



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**“ANÁLISIS DE ANTIMONIO, BARIO Y PLOMO EN  
MANOS MACULADAS POR DISPARO DE ARMAS DE  
FUEGO, EMPLEANDO DIFERENTES MARCAS DE  
CARTUCHOS”.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**QUÍMICO FARMACÉUTICO BIÓLOGO**  
P R E S E N T A :  
**PEREZ VELAZQUEZ MIGUEL ANTONIO.**



FES ZARAGOZA

ASESOR : Q.F.B. VALENTIN ISLAS PÉREZ

MÉXICO, D. F.

ENERO 2003.



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.

---

**DEDICATORIAS.**

**A MI MADRE:**

**GUADALUPE VELÁZQUEZ GUZMÁN.**

**POR HABERME GUIADO CON SU EJEMPLO Y A QUIEN LE DEBO TODOS MIS LOGROS Y EL SER QUE AHORA SOY. GRACIAS POR TU APOYO HE PODIDO CUMPLIR OTRA META.**

**A MI PADRE:**

**POR SER LA PERSONA QUE HA CONVIVIDO CON MIGO ESTOS MOMENTOS.**

**A MIS HERMANOS:**

**SUSANA Y ÁNGEL FEDERICO.**

**POR SU APOYO, POR FORMAR PARTE DE MI VIDA POR QUE A PESAR DE LOS MOMENTOS DIFÍCILES DE NUESTRAS VIDAS ESTAMOS UNIDOS.**

**PARA MIS PROFESORES A LO LARGO DE TODA MI TRAYECTORIA COMO ESTUDIANTE; ESTO ES FRUTO DE SU CONOCIMIENTO.**

---

**AGRADECIMIENTOS.**

AGRADEZCO A LOS:

Q.F.B. ENRIQUETA CASTREJÓN RODRÍGUEZ.

M. EN C. VALENTÍN ISLAS PÉREZ.

M. EN C. LOURDES A. CASTILLO GRANADA.

Q.F.B. ÁNGEL TLAPANCO OCHOA.

Q.F.B. MA. GALIA MARTINEZ FLORES.

POR LA REVISIÓN DE LA TESIS, POR SUS VALIOSAS OBSERVACIONES Y CONSEJOS, PARA EL MEJORAMIENTO DE LA MISMA.

A TODOS AQUELLOS QUE EN ALGÚN MOMENTO APORTARON UNA OPINIÓN O SUGERENCIA PARA ESTE TRABAJO.

CONFÍE EN UN TESTIGO EN TODO AQUELLO EN LO QUE NO ESTÉ FUERTEMENTE INVOLUCRADO NI SU PROPIO INTERÉS, NI SUS PASIONES, NI SUS PREJUICIOS, NI SU AMOR POR LO MARAVILLOSO. SI LO ESTÁN, EXIJA UNA PRUEBA QUE LO CORROBORE EN PROPORCIÓN EXACTA A LA CONTRAVENCIÓN DE LA PROBABILIDAD POR LA COSA ATESTIGUADA.

THOMAS HENRY HUXLEY.

... CON FRECUENCIA LA IGNORANCIA ENGENDRA MÁS CONFIANZA QUE EL COCIMIENTO: SON LOS QUE SABEN POCO, Y NO LOS QUE SABEN MUCHO. LOS QUE ASEVERAN POSITIVAMENTE QUE ESTE O AQUEL PROBLEMA NUNCA SERÁ RESUELTO POR LA CIENCIA.

CHARLES DARWIN.

INTRODUCCIÓN, LA DESCENDENCIA DE HOMBRE. (1871).

**ÍNDICE**

**ÍNDICE**

	PAG.
<b>Índice</b>	<b>I</b>
<b>Índice de figuras.</b>	<b>V</b>
<b>Índice de tablas.</b>	<b>VI</b>
<b>Introducción.</b>	<b>1</b>
<b>Planteamiento del problema.</b>	<b>4</b>
<b>Objetivos.</b>	<b>6</b>
<b>Capítulo 1: Antecedentes.</b>	<b>8</b>
1.1. Antecedentes.	9
1.2. Características de los elementos provenientes de un disparo.	15
1.2.1. Antimonio.	15
1.2.2. Bario.	18
1.2.3. Plomo.	19
<b>Capítulo 2: Clasificación de las armas de fuego.</b>	<b>21</b>
2.1. Clasificación de las armas de fuego.	22
2.2. Formas de clasificar a las armas de fuego.	22
2.2.1. De acuerdo a la longitud del cañón.	22
2.2.2. De acuerdo al tipo de anima.	23
2.2.3. Por su mecanismo de disparo.	24
2.2.4. Clasificación de las armas largas por su mecanismo.	25
2.2.5. Por el tipo de calibre.	26
<b>Capítulo 3: Cartuchos.</b>	<b>32</b>
3.1. Tipos de cartuchos y su composición.	33
3.2. Estructura de los cartuchos metálicos.	33
3.3. Clasificación de los cartuchos.	33
3.3.1. Clasificación de los cartuchos por su aplicación y empleo.	33

3.3.2. Por la cantidad de proyectiles que contienen.	35
3.3.3. Por la forma de iniciar la deflagración.	35
3.4. Tipos y modelos de cartuchos.	35
3.4.1. Cartucho 5.56 mm NATO.	35
3.4.2. Cartucho ordinario NATO 5.56 X 45 mm.	36
3.4.3. Cartucho trazador 5.56 X 45 mm.	37
3.4.4. Cartucho ordinario NATO 7.62 X 51 mm.	37
3.4.5. Cartucho trazador NATO 7.62 X 51 mm.	38
3.5. Casco o casquillo.	39
3.5.1. Función del casquillo.	40
3.6. Clasificación de los cascos.	40
3.7. Proyectiles o balas.	43
<b>Capítulo 4: Fulminante.</b>	<b>44</b>
4.1. Fulminante o pistón.	45
4.2. Mezclas de iniciación.	48
4.2.1. Mixto fulminato de mercurio.	48
4.2.2. Mixto trinitrorresorcínato de plomo.	48
4.2.3. Eleyprime.	48
4.3. Propelente.	49
4.3.1. Pólvora negra.	49
4.3.2. Pólvora sin humo.	50
4.3.3. Ventajas de las pólvoras de doble base.	52
4.3.4. Granos de pólvora.	52
<b>Capítulo 5: Características físico-químicas de un disparo.</b>	<b>54</b>
5.1. Características físico-químicas.	55
5.2. Residuos producidos al disparar un arma de fuego.	56
5.3. Secuencia al realizar un disparo.	59

<b>Capítulo 6: Métodos de análisis.</b>	<b>61</b>
6.1. Métodos de análisis de residuos por disparo de arma de fuego.	62
6.2. Prueba de walker.	62
6.3. Prueba de la parafina.	63
6.4. Prueba de rodizonato de sodio.	63
6.5. Análisis por activación de neutrones.	64
6.6. Espectrometría de microscopía de barrido.	65
6.7. Espectroscopía de plasma-masas.	66
<b>Capítulo 7: Espectrofotometría de absorción atómica.</b>	<b>67</b>
7.1. Espectrofotometría de absorción atómica.	68
7.1.1. Instrumentación.	70
7.1.2. Lámpara de cátodo hueco.	70
7.1.3. Monocromador y detector.	72
7.1.4. Atomización con horno de grafito.	72
7.1.5. Sistema de atomización.	73
7.1.6. Cubierta pirólitica.	74
7.2. Mecanismo de formación de átomos.	75
7.3. Cualidades en un atomizador de horno de grafito.	76
7.4. Interferencias.	76
7.4.1. Interferencias espectrales.	77
7.4.2. Interferencias físicas.	77
7.4.3. Interferencia química.	78
7.4.4. Interferencia no específicas.	79
7.5. Modificador de matriz.	79
7.5.1. Modificadores comunes de matriz.	80
7.5.2. Efectos deseables con el uso de modificador.	80



7.6. Desarrollo de programas de analíticos.	<b>81</b>
7.6.1. Etapa de secado.	<b>82</b>
7.6.2. Etapa de mineralización.	<b>82</b>
<b>Propuesta Metodológica.</b>	<b>83</b>
<b>Conclusiones.</b>	<b>88</b>
<b>Bibliografía.</b>	<b>90</b>

**INDICE DE FIGURAS**

	<b>PAG.</b>
No figura.	
Figura 1. Partícula de plomo, bario y antimonio.	<b>13</b>
Figura 2. Arma de fuego.	<b>22</b>
Figura 3. Arma larga y detalle del cañón.	<b>24</b>
Figura 4. Componentes de un cartucho.	<b>34</b>
Figura 5. Cartucho característico calibre 5.56 x 7.62 mm.	<b>35</b>
Figura 6. Foto y esquema de un cartucho 5.56 x 45 mm.	<b>36</b>
Figura 7. Foto y esquema de un cartucho trazador.	<b>37</b>
Figura 8. Foto y esquema de un cartucho nato.	<b>38</b>
Figura 9. Foto y esquema de un cartucho trazador nato.	<b>39</b>
Figura 10. Esquema de tipos de casquillos.	<b>40</b>
Figura 11. Tipo de bordeado del casquillo.	<b>41</b>
Figura 12. Tipo de percusión de un casco.	<b>42</b>
Figura 13. Conos de deflagración formados al realizar un disparo.	<b>58</b>
Figura 14. Fotografía de la detonación de un arma corta tipo revólver.	<b>59</b>
Figura 15. Programa completo del proceso de atomización.	<b>73</b>
Figura 16. Corte transversal de un tubo de grafito.	<b>74</b>
Figura 17. El sistema de atomización por horno de grafito.	<b>75</b>

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA		PAG.
1	Técnicas empleadas para la determinación de los residuos metálicos.	12
2	Descripción de las diferentes armas.	27
3	Factores de interferencia.	78
4	Modificadores químicos para elementos específicos.	81

## **INTRODUCCIÓN**

# PAGINACIÓN DISCONTINUA

## 1. INTRODUCCIÓN

Para las personas encargadas de impartir la justicia, es necesario contar con elementos suficientes para excluir de la culpabilidad o inocencia a una persona sujeta a proceso, es por ello de gran importancia contar con métodos de análisis de la evidencia, que sean confiables, reproducibles y repetibles.

