

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

“ZARAGOZA”

“Comparación de nuevas técnicas empleadas para analizar los componentes en las manos maculadas por disparo de armas de fuego”

T e s i s P r o f e s i o n a l

Que para obtener el título de:

Químico Farmacéutico Biólogo

P r e s e n t a:

García Rosas Lucía Alejandra

Director de tesis: Q. María Teresa Mendoza Mata

México D. F. a Julio del 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedicatoria

A JOSÉ LUIS GARCÍA RAMÍREZ: Por ser un gran hombre...
Por creer en mi, por sus enseñanzas a lo largo de mi vida,
por su cariño, confianza y amor invaluable, pero sobre todo
por ser mi padre y mi amigo...
Para ti papi con amor...

A GEORGINA ROSAS TORRES: Por ser una gran mujer...
Por guiar mí destino, para encauzarme por el camino del
bien, por desear lo mejor para mi, por recordarme lo capaz
que soy y enseñarme a ser fuerte en esta vida, pero
principalmente por ser mi madre y mi amiga....
Para ti mami con amor...

A LUIS FERNANDO GARCÍA ROSAS: Por sus consejos
en la elaboración de esta investigación, por mostrar interés
en las cosas que hago y por ser una parte importante de mi
hermosa familia...
Para ti herma con amor...

Agradecimientos

Gracias a Dios por haberme dado la fortuna de formar parte de esta vida que no ha hecho más que rodearme de bendiciones, por dejarme vivir momentos maravillosos e inolvidables, en donde han estado involucradas todas las personas con las que hoy comparto este triunfo...

A **José Luis García Ramírez** que ha sido un gran hombre y un maravilloso padre, que siempre he admirado y respetado, gracias por guiar mi vida con energía, por tu apoyo moral, cariño, comprensión, confianza y sobre todo por la paciencia para ver realizada esta meta. Gracias papi por alentarme a seguir adelante y no darme por vencida, este logro es tuyo...

A mi madre **Georgina Rosas Torres** que es el ser más maravilloso del mundo, gracias por tu apoyo moral, cariño y comprensión que desde siempre me has brindado, por guiar mi camino y estar junto a mi en los momentos más difíciles. Sin olvidar tu larga espera para ver culminado el mejor de nuestros éxitos. Gracias mami aquí está lo que por años me pediste y que con orgullo te brindó...

A mi hermano **Luis Fernando García Rosas** por ser una parte importante en mi vida, por compartir conmigo cada logro, cada tropiezo. Pero ahora que estas próximo a concluir tu carrera, quiero decirte que no es fácil llegar a la meta, se necesita ahínco, lucha, deseo, esfuerzos, sacrificios pero sobre todo apoyo, el cuál al igual que yo lo tendrás incondicionalmente en nuestra familia no lo olvides. Gracias herma y aunque se que muy pronto tendrás tus propios logros, quiero compartir este triunfo contigo...

A la directora de mi tesis **Q. Maria Teresa Mendoza Mata** por ser más que una profesora, un gran ser humano. Quien con sus acertados comentarios supo normar y guiar hacia la realización de esta tesis. Por el empeño, la confianza y la dedicación que demostró en la realización de este trabajo. Gracias profesora por que sin su apoyo constante no hubiera sido posible lograr este éxito en mi vida...

A mis sinodales :

- ❖ Q. Maria Teresa Mendoza Mata
- ❖ Mtro. Valentín Islas Pérez
- ❖ Q. F. B. José Oscar González Moreno
- ❖ Q. F. B. Maria Galia Martínez Flores
- ❖ Q. F. B. Graciela Rojas Vázquez

Gracias profesores por su entrega y dedicación para que se llevara a cabo la realización de esta tesis, por motivar a las generaciones presentes y por venir hacia la superación. A ustedes mi más profundo reconocimiento, respeto y gratitud por tan ardua labor...

A la **Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de estudios Superiores “Zaragoza”** por brindarme los conocimientos y las bases necesarias para desarrollarme profesionalmente. Gracias por formar a profesionales de generaciones pasadas, presentes y futuras, comprometiéndolos a satisfacer las necesidades de nuestro país.

Hay hombres que luchan un día y son buenos...

Hay personas que luchan una semana y son mejores...

Hay personas que luchan un mes y son excelentes...

Pero los que luchan todos los días son imprescindibles.

Que es el éxito?

Lograr lo que tú deseas

Que es ser un exitoso?

**Hacer con gusto y agrado lo
que siempre se ha deseado...**

RESUMEN

Este estudio abarca los antecedentes históricos, que datan desde el primer cuarto del siglo XIV hasta la actualidad. Describe las diversas formas de clasificar las armas de fuego; los componentes estructurales de los diferentes tipos de armas de fuego; los elementos químicos que componen la pólvora; así como las definiciones de las partes del arma de fuego que se involucran al momento del disparo; las características fisicoquímicas del bario, plomo y antimonio por ser los elementos que se detectan en las pruebas por disparo de armas de fuego; la descripción de las técnicas analíticas; las ventajas y desventajas de las mismas.

En esta investigación bibliográfica, se realiza la comparación de las técnicas analíticas que se emplean para la determinación de los residuos metálicos por la deflagración de la pólvora en las manos maculadas al momento de realizar un disparo con un arma de fuego.

Para poder determinar cuál prueba es la que proporciona resultados más certeros en la detección de bario, plomo y antimonio presentes en el disparo por arma de fuego, ya que estos resultados son importantes dentro del ámbito médico-legal para el área de criminalística, criminología y victimología de los Estados Unidos Mexicanos; para determinar si la persona disparó o no un arma de fuego.

ÍNDICE

Introducción.....	1
Marco teórico.....	2
Problema de investigación.....	8
Objetivos.....	9
Hipótesis.....	10
Metodología.....	11
❖ Clasificación de las armas de fuego.....	12
❖ Armas cortas.....	14
❖ Armas largas	17
❖ Bala o proyectil.....	19
❖ Cartucho.....	20
❖ Cascos o casquillos del cartucho.....	23
❖ Cargas propulsoras.....	24
❖ Pólvora negra.....	25
❖ Pólvora sin humo.....	26
❖ Granos de pólvora.....	29
❖ Mezcla de iniciación.....	31

❖ Fulminante	34
❖ Impresiones del culote.....	35
❖ Características fisicoquímicas de un disparo por arma de fuego.....	37
❖ Residuos producidos al disparar un arma de fuego.....	40
❖ Secuencia al realizar un disparo.....	42
❖ Métodos de análisis de residuos por disparo de arma de fuego.....	45
❖ Descripción de las técnicas empleadas.....	46
❖ Características de los elementos provenientes de un disparo.....	56
Discusión de resultados.....	60
Conclusiones.....	62
Referencias bibliográficas.....	63

INTRODUCCIÓN

Las muertes por armas de fuego, el homicidio y el suicidio son de trascendencia en criminología, criminalística y victimología; así como el uso de explosivos en atentados terroristas, van a adquirir relevancia por la importancia química y médico-legal de su manejo.

Se realiza una investigación bibliográfica desde los antecedentes históricos, las modificaciones, hasta los avances científicos de nuestra era. Para conocer y comprender cuáles son los nuevos componentes químicos cuando se realiza con pólvora sintética al momento de accionar un arma de fuego. La importancia de esta revisión documental es ver las técnicas analíticas que se utilizan para determinar elementos químicos, diferentes al bario, plomo y antimonio en el caso de que el victimario accione el arma de fuego.

Sin embargo, se cuenta con otro tipo de procedimientos utilizados como: la Espectrofotometría por absorción atómica, la Espectrofotometría por absorción atómica sin flama y la Microscopia electrónica de barrido, utilizando difracción de Rayos X por dispersión de energía. Por lo que, en este trabajo se investigarán estas técnicas.

MARCO TEÓRICO

Antecedentes históricos

Como toda materia el uso de armas de fuego, componentes y explosivos conlleva una cronología la cual se inicia desde tiempos muy remotos. Las primeras armas cortas que aparecieron fueron modelos en miniatura de armas de artillería. En un principio, se les llamaba cañones de mano. Durante el primer cuarto del siglo XIV apareció el cañón de mano, que no era más que un simple tubo de hierro pulido cerrado en un extremo.

A mediados del siglo XV apareció la espingarda de mecha. Otra mejora en el mecanismo de disparo de las armas portátiles, fue la rueda que se inventó en 1515. Casi al mismo tiempo que el arcabuz de rueda, los armeros introdujeron los cañones rayados.

A principios del siglo XVII se inventó el mecanismo de disparo por piedra. Se trataba de un martillo accionado por un muelle asociado al gatillo y que incluía una parte hecha de yesca. Al liberar el gatillo, el martillo golpeaba con la yesca un disco de acero dentado situado sobre la cazoleta, lo que provocaba una lluvia de chispas^{10, 13}.

En el mecanismo de disparo del fusil de chispa, el extremo inferior de la cubierta en forma de L (a la izquierda) protege de la humedad la pólvora del cebador. Cuando la piedra del percutor (a la derecha) golpea la cubierta, la pólvora queda desprotegida y las chispas del golpe la encienden, con lo que se produce el disparo.

El fusil de chispa, fue el arma de fuego más común desde finales del siglo XVII hasta mediados del XIX, pero fue reemplazada por los fusiles de retrocarga, armas que se cargaban por la recámara (es decir por la parte de atrás del cañón), y más tarde por los rifles de repetición.

Las armas de piedra, con el tiempo fueron evolucionando hasta convertirse en fusiles. El fusil fue el arma portátil dominante, tanto para usarla con las manos o apoyada en el hombro, desde el final del siglo XVII hasta mediados del siglo XIX. Los mosquetes de piedra de cañón liso, fueron el arma principal de las tropas de las principales potencias europeas.

En 1807, el sacerdote e inventor escocés Alexander John Forsyth, inventó el sistema de percusión-ignición, lo que permitió desarrollar armas de fuego de retrocarga, es decir, armas que se cargaban por detrás en vez de hacerlo por la boca del cañón^{19, 20}.

A principios del siglo XIX las armas de fuego se cargaban con un cartucho que sólo tenía pólvora y un proyectil. En la década de 1850, empezaron a utilizarse cartuchos de una sola pieza de ignición central¹⁴.

Durante el siglo XIX, el diseño de las armas cortas cambió radicalmente por el desarrollo sin problemas de los rifles de repetición y por la invención de la pólvora sin humo para fusil por el químico francés Paul Marie Eugène Vieille. Esta pólvora se componía de nitrocelulosa coloidal en granos, de tamaño y forma controlada. La pólvora sin humo permite controlar la presión de la cámara de la pistola modificando el tamaño y la forma de los granos de pólvora. Esto permitió obtener velocidades más elevadas en la salida del cañón y mejorar sus propiedades balísticas. Las altas velocidades alcanzadas forzaban el uso de balas cubiertas de metal duro para evitar que la bala pudiera pelarse por las estrías del cañón. Este tipo de bala, acabó por ser el más usual en todas las armas cortas militares y se convirtió en obligatoria por las leyes internacionales.

En 1888, el ejército británico adoptó el rifle repetidor Lee-Netford de calibre 0.303 como arma oficial, que más tarde sería sustituido por el Lee-Enfield. El Ejército de Estados Unidos utilizó el rifle Krag-Jorgensen de calibre 0.30 durante la Guerra Hispano-estadounidense y más tarde, en 1903, hizo oficial el rifle Springfield, modelo de ese año.

A principios del siglo XX, antes de la Primera Guerra Mundial, se inventaron rifles que aprovechaban la fuerza del retroceso o la presión de los gases del propulsor para poner en marcha un mecanismo de recarga. Algunas de estas armas más perfeccionadas y que se cargaban con tiras continuas de cartuchos se denominaron ametralladoras.

Otras, las que se cargaban por bloques de cartuchos, se denominaron rifles automáticos. A diferencia de los rifles militares Lee-Enfield y Springfield (1903) que necesitan una operación manual para ser cargados después de cada disparo, el rifle automático sigue disparando hasta que se gasten sus cargas, mientras se mantenga apretado el gatillo. Un rifle semiautomático, se recarga y echa atrás el percutor de forma automática pero requiere que se libere el gatillo y que se vuelva a apretar en cada disparo sucesivo^{19, 22}.

Los rifles automáticos, se utilizaron para armar un número limitado de soldados dentro de cada compañía de infantería durante la Primera Guerra Mundial. Entre las dos guerras, los Estados Unidos escogieron el rifle semiautomático Garand o M1 como el arma corta oficial de todas las tropas. Con posterioridad, soldados como los artilleros, los ingenieros y los encargados de señales fueron armados con la carabina M1 de mucho menor peso y alcance, pero más apropiada para un empleo defensivo

ocasional. Al final de la Segunda Guerra Mundial la carabina fue modificada para que pudiera disparar de modo automático o semiautomático^{19, 22}.

El rifle M1, funciona con gasolina: un pequeño conducto cerca de la boca del cañón proporciona suficiente gasolina como para impulsar una varilla que pone en marcha el mecanismo de la recámara. Ésta expulsa la caja del cartucho disparado y carga otro nuevo desde un depósito de disparos. En 1957 el rifle M14, con un almacén de 20 disparos, sustituyó al M1 en el Ejército estadounidense. El M16, que funciona de modo automático o semiautomático, empezó a utilizarse en 1966, durante la guerra de Vietnam.

Se han desarrollado muchas otras armas cortas como el Armalite y el Kalashnikov para uso común o con fines especiales.

En los inicios de las armas cortas, la pólvora, el taco, el proyectil y el cebador se llevaban y se cargaban en el arma por separado. La pólvora se metía en el cañón por la boca y después se introducía el taco; tras ello se empujaba hasta el fondo el proyectil y se cebaba la cazoleta con una pequeña cantidad de pólvora.

Después de la aparición del mecanismo de piedra, las fuerzas militares empezaron a preparar cargas ya medidas antes de la batalla: envolviendo el proyectil y la cantidad correcta de pólvora en un cucurucho de papel. Al conjunto se le llamaba cartucho. Durante el combate se mordía el extremo del cucurucho, se dejaba caer la pólvora en el cañón y se metía la bala por la boca usando el papel como taco.

Con la aparición de las armas de retrocarga comenzó a usarse un cartucho de metal que contenía todo el conjunto. Al disparar, la caja de metal se expandía debido a la combustión de la pólvora, con lo que evitaba que los gases propulsores escapasen por la recámara. Más tarde se contraía, por lo que se podía retirar con facilidad. Hasta los avances científicos de la actualidad^{2, 14, 19, 22}.

Por tal motivo, junto con la aparición de las armas de fuego, hubo la necesidad de investigar suicidios u homicidios por lo que se desarrollaron una rama del área de la criminalística llamada:

Balística: que es la ciencia que estudia el movimiento de los proyectiles en el espacio. Ya que es la encargada de estudiar y evaluar al o las armas de fuego y de los fenómenos que con ellos se relacionan. Para realizar el estudio más específico de los elementos balísticos se divide en tres ramas que son¹:

Balística interior: que estudia el movimiento del proyectil desde el inicio de su recorrido a través del ánima del cañón hasta que lo abandona completamente, aquí lo más importante es la huella microscópica (secundaria) que se agrega al manto del proyectil durante su recorrido en el interior del cañón, ya que esto nos permite identificar el arma que lo disparó.

Balística exterior: estudia el movimiento del proyectil desde que abandona la boca del cañón hasta su lugar de impacto y todos los factores externos que influyen en su trayectoria. Aquí, es importante determinar la trayectoria externa del proyectil, el ángulo de disparo y sus factores externos como son: la presión, la humedad, la temperatura, el viento, la resistencia del aire entre otros.

Balística de efecto: esta rama estudia los efectos causados por los proyectiles al impactar en diferentes tipos de superficies y todos los factores que inciden en el proyectil en los momentos previos al impacto, la potencia de penetración y destrucción, etc².

