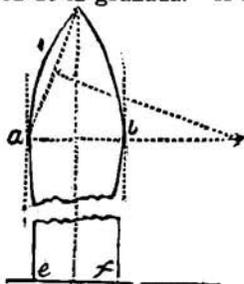


Fig. 39

tornean cilíndricamente en $a b$ (figura 39) á un diámetro inferior á

aquel del ánima medido sobre los campos; esta estrecha zona así obtenida es la que se apoya contra las paredes del ánima de la pieza.

En otros proyectiles el arco generador de la ojiva, es casi tangente á las generatrices de la parte cilíndrica. Los proyectiles se apoyan sobre las paredes del ánima por un ensanchamiento colocado en esa parte. Este ensanchamiento se compone de una parte cilíndrica unida por dos troncos de cono al cuerpo del proyectil.

Las cinturas están dispuestas en los moldes mismos de los proyectiles ó bien se les coloca después por medio de martillos ó de una máquina especial. En el primer caso el vaciado de la cintura tiene una forma poligonal, generalmente la de un decágono regular, á fin de que la corona de cobre (figura 40) no pueda girar en su alojamiento bajo la influencia de las presiones ejercidas por los flancos de las rayas. En el segundo caso se deja cilíndrico, el alojamiento de la cintura pero se le hacen incisiones por medio de un punzón contra el fondo de la garganta.

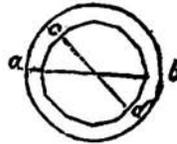


Fig. 40

Espesor de las paredes.—Para los proyectiles disparados á gran distancia el espesor de las paredes en la parte cilíndrica y en el culote es igual á $\frac{2}{3}$ del calibre. Puede disminuirse hasta $\frac{1}{3}$ para los proyectiles disparados á distancias medias y con débiles velocidades y que están sometidos ya sea en la pieza misma ó bien cuando encuentra el obstáculo á choques menos violentos. Por otra parte es natural dar á estos proyectiles lanzados por morteros una capacidad interior tan grande como sea posible, puesto que la intensidad de sus efectos descansa en parte en la cantidad de carga que pueden contener.

Este espesor desprende además del metal empleado y puede disminuir hasta $\frac{1}{10}$ con aceros especiales.

Peso del proyectil.—Una vez fijadas las dimensiones del proyectil, es necesario calcular sucesivamente el peso de la granada vacía y después de la granada llena.

Esto puede calcularse de un modo muy expedito con la ayuda de la tabla siguiente, en la cual h representa la altura y d el diámetro de la base. Esta tabla da á conocer para el cono, el cilindro y la ojiva sólida el coeficiente n por el cual es necesario multiplicar el cubo del diámetro de la base para obtener el volumen del cuerpo considerado.

La (figura 41) y la leyenda que la acompaña indica cómo se puede calcular el volumen del proyectil por medio de los datos contenidos en la

TABLA

Cono		Cilindro		Ojiva	
h	n ₁	h	n ₂	h	n ₃
$\frac{3}{4}$ d	0,19635	$\frac{3}{4}$ d	0,58905	$\frac{3}{4}$ d	0,35150
d	0,26180	d	0,78540	d	0,44765
$\frac{5}{4}$ d	0,32725	$\frac{5}{4}$ d	0,98175	$\frac{5}{4}$ d	0,54720
$\frac{3}{2}$ d	0,39270	$\frac{3}{2}$ d	1,17810	$\frac{3}{2}$ d	0,64857
$\frac{7}{4}$ d	0,45815	$\frac{7}{4}$ d	1,37445	$\frac{7}{4}$ d	0,74926
2 d	0,52360	2 d	1,57080	2 d	0,85098

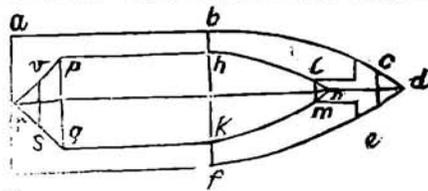


Fig. 41

$$\begin{aligned}
 \text{Vol. } b d f &= A = n_3 (b f)^3 & \left\{ \begin{array}{l} \text{Vol. } p h k q = E = n_2 (h k)^3 \\ \text{Vol. } p q r = G = n_1 (p q)^3 \\ \text{Vol. } l m n = H = n_1 (l m)^3 \\ \text{Vol. } r s v = K = n_1 (v s)^3 \end{array} \right. \\
 \text{Vol. } a b g f &= B = n_2 (a g)^3 \\
 \text{Vol. } c d e &= C = n_1 (c e)^3 \\
 \text{Vol. } h k n &= D = n_3 (h k)^3
 \end{aligned}$$

El volumen V del proyectil es:

$$V = A + B - C - D - E + H - G - K$$

El volumen v de la pólvora es:

$$v = G - K + E + D - H$$

La diferencia de estos dos volúmenes será el volumen real del proyectil. Multiplicada esta diferencia por la densidad del metal empleado se tendrá el peso del proyectil vacío que se aumentará en seguida con el peso de la pólvora para tener el peso del proyectil cargado.