Cuando se dispara un arma de fuego se desarrollan una serie de eventos físicos y químicos, por tal motivo es necesario resolver algunas incógnitas referentes al disparo como los son:

- ↳ Distancia a la cual fue realizado.
- ↳ Dirección de la que provino.
- ↳ Identificación de la mano que lo ejecuto.
- ↳ Arma de la cual provino.
- ↳ Calibre y características del proyectil.

Estos fenómenos físicos y químicos provocan que los residuos producidos por la deflagración de la pólvora y del detonador o fulminante primario, se gasifiquen y se depositen en la superficie de la mano que ha accionado el arma. Motivo por el cual se han desarrollado métodos para la identificación de estos residuos en dicha superficie, ya que las entidades encargadas de la procuración de justicia, requieren conocer si en las manos del o los sospechosos y de la víctima, se encuentran los residuos producidos por arma de fuego.

Una de las primeras pruebas químicas realizadas para determinar la presencia de los residuos por disparo de arma de fuego, fue la prueba de la parafina o de nitrato dérmico. Esta consistía en cubrir las manos con una capa de parafina, posteriormente cuando se enfriaba se retiraba obteniéndose un guantelete de la mano a la que se le realizó dicho recubrimiento, este guantelete se trataba con una solución ácida de difenilamina que reacciona con los nitritos y nitratos que se originan por el uso de la pólvora<sup>(1)</sup>. Una prueba positiva estaba indicada por la presencia de partículas azules en la parafina. Aunque esta prueba da resultados positivos en las manos de personas

que han disparado un arma, también puede dar resultados positivos en las manos de quienes no han disparado, debido a la amplia distribución de nitratos y nitritos en nuestro medio ambiente.

Otro método que resulta ser de lo más común y menos costoso que la prueba de la parafina, para la identificación de tales residuos, es la prueba de Rodizonato de sodio, que consiste en un ensayo colorimétrico por medio del cual es posible detectar la presencia de bario y plomo en los frotis dérmicos obtenidos de las manos de los sospechosos. Dicha prueba tiene ciertas limitaciones, como podría ser la presencia de falsos positivos debido a que los elementos que detecta, pueden ser adquiridos de diversas fuentes ajenas a un disparo de arma de fuego. También se pueden presentar falsos negativos debido a diversos factores, entre los cuales se encuentran:

- ⇒ Experiencia y habilidad del analista que realiza la prueba.
- ⇒ Preparación de los reactivos empleados al momento de realizar la prueba.
- ⇒ Cantidad de disparos efectuados.
- ⇒ Tipo y calibre del arma empleada.
- ⇒ Actividades realizadas en el intervalo de tiempo de realizado el disparo y la toma de muestra.
- ⇒ Tiempo transcurrido entre la realización del disparo y la toma de muestra.

Resultando el más crítico el tiempo transcurrido entre la realización del disparo y la toma de muestra en lo que respecta a la confiabilidad de la prueba. Entre mayor sea el periodo de tiempo que se tarde en tomar la muestra decrecerá la posibilidad de poder detectar los residuos en cuestión, lo que no siempre significa que no los hubo, sino que ya no es preciso emitir una conclusión apegada a la realidad.

El presente trabajo tiene como fin, hacer una revisión documental de técnicas analíticas que se emplean para la determinación de los residuos metálicos por la deflagración de la pólvora y los fenómenos físico químicos que se desarrollan al realizar un disparo, así como proponer una metodología para la realización del análisis de dichos residuos.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

---

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

En los delitos en los cuales esta involucrado el accionar de un arma de fuego, es de gran importancia el poder determinar si un individuo ha disparado o ha estado en contacto con un arma de fuego. Actualmente se emplean técnicas analíticas modernas dentro del ámbito de la Química Legal esto, con el fin de emitir un resultado preciso que proporcione una correlación entre los elementos característicos producidos por la deflagración de un arma de fuego y la cuantificación de los mismos en la superficie de las manos de las persona que se analizaron. El uso de distintos tipos de calibre, así como la gran variedad de marcas de cartuchos empleados, originan la necesidad de realizar un análisis comparativo de los residuos metálicos característicos depositados en las manos. Esto basándose en las marcas y calibres más comúnmente empleadas en la comisión de un delito.

Tomando en cuenta estos factores, no se cuenta con datos que permitan comparar con eventos similares, ni con estudios realizados que correlacionen estos eventos, empleando las variables antes mencionadas.

La concentración de los elementos metálicos depositados en las manos, en personas que no realizaron disparos, se cree que debe ser menor, con respecto a las personas que si efectuaron un disparo.



## OBJETIVOS

---

**OBJETIVO GENERAL.**

Investigar las técnicas mas empleadas para la determinación de los residuos metálicos (antimonio, bario y plomo) procedentes por el disparo de un arma de fuego y que se depositan en la superficie de las manos de quien presumiblemente dispara un arma de este tipo.

**OBJETIVOS PARTICULARES.**

Recopilar información de los tipos de armas, cartucho y las marcas más comunes, así como la forma de clasificar a todos estos.

Analizar que técnica analítica, es la más recomendable para realizar el análisis de los residuos metálicos plomo, bario y antimonio producidos por el disparo de un arma de fuego

Proponer una técnica analítica, así como una metodología a seguir para la realización del análisis de los residuos metálicos (antimonio, bario y plomo) producidos por el disparo de un arma de fuego empleando diferentes calibres y marcas de cartuchos.

# **CAPITULO 1**

# **ANTECEDENTES**

---

## 1.1 Antecedentes.

Junto con la aparición de las armas de fuego, en virtud del uso que de estas se hicieran por el hombre para lesionar a sus semejantes, se tuvo que despejar la siguiente cuestión ante un hecho delictuoso: una persona determinada, ¿disparó o no un arma de fuego?. La habilidad para determinar dicho cuestionamiento es de gran importancia en la investigación, tanto de homicidios como de suicidios. Así, a través de los años, se han desarrollado una serie de pruebas para resolver esta pregunta. Al principio se recurría a 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 difenilamina<sup>(1)</sup>. 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 pólvora, y pueden depositarse en la piel después de disparar un arma<sup>(2)</sup>. Una prueba positiva estaba 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 emplear 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 las sustancias nitradas del medio ambiente.
- ↪ Da un alto porcentaje de "falsos negativos", es decir, resulta negativo aún 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.

Por otra parte, una rama del área de la Criminalística, que se encarga de estudiar y evaluar al o las armas empleadas, así como de estudiar el movimiento de los proyectiles de un arma de fuego y de los fenómenos que con ellos se relacionan es la materia de Balística. Para realizar el estudio mas específico de los elementos balísticos esta se divide en:

- ↪ **Balística interior.** Estudia los fenómenos que se originan en el interior del cañón del arma, desde el disparador hasta que el proyectil abandona el arma.
- ↪ **Balística exterior:** Estudia los movimientos del proyectil en el aire y las fuerzas que intervienen en su movimiento. Esta comienza desde que el proyectil abandona el arma hasta el instante en que toca un cuerpo.
- ↪ **Balística de efectos:** estudia el comportamiento de los proyectiles y los defectos originados dentro del cuerpo afectado.

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

Luego entonces se podrán realizar los siguientes cuestionamientos; ¿ La bala y casquillo fueron detonados por tal arma de fuego?, ¿ Existen o no suficientes marcas remanentes por el arma que sea posible su identificación?.

Aunado a lo anterior, surge el desarrollo de métodos analíticos validados empleando técnicas analíticas modernas para la aplicación de una prueba para la búsqueda de residuos inorgánicos de disparo de un arma de fuego; de manera paralela, surgen otras preguntas como:

- ⇒ ¿El tiempo transcurrido posterior al disparo del arma de fuego es directamente proporcional a la concentración de plomo, bario y antimonio que se pueden localizar?
- ⇒ ¿Cuál es el mejor procedimiento para efectuar el muestreo?
- ⇒ ¿Se podrá mediante la cuantificación de residuos, valorar el número de disparos efectuados?
- ⇒ ¿Afectará el medio ambiente en donde se efectuó el disparo: lugares cerrados, abiertos, con aire, húmedos, etc?
- ⇒ ¿Afectará el tipo de cartucho (casquillo y proyectil)?
- ⇒ ¿Afectará la marca y calibre?
- ⇒ ¿Influirá las condiciones mecánicas, limpieza, marca y modelo del arma?

En 1959, Harrison y Gilroy en su trabajo sobre disparos de arma de fuego, propusieron 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. Ésta fue concebida como una prueba relativamente simple y en la que se pueden recolectar fácilmente estos residuos<sup>(3)</sup>. 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 amplia adopción<sup>(2)</sup>, como se muestra en la tabla 1.

En la actualidad se emplea una variante de la técnica propuesta por 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 debidos al rodizonato básico de plomo a partir de soluciones neutras o ligeramente ácidas de plomo.