La rama que nos compete es la de la balística interior ya que estudia los fenómenos físicos y químicos que se producen en el interior de un arma de fuego, desde el momento en que ésta es manipulada para producir la deflagración del cartucho inserto en su interior, hasta el preciso momento que la bala abandona la boca del ánima del cañón, para iniciar su viaje en la rama ascendente y que pasa a formar parte de la fenomenología de la balística exterior¹.

Por lo que, se desarrollaron una serie de pruebas las cuales consistían en la identificación de las características organolépticas de la pólvora deflagrada, a saber: olor y ahumamiento, fundamentalmente, mediante el examen meticuloso de las manos de quien se sospechaba habían disparado un arma de fuego; años después, tal procedimiento dejó de aplicarse, ya que la mayor pureza de las pólvoras elaboradas dejaba cada vez menos rastros al ser deflagradas.

Tal hecho, dio origen a un nuevo método que fue la prueba de la parafina, también conocida como la prueba de nitrato dérmico o prueba de difenilamina¹. En esta prueba, las manos eran cubiertas con una capa de parafina. Después de enfriarse, los moldes eran removidos y tratados con una solución ácida de difenilamina, un reactivo empleado para detectar nitratos y nitritos que se originan por el uso de la pólvora, y pueden depositarse en la piel después de disparar un arma³. Una prueba positiva, indicada por la presencia de partículas azules en la parafina. Aunque esta prueba daba resultados positivos en las manos de personas que habían disparado un arma, esta prueba se ha dejado de usar en la actualidad por las siguientes razones:

- ❖ Los reactivos químicos que en ella se utilizan, reaccionan generalmente con los compuestos nitrados e inclusive, en forma similar, con sustancias que sin ser nitradas son oxidantes. Esto permite observar que los reactivos no son específicos de los compuestos nitrados provenientes de la deflagración de la pólvora.
- ❖ La prueba daba un elevado porcentaje de "falsos positivos" es decir, resultaba positiva sin haberse disparado un arma de fuego. Esto debido probablemente a la alta posibilidad de maculación con sustancias nitradas del medio ambiente.
- ❖ También, daba un alto porcentaje de "falsos negativos", es decir, resultaba negativa aun habiéndose disparado un arma de fuego, muy probablemente debido a que la pólvora se consume en su totalidad y de que las partículas impregnadas se desprenden con facilidad^{10, 11}.

Posteriormente, surge con el desarrollo científico el uso de los métodos analíticos validados empleando técnicas analíticas modernas para la aplicación de una prueba en donde se buscaban residuos inorgánicos de disparo por arma de fuego.

En 1959 Harrison y Gilroy realizaron un trabajo sobre disparos de arma de fuego, en donde proponían que los residuos provenientes del fulminante y el proyectil en un disparo de arma de fuego, como son: plomo (como metal libre y compuesto), bario (como compuesto) y antimonio (como metal libre y compuesto) se depositan en el dorso de la mano que dispara, como una partícula de materia discontinua. Esta fue concebida como una prueba relativamente simple y en la que se pueden recolectar fácilmente estos residuos⁴. En la prueba, se usaba una pieza de algodón blanco humedecida en ácido clorhídrico, con la que posteriormente se frotaba la mano y se identificaban mediante una prueba química colorimétrica cualitativa la presencia de bario, plomo y antimonio con una solución de rodizonato de sodio para los dos primeros y de yoduro de trifenilmetilarsonio para el tercero. La limitada sensibilidad de esta prueba evitó su uso³.

Para mediados de los años ochenta, había tres métodos generalmente aceptados para el análisis de residuos por disparo de arma de fuego: Activación de neutrones, Microscopia electrónica con difracción de Rayos X y la Espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito.

La primera técnica se basa en detectar bario y antimonio, mediante su activación en un reactor nuclear. Estos elementos al transformarse en radioactivos, emiten Rayos Gamma de longitudes de onda perfectamente definidas permitiendo su identificación y cuantificación por las características del espectro.

El segundo método, consiste en remover los residuos de la mano usando cintas adhesivas; el material removido es barrido (escaneado) con el microscopio electrónico en búsqueda de partículas discontinuas, de tamaño micrométrico, a menudo de una forma característica de tamaño, donde las compuestas por bario-plomo-antimonio y antimonio-bario son consideradas características de residuos provenientes de disparo por arma de fuego^{5,6}.

La tercera técnica para el análisis de plomo, bario y antimonio se considera altamente específica para estos elementos.

En 1990 George E. Reed, describió los resultados obtenidos en las pruebas de 112 casos de suicidios investigados en Estados Unidos, en un periodo de 10 años, en donde el estudio solo abarcaba los casos en donde se comprobaba que la víctima se había disparado con un arma de fuego, este estudio se realizó para poder determinar qué factores influyen de manera significativa en los resultados de las pruebas para residuos por arma de fuego⁷.

En la actualidad se emplea una variante de la prueba de Harrison- Gilroy para la identificación de plomo y bario; ya que se sabe que las soluciones acuosas de rodizonato de sodio, producen precipitados de color, esto es debido a la presencia del rodizonato de plomo en soluciones neutras.

El intenso color de estos compuestos, se debe a la presencia de dobles enlaces en el componente orgánico. Esta reacción del rodizonato es positiva además para materiales poco solubles como sulfuro de plomo, sulfato de plomo, cromato de plomo, etc⁸.

Para el caso del bario, las reacciones son similares a la solución acuosa amarilla de rodizonato de sodio que produce precipitados de color con las soluciones neutras de los metales pesados bivalentes, el bario forma un precipitado pardo de rojizo debido al rodizonato de bario.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La presencia ó ausencia de residuos por disparo de arma de fuego es una pista esencial en los casos que se sospecha suicidio o asesinato con arma de fuego. Las primeras pruebas bioquímicas, empleadas para determinar quien había disparado un arma de fuego, fue la prueba de la parafina o de la difenilamina las cuales requerían examinar zonas específicas de las manos (fuesen de un muerto o de alguien que pudo haber asesinado a esa persona) para detectar la presencia de dos sustancias químicas: nitratos y nitritos, las cuales son características de la pólvora sin incendiar.

Estas pruebas, también señalaban rastros de otras dos sustancias químicas, bario y antimonio, para poderlos determinar se utilizó la prueba de rodizonato de sodio, en la que estos elementos químicos se emplean en la parte fulminante de la bala. El fulminante, produce la chispa que impulsa al proyectil fuera del arma. Sin embargo, estas pruebas con frecuencia generan resultados demasiado vagos como para ser presentados como evidencia.

Por tal motivo, se realiza la investigación bibliográfica de otras pruebas, como técnicas analíticas que se emplean, para la determinación de los residuos metálicos por la deflagración de la pólvora y los fenómenos fisicoquímicos que se desarrollan al momento de realizar un disparo.

OBJETIVOS

Comparar técnicas que en la actualidad se presentan para realizar las pruebas de otros elementos diferentes al bario, plomo y antimonio de acuerdo al tipo de arma de fuego y sus componentes.

Clasificar los tipos de armas de fuego, las partes constituyentes y los componentes comúnmente empleados en el disparo de un arma de fuego.

Analizar las técnicas para detectar elementos químicos como el bario, plomo y antimonio presentes en la deflagración de un arma de fuego.

HIPÓTESIS

La importancia de esta investigación bibliográfica al realizar una comparación, radica en que sí se pueden conocer los componentes del cartucho de un arma de fuego, y debido a la existencia de diversas técnicas analíticas empleadas, para la detección ya sea cualitativa o cuantitativa de los residuos metálicos, se podrá determinar la presencia de elementos químicos diferentes al bario, plomo y antimonio presentes en la deflagración si y solo si el victimario acciona un arma de fuego.

METODOLOGÍA

Realizar una investigación bibliográfica que abarca desde los antecedentes históricos, las modificaciones, hasta los avances científicos de nuestra era. Para conocer y comprender, cuales son los componentes químicos que se presentan al momento de accionar un arma de fuego. Y así poder comparar las técnicas analíticas que se emplean para la detección de los residuos metálicos en las manos maculadas por disparo de arma de fuego.

CLASIFICACIÓN DE LAS ARMAS DE FUEGO

Las armas de fuego son instrumentos de dimensiones y formas diversas, destinados a lanzar violentamente ciertos proyectiles aprovechando la fuerza expansiva de los gases que se desprenden en el momento de la deflagración de la pólvora. Al respecto, es conveniente señalar el hecho de que sea el fuego el que origina el proceso que termina con la expulsión violenta del proyectil al espacio, esto ha dado lugar a que estos aparatos mecánicos sean llamados “armas de fuego”.

Por lo tanto, el arma de fuego se define como un artefacto mecánico que dispara proyectiles mediante una descarga explosiva (pólvora) ^{2,4}. Las partes que la componen se muestran en la Fig. 1.

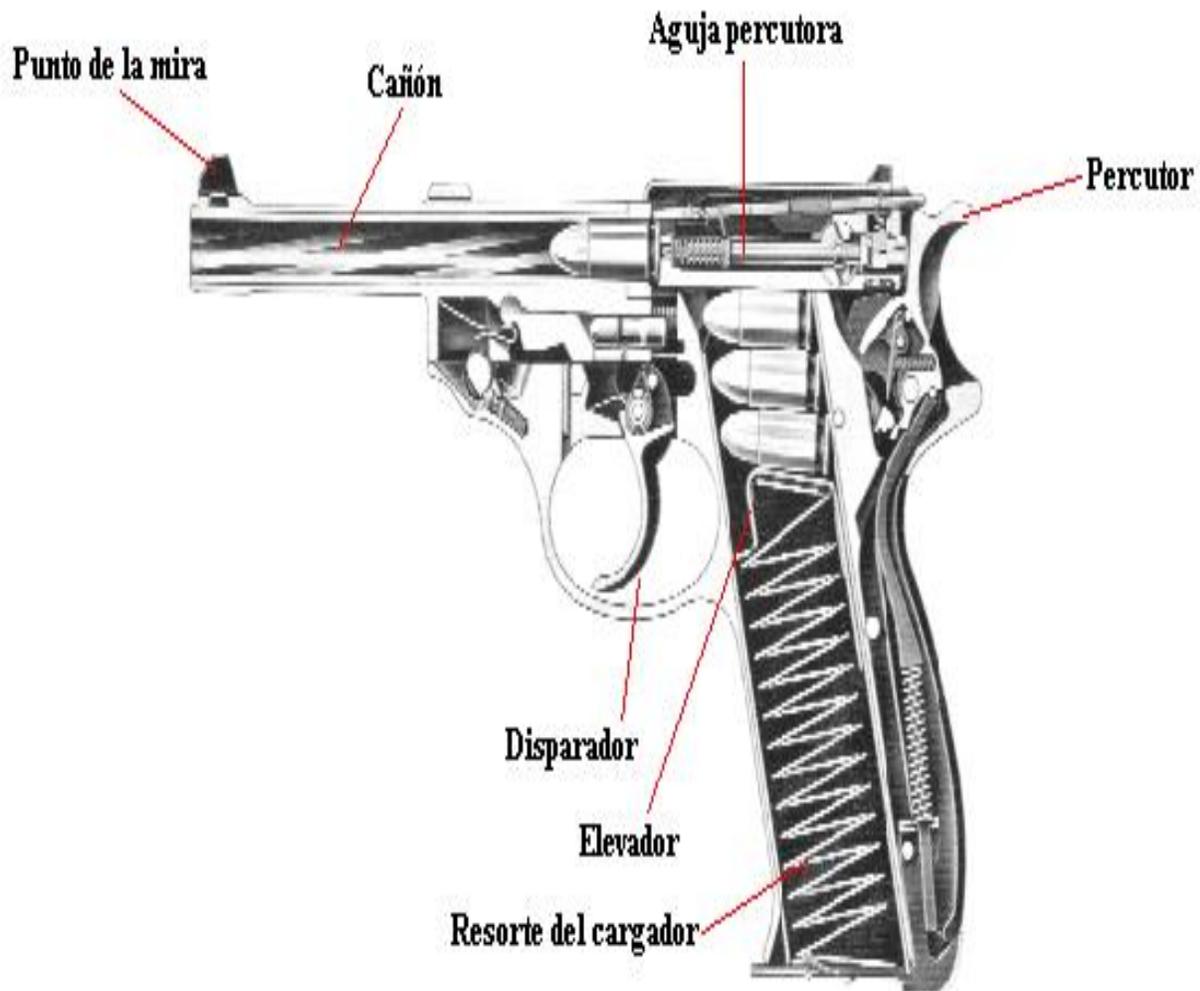
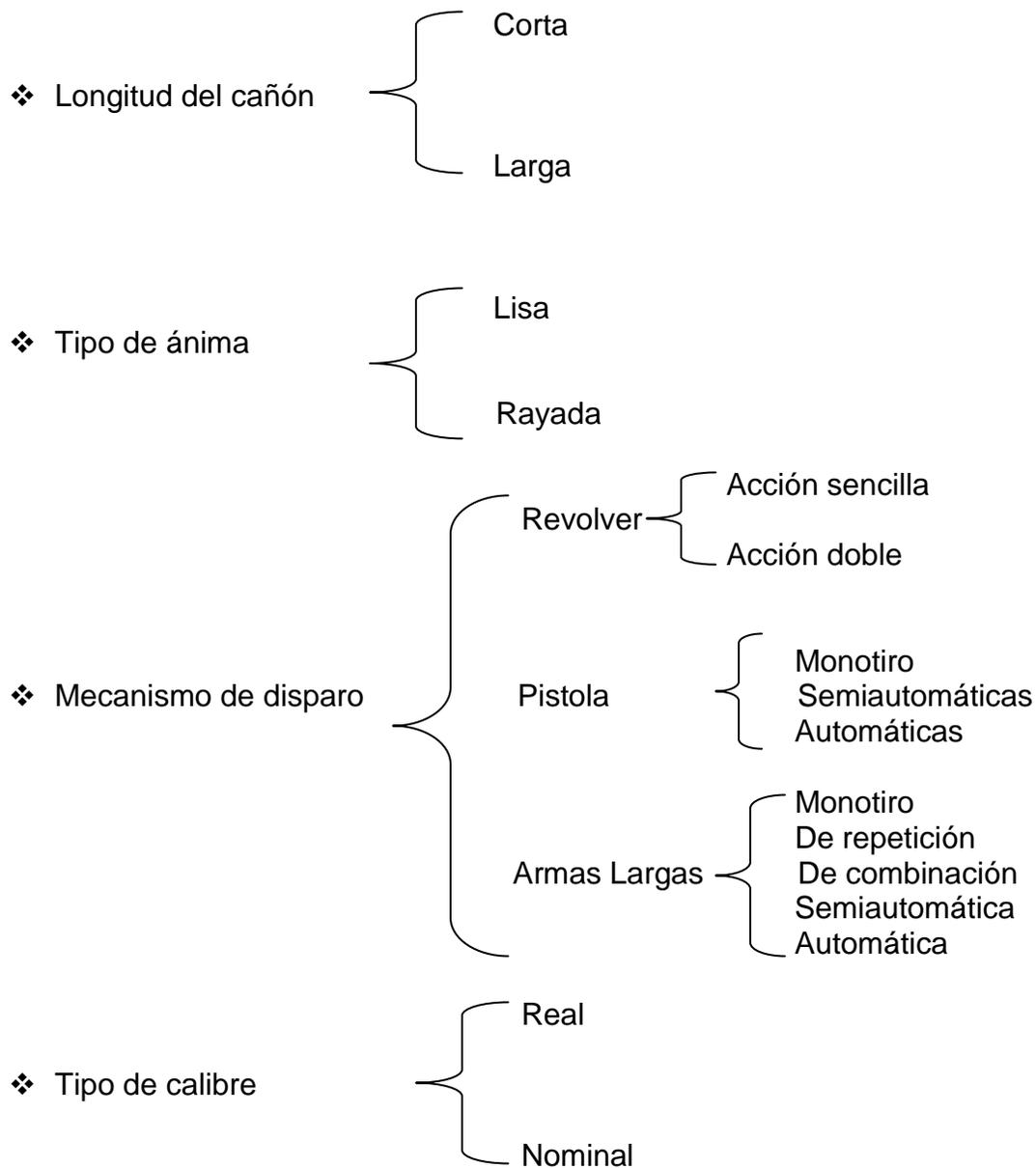


Fig. 1 Características de un arma de fuego.