El peso de la parte *l m c e* se ha considerado como de fundición lleno porque se puede tomar equivalente á la espoleta.

Si el peso encontrado se aparta mucho de las condiciones que se exigen *a priori* se podrá modificar el trazado interior ó simplemente modificar ligeramente el largo de la parte cilíndrica del proyectil.

Se calcula en seguida la relación del peso al cuadrado del radio para tener el coeficiente balístico.

Posición del centro de gravedad.—El centro de gravedad de

la parte cilíndrica se encuentra un poco más próximo del culote que el centro de figura, por razón de la densidad superior en la masa del culote.

Se puede determinar su posición exacta con la ayuda de los cálculos de volúmenes dados más arriba. Pero en general basta considerarlo como colocado al centro.

En la práctica una vez establecido el proyectil se verifica la posición del centro de gravedad con la ayuda de un aparato especial.

Centro de resistencia.—El centro de resistencia es el punto donde la resultante de la resistencia del aire encuentra al eje del proyectil. Esta resultante está inclinada con respecto á este eje, en razón de los movimientos de rotación del proyectil.

La distancia z del centro, de resistencia al plano de la base de la ojiva, está determinada en función del ángulo ojival por la relación siguiente :

$$z = \frac{3\gamma - \text{sen } \gamma \cos \gamma (3 + 2 \text{sen}^2 \gamma)}{4 (1 - \cos \gamma)^3 (3 + 2 \cos \gamma + \cos^2 \gamma)} \times \cos \gamma$$

z está expresado en calibres.

La distancia h de este centro de resistencia al centro de gravedad se mide por la expresión $z + l - D$, siendo l la altura de la parte cilíndrica y D la distancia del centro de gravedad al culote expresadas ambas en calibres. Esta expresión es la que da el valor del brazo de palanca de la acción atmosférica, y que, por consiguiente, es necesario hacer tan pequeño como sea posible.

CAPÍTULO V

FABRICACIÓN DE LOS PROYECTILES

Los proyectiles se hacen hoy día ya sea de fundición ó acero colado. Indicaremos la fabricación de la granada de fundición tal como se hace generalmente en Francia. La de las granadas en acero colado no se diferencian por otra parte más que en las manipulaciones especiales de cada fabricante.

La granada de metrallas ó de balas en razón de su trazado especial se fabrican por procedimientos completamente diversos de los que se dará una idea más adelante.

Fabricación de proyectiles de fundición.—La fundición empleada puede ser al carbón de madera ó al coke, de primera ó de segunda fundición. Debe ser mezclada, es decir, interme-

diaria entre las fundiciones grises que son demasiado dulces y se deforman fácilmente y las fundiciones blancas que son muy laminosas y demasiado frágiles.

Vaciado.—Los moldes para los proyectiles cilindro—ojivales actualmente en uso se componen de dos partes principales, el molde propiamente dicho y el núcleo correspondiente al vacío interior.

Se unen las diversas partes del molde disponiendo el núcleo sobre su eje en la posición que debe ocupar en el interior de la granada. Un mecanismo especial asegura la centración y fijeza del núcleo.

Una vez arreglado el molde no queda más que hacer llegar la fundición líquida al molde. Si se le vacía por la parte superior, se movería casi inevitablemente el núcleo.

Es por esto, que en las paredes del molde se hace un canal vertical que llega hasta la parte inferior de él.

Se vacía la fundición en el canal ya indicado; llega á la parte baja del molde y se eleva progresivamente hasta que alcanza á la punta, provista en la parte superior de un espacio que sirve para recibir las escorias y las burbujas de aire que pueden haber sido arrastradas por la fundición líquida.

Las operaciones ya indicadas se pueden simplificar por el empleo de máquinas para el vaciado.

Colocación de las cinturas.—Para los proyectiles de cintura de cobre de pequeño y mediano calibre, la colocación de la cintura se hace poniendo ésta en el molde del proyectil á la altura conveniente antes del vaciado. Para impedir que se deteriore durante el vaciado se le rodea de una envoltura metálica, generalmente de cobre, que toma el nombre de rodela de enfriamiento y que tiene su diámetro interior exactamente igual al diámetro exterior de la cintura, de la cual ella forma hasta cierto punto su envoltura. Se vacía el proyectil sobre la cintura así dispuesta y cuando se quita el molde se encuentra encastrada en el espesor del proyectil.

Para los proyectiles de grueso calibre y para los proyectiles de ruptura de acero fundido ó de fundición dura, la colocación de las cinturas puede hacerse en frío á martillo juntamente con las últimas operaciones de fabricación del proyectil.

Mas comunmente se hace con la ayuda de máquinas especiales.

Fabricación de la granada de metralla.—La granada de metralla está formada de una serie de elementos cubiertos por una camisa de lámina de acero que tiene el perfil exterior del proyectil, el que se compone de:

Un culote de acero.

Una serie de rodela de fundición con los huecos para recibir las balas de plomo endurecido.

Una granada de fundición para contener la carga explosiva y recibir la espoleta.

La camisa se incrusta en una garganta circular colocada al rededor del culote.

Culote.—Al culote se le hace sufrir pruebas del choque y de presión para comprobar su solidez.