De esta manera el  $Pb(C_6O_6) \cdot Pb(OH)_2 \cdot H_2O$  violeta es precipitado en solución neutra; el  $2 Pb(C_6O_6) \cdot Pb(OH)_2 \cdot H_2O$  rojo escarlata es producido en soluciones débilmente ácidas.

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

Tabla 1. Técnicas empleadas para determinar la presencia de los residuos metálicos en la deflagración de la pólvora<sup>(6)</sup>.

Técnica	Elemento o sustancia a determinar.	Sensibilidad.	Falsos positivos.	Grado de confiabilidad.
Análisis por activación de neutrones.	Bario – Antimonio.	Muy elevada.	Muy escasos.	Muy elevado.
Absorción atómica.	Antimonio – Bario-Plomo.	Elevada.	Escasos.	Elevado.
Colorimétrica Rodizonato de sodio.	Bario – Plomo.	Media.	Altos.	Bajo.
Colorimétrica Prueba de la parafina.	Sustancias nitradas.	Baja.	Muy altos.	Muy bajo.

Para mediados de los años 80, había tres métodos generalmente aceptados para el análisis de residuos por disparo de arma de fuego: Activación de Neutrones, Microscopía Electrónica con Difracción de Rayos X y Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito. La primer técnica se basa en detectar bario y antimonio, mediante su

activación en un reactor nuclear. Estos elementos, al transformarse en radiactivos, 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 las manos 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 plomo-antimonio-bario y antimonio-bario son consideradas características de residuos provenientes de disparo de arma de fuego<sup>(17,20)</sup>. La figura 1, muestra una partícula característica de plomo, bario y antimonio proveniente de un disparo. La tercer técnica para el análisis de plomo, bario y antimonio se considera altamente especifica para estos elementos.

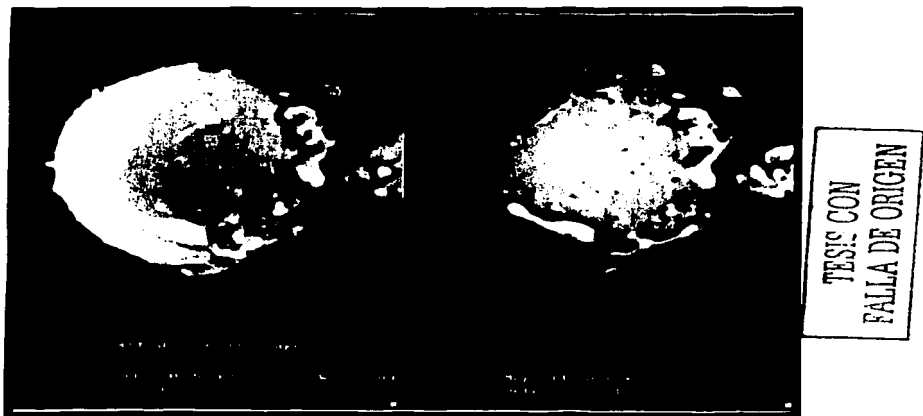


Figura 1. Partícula de plomo, bario y antimonio.



Trabajos realizados por Havekost<sup>(3)</sup>, en donde los niveles de Bario y Antimonio de las áreas seleccionadas de la mano izquierda y derecha de 269 personas que no dispararon, proveen una base de datos, para la interpretación de los residuos por disparo de arma de fuego como resultado del análisis del lavado realizado a los mismos. En esta base de datos toma en cuenta las variadas actividades de los individuos a los que se les hizo un muestreo. La exposición al bario y antimonio, de las personas que no realizaron disparos, generalmente es distinta a la de las personas asociadas a la exposición a armas de fuego, considerando los niveles relativos de los elementos, la colocación de las manos y las condiciones de lavado. Los datos recopilados en este estudio, consideran los efectos de las variaciones en las concentraciones de bario y antimonio en las manos blanco. Sin embargo; la interdependencia del sexo, localización geográfica, tamaño de la mano y lavado de la mano con la ocupación y actividad, hacen difícil discernir por separado los efectos de esta variables.

En 1990 George E. Reed, describe los resultados de las pruebas de los residuos de disparo de arma de fuego en 112 casos de suicidio investigados en los Estados Unidos, descritos en un periodo de 10 años<sup>(4)</sup>, este estudio solo abarcaba los casos en los cuales se comprobaba que la víctima se había disparado con un arma de fuego, el fin de este estudio se realizo para poder determinar que factores influyen de manera significativa en los resultados de las pruebas para residuos de arma de fuego, solo se trabajo con personas que se habían suicidado, esto con el fin de eliminar las variables asociadas con la acción que toman los tiradores para remover los residuos metálicos de sus manos. La recolección y procedimiento del muestreo en todos los casos tienen como variables: el tipo de arma, localización del cuerpo, condiciones de las manos, tiempo de retraso en el lavado y número de disparos.

Cuando se examinaron los tipos de arma en relación a los resultados consistentes de los residuos de disparo, se observó que en más del 50 % de las veces, se obtuvieron resultados positivos con la pistolas calibre 0.45, rifles calibre 0.223, revólveres calibre 0.357 y armas cortas calibre 0.20; aunque las pistolas calibre 0.38, fueron positivas en un rango del 67 %, en solo tres incidentes con este tipo de arma. En los trece casos que

emplearon las victimas el tipo de arma calibre 0.22, la prueba para los residuo de disparo resultaron negativas como un resultado de la ausencia de antimonio y bario en el detonante primario de las municiones calibre 0.22<sup>(4)</sup>.

## 1. 2. Características de los elementos provenientes de un disparo.

### 1. 2.1. Antimonio (Sb).

Numero atómico 51, peso atómico 121.75, isótopos estables: Sb<sup>121</sup> 57.25%; Sb<sup>123</sup> 42.75%, Punto de fusión 630.63°C, punto de ebullición 1587°C, color blanco azulado.

Se encuentra en la naturaleza combinado con el azufre en la estibina o estibinita o antimonita Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>; la senarmontita o valentinita Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> es un producto de la descomposición de la estibina, las tetraedritas son sulfuros de cobre cuproso y antimonio 4 Cu<sub>2</sub>S • Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> que contiene con frecuencia plata y arsénico.

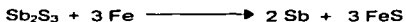
Debe el nombre de *antimonium* a Geber y el símbolo al latín *stibium*, los compuesto de antimonio se conocen desde la antigüedad, y como metal a comienzos del siglo XVII (1604). Posiblemente antes en el antiguo Egipto se usaba el sulfuro de antimonio como ungüento, colorete y para ennegrecer las uñas; Plinio (23-79 d.c) menciona al "*estibium*". No es abundante en peso de la corteza (2 X10<sup>-5</sup> %), pero se encuentra en más de 100 minerales e incluso nativo. El mineral mas frecuente es la estibina (conteniendo alrededor del 72 % de Sb).

La primera preparación del elemento puro data de 1604.

Se obtiene por dos métodos. En el mineral tostado se transforma en tetraóxido de antimonio y después se reduce a metal calentándolo con carbón:



o bien en un segundo procedimiento, se funde el mineral con hierro:



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

El antimonio en crudo así obtenido contiene arsénico, plomo, azufre, etc. Se puede refinar fundiendo con salitre que oxida las impurezas. El de alto grado de pureza (99.9 %) se obtiene por vía electrolítica<sup>(5)</sup>.

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 electrólisis 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.

El antimonio metálico no se altera al aire; calentando por encima de su punto de fusión arde con luz blanco-azulada formando  $Sb_2O_3$ . Con los halógenos reacciona muy vigorosamente, incluso a temperatura ambiente con fenómenos luminosos. Es un pobre conductor de la electricidad y del calor. El ácido clorhídrico lo disuelve lentamente, con desprendimiento de hidrógeno, índice de su carácter metálico; también en ácido sulfúrico, nítrico y fosfórico y en caliente con agua regia.

Entra a formar parte de las aleaciones fácilmente fusibles y bastantes duras, por ejemplo, en los tipos de imprenta que contienen del 15 al 25 % y en el metal blanco "britania" que contiene del 4 al 10 % de antimonio, aproximadamente el 2 % de cobre y el resto de estaño; una importante aplicación del plomo endurecido con antimonio consiste en la fabricación de acumuladores, además de dar mayor dureza y resistencia a la corrosión de los metales<sup>(5)</sup>.

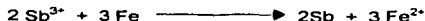
Se emplea en gran parte en la tecnología de semiconductores, en la fabricación de detectores infrarrojos, para incrementar la dureza del plomo: baterías, aleaciones antifricción, metal de tipo imprenta, armas pequeñas, balas trazadoras, revestimiento de cables y como óxidos (para esmaltes, pigmentos, vidrios, materias plásticas y productos químicos antiinflamables).

Entre los compuestos formados por antimonio, destacan:

**Hidrogeno antimoniado,  $SbH_3$  (estibina):** se forma con hidrógeno nascente y un compuesto soluble de antimonio, es un gas relativamente estable, de olor desagradable y tóxico, como en general lo son todos los compuestos de antimonio. Se descompone completamente por el oxígeno y por el calor; formando un espejo metálico que se distingue del formado por arsénico por su insolubilidad en solución de hipoclorito y por la menor facilidad de vaporizarse por calentamiento en corriente de hidrógeno, sobre la solución aun concentrada de nitrato de plata  $Ag_3Sb$  y, mientras el  $SbH_3$  da coloración amarilla.