Los efectos a producir en el cuerpo humano van a depender tanto del arma utilizada, del calibre del proyectil, de su energía, de la calidad y del espesor del elemento interpuesto, entre otros^{2, 4}. Las heridas por arma de fuego, pueden ser ocasionadas por proyectiles únicos o múltiples, es decir por proyectiles de escopeta, perdigones, etc.

Las armas de fuego se clasifican de diversas maneras^{2, 4, 8, 9, 10, 13, 19, 20, 22}, como son:



Aquí se hace mención de la que se refiere a las características de longitud de cañón y la expresión práctica de su operación:

ARMAS CORTAS

También llamadas armas de puño, tienen un cañón que no excede los 30 centímetros de longitud, incluyen revólveres y pistolas^{2, 4, 8, 9, 10, 13, 19, 20, 22}, sus partes constituyentes se muestran en la Fig. 2 y Fig. 3.

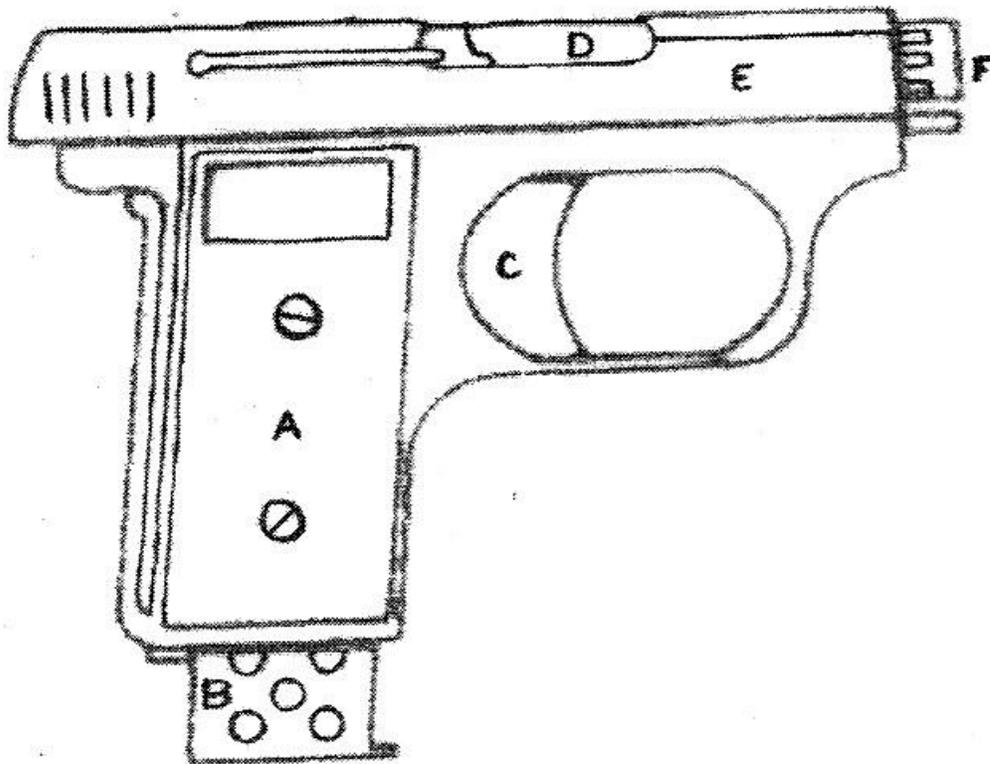


Fig. 2 Partes constitutivas de la pistola.

- A. Empuñadura
- B. Cargador
- C. Gatillo
- D. Ventana de expulsión de vainillas
- E. Carro
- F. Cañón

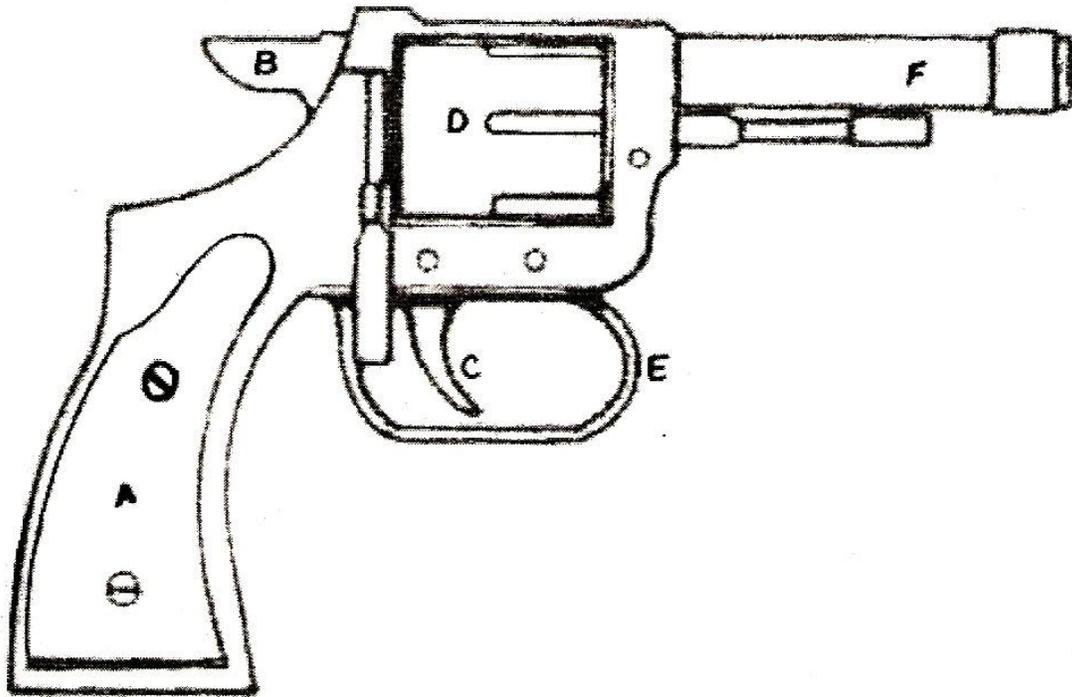


Fig. 3 Partes constitutivas del revólver.

- A. Empuñadura
- B. Cargador
- C. Gatillo
- D. Nuez
- E. Guardamonte
- F. Cañón para revolver

Existen cuatro tipos básicos de armas cortas:

- ❖ Pistolas de un solo tiro. Son las que tienen una sola recámara integrada en el cañón, que debe ser cargada manualmente cada vez que el arma va a ser disparada.
- ❖ Derringers. Son una variante de las anteriores; pequeñas armas de bolsillo que tienen múltiples cañones, cada uno de los cuales está cargado y dispara separadamente. El derringer tradicional tiene dos cañones^{2, 4, 8, 9, 10, 13, 19, 20, 22}.

- ❖ Revolver. Es el arma de puño más común. Tiene un tambor que gira, compuesto por varias recamaras, cada una de las cuales contiene un cartucho. El tambor rota mecánicamente, a manera de alinear cada recamara, sucesivamente, con el cañón y el percutor. Los revólveres pueden ser de acción simple o de doble acción.

- ❖ Pistolas de carga automática. El término pistola automática es un nombre inapropiado, ya que esta forma de pistola es una autocargadora, en la cual el gatillo debe ser apretado en cada tiro. Éstas emplean la fuerza generada por el cartucho disparado, para operar el mecanismo que extrae y expulsa las vainas vacías, carga el nuevo cartucho, y retorna el mecanismo a la posición de disparo, en la próxima ronda de carga.

Existen cinco métodos para operar las pistolas automáticas: explosión hacia atrás (Blow back), explosión hacia atrás retardada, explosión hacia delante (Blow forward), retroceso y gas. Solo dos de estos métodos están, en la actualidad, en permanente uso: explosión hacia atrás y retroceso.

En la acción de explosión hacia atrás, la presión del gas producida por la deflagración de la pólvora fuerza la corredera en su desplazamiento, comenzando de ese modo el círculo de extracción, expulsión y recarga.

En el sistema por retroceso, el cañón y la corredera están unidos en el momento del disparo, mientras el proyectil abandona el cañón, el empuje trasero de la carga propulsora, en la vaina del cartucho, pone en movimiento el cañón y la corredera hacia atrás; después de una corta distancia, el cañón se detiene, y el dispositivo de cerrojo es removido de la corredera; la corredera continua entonces su movimiento hacia atrás, expulsando la cápsula servida y comenzando el círculo de recarga^{2, 4, 8, 9, 10, 13, 19, 20, 22}.

ARMAS LARGAS

Son representadas por los rifles, fusiles y carabinas que disparan proyectiles únicos aislados o en ráfagas en cada accionamiento, y por escopeta que opera por proyectiles múltiples (perdigones)^{2, 4, 8, 9, 10, 13, 19, 20, 22}, las partes constituyentes que se muestran a continuación en la Fig. 4 pertenecen a un fusil:



Fig. 4 Partes constitutivas de un fusil.

- A. Culata
- B. Empuñadura
- C. Gatillo
- D. Cargador
- E. Ventana de expulsión
- F. Cañón

El fusil es el arma de fuego que tiene un cañón estriado y está diseñado para ser disparado desde el hombro; la longitud del cañón resulta indiferente para clasificar un fusil como arma de fuego; los tipos de fusil comúnmente encontrados son: los de un solo tiro; los de un solo tiro accionados por palanca; los de carga tiro a tiro (manual y automático) y los semiautomáticos^{2, 4, 8, 9, 10, 13, 19, 20, 22}.

Fusiles de asalto. Estos términos se refieren a un fusil que:

- 1) Es de carga automática.
- 2) Tiene una gran capacidad de carga en el estuche del cargador desmontable (20 cartuchos o más).

3) Es capaz de disparar en forma totalmente automática.

4) Dispara una carga intermedia.

Las partes constituyentes que se muestran a continuación en la Fig. 5 pertenecen a una escopeta:



Fig. 5 Partes constitutivas de una escopeta.

- A. Culata
- B. Gatillo
- C. Ventana de expulsión
- D. Guardamano
- E. Cañón

La escopeta es un arma que fue concebida para ser disparada desde el hombro; tiene un ánima lisa y está diseñada para disparar múltiples perdigones por un cañón. Las escopetas se pueden clasificar en: de un solo tiro, de cañones superpuestos, de cañones yuxtapuestos, con mecanismo de abastecimiento de acción a palanca, de bombeo, de quiebre y automática.

La subametralladora o pistola ametralladora se designó con este nombre a la subametralladora Thompson calibre 0.45", como traducción del inglés "submachinegun", que es un arma portátil, individual, automática o semiautomática, con volumen de fuego semejante al de una ametralladora. Es un arma diseñada para ser disparada desde el hombro y/o cadera; es capaz de disparar en forma completamente automática, tiene cañón estriado, y dispara munición de pistola^{2, 4, 8, 9, 10, 13, 19, 20, 22}.

Ametralladora es un arma provista de bípíe o tripíe. Es un arma capaz de disparar en forma completamente automática y con munición de fusil. Generalmente es operada por un grupo de personas, pero algunos tipos pueden ser disparados por individuos aislados. La mayoría de las ametralladoras tiene munición alimentada por cintas, aunque algunas usan estuche cargador^{2, 4, 8, 9, 10, 13, 19, 20, 22}.

BALA O PROYECTIL

Es la parte del cartucho que abandona la boca de fuego cuando se produce el disparo. Las balas eran originalmente, esferas de plomo, perfectas para armas de ánimas lisa, con las cuales se esperaba alcanzar largas distancias o precisión.

Deben de considerarse en general el tipo de proyectil o bala el cual puede ser único o con formas variadas es decir puede ser cilíndrico, cilíndrico-ovejunal o esférico como los proyectiles múltiples llamados perdigones.

Los proyectiles modernos pueden ser clasificados en dos categorías: de plomo y encamisados. Las balas de plomo fueron usadas tradicionalmente en revólveres y en cartuchos de calibre 22 de fuego anular; las balas encamisadas o de coraza metálica se emplean en pistolas automáticas y en fusiles de alta velocidad^{2, 4, 8, 9, 10, 13, 19, 20, 22}.

Existen cuatro configuraciones generales de proyectiles: ojiva redonda (roundose), munición plana para competencia de tiro (wadcutter), munición de defensa en forma de tronco-cónica (semiwadcutter) y proyectil de punta hueca perforada (hollow point). Como se aprecian en la Fig.6.



Fig. 6 Tipos de proyectiles.

CARTUCHO

El cartucho de las armas pequeñas está constituido por la vaina, el fulminante, la carga propulsora (pólvora) y la bala o proyectil^{2, 4, 8, 9, 10, 13, 19, 20, 22}. Se muestra en la Fig. 7 la estructura de un cartucho de revolver que representa la de los proyectiles, y en la Fig. 8 el esquema de un cartucho de proyectiles múltiples.

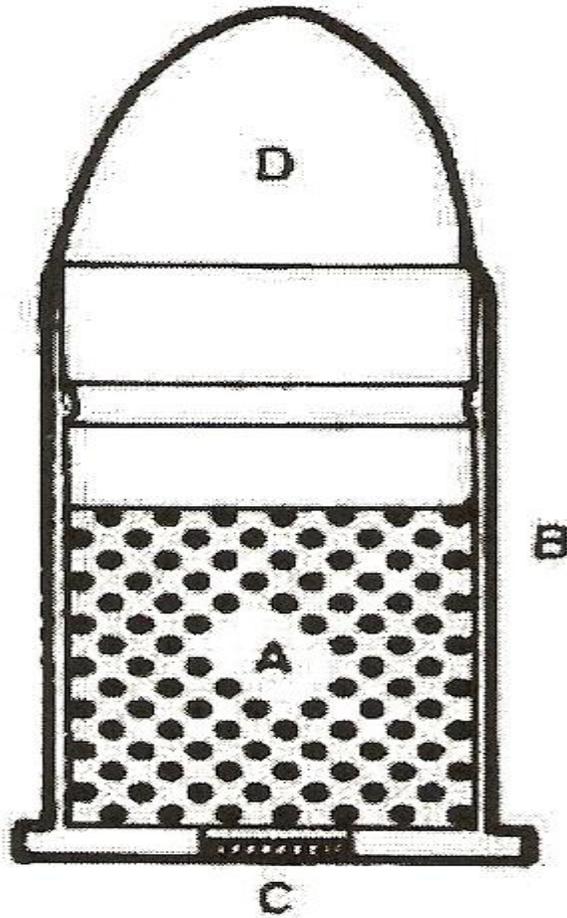


Fig. 7 Cartucho de bala.