Rodelas de fundición.—Las rodelas son de fundición blanca muy dura y se obtienen vaciando fundición en molde de arena. Ellas deben soportar pruebas de choque y de presión.

Balas.—Las balas son de plomo con adición de $\frac{1}{10}$ de antimonio.

Granada de carga.—Esta granada es de fundición gris; se obtiene igualmente por el vaciado, colocando dentro del molde un núcleo que tiene la forma del vacío interior. Es absolutamente igual á la fabricación de un pequeño proyectil.

Se comprueba la ausencia de grietas en el metal haciéndole sufrir una presión de cinco atmósferas por medio del vapor.

Camisa de lámina de acero.—La camisa se fabrica tomando un disco circular de acero y haciéndole sufrir primeramente una serie de golpes de punzón y estirajes en frío. Se da en seguida á la cabeza la forma ojival por medio de estampas y se termina la fabricación dando á todo las dimensiones definitivas.

Con un débil espesor la camisa debe procurar una gran resistencia. Para asegurarse de esto es necesario someter al metal á serias pruebas.

Para lo cual el metal destinado á la preparación de los discos se les somete primeramente á ensayos de maleabilidad y de tracción. El debe dar antes de templado 40 kilogramos á la ruptura y 22 % de alargamiento y la resistencia después del temple no debe sobrepasar de 65 kilogramos. Estas condiciones y otras análogas son indispensables para garantizar la seguridad del empleo de los proyectiles.

Después de la fabricación se procede á verificar minuciosamente las dimensiones.

Queda en seguida reunir los diversos elementos preparados y cubrirlos con su camisa.

Se comienza por preparar un proyectil reuniendo los discos ó galletas, la granada de carga y culote, de manera que se obtenga el peso deseado, después se introduce la carga de balas y se procede á ajustar la camisa llena de sus elementos con ayuda de una prensa hidráulica, asegurando la inmovilidad de estos objetos y vaciando el polvo.

No resta más que colocar la cintura de cobre, lo que se hace igualmente con la prensa comprimiendo el todo para obtener la invariabilidad del sistema sin la cual se producirían durante el trayecto en el ánima, movimientos que pueden producir ensanchamientos y explosiones prematuros.

Por último, los lotes de granada, aun después de todas estas precauciones se someten á pruebas de tiro.

Shrapnels.—Para los shrapnels el cuerpo del proyectil se obtiene por alargamiento á la presión, y la ojiva se atornilla sobre el cuerpo del proyectil después de colocar el diafragma que cubre la cámara de pólvora, los balines y el tubo interior central.

CAPÍTULO VI

ESPOLETAS

Las espoletas son artificios que sirven para inflamar la carga interior de los proyectiles huecos. Se distinguen tres clases de espoletas:

1.º—Las espoletas de percusión que funcionan al choque de llegada, es decir, en el momento en que el proyectil es detenido por un obstáculo.

2.º—Las espoletas de tiempo que hacen estallar el proyectil en un punto cualquiera de su trayectoria, en un tiempo determinado.

3.º—Las espoletas mixtas ó de doble efecto que pueden funcionar como de tiempo y como de percusión.

Espoletas de percusión.—Hoy día casi todas las espoletas de percusión están fundadas en el principio de la inercia. En un espacio hueco comunicado con el interior del proyectil puede moverse un percutor, cuya cabeza anterior está provista de una punta, en tanto que la pared que le hace frente recibe una cápsula fulminante, ó inversamente (fig. 42). A la llegada,

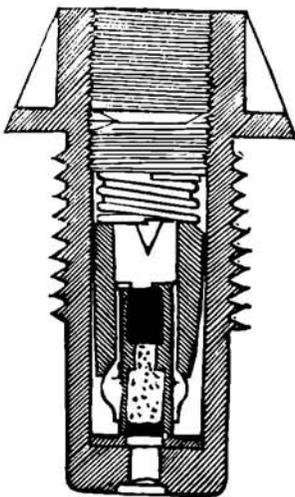


Fig. 42

en el momento de la detención brusca del proyectil, el fulminante conserva su movimiento propio; toma por consiguiente un movimiento relativo, se precipita adelante y choca contra el percutor, la llama producida inflama la carga interior del proyectil y produce la explosión.

Las espoletas que descansan sobre este principio deben estar

provistas de un sistema de seguridad que inmoviliza el percutor ó el fulminante durante los transportes y la operación de cargar.

Numerosas soluciones han sido adoptadas para realizar la circunstancia anterior. Comúnmente el sistema de seguridad está formado por un pequeño cilindro hueco, que va hacia atrás en virtud de la inercia, rompiendo un obstáculo poco resistente ó comprimiendo un resorte llamado *resorte de armar*; el cilindro viene á formar así un solo cuerpo con el percutor ó el fulminante y entonces se dice que la espoleta está armada. A la llegada, el conjunto del cilindro hueco y el fulminante toman el movimiento relativo indicado anteriormente, y vienen á chocar con el percutor y provocan la explosión. Se ve que es necesario evitar que la disminución de movimiento debido á la resistencia del aire pueda comunicar un movimiento relativo suficiente para producir el contacto con el fulminante. Esto se asegura en algunas espoletas por medio de un resorte interpuesto llamado de *seguridad*.