**Compuestos halogenados.** El antimonio forma dos cloruros  $SbCl_3$  y  $SbCl_5$ .

El tricloruro,  $SbCl_3$ , es una masa incolora cristalina, blanda cuando no esta puro, llamada manteca de antimonio. Se emplea en el empavonado de objetos de hierro y de aceros (cañones de armas de fuego, etc.) y para colorear objetos de latón. En el tratamiento los mismos se cubren de una fina capa negra y uniforme de antimonio metálico formado según la reacción presentada, mientras la correspondiente cantidad de metal pasa a la solución como ion:



Quedando así protegidos eficazmente contra la oxidación.

Floruros y sulfosales.

El trisulfuro de antimonio  $Sb_2S_3$ , mineral estibina, se caracteriza por que mancha el papel casi como el grafito, el pentasulfuro ( $As_2S_5$ ) se usa como pigmento en la industria del caucho, para la preparación de la masa inflamable de las cerillas, de vidrios coloreados, barnices y en pirotecnia el producto comercial contiene siempre azufre libre.

### 1.2.2. BARIO (Ba).

Numero atómico 56, peso atómico 137.34, isótopos estables  $Ba^{138}$  71.83 %,  $Ba^{137}$  11.25 %,  $Ba^{134}$  2.39%.

De los magmas fundidos se separa junto con el potasio. En 1774, Scheele reconoció la barita como distinta a la cal y la llamó así por su densidad. Se encuentra en la naturaleza en cantidad 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 bien, fundida con carbonato de sodio:



A partir del sulfuro o del carbonato se preparan las otras sales.

El metal se obtuvo impuro por Davy en 1808. Este se prepara reduciendo a  $1200^\circ C$  en vacío al óxido de bario ( $BaO$ ) con aluminio o silicio:





El óxido de bario con el agua se hidrata enérgicamente dando el hidróxido  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  que cristaliza con 8 moléculas de agua. Se disuelve fácilmente en caliente.

El cloruro,  $\text{BaCl}_2$ , cristaliza de las soluciones acuosas como bihidrato  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , tiene sabor amargo y es venenoso como todas las sales solubles de bario.

El nitrato  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  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 para la preparación de fuegos artificiales dando una coloración verde.

El sulfato  $\text{BaSO}_4$ , es insoluble en agua, finamente dividido es difícilmente filtrable; se emplea como blanco fijo aunque su poder cubriente como pigmento es escaso. Sin embargo íntimamente con el sulfuro de zinc, se emplea en gran escala con el nombre de litopón como pigmento blanco de gran poder de recubrimiento. 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 si lo es en presencia de trazas de varias impurezas. Las sales de bario especialmente las volátiles, colorean la flama en verde amarillento.

### 1.2.3. PLOMO (Pb).

Número atómico 82, peso atómico 207.19, isótopos estables:  $\text{Pb}^{208}$  51.55%;  $\text{Pb}^{209}$  26.26%;  $\text{Pb}^{210}$  20.82%.

---

Conocido por los griegos que lo obtenían del Laurion y por los romanos que lo obtenían en España y en Britania y lo empleaban con el nombre de *plumbum* en tuberías para la conducción de agua. Geológicamente acompaña al zinc como sulfuro en los residuos hidrotermales.

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

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

El plomo endurecido para tipos de imprenta es una aleación de 15-25% de antimonio. La aleación para soldar está constituida por estaño y plomo; en aleación con arsénico sirve para perdigones de caza; a esta se le puede añadir Telurio en pequeñas dosis para mejorar la resistencia química. Su empleo en los proyectiles es debido a su alto peso específico<sup>(5)</sup>.

La importancia del estudio de los elementos antimonio, bario y plomo, radica en que forman parte importante 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.

**CAPITULO 2**  
**CLASIFICACIÓN DE LAS**  
**ARMAS DE FUEGO**



**2.1. 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".



Figura 2. Arma de fuego.

**2.2. Formas de clasificar a las armas de fuego:****2.2.1 De acuerdo a la longitud del cañón:**

- ⇒ Arma de fuego cortas: comprenden las variedades de revólveres, pistolas automáticas y pistolas ametralladoras.

TEMAS CON  
FALLA DE ORIGEN

- ⇒ **Armas de fuego largas:** Comprenden las variedades de escopetas de caza, fusiles, carabinas, fusiles ametralladoras y subfusiles o metralleta.

### **2.2.2. De acuerdo al tipo de anima:**

El termino anima se refiere al alma o hueco del cañón, incluyendo las paredes que lo conforman, y que tiene la función primaria de proporcionar dirección a los proyectiles que se disparan.

- ⇒ **De anima lisa,** como por ejemplo las escopetas: El anima lisa es una superficie pulida, y la función básica de los cañones de este tipo es la de resistir las presiones que se generan por la combustión del propelente, al igual que los golpes interiores de los proyectiles durante su desplazamiento a lo largo del cañón. Los cañones de anima lisa son los que carecen de cualquier tipo de estructura elaborada expreso, como serian formas o configuraciones en relieve que pudieran proveer a los proyectiles efectos especiales.
- ⇒ **De anima rayada,** como los revólveres, pistolas, fusiles, metralletas, etc: Los cañones de anima rayada son aquellos que se encuentran surcados con rayas o hendiduras en relieve y cuya función primordial es la de impartir al proyectil un movimiento rápido de giro rotacional. Para que éste obtenga la estabilidad necesaria a la salida de la boca del cañón, con lo cual asegura que el proyectil se mantenga con su punta hacia delante para vencer mas fácilmente la resistencia del aire como se ejemplifica en la figura 3, la cual muestra un fusil y detalle del rayado en el cañón.

Caracterizan a las armas de anima rayada los surcos y eminencias helicoidales que tienen dibujadas en al anima del cañón. Los primeros, es decir, los surcos se denominan estrías: las segundas, a saber, las prominencias helicoidales, campos o mesetas. La distancia en que una arista de una estría vuelve a la misma recta en la pared del anima, paralela al eje longitudinal de esta anima, se llama: largo

del rayado. El ángulo que forma esta recta con la espira, se denomina "ángulo de rayado". La dirección de las estrías puede ser de izquierda a derecha o a la inversa, según la fábrica que produce el arma. En el primer caso decimos que el rayado es en sentido "dextrorsum" el segundo "sinistrorsum".

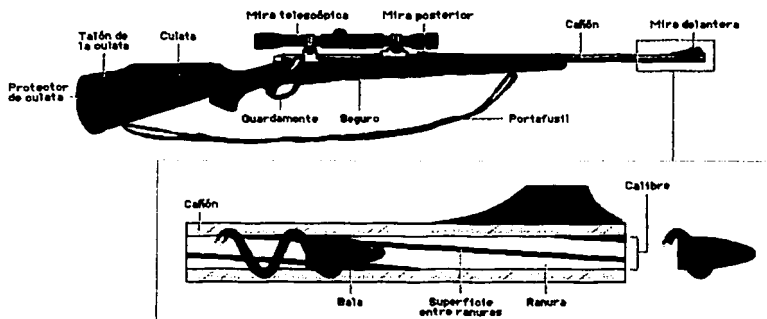


Figura 3. Arma larga y detalle del cañón.

Al igual que el número de estrías y campos lo mismo que su ancho y profundidad o altura, varía según la fabricación y el tipo de arma. Detalles que tienen importancia en la identificación de proyectiles.

### 2.2.3 Por su mecanismo de disparo.

Los revólveres y pistolas se clasifican de la siguiente manera:

- ⇒ El revolver; Así se nombra por que emplea un cilindro rotativo que contiene seis cámaras en promedio en la que los cartuchos están alojados. El disparo se realiza cuando una recama alinea el cartucho con el cañón y el percutor al momento en

TESIS CON  
 FOLLA DE ORIGEN

que se jala el martillo manualmente y presionando el disparador o únicamente presionando el disparador, y se subdividen en dos tipos de revólveres según su tipo de acción.

- ↳ Revólver de acción sencilla: Para ser disparado requiere que el usuario previamente monte el martillo manualmente, utilizando su dedo pulgar, para enseguida presionar el disparador y que el martillo caiga y se produzca el disparo.
- ↳ Revólver de doble acción: Únicamente requiere que el usuario ejerza suficiente fuerza sobre el disparador, para que la mecánica propia del arma levante el martillo y lo deje caer con violencia y originar la percusión del cartucho alineado con el eje del cañón.
- ↳ Pistola (automática y semiautomática) son así llamadas, porque aprovechan la fuerza del retroceso de los gases para producir la apertura del obturador y en consecuencia, la expulsión del casquillo percutido, para luego insertar un nuevo cartucho en la recámara del cañón. Las pistolas completamente automáticas no son muy utilizadas.

Pistolas	Monotiro	
	Semiautomáticas	
	Automáticas	Acción Sencilla
		Acción doble

#### 2.2.4. Clasificación de las armas largas por su mecanismo de disparo:

- ↳ De disparo único o monotiro.
- ↳ De repetición.
  - Acción de cerrojo.
  - Acción de palanca.
  - Acción de bomba o corredera.
- ↳ De combinación (rifle o escopeta.)
- ↳ Semiautomático (disparo tiro por tiro.)
- ↳ Automático (disparo en ráfaga.)

### 2.2.5. Por el tipo de calibre.

El calibre es sinónimo de diámetro, que a su vez corresponde a la medida o distancia de un extremo a otro de una circunferencia, en este caso hablamos del trazo interior del tubo que conforma el cañón de las armas, o de la medida exterior de la estructura cilíndrica de los proyectiles

Existe una separación de los términos empleados en balística, que consiste en establecer el significado de los conceptos de calibre real o verdadero y del calibre nominal.