- A. Pólvora
- B. Casquillo
- C. Fulminante
- D. Bala

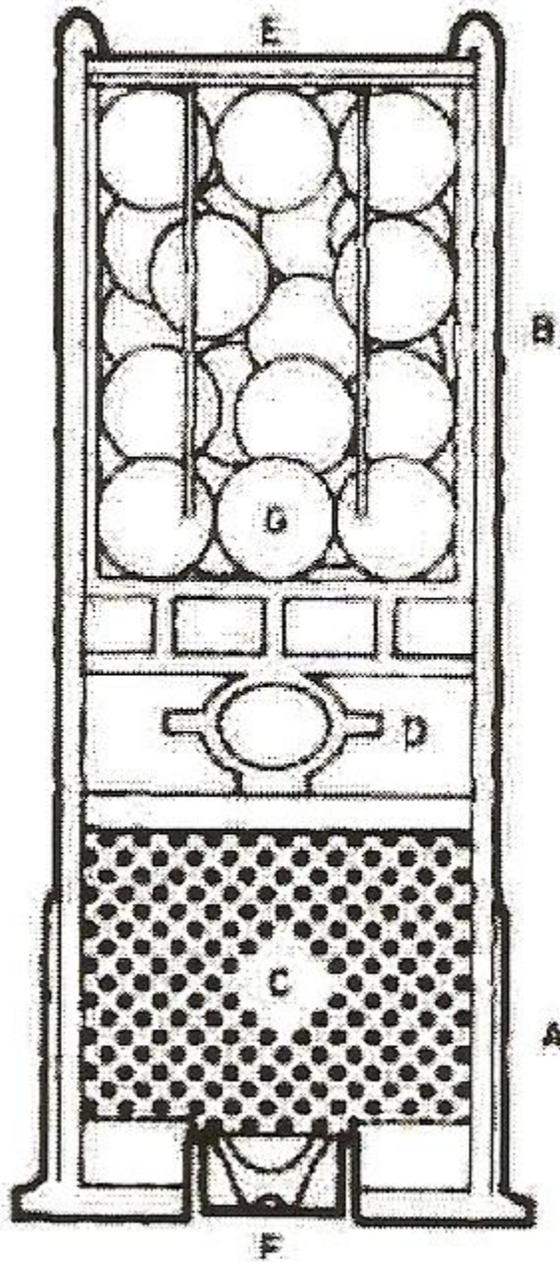
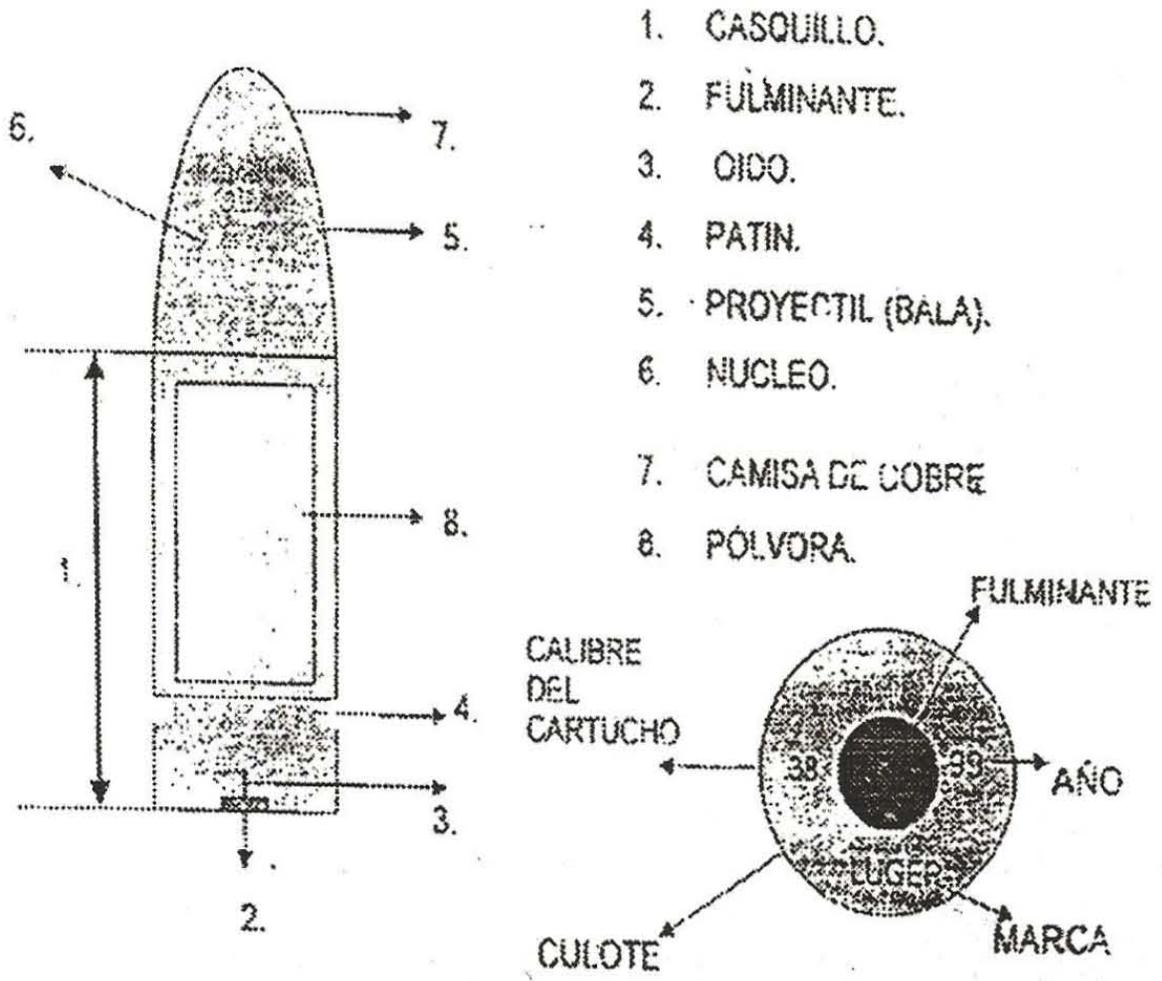


Fig. 8 Cartucho de perdigones.

- A. Casquillo
- B. Bala
- C. Pólvora
- D. Detonante
- E. Tapilla
- F. Fulminante
- G. Perdigones

Los cartuchos de fogueo están sellados con discos de papel en vez de balas y presentan la garganta abotellada. Los falsos cartuchos o de práctica (dummy) no tienen ni fulminante ni pólvora. Algunos falsos cartuchos contienen un material granular inerte que simula la pólvora^{2, 4, 8, 9, 10, 13, 19, 20, 22}. Los componentes del cartucho se muestran en la Fig. 9.



- 1. CASQUILLO.
- 2. FULMINANTE.
- 3. OIDO.
- 4. PATIN.
- 5. PROYECTIL (BALA).
- 6. NUCLEO.
- 7. CAMISA DE COBRE
- 8. PÓLVORA.

Fig. 9 Estructura de un cartucho.

CASCOS O CASQUILLOS DEL CARTUCHO

Las vainas o casquillos de los cartuchos, en general están confeccionadas con bronce (70 por ciento de cobre y 30 por ciento de zinc). Algunas están hechas de acero o de aluminio. Se han empleado, en forma experimental, zinc y materiales plásticos. El bronce, el plástico y el papel se usan para vainas de cartuchos de escopeta.

La principal función de la vaina consiste en expandir y sellar la recámara, evitando el escape de los gases en retroceso cuando se dispara el cartucho.

Existen tres formas generales para las vainas de cartucho: cilíndrica, abotellada y cónica ^{1, 2, 4, 8, 9, 10, 13, 19, 20, 22}. Como se muestra en la Fig. 10.

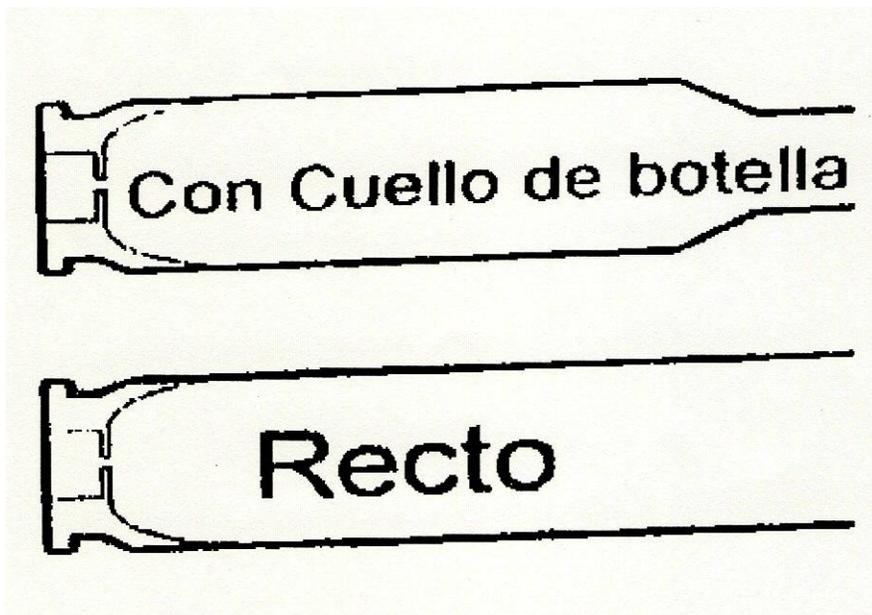
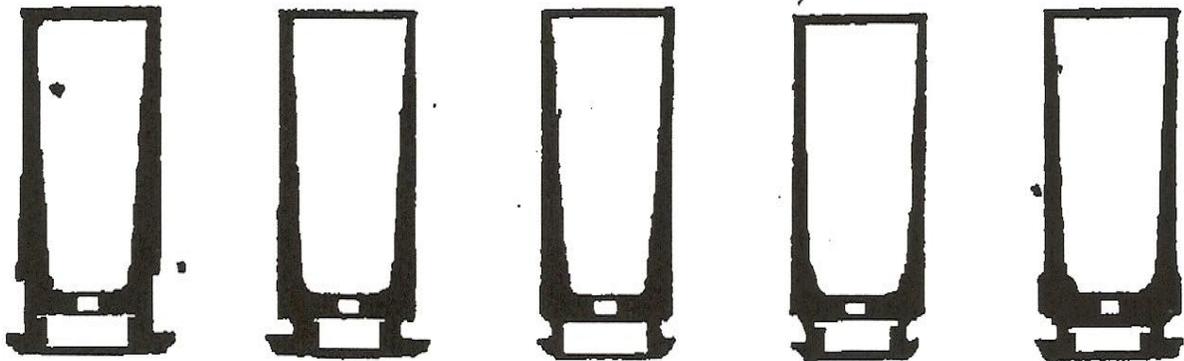


Fig. 10 Tipos de cartuchos.

La mayoría de los cartuchos de pistola son: cilíndricos, mientras que la mayor parte de los cartuchos para fusil son abotelladas. Los cartuchos de vaina cónica son virtualmente obsoletos.

Las vainas de los cartuchos se clasifican en cinco tipos de acuerdo con la configuración de sus bases ^{1, 2, 4, 8, 9, 10, 13, 19, 20, 22} como se muestra en la Fig. 11 y son:

- Con bordeado o pestaña.
- Con semibordeado o semipestaña.
- Sin borde.
- Ribeteado o rebajada.
- Cinturonada, con fajilla o cinchada.



Bordeado

Semibordeado

Sin borde

Ribeteado

Con fajilla

Fig. 11 Tipos de vainas de los cartuchos.

CARGAS PROPULSORAS

La carga propulsora o de proyección, es la cantidad de pólvora necesaria para lanzar un proyectil dado hasta una distancia determinada, con una velocidad conocida y sin llegar al límite de resistencia del cañón. Para medir la cantidad de pólvora que requerimos en determinados efectos durante una combustión, se utilizan medidas que están dadas en unidades llamadas granos (un grano = 1/16 de gramo)^{8, 9, 10, 13, 14, 20}.

Hasta fines del siglo XIX todos los cartuchos eran cargados con pólvora negra. Esta es una mezcla de carbón, azufre y nitrato de potasio. Estos materiales eran molidos individualmente hasta formar un polvo, mecánicamente mezclados, molidos juntos, incorporados con la ayuda de un humedecedor, exprimidos en duros compartimentos. Secados y luego descompuestos en la granulación deseada. En tal mezcla, el carbono es el combustible, el nitrato de potasio el proveedor de oxígeno u oxidante, mientras el azufre provee a la mezcla de mayor densidad y maleabilidad la convierte en fácilmente compuesta. Cuando la pólvora negra se quema apropiadamente, produce un 44 por ciento de su peso original en gases y un 56 por ciento en residuos sólidos. Estos residuos se perciben a través de humo denso y blanco^{8, 9, 10, 13, 14, 20}.

Pólvora negra

La pólvora negra, es el propelente que da la velocidad al proyectil. La palabra pólvora deriva de polvo, existen diferentes tipos de pólvora como: pólvora negra, pólvora sin humo, éstas vienen en forma de gránulos de diferentes formas y tamaños. Hasta finales del siglo XIX, todos los cartuchos fueron fabricados con pólvora negra.

La pólvora negra, es una mezcla mecánica comprimida y granulada cuyos ingredientes pueden variar, según los diferentes usos a los que se vaya a destinar pero siempre está el salitre como principal componente, ya que libera suficiente oxígeno en combinación con la combustión del carbón y el azufre. De hecho el carbón vegetal es un excelente combustible, que en conjunto con los nitratos de salitre, que son los oxidantes, producen una combustión equilibrada.

La verdadera función del azufre, es la reducción de la temperatura de quemado del carbón y por lo tanto, de la misma pólvora negra. También, este elemento mejora la homogeneidad de la mezcla y para los usos que se dan de ésta. Cuando la pólvora negra arde adecuadamente, el 44 por ciento de su peso original produce gases y el 56 por ciento residuos sólidos. Estos residuos aparecen principalmente como una densa nube blanca^{8, 9, 10, 13, 14, 20}.

Existen tres variedades de pólvora negra:

- ❖ Grano grueso.
- ❖ Grano fino.
- ❖ Caza.

La pólvora negra de grano grueso se quema más despacio que la de grano fino; por lo tanto, es menos violenta en su deflagración y más progresiva para impulsar proyectiles pesados^{8, 9, 10, 13, 14, 20}.

Por otra parte, los granos más gruesos de pólvora negra presentan mayor resistencia a la combustión.

En el caso de la pólvora de caza, con el fin de mejorar la inflamabilidad y aumentar la cantidad de calor desarrollado, se utiliza el denominado carbón rojo, que contiene mayor cantidad de hidrógeno, y por ello resulta más activo.

Pólvora sin Humo

En 1884, Vielle, un químico francés, por primera vez sintetizó una forma efectiva y practica de lo que se conoce en la actualidad como pólvora sin humo. Usando alcohol y éter, redujo la nitrocelulosa a un coloide gelatinoso, que enrolló en láminas y corto en pedazos.

En 1987 Alfred Nobel desarrolló una forma apenas distinta de pólvora sin humo. Empleando nitrocelulosa que no estaba tan altamente compuesta por nitrato como la usada por Vielle, la mezcló con nitroglicerina y luego la dejo secar, enrolló en láminas y la cortó en trozos. Estos dos tipos de pólvora sin humo son conocidos como pólvoras de una sola y de doble base, respectivamente.

La configuración física de los granos individuales de pólvora, pueden ser en disco, en lamina o cilindro, según la pólvora sea simple o de doble base.

Actualmente, se emplean dos tipos de pólvora para la carga de cartuchos convencionales, las conocidas como de una base y las de doble base. En las de una sola base el componente principal es la celulosa de algodón tratada con ácido nítrico, que forma la nitrocelulosa. Ésta se disuelve en una mezcla de alcohol y éter para obtener una masa pastosa, en este proceso la estructura de algodón se rompe y el material se hace más manejable, lo que mejora su uso como propelente. Esta masa pastosa denominada como pólvora base, cuando se seca puede cortarse en diversas formas^{8, 9, 10, 13, 14, 20}.

El siguiente paso en el desarrollo de la pólvora sin humo, fue la introducción de pólvora esférica por Winchester, en 1933. En la pólvora esférica la nitrocelulosa se disuelve completamente y el barniz resultante se agita bajo condiciones apropiadas, para formar pequeñas bolas que constituyen los granos de pólvora^{8, 9, 10, 13, 14, 20}.