Para mayor seguridad en los transportes, ciertas espoletas no reciben la cápsula fulminante, sino en el momento del tiro, pero esta precaución que disminuye la velocidad de carga, tiende á desaparecer á medida que se mejora la construcción de las espoletas.

Espoletas de tiempo.—El medio más común para obtener la explosión al cabo de un tiempo determinado consiste en el empleo de una composición de combustión lenta comprimida en un canal, ésta se inflama por un extremo á la partida del proyectil, se quema progresivamente y comunica finalmente el fuego á la carga interior del proyectil. La composición empleada es polvorín comprimido en un canal. Con los cañones de cargar por la boca, la inflamación inicial se hacía por los gases de la carga de proyección del cañón que envolvían con sus llamas al proyectil en el momento del disparo.

Hoy día, que la carga por la culata ha traído en sí la colocación sobre el cuerpo del proyectil, de una cintura de plomo ó cobre que intercepta los gases, es necesario por consiguiente asegurar por una disposición especial la inflamación inicial. Para esto la espoleta está provista de un aparato especial llamado de *concusión*. Este aparato comprende un fulminante colocado al frente y separado de una aguja concutora, cuyo choque se produce por la inercia en el momento de ponerse en marcha el proyectil. Además, para regular con precisión la distancia de la explosión y producirla después de un tiempo de trayecto determinado, se ha graduado hacia el exterior todo el largo de la composición, llevando estas divisiones y subdivisiones hasta décimos de segundo.

En las espoletas de cuadrante (fig. 43) esta composición

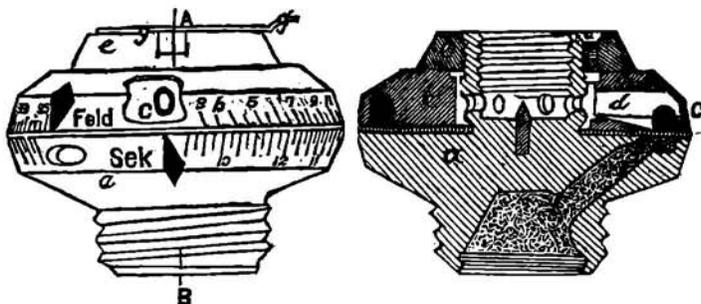


Fig. 43

está alojada en un canal circular que hace una vuelta casi completa en un plano perpendicular al eje de la espoleta. Un macizo metálico separa las extremidades de manera de impedir toda comunicación. La composición puede comunicar con el interior del proyectil ya sea por un punto fijo é inflamarse en un punto variable según la distancia por recorrer, ó bien al contrario, inflamarse siempre en una de sus extremidades y comunicar con la carga interior en un punto movable que se determina á voluntad. Según que se emplee una ú otra de estas disposiciones, el canal es fijo ó movable.

1^o — Cuando el canal de la composición es fijo está formado en la parte superior de un platillo que forma cuerpo con la espoleta, una de sus extremidades comunica por una carga de pólvora que va á unirse con la carga de explosión de la granada; por otra parte, el fuego producido por el aparato concutor se trasmite por orificios practicados en el interior del anillo central que está colocado contra la cara superior del platillo, de allí pasa al punto deseado del canal de tiempo; para esto se hace girar el anillo una cierta cantidad calculada por medio de una graduación trazada al rededor del platillo ó del anillo. Cuando la composición está encerrada en un tubo de plomo, ésta se horada ya sea por la llama misma del aparato concutor, reforzada con este objeto, ó bien por un útil especial manejado á la mano.

Quando el canal de composición de tiempo es movable (figura 43) está hecho en la cara inferior del anillo regulador. En este caso, una de las extremidades comunica de un modo permanente por medio de unos orificios con el aparato concutor y la punta variable se lleva por medio de una anotación conveniente sobre la cámara de pólvora.

La duración de combustión de estas espoletas no sobrepasa ordinariamente de 13". Para obtener una duración mayor se superpone al anillo uno ó dos anillos semejantes que comunican entre sí. De este modo se obtienen espoletas de dos ó tres pisos ó bien se emplean dos canales de tiempo concéntricos. El inconveniente de estos sistemas es la necesidad de unir perfectamente el anillo regulador sobre el platillo, sin lo cual el fuego puede transmitirse irregularmente ó instantáneamente de un extremo al otro de la composición, si además el fulminante del aparato concutor no se coloca en su sitio sino en el momento del tiro, es una operación más que hay que ejecutar en el momento de la carga. Por otra parte cuando se está obligado á recurrir al empleo de varios tubos de tiempo, resulta una complicación bastante seria en la construcción y en el empleo de la espoleta. En cambio, estas espoletas presentan la ventaja de poder disponerse sucesivamente para varios tiempos, lo que permite colocar en los cofres la espoleta graduada en cero ó en algunos décimos de segundo para el tiro de metralla.