- **Calibre real:** Se refiere al diámetro del proyectil, excluyendo las características particulares del correspondiente cartucho.
- **Calibre Nominal:** Es el nombre que se utiliza para designar el calibre específico de los cartuchos que las armas utilizan, también conocido como la nomenclatura del calibre de las armas de fuego, involucrado inicialmente el diámetro preciso o aproximado del proyectil seguida de la designación particular que se le proporciona al conjunto denominado cartucho.

De tal manera que el calibre nominal se encuentra ordinariamente representado por una medida seguida de una extensión, la que puede representarse por una simple referencia, un nombre, una abreviatura, u otra medida. ejemplos:

0.38	Especial	0.38	Super	0.223	Rem	7.62 X	39 mm
Medida	Extensión	Medida	Extensión	Medida	Extensión	Medida	Extensión

Los dos primeros ejemplos son significativos, por que ambas medidas identifican un calibre 0.38", sin embargo, las extensiones son desiguales, por lo que es obvio considerar que las características de ambos cartuchos originales son distintas, por lo tanto, los referidos calibres se encuentran diseñados para ser empleados en diferentes armas de fuego.

La extensión del tercer ejemplo corresponde a la abreviatura de la empresa Rémington que desarrollo el diámetro originalmente en el cartucho 0.223 Rem.

Con respecto al cuarto ejemplo (7.62 X 39 mm), la primera medida corresponde al diámetro aproximado del proyectil y la segunda extensión corresponde a la longitud específica del casquillo.

En la tabla 2. se encuadran las diferentes armas y la descripción de las mismas.

Tabla 2. Descripción de las diferentes armas.

DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN
FUSIL DE REPETICIÓN	Arma de fuego larga o de hombro, de cañón estriado, en la que el ciclo de carga y descarga la efectúa el tirador por medio de un mecanismo alimentado por un almacén cargador. Es arma de "Uso Civil" (hasta calibre 0,22 LR), o "Uso Civil Condicional" cuando supera dicho calibre.
FUSIL SEMIAUTOMÁTICO	Arma de fuego larga o de hombro, de cañón estriado, en la que el ciclo de carga y descarga se efectúa automáticamente cada vez que el tirador oprime el disparador, hasta agotar la munición del almacén cargador. Es arma de "Uso Civil" (hasta calibre 0 22 LR), y de "Uso Civil Condicional" las superiores a dicho calibre cuya alimentación no sea a través de cargadores de quita y pon. Son armas de "Uso Exclusivo para las Instituciones Armadas", las superiores al calibre .22 LR alimentadas con cargadores de quita y pon, su tenencia por parte de los usuarios requiere autorización previa de la Secretaria de la Defensa.
FUSIL AUTOMÁTICO CON SELECTOR DE FUEGO PARA TIRO SEMIAUTOMÁTICO	Arma de fuego larga o de hombro, de cañón estriado, en la que el tirador al presionar el disparador, se producen los tiros en ráfaga, hasta que deje de oprimirlo o se agote la munición del cargador. Este tipo de armas viene normalmente provista de un "selector de fuego", que consiste en un dispositivo mecánico que permite el tiro semiautomático. Es arma de "Uso Exclusivo para las Instituciones Armadas".

RECIBO CON  
 FECHA DE ORIGEN

FUSIL AUTOMÁTICO	Arma de fuego larga o de hombro, de cañón estriado, en la que el tirador al presionar el disparador, se producen los tiros en ráfaga, hasta que deje de oprimirlo o se agote la munición del cargador. Es arma de "Uso Exclusivo para las Instituciones Armadas".
FUSIL TIRO A TIRO DE CAÑONES YUXTAPUESTOS	Arma de fuego larga o de hombro, de cañones estriados, cuya carga y descarga se efectúa por medio de un sistema llamado "basculante", y donde la carga se produce manualmente. Los cañones se encuentran soldados en forma paralela horizontal. Se los conoce también como "FUSILES EXPRESSES". Es en general "Arma de Uso Civil Condicional", ya que sus calibres superan al 0.22 LR.
CARABINA TIRO A TIRO	Arma de fuego larga o de hombro, de cañón estriado, que por no estar provista de almacén cargador, el tirador efectúa manualmente la carga y descarga en cada disparo, pero con un largo de cañón inferior a los 560 mm. Es arma de "Uso Civil" (hasta calibre 0.22 LR), o "Uso Civil Condicional" cuando supera dicho calibre.
CARABINA DE REPETICION	Arma de fuego larga o de hombro, de cañón estriado, en la que el ciclo de carga y descarga la efectúa el tirador por medio de un mecanismo alimentado por un almacén cargador, pero con un largo de cañón inferior a los 560 mm. Es arma de "Uso Civil" (hasta calibre 0.22 LR), o "Uso Civil Condicional" cuando supera dicho calibre.
CARABINA AUTOMÁTICA	Arma de fuego larga o de hombro, de cañón estriado, en la que el tirador al presionar el disparador, se producen los tiros en ráfaga, hasta que deje de oprimirlo o se agote la munición del cargador, pero con un largo de cañón inferior a los 560 mm. Es arma de "Uso Exclusivo para las Instituciones Armadas".
CARABINA TIRO A TIRO DE CAÑONES YUXTAPUESTOS	Arma de fuego larga o de hombro, de cañones estriados, cuya carga y descarga se efectúa por medio de un sistema llamado "basculante", y donde la carga se produce manualmente. Los cañones se encuentran soldados en forma paralela horizontal, y son de un largo inferior a los 560 mm. Es en general "Arma de Uso Civil Condicional", ya que sus calibres superan al 0.22 LR.
ESCOPETA TIRO A TIRO DE UN CAÑÓN	Arma de fuego larga o de hombro, de cañón liso, que por no estar provista de almacén cargador, el tirador efectúa manualmente la carga y descarga en cada disparo. Su finalidad principal es el disparo de cartuchos con perdigones. Es "Arma de Uso Civil" cuando su cañón, medido de la boca a la recámara inclusive, es de 600 mm o más; de "Uso Civil Condicional", cuando su cañón es de 380 mm hasta 600 mm y de "Uso Prohibido" cuando su cañón es inferior a 380 mm.

<p>ESCOPEA TIRO A TIRO DE CAÑONES YUXTAPUESTOS</p>	<p>Arma de fuego larga o de hombro, de cañones lisos, cuya carga y descarga se efectúa por medio de un sistema llamado "<b>basculante</b>", y donde la carga se produce manualmente. Los cañones se encuentran soldados en forma paralela horizontal y su finalidad principal es el disparo de cartuchos con perdigones. Es "<b>Arma de Uso Civil</b>" cuando sus cañones, medidos de la boca a la recámara inclusive, son de 600 mm o más; de "<b>Uso Civil Condicional</b>", cuando sus cañones son de 380 mm hasta 600 mm y de "<b>Uso Prohibido</b>" cuando sus cañones son inferiores a 380 mm.</p>
<p>ESCOPEA TIRO A TIRO DE TRES CAÑONES LISOS</p>	<p>Se trata de una escopeta con sistema de cierre a báscula, cuyos tres cañones lisos se encuentran soldados en forma de trébol. Es "<b>Arma de Uso Civil</b>" cuando sus cañones, medidos de la boca a la recámara inclusive, son de 600 mm o más; de "<b>Uso Civil Condicional</b>", cuando sus cañones son de 380 mm hasta 600 mm y de "<b>Uso Prohibido</b>" cuando sus cañones son inferiores a 380 mm.</p>
<p>ESCOPEA DE REPETICION</p>	<p>Arma de fuego larga o de hombro, de cañón liso, en la que el ciclo de carga y descarga la efectúa el tirador por medio de un mecanismo alimentado por un almacén cargador y su finalidad principal es el disparo de cartuchos con perdigones. Es "<b>Arma de Uso Civil</b>" cuando su cañón, medido de la boca a la recámara inclusive, es de 600 mm o más; de "<b>Uso Civil Condicional</b>", cuando su cañón es de 380 mm hasta 600 mm y de "<b>Uso Prohibido</b>" cuando su cañón es inferior a 380 mm.</p>
<p>ESCOPEA SEMIAUTOMATICA</p>	<p>Arma de fuego larga o de hombro, de cañón liso, en la que el ciclo de carga y descarga se efectúa automáticamente cada vez que el tirador oprime el disparador, hasta agotar la munición del almacén cargador y su finalidad principal es el disparo de cartuchos con perdigones. Es arma de "<b>Uso Civil Condicional</b>" con independencia del largo de cañón, salvo que fuere inferior a 380 mm, que la hace de "<b>Uso Prohibido</b>".</p>
<p>ESCOPEA AUTOMATICA</p>	<p>Arma de fuego larga o de hombro, de cañón liso, en la que el tirador al presionar el disparador, se producen los tiros en ráfaga, hasta que deje de oprimirlo o se agote la munición del cargador y cuya finalidad principal es el disparo de cartuchos con perdigones, postas o proyectil de núcleo sólido único (bala). Se trata de armas para uso militar clasificadas de "<b>Uso Exclusivo para las Instituciones Armadas</b>".</p>
<p>PISTOLA AMETRALLADORA</p>	<p>Arma de fuego automática diseñada para ser empleada con una o ambas manos, apoyada o no en el cuerpo, que posee una recámara alineada permanentemente con el cañón. Dispara munición similar a la de pistola, o correspondientes a fusiles con vaina más corta y su cargador de gran capacidad es removible. Es arma de "<b>Uso Exclusivo para las Instituciones Armadas</b>".</p>