La pólvora de triple base, usa un disolvente procesado de manera similar al de doble base. La nitrocelulosa y la nitroglicerina son premezclados con aditivos antes de sumar el disolvente de nitroguanadina a la mezcla; la nitroguanidina es incorporada dentro de la masa redonda sin disolverse en otros materiales; la mezcla final es entonces extraída, cortada y secada.

La nitrocelulosa en sí misma, es un componente altamente peligroso conocido como algodón pólvora que tiene muy poco valor a no ser que se trate de manera conveniente para poder manejarse. En 1884, la nitrocelulosa fue sintetizada por el químico Vielle, al adicionarle alcohol y éter formó un coloide gelatinoso que podía enrollarse en láminas y cortarse en hojuelas.

La nitroglicerina, es otro compuesto altamente explosivo y peligroso, que se forma tratando glicerina normal con ácido nítrico. Este compuesto no puede utilizarse como propelente en las armas de fuego, ya que explota instantáneamente y violentamente, además de que es muy imprevisible en su comportamiento: sin embargo, puede utilizarse para gelatinizar la nitrocelulosa, en cuyo caso la masa puede trabajarse y cortarse para formar un tipo de pólvora denominada balistita.

La nitroglicerina y la nitrocelulosa pueden mezclarse con acetona en otra fórmula para formar cuerdas o fideos que se cortan en distintas longitudes, produciendo una pólvora denominada cordita. La cordita y balistita, así como sus sucesoras se conocen como pólvoras de doble base.

A este compuesto también se le agregan algunos otros elementos estabilizadores, plastificantes y cantidades pequeñas de atenuadores para reducir la temperatura de la llama, controlando así la reacción de la combustión o bien, de otros elementos para disminuir la llamarada en la boca del cañón^{8, 9, 10, 13, 14, 20}.

La composición básica de las pólvoras de doble base se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Componentes básicos de las pólvoras de doble base.

Nitrocelulosa	$(C_6H_{10}O_5)(NO_3)$
Carbonato de calcio	$CaCO_3$
Alcohol etílico	C_2H_5OH
Dibutilftalato	$C_6H_4(COOC_4H_9)_2$
Difenilamina	$C_6H_5NHC_6H_5$
Sulfato de Potasio	K_2SO_4
Ftalato de butilo	$C_6H_4(COOHCOOC_4H_9)$
Nitrato de potasio	KNO_3
Dinitrotolueno	$(NO_2)_2C_6H_3CH_3$
Acetona	CH_3COCH_3
Nitroglicerina	$C_3H_5(NO)_3$
Nitroguanidina	$CH_4N_4O_2$
Grafito	Carbono

Las ventajas de las pólvoras de doble base son:

- ❖ Este tipo de pólvora al quemarse libera gran cantidad de energía por unidad de peso utilizado. Como resultado, se emplean menores cantidades de pólvora en comparación con las pólvoras de un solo componente, o de las anticuadas pólvoras negras.

- ❖ No son giroscópicas, es decir, presentan resistencia a absorber humedad, por lo que se pueden almacenar por largos periodos de tiempos sin que sufran alteraciones.
- ❖ Modificando ligeramente la cantidad del compuesto de la nitroglicerina, se obtienen pólvoras para usos específicos.
- ❖ Para la combustión de estas pólvoras no se requiere de oxígeno libre, pues molecularmente tienen en su estructura química grandes cantidades de oxígeno, llevándose a cabo la combustión, a unos espacios tan reducidos como las estructuras de los cartuchos^{8, 9, 10, 13, 14, 20}.

Granos de pólvoras

La geometría de los granos individuales de las pólvoras, es crítica para determinar la rapidez de su combustión. En consecuencia, esta velocidad también establece la efectividad de su uso en las armas de fuego. Los granos de pólvora se elaboran de muchas formas y dimensiones^{8, 9, 10, 13, 14, 20}. Las formas básicas de los granos de pólvora son:

- ❖ Cilindros: pueden presentar uno o varios orificios que perforan el grano en la dirección más larga.
- ❖ Cintas, cuerdas, escamas o discos: la forma varía según el tipo.
- ❖ Esferas: la pólvora esférica se llama así porque se presenta en forma de esfera.

El término rapidez se emplea para expresar que tan pronto se quema una pólvora hasta agotarse, así como la reacción de la formación de los gases del propulsor en un sentido cuantitativo, siendo la función de la forma particular de los granos de la pólvora la que determina la rapidez de la combustión. El propelente en un arma de fuego, debe tener la suficiente rapidez para mantener una presión alta y una determinada temperatura en la recámara del cañón, pero que no sea tan rápida que ponga en peligro el uso del arma.

Las actuales mezclas fulminantes para la fabricación de pistones son de tipo orgánico que protegen evitando la corrosión a las armas, su composición química básica es la siguiente:

- ❖ Ácido nítrico (95 por ciento de pureza).
- ❖ Bicarbonato de aminoguanidina.
- ❖ Goma arábica.
- ❖ Nitrato de plomo.
- ❖ Nitrato de sodio.
- ❖ Óxido de magnesio.
- ❖ Resorcinol.
- ❖ Sulfuro de amonio.
- ❖ Polvo de aluminio.

En la fabricación de la mezcla detonante existe un alto grado de peligro, ya que existe muy poca diferencia entre un fulminante y otro, pero tiene un efecto considerable en la precisión de cada disparo. La clave para un buen desempeño del pistón es su sensibilidad, es decir, la seguridad que el fulminante explote con la fuerza necesaria impartida por el pulso del percutor de las armas. La clave para asegurar la sensibilidad del pistón corresponde a la calidad de su mezcla detonante^{8, 9, 10, 13, 14, 20}.

Otro compuesto extra, que muchos fabricantes agregan a sus pistones, consiste en una sustancia impermeabilizante, generalmente laca, que se deposita sobre el culote de los cartuchos para protegerlo de filtraciones de humedad por lo que, más de alguna vez observaremos cartuchos con una especie de pintura rojiza sobre la unión del pistón con el culote del casquillo.

El fulminante o pistón de los cartuchos, es un componente de suma importancia pues de él depende la eficacia del disparo. Esto sucede cuando el percutor del arma golpea la base del pistón y comprime de forma vigorosa la mezcla fulminante (situada entre la copa y el plano metálico que se utilice como yunque), lo que provoca que la mezcla explote y produzca una llamarada en forma de lengua, que inicia la deflagración del propelente⁸.

Mezcla de iniciación

Las mezclas detonantes más comúnmente empleadas en las mezclas de iniciación, son el mixto fulminato de mercurio, el mixto de trinitrorresorcinato de plomo y el eleyprime los cuales se describen a continuación:

1) Mixto fulminato de mercurio

Esta mezcla consta de tres componentes principales:

- Fulminato de mercurio es el explosivo de la cápsula.
- Nitrato de potasio es el portador de oxígeno.
- Trisulfuro de antimonio actúa como friccionante, hace que la combustión produzca la flama o chispa, también favorece la deflagración de la composición.

2) Mixto de trinitrorresorcinato de plomo

Esta mezcla consta de los siguientes componentes:

- Trinitrorresorcinato de plomo es el explosivo de la cápsula.
- Tetraceno.
- Solución de goma arábica, aglutinante.
- Polvo de aluminio para aumentar la sensibilidad.
- Mezcla primaria compuesta por sulfuro de antimonio y nitrato de bario.

3) El eleyprime

Esta mezcla explosiva considerada como uno de los más recientes explosivos no corrosivos, la cual contiene:

- Ácido estífnico.
- Óxido de plomo.
- Nitrato de bario.
- Sulfuro de calcio.
- Tetraceno.

La detección de elementos como bario, plomo y antimonio principalmente, que forman parte de estos compuestos constituye la base de las pruebas para determinar si un individuo ha disparado o no un arma de fuego^{8, 9, 10, 13, 14, 20}.

Como se ha mencionado anteriormente la pólvora sin humo en teoría se reduce enteramente a productos gaseosos contrario a la pólvora negra, no deja residuos significantes en el ánima.

Las pólvoras sin humo se queman solo en la superficie; en consecuencia, la superficie quemada desciende constantemente al mismo tiempo que los granos de pólvora se consumen, en esta combustión decreciente, una característica desfavorable, puede ser superada, en cierto grado haciendo un agujero en el grano individual de pólvora, resultando así un incremento en el área superficial, mientras se quema el grano^{8, 9, 10, 13, 14, 20}.

Comúnmente, se aplica sobre los granos de pólvora una capa de disolvente químico para disminuir en el encendido inicial y permitir una combustión progresiva. Estos granos se queman lentamente al principio y luego rápidamente; también pueden ser cubiertos con grafito para eliminar la electricidad estática y facilitar el flujo de la pólvora mientras se cargan los cartuchos. En lugar de presentar una apariencia negra brillante, los granos de pólvora no cubiertos tienen un color sobre todo verde pálido a beige, debido a la pérdida de la capa protectora^{8, 9, 10, 13, 14, 20}.

El pyrodex o pólvora piroxilada es una pólvora negra sintética, se le conoce como algodón pólvora o nitrocelulosa, se obtiene de hacer reaccionar celulosa con el ácido nítrico para obtener nitrato de celulosa que es muy explosivo, fue desarrollada para reemplazar la pólvora negra en las armas en las cuales solo se podía emplear esta última. Fue desarrollada debido a que existía escasez de pólvora negra, además de que existía una serie de restricciones sobre la venta y almacenamiento de pólvora negra, debido a sus propiedades explosivas.

Como el pyrodex es una pólvora a base de nitrocelulosa, resulta considerablemente más segura que la pólvora negra y evita restricciones. El problema al utilizar un sustituto de la pólvora negra reside en que ésta se quema sustancialmente al mismo valor, ya se trate de pólvora suelta a disparada dentro de un arma. De cualquier manera, la pólvora sin humo se quema más lentamente cuando está suelta, requiriendo alrededor de 70.308 kg/cm^2 de presión para quemarse consistentemente.

Mientras la presión asciende, se quema a un nivel mayor, produciendo presiones que exceden aquellas que podrían ser toleradas por las armas de fuego con pólvora negra.

El aspecto más importante que diferencia una pólvora de otra es la velocidad de ignición rápida, son más adecuadas para las armas de cañón corto y las lentas para las armas de cañón largo. Éstas son las principales pólvoras balísticas y las demás se derivan de ellas^{9, 10, 13, 14}.

De acuerdo con su velocidad de deflagración las pólvoras pueden ser: progresivas o regresivas dependiendo si aumentan o disminuyen su velocidad.

La reacción de la pólvora al quemarse, es un fenómeno químico muy activo con liberación de calor al que se le llama deflagración, es un tipo de explosión de baja intensidad que se diferencia de la detonación en que su velocidad de combustión va de menos de un milímetro a varios centímetros por segundo, mientras que en la detonación la combustión alcanza velocidades de uno a ocho kilómetros por segundo con liberación de ondas de choque que generan presión de aproximadamente 200 Kg/cm^2 condiciones que harían irrealizable el fenómeno balístico^{8, 9, 10, 13, 14, 20}. La deflagración se realiza en tres fases:

- a) Ignición: es el encendido de la carga de fuego directo a través del detonante. Puede comenzar con la aplicación de poco calor que va desde los 300° C , como el generado por una chispa de un pedernal.
- b) Inflamación: Consiste en la comunicación del fuego a todos los granos.
- c) Combustión: es la fase en la que la pólvora se libera en forma de gases aumentando la presión y la temperatura, que a su vez por reacción en cadena acelera la combustión con más presión y calor. Por este hecho, la pólvora se inflama casi sin producir llamas y se dice que es inflamable.

FULMINANTE

Los cartuchos de las armas cortas están clasificados como de fuego central o de fuego anular, según sea la ubicación del fulminante. En los cartuchos de fuego central, el fulminante está localizado en el centro de la base de la vaina. Existen dos tipos de fulminantes para cartuchos metálicos: Boxer y Berdan^{8, 9, 10, 13, 14, 20}.

El fulminante Boxer consiste en una copa metálica de bronce, u perdigón que contiene un explosivo sensible, un disco de papel y un yunque de latón. Estos componentes están reunidos para formar un fulminante completo. El fulminante Boxer tiene un solo y largo oído en el fondo de la vaina.

Los cartuchos metálicos europeos tradicionalmente están cargados con fulminante Berdan. Este difiere del fulminante americano Boxer, en que no tiene yunque de una pieza. En vez de ello, el yunque está construido dentro de la vaina y forma una proyección dentro de la cavidad fulminante^{8, 9, 10, 13, 14, 20}.

Los cartuchos cargados con fulminante Berdan tienen dos oídos en su cavidad. Los fulminantes para cartuchos de escopeta, son un variante de los cartuchos Boxer, los cuales son empleados en los cartuchos metálicos. Los fulminantes fabricados para fusiles y para pistolas difieren en su construcción, ya que las copas de estas, son hechas de un metal más fino^{8, 9, 10, 13, 14, 20}.

El de fusil también tiene una mezcla que se quema con una llama más prolongada e intensa. Los fulminantes vienen en cinco medidas: largo rifle, corto, largo pistola, corto pistola y escopeta.

Cuando se dispara un arma, la guja o púa de percusión golpea el centro de la copa fulminante, comprimiendo su compuesto entre la copa y el yunque, haciendo que este compuesto explote. Las aberturas en el yunque permiten que la llama pase a través del oído a la vaina y encienda su carga propulsora.

Los componentes originales del fulminante estaban hechos de fulminato de mercurio, sin embargo al disparar se desprende el mercurio y este se amalgama con el latón de la vaina haciendo que esta se quiebre y se inutilice para la recarga.

A esto se agrega que el almacenamiento de munición que contiene fulminantes de mercurio por un periodo largo lleva al deterioro del latón, por el mercurio.

Esto motivó a que se reemplazaran los componentes de mercurio por componentes con clorato; desafortunadamente, al disparar con este tipo de carga, se descomponía en sales cloradas que causaban la corrosión de los cañones.

En la actualidad, todos los fulminantes fabricados usan ingredientes químicos que no son de mercurio y no corrosivos. Los componentes que se emplean varían, los que generalmente más se utilizan son nitrato de plomo, nitrato de bario y sulfuro de antimonio^{8, 9, 10, 13, 14, 20}.

Las industrias actualmente, fabrican algunas municiones de pistolas de fuego central que no contienen plomo en el fulminante.

IMPRESIONES DEL CULOTE

Virtualmente, todas las vainas de los cartuchos presentan impresiones en el culote de sus bases^{8, 9, 10, 13, 14, 20}.

Estas impresiones son una serie de letras, número, símbolos y nombre de las marcas. Se imprimen en los culotes de las vainas con fines de identificación; como se muestra en la Fig. 12.

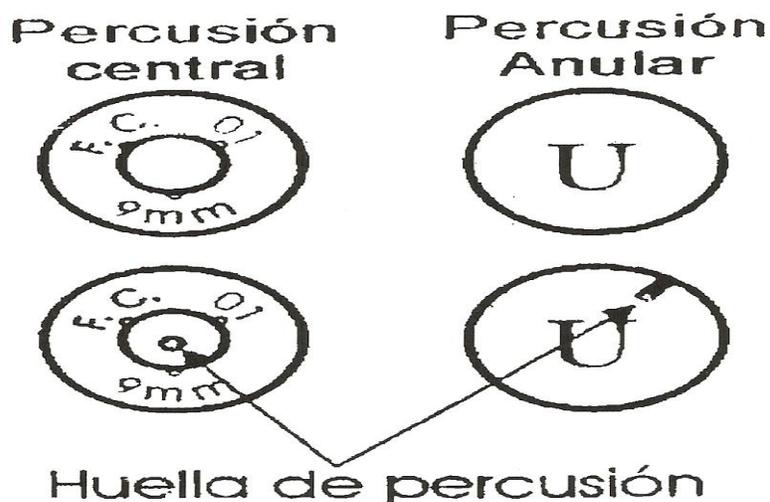


Fig. 12 Impresiones del culote.