Espoletas mixtas ó de doble efecto.—Las espoletas mixtas ó de doble efecto están formadas por la reunión de un aparato de tiempo y de uno de percusión, este último funciona cuando por error el primero se ha regulado para una duración de trayecto más larga que la verdadera ó cuando intencionalmente se la deja inerte.

Las ventajas principales de las espoletas de doble efecto son las siguientes: suplir por uno de los dos aparatos las fallas ó faltas de explosión; permitir emplear á voluntad el tiro por tiempo ó por percusión, según que las circunstancias hagan uno ú otro más ventajoso; en el caso que sea preferible el primero se facilita el reglaje por un tiro de percusión hecho de antemano ó alternado, procurar un medio de hacer estallar los proyectiles con pequeñas cargas, los que son á veces impotentes para armar la espoleta de percusión.

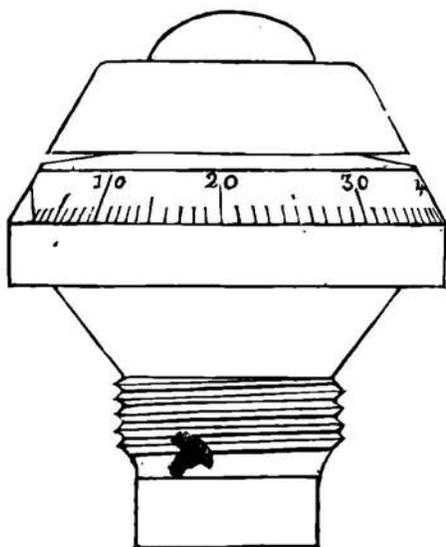
No es pues, de extrañar, que en estos últimos años, la mayor parte de las potencias hayan adoptado espoletas de este género.

Ellas se componen algunas veces de un tubo de tiempo enrollado en una ranura helicoidal sobre un tronco de cono metálico blando y cubierto de una envoltura fija de cobre (fig. 44).

Su extremidad inferior desemboca en un canal cilíndrico



Fig. 44



donde se encuentra alojado el aparato de percusión. Se arregla la espoleta para que haga explosión en el tiempo deseado, perforando por medio de un punzón la envoltura de cobre y el tubo blando hasta la cámara central, donde se desarrolla la llama del aparato concutor en el momento de la partida. Una graduación conveniente en segundos y décimos de segundo hace conocer el sitio que hay que perforar en la operación precedente.

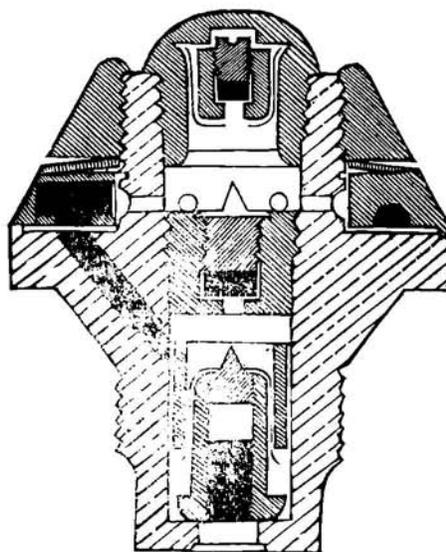


Fig. 45

El sistema de percusión es análogo al sistema ya indicado; funciona á la llegada si el aparato de tiempo no ha funcionado antes. De la región cilíndrica, donde se encuentra este sistema la llama producida por uno ú otro de estos aparatos pasa á la cámara de pólvora del proyectil y produce la explosión.

Otras espoletas de doble efecto (fig. 45) están formadas por una espoleta de tiempo de las llamadas de cuadrante como la ya descrita de la (figura 43) á la que se agre-

ga una espoleta de percusión en su parte posterior, como lo indican las figuras 45.

Su graduación se hace como se indicó en las espoletas de cuadrante haciendo girar el disco regulador hasta hacer coincidir la graduación deseada con el canal que comunica el fuego á la carga interior del proyectil.

Espoletas para explosivos violentos.—Ya hemos dicho que los explosivos violentos no funcionan sino bajo la acción de un detonador especial.

Las espoletas que se emplean para los explosivos violentos son espoletas de percusión de tipo ordinario, pero la llama en lugar de ir inmediatamente al contacto de la masa explosiva, obra sobre una carga especial encerrada en un detonador y es la detonación de esta carga especial la que provoca á su vez la explosión de la carga principal.

Espoletas retardadas.—En los dispositivos de percusión de que hemos tratado la explosión se produce casi instantáneamente por el choque, la llama obra en efecto inmediatamente sobre la carga interior ó la del detonador y no transcurre entre el momento de llegada del proyectil y aquel de la detonación más que el tiempo inapreciable del movimiento relativo de los elementos de la espoleta. En ciertos casos hay ventaja en aumentar este retardo para lo cual se interpone entre la espoleta y la carga, una cierta cantidad de polvorín comprimido como en las espoletas de tiempo, y el tiempo que necesita esta composición para quemarse produce el retardo deseado.

Para aclarar más las ideas vamos á describir una de estas espoletas.