SUBAMETRALLADORA	Su nombre proviene de la traducción del inglés "sub machine gun", lo que para nosotros es "pistola ametralladora".  Es arma de "Uso Exclusivo para las Instituciones Armadas".
SUBAMETRALLADORA CON SELECTOR DE FUEGO PARA TIRO SEMIAUTOMATICO	Arma de fuego con "selector de fuego" para tiro semiautomático. Es arma de "Uso Exclusivo para las Instituciones Armadas".
PISTOLA TIRO A TIRO DE UN CAÑÓN ESTRIADO	Arma de fuego corta o de puño que no dispone de almacén cargador, por lo que el tirador efectúa manualmente la acción de carga y descarga en cada disparo. Es "Arma de Uso Civil" hasta calibre 0.32 y de "Uso Civil Condicional" las superiores a dicho calibre.
PISTOLA TIRO A TIRO DE DOS CAÑONES ESTRIADOS	Arma de fuego corta o de puño que no dispone de almacén cargador, por lo que el tirador efectúa manualmente la acción de carga y descarga en cada disparo, pero que tiene dos cañones, los que pueden ser superpuestos o yuxtapuestos. Es "Arma de Uso Civil" hasta calibre 0.32 y de "Uso Civil Condicional" las superiores a dicho calibre.
PISTOLA DE REPETICION	Arma de fuego corta o de puño que disponiendo de almacén cargador, el tirador por medio de un mecanismo sincrónico efectúa su carga y descarga. Es "Arma de Uso Civil" hasta calibre 0.25 (6,35 mm) y de "Uso Civil Condicional" las superiores a dicho calibre.
PISTOLA SEMIAUTOMATICA	Arma de fuego corta o de puño, en la que el ciclo de carga y descarga se efectúa automáticamente cada vez que el tirador oprime el disparador (gatillo), disparando tiro por tiro, hasta agotar la munición del almacén cargador. Es "Arma de Uso Civil" hasta calibre 0.25 (6,35 mm) y de "Uso Civil Condicional" las superiores a dicho calibre.
SUBFUSIL	Arma de fuego con apariencia de pistola ametralladora o subametralladora, pero que puede efectuar tiro semiautomático solamente. Es arma de "Uso Civil" (hasta calibre 0.22 ), de "Uso Civil Condicional" las superiores a dicho calibre cuya alimentación no sea a través de cargadores de quita y pon, o arma de "Uso Exclusivo para las Instituciones Armadas", las superiores al calibre 0.22 alimentadas con cargadores de quita y pon.
PISTOLA TIRO A TIRO COMBINADA	Arma de fuego de puño o corta, que dispone de dos cañones que pueden ser yuxtapuestos o superpuestos, de los cuales uno es estriado y otro liso para el tiro de cartuchos de perdigones. Es "Arma de Uso Civil" si el cañón estriado es hasta calibre 0.32.

<p>REVOLVER DE ACCION SIMPLE</p>	<p>Arma de fuego corta o de puño, de cañón estriado, que posee una serie de recámaras en un tambor o cilindro giratorio montado coaxialmente al cañón. Por medio de un mecanismo sincrónico hace girar el tambor alineando las recámaras sucesivamente con el cañón. Para su funcionamiento es necesario montar manualmente el martillo de percusión para cada disparo. Es "Arma de Uso Civil" hasta el calibre 0.32.</p>
<p>REVOLVER DE ACCIÓN SIMPLE Y DOBLE</p>	<p>Arma de fuego corta o de puño, de cañón estriado, que posee una serie de recámaras en un tambor o cilindro giratorio montado coaxialmente al cañón. Por medio de un mecanismo sincrónico hace girar el tambor alineando las recámaras sucesivamente con el cañón, pero que también puede disparar oprimiendo la cola del disparador (gatillo) sin haber montado el martillo. Es "Arma de Uso Civil" hasta el calibre 0.32.</p>
<p>REVOLVER DE ACCION DOBLE ÚNICAMENTE</p>	<p>Arma de fuego corta o de puño, de cañón estriado, que posee una serie de recámaras en un tambor o cilindro giratorio montado coaxialmente al cañón. Por medio de un mecanismo sincrónico hace girar el tambor alineando las recámaras sucesivamente con el cañón, pero por tener el gatillo oculto para evitar enganches al extraerlo, solamente puede ser disparado accionando el disparador. También se lo denomina "REVOLVER DE MARTILLO OCULTO" (en inglés: Hammerless). Es "Arma de Uso Civil" hasta el calibre 0.32.</p>

## **CAPITULO 3 CARTUCHOS**

### 3.1. Tipos de cartucho y su composición.

La palabra " cartucho" proviene del vocablo italiano cartuccia, el que a su vez, se deriva del latín carta, cuyo significado es papel. El hecho tiene su origen a finales del siglo XVI cuando los cartuchos iniciales fueron elaborados en papel, los que solo contenían la carga de pólvora, llevando los proyectiles separados. El cartucho fue perfeccionando hasta convertirlo en nuestros días en una sola pieza que contiene los cuatro elementos fundamentales.

### 3.2. Estructura de los cartuchos metálicos.

El cartucho es una pieza rígida conjunta por varios elementos que al ser introducidos en la recámara del cañón, y por los efectos de su disparo, se materializan las características balísticas del mismo. Los cartuchos constituyen la razón del empleo de las armas de fuego.

La forma mas clara para definir los cartuchos, es la de identificar los cuatro elementos básicos que lo conforman, pues están en estrecha relación con las características estructurales y de funcionalidad de las armas que los emplean. Estos componentes son los siguientes como se muestra en la figura 4:

- ⇒ Casco o casquillo (conocido como vaina).
- ⇒ Fulminante, detonador o capsula (conocido como pistón).
- ⇒ Carga de proyección o propelente (pólvora).
- ⇒ Proyectil o bala.

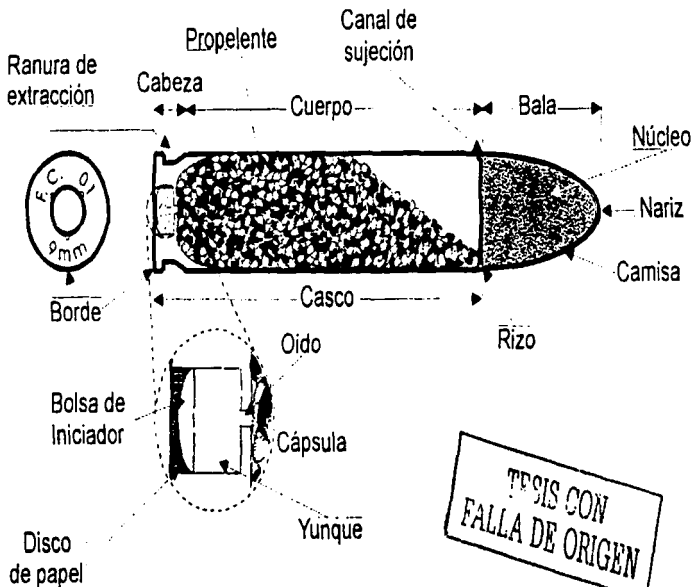
### 3.3. Clasificación de los cartuchos.

Al igual que las armas de fuego, los cartuchos también pueden sujetarse a tres clasificaciones fundamentales.

#### 3.3.1. Clasificación de los cartuchos por su aplicación y empleo:

- **Cartucho de guerra:** Este grupo se subdivide en ordinarios, cuyos proyectiles se presentan blindados, y en especiales, dentro de los que se encuentran los cartuchos de salva y con balas trazadoras, perforantes, explosivas, etc.
- **Cartuchos deportivos:** Este grupo comprende todos los cartuchos de empleo en cinegáticos, incluyendo la gran variedad de cartuchos de uso policiaco, de defensa personal, o ambos, disponibles comercialmente para la población civil.
- **Cartuchos de artificio particular:** En inglés se denominan Wildcat, y son desarrollados por el ingenio de particulares en búsqueda de una especial característica balística.
- **Cartuchos alimañeros:** En ingles se denominan Varmint, este termino se emplea para definir todo cartucho destinado a la caza de animales de tamaño pequeño, estos cartuchos suelen montar proyectiles de reducido calibre, de gran velocidad y de trayectorias rasantes.

Figura 4. Componentes de un cartucho.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

### 3.3.2. Por la cantidad de proyectiles que contienen los cartuchos se clasifican en:

- Cartuchos de proyectil único: Son aquellos que cuentan con un solo proyectil montado en su estructura.
- Cartucho de proyectiles múltiples: Son aquellos con los que cuentan con cantidades variadas de proyectiles contenidos en la misma pieza.

### 3.3.3. Por la forma de iniciar la deflagración de la pólvora se clasifican en:

- De fuego anular o periférico: También conocidos como de fuego circular, estos cartuchos tienen la particularidad de presentar la mezcla fulminante en la periferia o reborde del culote del casquillo. Actualmente se fabrican solo para cartuchos de pequeño calibre, como el 0.22 Corto. Las armas que emplean estos cartuchos efectúan la percusión sobre la pestaña del casquillo y actúa como yunque el plano, metálico del ingreso a la recámara del cañón.
- De fuego o de percusión central: Estos cartuchos presentan el fulminate o pistón en el centro del culote del casquillo. Para ser disparado únicamente se requiere que el percutor del arma impacte con suficiente violencia sobre la cápsula que contiene la mezcla, para que esto produzca la llamada iniciadora de la combustión de la carga de la pólvora.