Disparo de un arma

Al accionarse el disparador de un arma de fuego, se produce que la aguja de percusión se libere, golpeando el fulminante, comprimiéndolo, encendiendo su composición y produciendo una llama intensa. La llama penetra en la recámara principal de la vaina a través de uno o más oídos, encendiendo la pólvora y produciendo una gran cantidad de gas y calor^{8, 9, 10, 13, 14, 20}. Este gas puede elevarse a una temperatura de 287.1°C, ejerce presión sobre la base del proyectil y a los costados de la vaina que varía desde unos 69.706 Kg/cm² a 4.218 Kg/cm². La presión de los gases en la base del proyectil lo propulsa a través del cañón. Mientras el proyectil viaja a través del cañón, un poco de pérdida de gas lo supera, emergiendo de la boca de fuego antes que él. De cualquier manera el resto del gas y pólvora sin quemar emerge después del proyectil.

Cuando el proyectil emerge del cañón de un arma, está acompañado por un chorro de llama, gas, pólvora, hollín, residuos de fulminante, partículas metálicas arrancadas del proyectil, y metal vaporizado de él y de la vaina.

La pólvora se desprende de la combustión incompleta de la carga propulsora, ya que la pólvora sin humo realmente nunca se quema por completo. En consecuencia, estará parcialmente quemada. Los granos de pólvora quemados y sin quemar emergen con el proyectil, a través del cañón. La cantidad de pólvora parcialmente quemada o sin quemar que se desprende dependen de las propiedades de combustión de la pólvora y de la longitud del cañón. La pólvora sin humo no explota; ésta en realidad, se quema.

Cuando un proyectil abandona el cañón, está acompañado por una llama que consiste en gases incandescentes a temperatura muy elevada, en una bola de fuego-fogonazo. En las armas de puño la llama usualmente mide de 2.54 centímetros y 5.08 centímetros de largo, la cual tiene poca importancia, excepto en heridas de contacto o casi de contacto, donde puede quemar la piel alrededor de la herida de entrada.

La bola de fuego que emerge de la boca del arma, consiste en gases desprovistos de oxígeno producidos por la ignición de la pólvora, cuando emergen del cañón a temperaturas extremadamente altas, reaccionan con el oxígeno de la atmósfera, produciendo lo que comúnmente se conoce como fogonazo.

En los revólveres, sumando el gas, hollín, metales vaporizados y partículas de pólvora emergiendo de la boca de fuego, se desprende material similar de la abertura entre el tambor y el cañón. Si el tambor del arma no está en perfecta alineación con el cañón serán expulsados fragmentos de plomo del proyectil, mientras penetra el cañón^{8, 9, 10, 13, 14, 20}.

En los revólveres de buena fabricación, la cantidad de material que escapa de esta abertura del tambor es relativamente pequeña y no se encontraran fragmentos de plomo. En aquellas de mala fabricación o deteriorados, surgirán considerables desechos.

En los dos casos, el hollín y la pólvora que surgen de esta abertura pueden provocar ahumamiento y tatuaje de la piel si el arma está sostenida cerca del cuerpo. Los fragmentos de plomo limpiados del proyectil, como resultado de un tambor mal alineado pueden impactar la piel, provocando graneos e inclusive encastrarse en la piel^{8, 9, 10, 13, 14, 20}.

CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE UN DISPARO POR ARMA DE FUEGO

Estas se presentan cuando se detona o dispara el cartucho inserto en un arma de fuego. Una cantidad de vapores y partículas son expelidas alrededor del arma. Los productos de la descarga del arma de fuego o residuos de deflagración. Estos residuos tienen importancia criminalística para estimar la distancia a la que se realizó el disparo, identificar orificios producidos por proyectiles de armas de fuego y el más importante, para determinar cuando una persona ha o no ha disparado un arma de fuego.

Las metas más importantes para los científicos forenses son: proveer de evidencias confiables, con un adecuado análisis fisicoquímico de los residuos químicos posteriores a la deflagración.

Como los delitos asociados con disparo de arma de fuego son particularmente serios, es importante contar con un buen soporte investigativo, la evidencia producida por los residuos encontrados en un individuo que ha realizado el disparo, es de substancial ayuda para el esclarecimiento de los casos criminales.

Los métodos de detección de disparo por armas de fuego, están basados en el análisis físico y químico de los residuos producidos por la descarga del cartucho, que normalmente son trazas depositadas sobre la mano, cara, pelo y ropa, este material analizado adecuadamente puede ser utilizado para determinar si una persona disparó o no un arma de fuego.

Las fuentes de los residuos de disparo de arma de fuego pueden provenir del fulminante, de la mezcla de la carga de pólvora, de los lubricantes o bien de los materiales que se encuentran alojados en el ánima del cañón en la bala, encamisado de la bala y en la cubierta del casquillo^{8, 9, 10, 13, 14, 20}.

La formación de los residuos genera un gran calor por la ignición de la mezcla del fulminante, los componentes orgánicos que se unen al vapor saturando al mismo, los cuales se condensan dentro de unas finas gotas, que por la alta presión y temperatura, se mezclan con partículas quemadas de la mezcla de la pólvora en diferentes tamaños y formas, que comúnmente son esféricas (esferoidal nodular, esferoidal irregular, esferoidal cóncavas, esferoidal en forma de naranjas, en forma de racimos, etc.) debido a que se reduce su área de contacto.

En la vaporización, condensación, expansión y enfriamiento de estos gases se obtienen las microesferas de distintos residuos de los cartuchos y de la misma ánima del cañón^{8, 9, 10, 13, 14, 20}.

Con lo que respecta a la composición química inorgánica de los residuos producidos por disparo de arma de fuego, éstos proceden de los compuestos químicos que conforman al fulminante, los cuales intervienen en cuatro etapas para que se lleve a cabo la detonación final, éstas se mencionan a continuación:

1. Involucra al iniciador de la explosión que está compuesto por:
 - Estigmate de plomo.
 - Azida de plomo.
 - Fulminato de mercurio.

2. Involucra el agente oxidante el cual está compuesto por:

- Nitrato de bario.
- Peróxido de bario.
- Nitrato de plomo.
- Peróxido de plomo.

3. Involucra el combustible el cual está compuesto por:

- Sulfito de amonio.
- Siliciuro de calcio.
- Tiocianato de plomo.
- Polvo de aluminio
- Zirconio.
- Magnesio.
- Titanio.

4. Los sensibilizantes que son compuestos puramente orgánicos como:

- Tetraceno.
- Pentaeritritoltetranitrato.
- Trinito.
- Trietil tolueno.

RESIDUOS PRODUCIDOS AL DISPARAR UN ARMA DE FUEGO

Al disparar un arma de fuego se producen dos conos de deflagración. Uno posterior y el otro anterior, con sus respectivos elementos constantes^{4, 8, 9, 10, 13, 14, 20}. En la Fig. 13 se muestran los conos de deflagración.

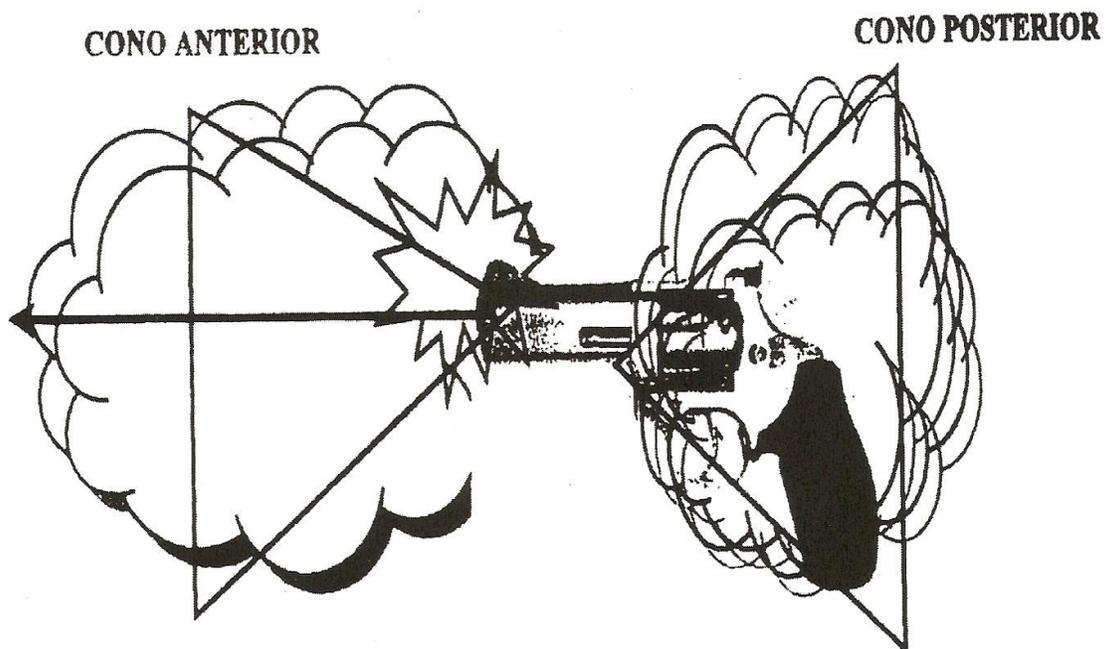


Fig. 13 Conos de deflagración.

Los elementos constantes en el cono posterior de la deflagración son:

- ❖ Nitrato de potasio: procede de la deflagración de la carga de la pólvora del cartucho.
- ❖ Nitrato de potasio y sodio: proceden de la deflagración de la carga de pólvora del cartucho.
- ❖ Derivados nitrados: proceden de la deflagración de la carga de pólvora del cartucho.
- ❖ Elementos de bario: proceden del fulminante del cartucho.

- ❖ Elementos de plomo: proceden del proyectil o bala, sin camisa de cobre o acero.
- ❖ Elementos de antimonio: proceden del fulminante del cartucho.
- ❖ Elementos de cobre: proceden de la bala cuando se encuentra cubierta con camisa del mismo material.
- ❖ Elementos de acero: se producen de la bala cuando se encuentra cubierta con camisa del mismo material.

Los elementos constantes en el cono anterior de la deflagración son:

- ❖ Bala o proyectil: componente del cartucho que sale disparado a gran velocidad, impulsado por la fuerza de los gases, originados por la deflagración de la carga de pólvora del cartucho. Depende de la clase y carga de la pólvora y del calibre del cartucho. Los movimientos de traslación y rotación en el espacio, así como sus efectos, dependen de las características del arma, carga y clase de pólvora del cartucho, calibre y forma del proyectil o bala.
- ❖ Humo y gases: proceden de la deflagración de la carga de la pólvora del cartucho. Específicamente de los granos de pólvora que logran su completa combustión.
- ❖ Fogonazo o llama: son gases sobrecalentados procedentes de la deflagración de la carga de pólvora del cartucho. Depende de la clase y carga de la pólvora y el calibre del cartucho, el fogonazo o llama puede manifestarse hasta a 30 centímetros de longitud aproximadamente^{8, 9, 10, 13, 14, 20}.

SECUENCIA AL REALIZAR UN DISPARO

1. De inicio cuando la fuerza de la aguja del percutor golpea la cubierta del fulminante del cartucho, esto produce el encendido del explosivo iniciador, generando un dardo de fuego que proporciona la energía necesaria a la pólvora de combustión.
2. Ya detonada la mezcla del fulminante localizada generalmente en la base del cartucho; se produce la combustión gradual de la pólvora; lo que produce una gran cantidad de gases a altas presiones y pequeñas partículas que por el interior de un pequeño orificio, llamado agujero u oído del yunque, que comunica el fuego e inicia la ignición de la mezcla de la carga de pólvora, contenida en el interior del cartucho, en milésimas de segundo.
3. La ignición de la carga de la mezcla de pólvora se descompone y los gases al tratar de escapar encuentran la salida más fácil hacia delante. Lo que obliga al proyectil que se encuentra en reposo, a ponerse en movimiento y produce gases y gran calor; los gases producen igualmente el retroceso del arma y la dilatación de las paredes del cañón, ya que su acción es en todas direcciones.
4. La presencia de los gases y la gran cantidad de calor genera una muy alta presión, que expulsa la bala o proyectil a través de la parte interna o ánima del cañón hasta la boca del cañón.
5. La bala al salir, va acompañada de estos gases por la boca del cañón y por espacio existente entre el cilindro y el cañón en los revólveres, y en las pistolas por la ventana de eyección lateral y superior²⁵.

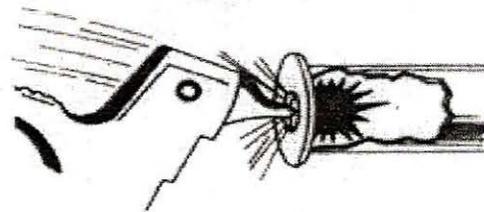
En la Fig. 14 se muestra gráficamente, la manera en que se lleva a cabo la secuencia de un disparo de arma de fuego.

SECUENCIA DE DISPARO

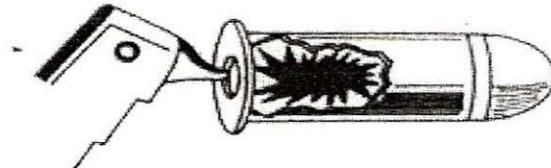
MARTILLO ATRAS,
MUELLE PRINCIPAL
ALIMENTADO



EL FULMINANTE ES
GOLPEADO POR LA
AGUJA PERCUTORA
Y ESTALLA EL
COMPUESTO



LA POLVORA
DEFLAGRA AL SER
INICIADA POR EL
FULMINANTE



LA BALA PASA POR
EL CANON IMPULSADA
POR LOS GASES DE
LA POLVORA EN
EXPANSION

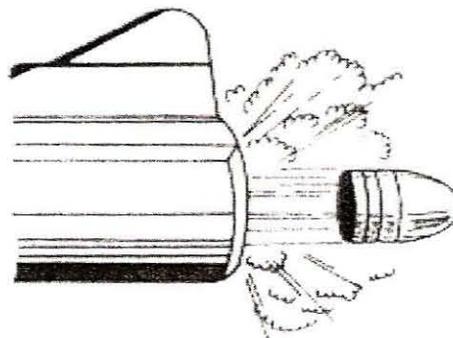


Fig. 14. Resumen de una secuencia de disparo.

Retomando lo anterior, se pueden presentar, dependiendo del tipo de arma, los proyectiles de los cartuchos, que los hay sin camisa o cubierta, formados por aleaciones de plomo, antimonio, zinc, hierro, cobre, níquel, titanio, aluminio, plata, estroncio, mezcla de polímeros plásticos de alta resistencia, etc., así como también los encamisados pueden contener cobre, zinc, hierro, níquel, titanio, aluminio, etc., de la cubierta de los casquillos, se pueden desprender generalmente hierro, níquel y cobre entre otros^{8, 9, 10, 13, 14, 20}.

Del ánima del cañón que está hecha de aleaciones de acero, comúnmente con alto contenido de hierro.

La composición química orgánica de los residuos del disparo de arma, generalmente se debe a los restos quemados y no quemados de la carga de pólvora y los sensibilizantes del fulminante del cartucho.

En la mezcla de la carga de pólvora pueden existir hasta 30 diferentes componentes; sustancias químico – orgánicas con diversas funciones^{8, 9, 10, 13, 14, 20} como pueden ser:

- ❖ Estabilizadores y explosivos.
- ❖ Inhibidores de la flama.
- ❖ Catalizadores de reacción.
- ❖ Plastificantes.
- ❖ Enfriadores.
- ❖ Moderadores de reacción.
- ❖ Antiinflamantes.
- ❖ Lubricantes de superficies.
- ❖ Antidesengrasantes, etc.

Entre los anteriores podemos mencionar al tetranitrato de pentaeritriol, nitrocelulosa, nitrodifenilamina, metil etil butil ftalato, gliceril triacetato, etil centralito, grafito, etc.