Espoleta Förster para granadas con pólvora algodón.—Esta espoleta es análoga, en lo que concierne al mecanismo de percusión, á la espoleta de percusión alemana de antiguo modelo. El dedal *b* es alargado y abierto en su parte inferior; encierra una cápsula *e* que contiene un gramo de fulminato y está rodeado de un anillo *d* y de un tubo *f*, ambos de cauchouc. El compuesto está mantenido por un tornillo *g*. Si se quiere obtener un efecto retardado se hace uso de un dedal más largo y se interpone una composición de tiempo entre el alojamiento del percutor y la cápsula *e*. Para asegurar la inflamación de la carga de algodón pólvora húmedo que encierra la granada, se interpone entre esta carga y la cápsula un nuevo detonador de pólvora algodón seca.

La figura 46 representa esta espoleta, colocada en la ojiva. M. Förster ha ideado también un dispositivo especial para colocarla en los culotes de los proyectiles, á modo de obtener una explosión retardadora.

Espoleta de doble efecto para granadas comunes y de explosivos.—La espoleta de que se trata es alemana modelo de 1892

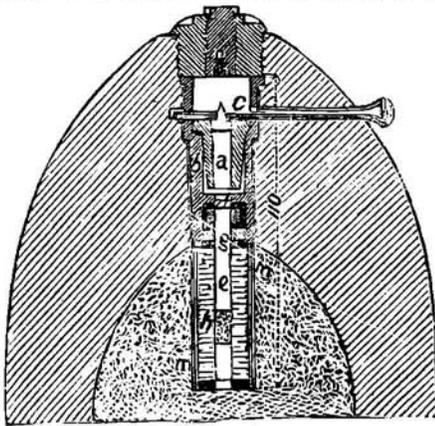


Fig. 46

completa, es decir, no hay que colocarle el fulminante antes del tiro (fig. 47).

El cuerpo de la espoleta se compone siempre esencialmente de dos discos *a* y *b* colocados sobre un platillo *c*.

El disco superior *a* se prolonga á través del platillo más allá de su base y está unido invariablemente á él por la tuerca *e*; el disco inferior *b* es el único que puede girar al rededor de su eje por medio de una llave especial.

El mecanismo de concusión se compone de una aguja percutora con su porta-aguja *l* sobre la que se proyecta, en el momento del disparo, el fulminante *X* contenido á su vez en el porta-fulminante *i*, atornillado éste á su vez en un cilindro hueco *h*. Este cilindro tiene exteriormente una garganta circular. Se le mantiene á distancia del percutor durante los trans-

(Doppelzündler C/92) que puede emplearse en el tiro de las granadas explosivas por la acción de un detonador. En este caso lleva el nombre de espoleta de doble efecto modelo 92 con detonador modelo 92 y retardo, ó sea:

Doppelzündler C/92 mit Zündladung C/92 mit "Verspäterung" y abreviado Dopp. Z C/92 m. Zdlg. C/92 m. V.

Esta espoleta es

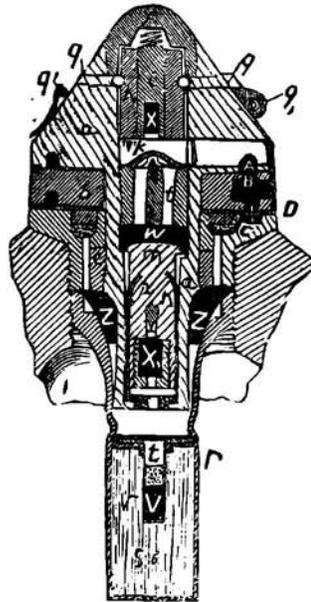


Fig. 47

portes, por la arandela q que atraviesa la cabeza de la espoleta y se apoya en la garganta. Antes de cargar la pieza, es necesario quitar esta arandela para dejar libre el porta-fulminante. Para esto se dispone del anillo q' , articulado á la cabeza de la arandela y sobre el cuerpo de la espoleta. Una vez arrancada la arandela, un resorte especial colocado entre el porta-fulminante y la cabeza de la espoleta lo lleva hacia la aguja, pero no hasta su contacto. Para que el fulminante venga á chocar con la aguja, es necesario que el porta-fulminante con su cilindro hueco rompa el resorte anular k , colocado encima del porta-aguja, lo que no puede suceder sino por un choque tan violento como el producido por la salida del disparo. Al quitar la arandela, queda pues, el sistema de concusión, en estado de funcionar, quedando el proyectil aún en estado de poder manéjarse sin peligro.

El mecanismo de percusión tiene un pequeño perfeccionamiento destinado á prevenir las explosiones prematuras. Con este objeto el porta-aguja m está encerrado en una envoltura p de latón; esta envoltura fija por un tornillo al fondo del disco superior está provisto de cuatro brazos ó pinzas que penetran en una garganta circular torneada sobre el porta-aguja y que no lo deja ir hacia adelante sino después de la combustión del grano de pólvora w bajo el esfuerzo de una detención brusca del proyectil tal como la que se produce á la llegada.

Cuando la espoleta está destinada á ser colocada en una granada explosiva, no se le coloca en su sitio sino después de atornillar un detonador, en la boca del proyectil, tal como está indicado en la figura 47.