### 3.4. Tipos y modelos de cartucho.

En la siguiente descripción se incluyen, algunos tipos y modelos de cartuchos empleados actualmente; Están sólo aquellos, que por su importancia o mayor actualidad se han considerado más interesantes.

#### 3.4.1. Cartucho 5.56 mm NATO.

El cartucho del calibre 5.56 mm NATO" es la notación militar para referirse al cartucho que usan, entre otros, el fusil M-16 (y sus variantes A-1 y A-2), el AR-15 norteamericanos, el GALIL israelita, el STEYR AUG austriaco, entre otros. La notación "comercial" es calibre 223". Una es de uso militar, muy frecuente en los ejércitos de América Latina, como lo muestra la figura 5.

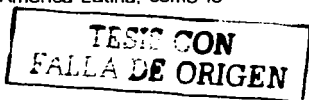
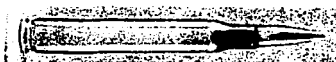


Figura 5. Cartucho característico de calibre 5.56 X 7.62 mm.

La organización del Tratado del Atlántico Norte, encabezada por Estados Unidos adoptó el calibre "7.62 mm", que fue conocida desde entonces como "7.62 NATO". El Pacto de Varsovia, encabezado por la entonces URSS, adoptó el mismo calibre, 7.62 mm, pero con el cartucho más corto que el del 7.62 NATO (51 mm. el NATO y 39 mm el soviético). El arma básica de infantería que usó el Pacto de Varsovia fue el fusil automático Kalashnikov ("AK"), el AK-47 aún prolifera en el mercado negro. Por su lado, la OTAN adoptó diversas armas para el calibre 7.62 mm x 55 mm, o "7.62 NATO". Entre ellas estuvo el Fusil Automático Ligero (FAL), de fabricación belga, y, más recientemente, G-3 de Patente Alemana. El ejército mexicano cambió el FAL por el G-3 y llegó a fabricarlo después de adquirir los derechos para ello. La nueva munición se designó 7,62 x 51 NATO y fue adoptada oficialmente el 15 de diciembre de 1953.

Estos son algunas de las municiones más empleadas, similares a las empleadas por otros fusiles del mundo.

### 3.4.2. Cartucho ordinario NATO 5,56 x 45 mm.

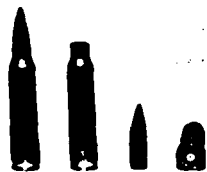


Figura 6. Foto y esquema de un cartucho 5.56 x 45 mm.

<b>Cartucho NATO Ordinario 5,56 x 45 mm TW7 Bala SS-109</b>	
<b>Calibre: 5,56 mm.</b>	
<b>Peso: 13,1g.</b>	
<b>Bala</b>	
<b>Tipo: Ojival aguda, troncocónica, ranurada.</b>	
<b>Envuelta: Latón 90/10</b>	
<b>Núcleo: ojiva acero, resto plomo-antimonioso</b>	
<b>Peso: 4,00g (+-0,1g).</b>	
<b>Vaina</b>	
<b>Tipo: Troncocónica golleteada con ranura</b>	
<b>Peso: 5,8g.</b>	
<b>Material: Latón 72/28</b>	
<b>Carga de proyección</b>	
<b>Tipo: Pólvora progresiva sin humo.</b>	
<b>Características: Esferoidal o tubular</b>	
<b>Cápsula</b>	
<b>Iniciador: Sinoxid</b>	
<b>Explosivo principal: Tetrinóx</b>	
<b>Características Balísticas</b>	
<b>Velocidad inicial: 915m/s</b>	
<b>Alcance eficaz: 1650m.</b>	

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

## 3.4.3. Cartucho trazador 5,56 x 45 mm.

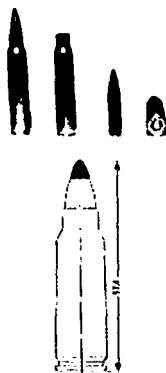


Figura 7. Foto y esquema de un cartucho trazador.

Cartucho Trazador 5,56x45mm.	
Calibre:	5,56 mm.
Clase:	Trazador
Tipo:	NATO
Peso:	12,07g.
	<b>Bala</b>
Tipo:	Ojival aguda (L-110)
Envuelta:	Latón 90/10
Núcleo:	Ojival acero, resto plomo-antimonioso y traza.
Peso:	4,2g.
	<b>Vaina</b>
Tipo:	Troncocónica golleteada con ranura.
Peso:	6,35g.
Material:	Latón 72/28
	<b>Carga de proyección</b>
Tipo:	Pólvora progresiva sin humo.
Características:	Esteroidal
	<b>Cápsula</b>
Iniciador:	Tetrinox
Explosivo principal:	Estimato de plomo
	<b>Características Balísticas</b>
Velocidad inicial:	875 ±12m/s
Presión en recámara:	Menor de 3877kg/cm <sup>2</sup>
Traza:	Se ve desde los 15 m hasta los 600 m mínimo

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## 3.4.4. Cartucho ordinario NATO 7,62 x 51 mm.



Cartucho Ordinario 7,62 x 51 mm NATO Nacional	
Calibre:	7,62 mm.
Tipo:	NATO Español FNP.
Peso:	24g.
Modelo:	64
	<b>Bala</b>
Tipo:	Ojival, aguda, troncocónica, blindada, con ranura.
Envuelta:	Latón 90/10
Núcleo:	Plomo-antimonioso.
Peso:	9,45g.
	<b>Vaina</b>
Tipo:	Golleteada con ranura.
Peso:	12g.
Material:	Latón 72/28



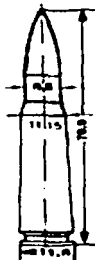


Figura 8. Foto y esquema de un cartucho nato.

<b>Carga de proyección</b>
<b>Tipo:</b> Pólvora progresiva sin humo.
<b>Características:</b> Cilíndrica monopercorada.
<b>Cápsula</b>
<b>Iniciador:</b> Mezcla no oxidante.
<b>Explosivo principal:</b> Tetrinox
<b>Características Balísticas</b>
<b>Velocidad inicial:</b> 815m/s
<b>Energía en boca:</b> Mayor de 300 kg/m.
<b>Presión en recámara:</b> Menor de 3500kg/cm2
<b>Fuerza de engarce:</b> Mayor de 28kg.
<b>Alcance máximo:</b> 3000 m.
<b>Alcance eficaz:</b> 800 m.
<b>Estanqueidad al agua absoluta.</b>
<b>Perforación:</b> 3,5 mm en chapa de acero dulce a 500 m.

TEMAS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.4.5. Cartucho trazador NATO 7,62 x 51 mm.



<b>Cartucho Trazador 7,62 x51 mm. NATO Nacional</b>
<b>Calibre:</b> 7,62 mm.
<b>Clase:</b> Guerra
<b>Tipo:</b> NATO Español SB.
<b>Peso:</b> 24 g.
<b>Modelo:</b> 70
<b>Fecha tope de empleo:</b> 10 años.
<b>Identificación:</b> Punta pintada en rojo, la unión de la bala a la La traza se ve desde 13,5 hasta 777 m como mínimo.
<b>Bala</b>
<b>Tipo:</b> Ojival, aguda, blindada, con ranura y moleteada (para
<b>Envuelta:</b> Acero latonado.
<b>Núcleo:</b> De plomo-antimonioso y traza en su parte posterior de
<b>Peso:</b> 9 g.
<b>Vaina</b>
<b>Tipo:</b> Golleteada con ranura.
<b>Peso:</b> 12 g.

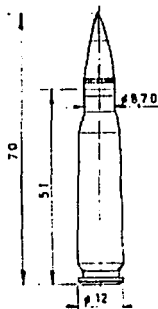


Figura 9. Foto y esquema de un cartucho trazador nato.

<b>Peso:</b> 12 g.
<b>Material:</b> Latón 72/28
<b>Carga de proyección</b>
<b>Tipo:</b> Pólvora progresiva sin humo.
<b>Características:</b> Cilíndrica monop perforada.
<b>Cápsula</b>
<b>Iniciador:</b> Mezcla no oxidante.
<b>Explosivo principal:</b> Tetrinox
<b>Características Balísticas</b>
<b>Velocidad inicial:</b> 830 m/s
<b>Energía en boca:</b> Mayor de 325 kg/m.
<b>Presión en recámara:</b> Menor de 3500 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Fuerza de engarce:</b> Mayor de 28 kg.
<b>Alcance máximo:</b> 3000 m.
<b>Alcance eficaz:</b> 800 m.
<b>Etanqueidad al agua absoluta.</b>
<b>Recorrido durante el cual la traza es visible:</b> entre 114 y 777 m
<b>Precisión:</b> Radio medio, menor de 38,1 cm a 550 m.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.5. Cascos o casquillos.

Se le conoce como casco o casquillo al recipiente que contiene al fulminante, la carga de pólvora y a el proyectil, y que en cu conjunto se denomina cartucho, pero cuando sufre el proceso de combustión y queda únicamente el objeto metálico toma el nombre de casquillo. Los casquillos actuales se fabrican principalmente en latón, que es una aleación básica de 70% cobre y 30 % de zinc, y puede variar de acuerdo con las consideraciones de cada fabricante. Otros materiales que se emplean en la elaboración de casquillos son, el acero y el aluminio y aun el plástico. El acero es el siguiente material más utilizado para fabricar casquillos con resultados satisfactorios, el que debido a la facilidad de oxidación se le suele proveer de algún tratamiento protector externo, como el barnizado, pavonado, latonado o cobreado. El aluminio es un metal abundante y abarata enormemente la fabricación de casquillos, por lo que desde hace varios años se viene empleando con éxito.