Métodos de análisis de residuos por disparo de arma de fuego

De la problemática basada en la observación de los hechos, se originan las siguientes preguntas o incógnitas^{1, 2, 4, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 19, 20, 22, 25}.

1. La mano que dispara un arma de fuego casi siempre resulta maculada con derivados de óxidos de nitrógeno (NO_2 y NO_3) y con partículas resultantes de la deflagración de la pólvora, al igual que con bario, plomo, antimonio y cobre. Este hecho dio lugar a que los peritos químicos idearan métodos tendientes a identificar los compuestos, las partículas y los elementos señalados. Permitiendo establecer, en caso de ser positivo el resultado, la probabilidad de que la persona sí haya disparado un arma de fuego, ya que por otro lado, existe la no remota posibilidad de la maculación sea ajena al hecho de haber disparado.
2. Cuando se hace un disparo próximo al blanco, casi siempre éste resulta maculado con derivados nitrados, y con partículas resultantes de la deflagración de la pólvora y al igual que con plomo si el proyectil carece de camisa, o bien con cobre si este elemento cubre al proyectil¹⁹.

Por la escasez de tiempo con que cuentan algunos casos el perito químico para dictaminar y por las restricciones de orden económico, obligaron a seleccionar entre las numerosas técnicas aquellas que cumplieron los siguientes requisitos:

- ❖ Realización fácil y rápida aplicación.
- ❖ Bajo costo.
- ❖ Confiabilidad.
- ❖ Resultados que ofrezcan un margen de seguridad²⁰.

DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS EMPLEADAS

A continuación se procederá a la descripción de las técnicas empleadas, para la determinación de residuos metálicos ^{1, 2, 8, 9, 10, 13, 14,19, 20, 22} por disparo de arma de fuego:

PRUEBA DE LA PARAFINA

La primera de este tipo fue la prueba de la parafina, también conocida como la prueba del nitrato dérmico, se basa en identificar químicamente los derivados nitrados resultantes de la deflagración de la pólvora que pudo haber maculado la mano de quien accionó el arma de fuego, por lo que el procedimiento²⁵ consiste en utilizar:

1. Hacer un guante delgado de parafina sobre la mano de la persona que se sospecha realizó un disparo de arma de fuego.
2. Se deja solidificar.
3. Limpiar la zona problema con un pedazo de tela limpia o con un hisopo.
4. En un tubo de ensayo colocar la muestra y adicionar un mL de alfa-naftilamina, un mL de ácido sulfanílico y un mL de ácido acético al 25 por ciento.
5. Calentar el tubo y observar la coloración.

Un resultado se considera como POSITIVO cuando después de haber efectuado la reacción, existe en el guante de parafina la aparición de puntos color rosa.

PRUEBA DE GRIESS

Las partículas de pólvora quemada o parcialmente presentes contendrán sustancias químicas de naturaleza nitrogenada: nitritos. Las reacciones químicas que se llevan a cabo en esta prueba para identificar nitritos están basadas en la conversión de éstos a un colorante²⁵. Por lo que el procedimiento a seguir es:

1. Limpiar la zona problema del objeto con un hisopo o con un pedazo de tela limpia.
2. En un tubo de ensayo colocar la muestra y adicionar un mL de alfa-naftilamina, un mL de ácido sulfanílico y un mL de ácido acético al 25 por ciento.
3. Calentar el tubo y observar la coloración.

Un resultado se considera como POSITIVO cuando después de haber efectuado la reacción, existe en la tela o el hisopo la aparición de puntos de color rosa.

Sin embargo, ambas pruebas presenta las siguientes limitaciones:

- ❖ Los reactivos químicos utilizados no son específicos para los compuestos nitrados provenientes de la deflagración de la pólvora accionado por el disparo de un arma de fuego, reaccionan genéricamente con los compuestos nitrados inclusive con sustancias que sin ser nitrados son eminentemente oxidantes.
- ❖ Reporta un alto porcentaje de falsos positivos, muy probablemente en virtud de la elevada posibilidad de maculación con sustancias nitradas del medio ambiente.
- ❖ Reporta con frecuencia falsos negativos, aun en aquellos casos en que se aplica el método inmediatamente después de haber disparado un arma de fuego.

A manera de resumen se puede decir que los reactivos utilizados en esta prueba, no son específicos para los compuestos provenientes de la deflagración de la pólvora, ocasionada por el disparo de un arma de fuego^{1, 2, 3, 8}. Por lo que la prueba no es certera para determinar si la persona disparó o no un arma de fuego.

PRUEBA DE WALKER

Esta prueba, tiene por objeto identificar en la ropa del sujeto lesionado la presencia de residuos nitrados alrededor del orificio de entrada del proyectil, lo que se desprende como resultado de la deflagración de la pólvora, estas inmaculan el objeto de tiro cuando éste se encuentra próximo²⁵.

No obstante, que hasta este momento no se cuenta con un método cuyos resultados permitan afirmar sin la menor duda si una persona disparó o no un arma de fuego, también somos conscientes de que los avances científicos y tecnológicos nos aproximan cada vez más al logro de la certeza científica en lo que a este punto se refiere.

PRUEBA DE RODIZONATO DE SODIO

Esta prueba se basa fundamentalmente en la reacción de plomo con el rodizonato de sodio, fue descrita por Feigl en "Spot Test".

El propio Feigl señala que en el momento en que una bala emerge de la boca de un arma de fuego, va acompañada entre otras cosas, por un rocío de partículas de plomo probablemente fundidas, estas partículas difieren de tamaño y en resistencia al aire vuelan junto con la bala una considerable distancia. Dependiendo de la distancia del disparo, una menor o mayor cantidad de esta rociadura de plomo se depositará en el blanco, donde se adhiere a la superficie. Además, se señala que en los disparos a corta distancia también se pueden detectar el bario junto con el plomo¹⁵.

Este método se basa en una identificación química del bario y el plomo en las manos de quien disparó un arma de fuego, elementos que son expulsados en el preciso momento de accionarla, son desprendidos del fulminante del cartucho en el momento de la descarga, se depositan en el dorso de la mano de quien dispara, como una partícula de manera discontinua. En los revólveres, estas partículas metálicas provienen, fundamentalmente, del espacio del tambor – cañón, en las pistolas semiautomáticas, de la aguja de eyección. El método desarrollado por Harrison y Gilroy fue concebido como una prueba relativamente simple y económica, ésta se basa en la detección química del bario y plomo mediante trifeníl-arsonio, elementos que son expulsados en el momento del mismo disparo. A continuación se explica el procedimiento de la prueba²⁵ el cual consiste en:

1. Llegar al lugar de los hechos, o bien, a donde se tiene la persona que se supone disparo un arma de fuego.
2. Se mojan los trozos de tela con solución de HCl al 2 por ciento.
3. El experto con las manos enguantadas sujeta el fragmento de tela y limpia a fin de recoger partículas de bario y plomo; primero en la región superior dorsal de la mano derecha del individuo, haciendo movimientos únicos de la muñeca hacia la punta de los dedos, utilizando solo un lado del fragmento de tela. Nunca se utilizan dos fragmentos de tela por región.
4. A continuación, se coloca el fragmento utilizado en la bolsa de plástico que le corresponda según la región tomada. Esta bolsa de plástico se guarda finalmente con las otras tres en una bolsa que llevará todos los datos del caso, como son: fecha y hora de toma de muestra, nombre del ciudadano u occiso, número de acta y nombre de quien toma las muestras.
5. Consecuentemente con otro fragmento de tela, se hace el mismo procedimiento sobre la región palmar superior de la misma mano y se coloca en su bolsa correspondiente.
6. Se repiten los pasos tres, cuatro y cinco para la mano izquierda.
7. Posteriormente en el Laboratorio se colocan los fragmentos de tela que contienen las muestras para la prueba sobre el portaobjetos de cristal, siempre con el lado utilizado hacia arriba, teniendo cuidado de no confundir las muestras.
8. Sobre las superficies de cada fragmento de tela, se aplican dos gotas de solución buffer, a efecto de darles base.
9. A continuación, se le aplican a cada fragmento de tela dos gotas de la solución de rodizonato de sodio al 0.2 por ciento.
10. Finalmente, observar microscópicamente los fragmentos de tela, dejando pasar algunos minutos hasta que desaparezca la coloración amarilla del rodizonato de sodio.

Los resultados se interpretan de la siguiente manera:

- ❖ Si se observan puntos de color rosa marrón en cualquiera de los fragmentos de tela tratados químicamente, la prueba es POSITIVA para bario.
- ❖ Si se observan puntos de color rojo escarlata en cualquiera de los fragmentos de tela tratados químicamente, la prueba es POSITIVA para plomo.
- ❖ Si se observa una mezcla de ambos colores en cualquiera de los fragmentos de tela tratados químicamente, la prueba es POSITIVA para bario y plomo.
- ❖ Si no se observa ninguna de las coloraciones indicadas en cualquiera de los fragmentos de tela tratadas químicamente la prueba es NEGATIVA.

Una de las ventajas de estas pruebas consiste en su muy baja incidencia de falsos positivos, por otro lado el inconveniente que se le atribuye consiste en que el trifenil-arsonio no esté disponible comercialmente, debiéndose preparar el reactivo y emplearlo de manera inmediata.

Los criminalistas frecuentemente son requeridos para identificar en diversos materiales los elementos químicos por los cuales están compuestos. Por ejemplo, para la identificación de venenos, el mejoramiento así como la creación de nuevas técnicas de análisis. En adiciones, casi todos los materiales son sintéticos o elementos trazas contenidos dentro de la evidencia física, esto es posible al enlace próspero del origen o sitio particular de la evidencia. Las técnicas analíticas usadas para la identificación de los elementos pueden ser completamente extensas y frecuentemente complicadas en la sofisticada aplicación y equipamiento costoso^{11, 14, 20, 22}.

En breve se verán aquellos elementos que emiten radiación cuando ellos son calentados a altas temperaturas, como fulgor o llamarada. Todos los elementos están compuestos por átomos. Cada átomo tiene electrones en órbita alrededor del núcleo central, en una situación semejante a los planetas alrededor del sol. Cuando se aplica calor a los elementos muchos de estos átomos son excitados tanto que estos electrones pueden brincar sobre una energía orbital superior^{1, 2, 8, 9, 10, 13, 14, 19, 20, 22}.

Estos electrones permanecen en las orbitas superiores por un tiempo muy corto. Cuando los electrones excitados caen de vuelta bajan de nivel, la energía es emitida en forma de radiación. Esta radiación llamada ligera es sensitiva a nuestros ojos cuando es analizada la cual muestra un espectro característico consistiendo en líneas discretas a diferentes longitudes de onda. El instrumento usado separa simplemente la luz que está dentro de los componentes a longitudes de onda como lo hace el espectroscopio.

Algunos elementos son fáciles de distinguir por los colores que emiten a la flama caliente, pero muchos elementos no son fáciles de identificar, por lo que se necesita un modo de separación de colores mezclados que emiten los elementos así que se puede notificar pequeñas diferencias entre los colores emitidos por los elementos.

Esto puede ser realizado por esparcimiento de varios colores de luz emitida en forma similar a la del arco iris. Este esparcimiento de colores es llamado espectro. Con notable prontitud el instrumento usado separa la luz de los colores que es llamado espectroscopio, este contiene un prisma o reja que separa la luz de los componentes dentro de las longitudes de onda. La radiación de los átomos entra en el espectroscopio a través de una estrecha incisión y a través de un prisma o reja donde es separada en varios colores después pasa la radiación a través de un tubo y de un ojo mirador ^{1, 2, 8, 9, 10, 13, 14, 19, 20, 22}.

ANÁLISIS POR ACTIVACIÓN DE NEUTRONES

En 1964 se empieza a aplicar esta técnica para identificar bario y antimonio. Basada en la activación de un reactor nuclear. Los residuos se hacen radioactivos por irradiación de neutrones térmicos de un reactor nuclear.

La reactividad del antimonio y el bario de cada uno, deben de ser químicamente separadas de otros materiales radioactivos que estén presentes. Por ello, es necesario eliminar interferencias, el bario es separado como sulfato de bario ($BaSO_4$) y el antimonio como trisulfuro de antimonio (Sb_2S_3) y la cantidad de radiación en Rayos gamma para cada uno de los compuestos. Comparando la radiación emitida por patrones de bario y antimonio con radiaciones similares de residuos conocidos, la cantidad de bario y de antimonio puede ser medido con exactitud.

A pesar de ser un método muy confiable no se aplica rutinariamente en virtud de que implica un gasto considerable, y además genera residuos radioactivos^{4, 12}.

ESPECTROMETRÍA DE MICROSCOPIA DE BARRIDO DE ENERGÍA DISPERSIVA POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X (SEM-EDX)

Las partículas de residuos provenientes de disparo de arma de fuego son removidas de las manos usando cintas adhesivas. El material removido es barrido por el (SEM-EDX) sistema electrónico de microscopia acoplado al detector selectivo de Rayos X, en búsqueda de partículas de residuos de arma de fuego. Estas consisten en partículas discontinuas, de tamaño micrométrico, a menudo de una forma característica. El análisis de los Rayos X es usado para identificar los elementos químicos de cada partícula^{5, 6}.

El SEM-EDX obtiene la información a través de las radiaciones emitidas por los electrones que se encuentran en la superficie de la muestra.

La información emitida se convierte en una señal electrónica, se amplifica, y ésta alimenta a una pantalla de tubos de rayos catódicos (TRC). El TRC es usado para controlar el brillo de la imagen.

El análisis automatizado de SEM-EDX incluye el barrido automático de las tiras para partículas que poseen ciertas características físicas, por ejemplo tamaño. Las partículas son posteriormente analizadas por el detector de Rayos X. Las compuestas por plomo-bario-antimonio y antimonio – bario son consideradas características de residuos provenientes de disparos por armas de fuego, mientras otras partículas, que contienen otras combinaciones de estos elementos, son consistentes pero no únicas. Sobre la base de las pruebas se ha descubierto que en personas que han disparado armas cortas, el 90 por ciento de las veces el residuo será detectable; en los casos de los fusiles y escopetas, el 50 por ciento. En los casos de munición libre de plomo fabricada por Sintox, las partículas de residuos provenientes de disparo de arma de fuego presentan una forma esferoidal, consistiendo principalmente en titanio y zinc⁶.

La técnica de SEM-EDX, presenta limitación en la naturaleza intensiva del trabajo de análisis y la inhabilidad para cuantificar. Se puede afirmar de manera absoluta que existe presencia de residuos provenientes de arma de fuego, pero no puede cuantificarlo como en el caso de la absorción atómica.

ESPECTROSCOPIA DE PLASMA – MASA ACOPLADA INDUCTIVAMENTE (ICP-MS)

La tecnología ICP fue desarrollada bajo principios similares de la Espectrofotometría de emisión atómica en donde las muestras se descomponen en elementos neutros, en un plasma de argón a altas temperaturas y basada en análisis en la proporción de carga de sus masas²³. Un ICP-MS puede pensarse como un instrumento de cuatro procesos principales como son:

- ❖ Inducción de la muestra y su generación en aerosol.
- ❖ Ionización por una fuente de un plasma de argón.
- ❖ Discriminación de masa.
- ❖ Sistema de detección.

El ICP-MS puede aceptar muestras tanto líquidas como sólidas, las sólidas son introducidas al ICP por medio de un sistema de láser, que normalmente puede compararse como accesorio. Las muestras en solución se introducen a través de un nebulizador que aspira la muestra por medio de circulación de argón a alta velocidad, con lo que se forma una ligera llovizna. Una vez que la muestra pasa a través del nebulizador y es parcialmente separada, el aerosol pasa al cuerpo de la antorcha y es mezclada con más gas argón. Una espiral de acoplamiento se usa para transmitir la radio frecuencia que excita el gas argón produciendo un plasma “una llama de argón”, localizada en el centro del espiral, el calor del plasma elimina cualquier sobrante del disolvente, provocando que la muestra se atomice y fluya por ionización.