El detonador se compone de un dedal r que contiene la carga detonante s ; en esta última está alojada la cápsula v que encierra el fulminante V que no lo llena completamente; sobre el fulminante la cápsula puede aún recibir una composición de retardo t . La parte superior del dedal encierra una corona de pólvora destinada á servir de unión al fuego proveniente del sistema de tiempo.

La descripción de los órganos de concusión, de percusión y detonantes, bastan para darse cuenta de su funcionamiento.

La graduación de tiempo se entiende desde $\frac{2}{3}$ de segundo hasta 28"; los octavos de segundo están indicados por rayas, los medios segundos por la cifra correspondiente. Una cruz indica el punto del disco que debe llavarse á la cara de referencia del platillo para que el tiro sea de percusión.

En resumen, esta espoleta presenta las ventajas siguientes:
Se transporta completamente armada.

Su graduación no exige más que la rotación de un solo disco.

La duración de combustión es considerable.

Ella sirve igualmente para las granadas de explosivo y para los shrapnels.

Espoletas mecánicas.—Todas las espoletas de tiempo que se han descrito necesitan el empleo de una composición de pólvora comprimida expuesta á deteriorarse. Se ve, pues, que sería ventajoso deshacerse de este intermediario y producir la explosión del proyectil por simples artificios mecánicos.

Una tentativa muy ingeniosa é interesante se ha hecho en este sentido por la compañía Máxim. He aquí la descripción hecha por el mismo inventor.

Desde hace varios años se ha tratado de servirse de la fuerte resistencia que el aire presenta al proyectil para hacer girar ciertas ruedas ó hélices que comuniquen su movimiento á ruedas dentadas; de igual modo la fuerza centrífuga producida por rotación del proyectil ha sido empleada para producir derrames de líquidos, etc.

Todas estas proposiciones han fracasado en la práctica, principalmente por la falta de un punto fijo absoluto de resistencia, sin el cual es imposible contar con un funcionamiento exacto de la espoleta.

Este punto fijo se ha encontrado en una veleta de caras dobles ó simples, mantenida inmóvil durante el trayecto del proyectil, porque la resistencia que el aire ofrece á su superficie, no le permite girar mientras que el proyectil está sometido á revoluciones muy rápidas.

Uniendo esta veleta á una serie de ruedas dentadas influenciadas por las rotaciones del proyectil, manteniendo detenido un porta-fulminante hasta el momento de explosión deseada, tendremos en dos palabras la espoleta mecánica; en efecto, la marcha de las ruedas dentadas se opera como si el proyectil estuviera solamente bajo la influencia de un movimiento de traslación y si la veleta que lleva el primer piñón estuviera solamente sometida á un movimiento de rotación.

La veleta está unida por su extremidad inferior á un piñón que mueve un sistema de cinco ruedas dentadas, de las cuales la última, que llamaremos *D*, se aloja en el centro del cuerpo de la espoleta y hace una revolución completa por cada 2,500 revoluciones del proyectil.

Al centro de esta rueda *D* se encuentra un percutor, frente al cual se encuentra un porta-fulminante que un resorte espiral tiende á lanzar contra él; pero este porta-fulminante está

mantenido por una uña que la hace saltar á su superficie casi contra la rueda *D*.

Esta última lleva en su superficie un saliente; cuando la rotación de la rueda *D* lleva el saliente frente á la uña, deja pasar á ésta y el porta-fulminante viene á chocar con el percutor, de donde resulta la inflamación de la carga explosiva.

Para obtener la seguridad absoluta de la espoleta durante el transporte, el porta-fulminante no puede moverse antes que una bola de acero ó de cobre no salga de un alojamiento que se le ha hecho en el porta-fulminante, lo que hace bajo la acción de la fuerza centrífuga durante el trayecto en el aire; pero solamente durante este trayecto, pues antes de la partida del tiro está detenida por un pistón que no le deja libre paso, sino yendó hacia atrás y rompiendo una espiga de retenida en virtud de su inercia en el momento de ponerse en marcha el proyectil.

La explosión del fulminante, teniendo lugar cuando el saliente de la rueda *D* se presenta á la uña se concibe que la regulación de la espoleta se obtiene fijando convenientemente la posición inicial del saliente en el momento de introducir el proyectil en el ánima.

Para facilitar el transporte como para su conservación y simplificar el tiro de percusión las veletas, que son de espesor muy débil, se transportan separadamente y no se colocan en su sitio sino en el último momento, cuando la regulación de la espoleta está terminada.

Este arreglo facilita mucho el tiro de percusión, pues en este caso la sola operación antes de la carga es cerrar completamente el tornillo regulador porque puesto que las veletas no se colocan más que para el tiro por tiempos, el sistema de las ruedas dentadas no se pone en marcha sin ella. De aquí resulta gran economía de tiempo y simplificación en el tiro de percusión.

El mecanismo de percusión colocado debajo del aparato que se acaba de describir es del sistema común y funciona por la inercia.

La ventaja de esta espoleta sería sobre todo su conservación durante un tiempo indefinido en vista de que no encierra, con excepción de los fulminantes, ninguna materia susceptible de deteriorarse.

El inconveniente es la delicadeza del mecanismo de ruedas dentadas.

La experiencia mostrará si las ventajas superan los inconvenientes.

Espoletas de culote.—Todas las espoletas que se han descrito están colocadas en la ojiva, como es el caso general para los

proyectiles del ejército de tierra. Sin embargo, cuando una granada debe atacar un obstáculo resistente tal como un muro de fortificación ó una plancha de blindaje es conveniente que la espoleta no se encuentre en la ojiva, sino más bien en el culote.

Por una parte la presencia de la espoleta en la ojiva debilita ésta y por consiguiente facilita la fractura del proyectil contra el obstáculo antes de perforarlo total ó parcialmente; además la onda explosiva que nace cerca de la ojiva cuando la espoleta está fija en ella, alejan del obstáculo la acción destructora de los gases en tanto que, viniendo ella del culote, hace un efecto más considerable. Estas razones explican la debilidad de los resultados obtenidos en el tiro contra las murallas acorazadas por proyectiles que se inflaman por la ojiva.

El problema está completamente resuelto para los proyectiles cargados con pólvora negra. La espoleta se artonilla al culote de la granada interponiendo entre este culote y la cabeza de la espoleta una arandela de plomo destinada á impedir el paso de los gases inflamados de la carga.

Como ejemplo describiremos la espoleta de culote Hotchkiss. Se compone de un cuerpo de espoleta hueco de bronce, que lleva en su parte superior un tapón que contiene la cápsula detonante en una cavidad cerrada por un tornillo, este último está perforado en la dirección del eje de la espoleta por un viente para tomar el fuego.

En el interior de la espoleta se encuentra un cilindro hueco de plomo colocado en una envoltura de latón. En esta masa de plomo se encuentra colocado el percutor, constituido por una lámina de latón que tiene en su superficie una serie de estrías destinadas á asegurar su unión con el cilindro hueco. La punta del percutor está sumergida en un alojamiento esférico colocado delante del cilindro hueco; su parte posterior hecha algo saliente hacia atrás descansa en el fondo de la espoleta.

En el momento del disparo el cilindro hueco se precipita hacia atrás y deja libre la punta del percutor que al choque de llegada va á chocar con el fulminante contenido en el tapón.

El cuerpo de la espoleta lleva hacia atrás un rodete que viene á apoyarse contra la cara posterior del tapón del proyectil y á desempeñar con relación á este tapón y á la espoleta el papel de cubre juntas y de obturador.

Si en lugar de pólvora negra la carga interior del proyectil se compone de un explosivo más violento, será necesario que conforme á los principios ya establecidos y de los cuales ya se ha visto su aplicación para las espoletas de ojiva, acompañarlas de un detonador que trasmita al explosivo la acción inicial de la espoleta. Este problema se ha resuelto ya, pero no se

han publicado porque las potencias lo conservan en secreto y la única publicación que se ha hecho sobre esta importante cuestión es la que trata de las experiencias hechas con éxito por M. von Förster en Walsrode.

Ya hemos dicho que si los obstáculos presentan cierta resistencia la espoleta de ojiva funciona bajo el efecto del choque antes que el obstáculo haya sido perforado por el proyectil y por consiguiente el efecto del explosivo es casi totalmente perdido; en todo caso si la muralla sufre algunos ligeros deterioros no ha dejado por esto de proteger el personal y el material que debe abrigar. Numerosas experiencias han establecido la realidad sobre estas afirmaciones.

Por esto, la espoleta de culote para explosivos violentos debe no solamente aprovechar su colocación posterior para evitar los contragolpes que la hacen obrar prematuramente, sino también funcionar con una lentitud tal que el proyectil haya atravesado el obstáculo que se le ha opuesto antes de estallar ó esté por lo menos á bastante penetración para que el obstáculo sea destruído por la explosión y deje libre pasaje á los tiros siguientes para alcanzar á la artillería á las máquinas protegidas.

Por numerosas experiencias se ha visto que la espoleta Förster para las granadas con pólvora algodón ha satisfecho estas exigencias.

Para impedir que la espoleta pudiera funcionar mientras que el proyectil está aún en el ánima del cañón, está dispuesta de manera que la espoleta no pueda transmitir el fuego á la carga sino cuando el choque contra el obstáculo ha producido el desplazamiento de ciertas piezas.

Espoleta de culote italiana con retardo.—Según el Manual de Artillería Italiano, la espoleta de culote con retardo para la granada torpedo de 28cm. de costa, cargada con algodón pólvora, es la siguiente:

La inflamación inicial tiene lugar por una espoleta de despositivo ordinario; en el choque contra el obstáculo la cápsula detonante es herida por el percutor. Atrás de la cápsula y en la espoleta, se encuentra una mecha de polvorín que produce la inflamación con cierto retardo á un núcleo de pólvora en un dedal; esta pólvora á su vez hace detonar un después una carga de algodón seco en galleta de ocho kilogramos de algodón pólvora en su sitio sino en el momento del ad inmoviliza la cápsula hasta ese

FIN