Además de ionizarse los átomos de la muestra, éstos son excitados por el calor del plasma, el cual es un fenómeno que se lleva a cabo en el ICP de Espectroscopia de emisión atómica. La muestra atomizada se mueve dentro del cuerpo de la antorcha²³.

ESPECTROFOTOMETRÍA POR ABSORCIÓN ATÓMICA SIN FLAMA

En la absorción atómica sin flama (EAASF) la palma y dorso de la mano de una persona de quien se sospecha que hace poco tiempo disparó un arma de fuego, se limpian utilizando un algodón o cinta adhesiva.

La cinta ofrece al investigador la oportunidad de buscar partículas grandes de residuos de disparo con arma de fuego mediante un microscopio convencional.

Todo lo que recoge se quita usando una solución química y luego se aspira dentro del aparato, donde el calor hace que los átomos químicos interactúen y se exciten.

El instrumento determina las concentraciones de las diferentes sustancias químicas presentes en la muestra, y esto queda registrado en una banda de papel¹⁶.

ESPECTROFOTOMETRÍA POR ABSORCIÓN ATÓMICA

La espectrofotometría de absorción atómica es una técnica de cuantificación de aproximadamente 67 elementos.

En un examen de absorción atómica, el elemento que se determina se debe de vaporizar y reducir a su estado atómico. Un rayo luminoso de una longitud de onda característica, producido por una lámpara especial, pasa a través del eje longitudinal de una flama, y se dirige al detector. Cada elemento o átomo emite o absorbe luz a longitudes de onda finitas, esta característica se puede utilizar para su identificación y cuantificación. Esta longitud de onda se conoce como línea de resonancia del elemento.

El espectro de absorción atómica de un elemento consta de tres líneas que son el resultado de transiciones electrónicas desde el estado basal a niveles superiores de energía (espectro de líneas de absorción). Debido a que las bandas son tan estrechas la fuente de radiación debe de producir bandas muy estrechas, puesto que si diera bandas amplias o radiación continua, la mayor parte de la luz pasaría sin ser absorbida^{17,18}.

Además, debe de emitir radiación exactamente de la misma longitud de onda que de la línea de resonancia del elemento en estudio. Si un rayo de frecuencia característica atraviesa el vapor que contiene los átomos, estos absorben fotones pasando del estado basal al estado excitado. Estos átomos al regresar a su estado basal emiten fotones de la misma frecuencia.

La cantidad de radiación absorbida por átomos neutros en un estado basal, sigue la Ley de Beer. En la espectrofotometría de absorción atómica la muestra para analizar se transforma en vapor atómico en el que la mayor parte de los átomos están en su estado fundamental^{17, 18}.

Un espectrofotómetro de absorción atómica se compone, en general de las siguientes partes:

- ❖ Lámpara de cátodo hueco.
- ❖ Monocromador y detector.
- ❖ Atomización con horno de grafito.
- ❖ Sistema de atomización.
- ❖ Cubierta pirolítica.

CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS PROVENIENTES DE UN DISPARO

Antimonio (Sb)

Se encuentra en la naturaleza con el azufre en la estibita o estibinita o antiminita; su número atómico es 51, peso atómico 121.75, punto de fusión 630.63°C, punto de ebullición 1578°C, su color es blanco azulado.

Debe el nombre de *antimonium* a Geber y el símbolo al latín *stibium*, los compuestos de antimonio se conocen desde la antigüedad y como el metal a comienzos de siglo XVII (1604). Posiblemente antes del antiguo Egipto se usaba el sulfuro de antimonio como unguento, colorete y para ennegrecer las uñas.

La primera preparación del elemento puro data de 1604.

El antimonio crudo así obtenido contiene arsénico, plomo, azufre, etc. Se puede refinar fundiendo con salitre que oxida impurezas. El de alto grado de pureza (99 por ciento) se obtiene por vía electrolítica^{21, 26}.

En su modificación estable gris o metálica tiene color y brillo metálico semejante a la plata es romboideo, bastante frágil y pulverizable. También, se conocen otras formas alotrópicas, la amarilla, la negra y la que constituye el llamado antimonio explosivo. Este último se obtiene por electrolisis de soluciones clorhídricas con elevados voltajes. Esta forma calentada a 100 °C o friccionada explota con gran desprendimiento de calor y se transforma en la modificación metálica estable. No se altera con el aire.

Con los halógenos, reacciona muy vigorosamente, incluso a temperatura ambiente con fenómenos luminosos. Es un pobre conductor de la electricidad y del calor. Se disuelve lentamente en ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, ácido nítrico y en caliente con agua regia, que es una mezcla de ácido nítrico y ácido clorhídrico concentrados²⁶.

Se emplea en gran parte en las tecnologías de semiconductores, en la fabricación de detectores de infrarrojo; para incrementar la dureza del plomo, aleaciones antifricción, baterías, metal de tipo imprenta, armas pequeñas, balas trazadoras, revestimientos de cables y como óxidos para esmaltes, pigmentos, vidrios, materias plásticas y productos químicos antiinflamables.

El tricloruro de antimonio es una masa incolora cristalina, blanda cuando no está puro es llamada manteca de antimonio. Se emplea en el empavonado de objetos de hierro y de aceros (como cañones de armas de fuego, etc.) y para colorear objetos de latón.

El trisulfuro de antimonio Sb_2S_3 , se caracteriza porque mancha el papel casi como el grafito, el pentasulfuro se usa como pigmento en la industria del caucho para la preparación de la masa inflamable de los cerillos, de vidrios coloreados, barnices y en la pirotecnia^{21,26}.

El producto comercial contiene azufre libre.

Bario (Ba)

Su número atómico es 56, peso atómico 137.34.

En 1744, Échele reconoció la barita como distinta a la cal la llamó así por su densidad. Se encuentra en la naturaleza en cantidades altas, principalmente como espato pesado o baritina $BaSO_4$; la witherina $BaCO_3$ es mucho más rara.

La baritina es la materia prima para obtener los compuestos de bario, para lo que debe ser reducida por calentamiento con carbón o fundida con carbonato de sodio. A partir del sulfuro o del carbonato de bario se preparan otras sales.

El metal se obtuvo impuro por Davy en 1808.

El cloruro de bario tiene un sabor amargo y es venenoso como todas las sales de bario.

El nitrato de bario se prepara disolviendo el carbonato en ácido nítrico o por doble intercambio entre cloruro y nitrato de sodio o de calcio, es medianamente soluble en agua. Cristaliza anhidro; se emplea en pirotecnia dando una coloración verde en los fuegos artificiales.

El sulfato de bario es insoluble en agua. A causa de su densidad e insolubilidad no es transparente a los Rayos X por lo que se hace ingerir a los pacientes para el examen del aparato digestivo.

El sulfuro puro no es fosforescente, pero sí lo es en presencia de trazas de varias impurezas. Las sales de bario principalmente las volátiles colorean la llama en un color verde-amarillento^{21, 26}.

Plomo (Pb)

Su número atómico es 82, peso atómico 207.19.

Conocido por los griegos que lo obtenían como *laurion* y por los romanos que lo obtenían en España y Britania como *plumbum* lo empleaban en tuberías para la conducción del agua.

Se emplea para el recubrimiento de cables, acumuladores, óxidos y otros compuestos así como para perdigones de caza. Es uno de los metales más usados después del hierro, junto con el aluminio, cobre y zinc.

El plomo cuando está puro es blando, tiene una débil resistencia mecánica y se deja estirar fácilmente en hilos y en láminas; es de color gris azulado, poco brillante y se reduce rápidamente de una capa de óxido; es monométrico (cúbico de caras centradas).

El plomo endurecido para tipos de imprenta es una aleación de 15 – 25 por ciento de antimonio. La aleación para soldar está constituida por estaño y plomo; en aleación con arsénico sirve para perdigones de caza. A ésta se le puede añadir telurio en pequeñas dosis para mejorar la resistencia química. Su empleo en proyectiles es debido a su alto peso específico^{21, 26}.

La importancia del estudio de los elementos antimonio, bario y plomo, radica en que forman parte en las mezclas de los iniciadores, de los fulminantes y del propelente, así como también son constituyentes de la estructura ya sea del casquillo o de la misma bala.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se inicio el estudio con los antecedentes históricos de las armas de fuego, en donde se observaron los primeros indicios, así como las modificaciones que se le fueron realizando a éstas. Posteriormente, se describen las partes constitutivas, su clasificación y los componentes empleados en un arma de fuego.

Al realizar la investigación bibliográfica se encuentran nueve técnicas analíticas, que se emplean en la detección de residuos metálicos en las manos maculadas por disparo de arma de fuego. Las cuales al momento de describir se observa que:

La prueba de la parafina da un resultado de tipo cualitativo, ya que por la presencia de puntos de coloración rosa, después de haber efectuado la reacción química indica la presencia de derivados nitrados.

En la prueba de Griess se identifican nitritos los cuales se aprecian después de calentar la reacción, por el cambio de coloración, la cual es positiva si hay aparición de puntos de color rosa.

Como se vio la prueba de Walker es para identificar residuos nitrados en la ropa del sujeto lesionado así como en la del victimario.

La prueba de rodizonato de sodio es para la identificación de plomo y bario mediante una reacción con trifenil-arsonio, esta va a tener una coloración rosa para la presencia de bario, y una coloración roja cuando esté presente el plomo; pero si se observa una mezcla de ambos colores la prueba es positiva para bario y plomo.

Estas cuatro pruebas no son certeras ni confiables, ya que solo son cualitativas, y por factores ambientales o laborales estos elementos químicos pueden estar presentes en las manos de las personas aun sin haber disparado un arma de fuego.

Por lo cual se dieron a conocer otras técnicas analíticas como son:

El análisis por activación de neutrones la cual sirve para identificar bario y antimonio, es una prueba cuantitativa, pero es costosa y genera residuos radioactivos.

La espectrofotometría de microscopia de barrido de energía dispersiva por difracción de Rayos X, es una prueba cualitativa que sólo indica la presencia de residuos metálicos en la muestra obtenida.

En la espectroscopia de plasma-masa acoplada inductivamente se realiza por una ionización de los átomos de la muestra los cuales van a ser excitados por el calor del plasma y éstos van a detectarse en el sistema.

La espectrofotometría por absorción atómica sin flama determina las concentraciones de las diferentes sustancias químicas presentes en una muestra obtenida de la persona que accionó un arma de fuego, las registra en un papel. Aquí el calor hace que los átomos químicos interactúen y se exciten para que éstos puedan evidenciarse.

La espectrofotometría de absorción atómica es una técnica analítica que puede identificar y cuantificar elementos presentes de manera específica en las manos maculadas por armas de fuego, por lo cual es más certera y confiable, ya que se pueden identificar hasta 67 elementos químicos. Se realiza una solución acuosa de la muestra, posteriormente se lleva a su estado gaseoso mediante la ebullición, el vapor absorbe la emisión proveniente de la lámpara de cátodo hueco, en forma proporcional a la concentración de la muestra, por lo cual el resultado puede expresarse en partes por billón (ppb).

CONCLUSIONES

Se realizó la investigación de los distintos tipos de armas de fuego, sus partes constitutivas y sus componentes; para conocer su clasificación, y posteriormente determinar los elementos químicos presentes como son: bario, plomo y antimonio presentes al realizar un disparo por arma de fuego.

Por lo que se concluye, que al momento de realizar la investigación y comparar las técnicas, de las diversas pruebas realizadas para la detección de residuos metálicos en manos maculadas por arma de fuego, se determinó que la mejor prueba es la de Espectrofotometría de absorción atómica, ya que por ser una técnica analítica va a proporcionar resultados certeros en el orden de partes por billón (ppb).

Aunque cabe señalar que todas las técnicas empleadas se han ido modificando con el paso del tiempo; esto es debido a la existencia de nuevos componentes detectados en la deflagración de un arma de fuego.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Moreno González Rafael. *Balística forense*. 4ta. ed. México D.F. Ed. Porrúa.1987.
- 2.- Font Riera Gabriel. *Atlas de medicina legal y forense*. 1ra. ed. Ed. José Maria Bosh. 1996.
- 3.- Cowman, M. E. and Purdon. P. L. *A study of the "Paraffin test"*. J. Forensic Sci. 1967.12(1):19-35.
- 4.- Harrison. H.C. and Gilroy, R. *Firearms discharge residues*. J. Forensic Sci. 1959.4(2)184-199.
- 5.- Germani, M.S. Evaluation of instrumental parameters for automated scanning electrón microscopy/gunshot residue particule analysis. J. Forensic Sci. 1991. 39(2):331-342,
- 6.- Zeichner, A. and Levin, N., "Casework experience of GSR detection in Israel, on samples from hands, hair and Clothing using an auto search SEM/EDX system", J. Forensic., JFSCA, 1995. 40-46, 1082,
- 7.- Reed, G. E., McGuire, P.J. and Boehm, A., "Analysis of gunshot residue test results in 112 suicides". J. Forensic Sci. 1990. 35(1):62-68.
- 8.- Villavicencio Ayala Miguel José. *Procedimientos de investigación criminal*. 2da. ed. México D.F. Ed. Limusa. 1976.
- 9.- Arroyo Zapatero, Luis. *Estudios de criminología*. Cuenca: Universidad de Castilla-La Mancha, 1993.
- 10.- Hassemer, Winifried y Muñoz Conde, Francisco. *Introducción a la Criminología y al Derecho penal*. Valencia España. Editorial Tirant lo Blanch, 1989.

- 11.- Garrido Genovés, Vicente. *Técnicas de tratamientos para delincuentes*. Madrid. Editorial Ceura, 1993.
- 12.- Havekkost, D. G., Peters, C. A. , and Koons, R.D., "*Barium and antimony distributions on the hans of nonshooters*", J. Forensic Sci. 1990.35(5):1096-1114.
- 13.- Herrero Herrero, Cesar. *Criminología*. Madrid. Ed. Dykinsson.1997.
- 14.- López-Rey Arrojo, Manuel. *Compendio de criminología y política criminal*. Madrid. Editorial Tecno.1985.
- 15.- Fiegl en "*Spot Test*" *Aplicaciones orgánicas*. Ed. Elsevier. Vol. Uno. 1954.
- 16.- Newton, J. T., "Rapid determination of antimony, barium and lead in gunshot residue via automated atomic absorption spectrophotometry", J. Forensic Sci. 1981. 26(2):302-312.
- 17.- Gary T. Bender. *Métodos instrumentales de análisis en química clínica*. Zaragoza España. Ed. Cribia. 1992.
- 18.- Hobart H. Willard. *Métodos instrumentales de análisis*. México D.F. Ed. Iberoamericana. 1991.
- 19.- Huerta Michel. *Medicina legal*. 6ta.ed. Cochabamba Bolivia. Editorial J.V. 2000.
- 20.- García Pablos de Molina, Antonio. *Criminología*. 3ra ed. Valencia España. Editorial Tirant lo Blanch, 1996.
- 21.- Guiseppe Bruni. *Química inorgánica*. 12va.ed. España. Unión tipográfica Editorial Hispanoamericana. 1964.

22.- Beristain Ipiña, Antonio. *La nueva criminología desde el derecho penal y la victimología*. Valencia España. Editorial Tirant lo Blanch. 1994.

23.- Dillon J.H. The sodium rhodizionate test: A chemical specific chromophoric test for lead in gunshot residue. *AFTE Journal*. 1990. 22(3):243-250.

24.- Rudzitis, E. "Analysis of the results of gunshot residue detection in case work", *J. Forensic Sci.* 1980. 25(4):839-846.

25.- *Manual de química forense*. Facultad de estudios superiores "Zaragoza". UNAM.

26.- *Diccionario de química*. 2da. Ed. México D.F. Ediciones Rioduero. 1980.