**3.5.1. Función del casquillo:**

- => Contener en una sola pieza al proyectil, al pistón y la pólvora.
- => Proveer un ambiente a prueba de agua para la carga del proyectil (pólvora).
- => Cerrar obturando adecuadamente el escape de los gases de retroceso en la recámara y por expansión del mismo casquillo.

En general existen dos formas de cascos de cartuchos para la zona que sujeta al proyectil recto y con cuello de botella

**3.6. Clasificación de los cascos.**

Los cascos se pueden clasificar de diferentes maneras, como puede ser:

A. POR SU CONFORMACIÓN. { CON CUELLO DE BOTELLA  
RECTOS

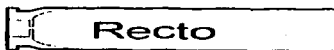
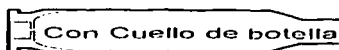
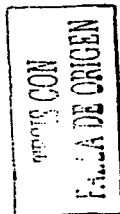


Figura 10. Esquema de tipos de casquillos.

B. POR SU BASE { BORDEADO  
SEMIBORDEADO  
SIN BORDE  
RIBETEADO  
CON FAJILLA



El casquillo bordeado tiene un realce de diámetro mayor que el de la cubierta del cuerpo del cartucho.

El casquillo semibordeado tiene un realce que es mayor al cuerpo de la ojiva, pero, además, tiene una ranura alrededor del cuerpo de la cubierta justo enfrente del realce.

La cubierta de un cartucho sin borde tiene un realce para poder extraer la ojiva, cuyo diámetro es el mismo que el cuerpo del casquillo y enfrente del realce.

El casquillo de un cartucho ribeteado tiene un borde extractor que es menor que el diámetro del casquillo. Una ranura alrededor del cuerpo del casquillo esta presente frente al borde. El propósito del borde ribeteado es permitir el uso de un cerrojo de diámetro estándar con un cartucho de diámetro amplio.

El casquillo de un cartucho con fajilla, tiene un pronunciado cinturón que bordea el cuerpo del casquillo del cartucho enfrente a la ranura en el cuerpo. El diámetro del borde extractor carece de importancia, como se muestra en la figura 11.

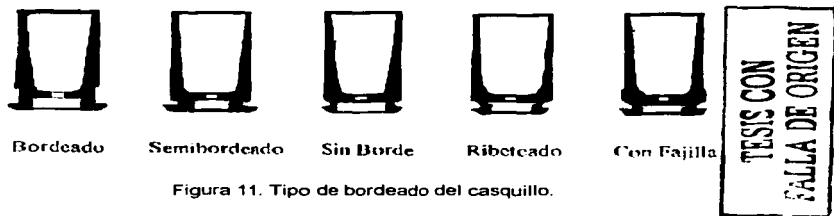


Figura 11. Tipo de bordeado del casquillo.

### C. POR LA FORMA EN QUE ES PERCUTIDO.

CENTRAL  
ANULAR

Los cartuchos de armas pequeñas están clasificados como de percusión central o de percusión anular, dependiendo de la localización del detonador. En los cartuchos de percusión central, el detonador está localizado en la base del casquillo del cartucho, los detonadores vienen en cuatro tamaños: para rifle grande, rifle pequeño, para pistolas

grande y pistola pequeña. Los detonadores grandes miden 0.210 pulgadas de diámetro, mientras que los pequeños miden 0.175 pulgadas de diámetro.

Cuando un arma es disparada, el percutor golpea el centro del depósito del detonador, comprimiendo a los dos componentes del detonador entre el depósito y el yunque, causando la explosión. Los orificios del yunque permiten que la flama pase a través del hueco del disparador dentro del casquillo logrando así la ignición del propulsor.

Los proyectiles de percusión anular o en el borde, como es el caso del calibre 0.22", no contienen un detonador ensablado. En cambio, la composición del detonador es colocada dentro del borde del casquillo del cartucho con el propulsor en contacto directo con estos componentes.

Durante el disparo el martillo golpea la orilla del casquillo del cartucho, comprimiendo a los componentes del detonador e iniciando su detonación. La mezcla utilizada en los calibres 0.22" corto manufacturados por la empresa Winchester contienen compuestos de plomo y bario, los cartuchos Federales utilizan compuestos de plomo, bario y antimonio. Los cartuchos de la empresa Remington bordeados contienen únicamente compuestos de plomo.

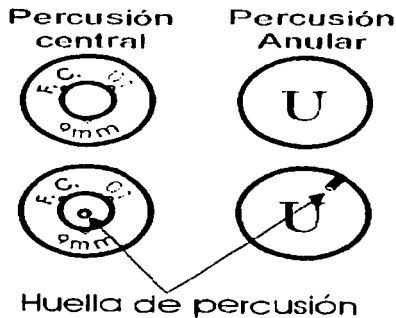
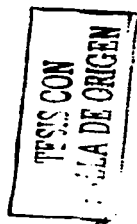


Figura 12. Tipo de percusión de un casco.



---

### 3.7. proyectiles o balas.

El término proyectil proviene del latín *projectus*, que significa "hacia delante", de tal manera que un proyectil es cualquier cuerpo sólido que, debido a la velocidad con que el que es lanzado, puede alcanzar un objetivo y producir efectos sobre el mismo.

Por su parte la palabra bala se refiere al proyectil específico que disparan las armas de fuego, de tal manera, se puede deducir que todas las balas son proyectiles, pero que no todos los proyectiles son balas. Los proyectiles pueden ser tanto balas como perdigones o postas, con una forma peso, calibre, estructura y composición característica.

La bala es la parte del cartucho que sale por el cañón del arma de fuego cuando esta es disparada. Las balas fueron originalmente esferas de plomo. Las armas con estrías en su interior lograban recorrer mayores distancias y un importante incremento en la precisión, sin embargo, la forma esférica del proyectil le daba un pobre desempeño, además de la pérdida de velocidad, por lo que se desarrollo la bala con diámetro menor en la punta que en la parte terminal.

En un inicio las balas fueron hechas únicamente de plomo y posteriormente se les puso una cubierta de otro material.

Las balas pueden ser redondas o puntiagudas, entre otras, están hechas solo de plomo, u otro metal y cubiertas con una chaqueta o camisa. Las balas de plomo ordinarias son por lo general de calibre pequeño, las balas encamisadas pueden ser de cualquier calibre, están cubiertas con una delgada hoja de metal, la cual puede ser de cobre, bronce, níquel, acero, entre otros.

El poder de detención de estas balas varia considerablemente, las balas encamisadas tienen tendencia a rebotar o sufrir explosión al contacto con una superficie dura, mientras que las balas de plomo (sin recubrimiento) se achatan completamente. Algunas son hechas para expandirse, haciendo ranuras o incisiones en la punta del proyectil.

## **CAPITULO 4 FULMINANTE**

#### 4.1. Fulminante o pistón.

Se le denomina fulminante o pistón al explosivo destinado a dar fuego a la carga de proyección, dentro de los materiales iniciadores se encuentran los explosivos o las mezclas de explosivos que detonan simplemente por acciones caloríficas o mecánicas, pudiendo provocar la detonación de otros explosivos. Se emplean en otras formas como cargas de iniciación que se inflaman por impacto produciendo una pequeña flama la cual sirve para iniciar la deflagración de los explosivos o cargas principales, para el caso de los cartuchos<sup>(6)</sup>.

El pistón al ser percutido, tiene la función de iniciar la deflagración de la pólvora mediante una llamarada de fuego que se transmite a través de las chimeneas u orificios de destello en los casquillos. La cápsula de los pistones generalmente es de bronce o de algún otro metal maleable, diseñado en forma de copa o recipiente circular, en el que se deposita la mezcla fulminante protegida por un disco de papel especial. Otros términos con los cuales se conoce al pistón, son detonador, iniciador, cebo, capsul, estopin, o bien en ingles, primer.

Los primeros pistones contenían una mezcla de clorato de potasio y fulminato de mercurio, elementos que producían altos niveles de corrosión en las estructuras metálicas de las armas, disminuyendo el tiempo de utilidad.

Normalmente, las cargas de iniciación están formadas por mezclas mientras que las detonaciones, en la mayoría de los casos, suelen ser de naturaleza uniforme. A las materias fulminantes se les exige para su empleo una elevada estabilidad de almacenaje; se excluyen las materias que reaccionan entre si.

Dentro de la lista de explosivos iniciadores se mencionan:

Fulminato de mercurio  $[Hg(CON)_2]$ , fulminato de plata  $[Ag(CON)_2]$ , azida de plomo  $[Pb(N_3)_2]$ , nitruro de plata o azida de plata  $(AgN_3)$ , trinitrorresorcinato de plomo o stífnato de plomo  $[C_6H(NO_2)_3Pb \cdot H_2O]$ , nitroacetilurio de plata  $[Ag_2C_2 \cdot AgNO_3]$ , carburo cuproso



( $C_2Cu_2$ ), tetraceno ( $C_2H_6ON_{10}$ ), diazodinitrofenol [ $C_6H_2(NO_2)_2N_2$ ] y el perclorato de diazonitrofenol [ $C_6H_2(NO_2)_2N_2ClO_4$ ]<sup>(7)</sup>.

Los componentes del explosivo detonante originalmente fueron hechos de fulminato de mercurio. Sin embargo; en el disparo, el mercurio es liberado, amalgamándose con el latón del casco del cartucho, haciéndolo quebradizo y arruinándolo para ser reutilizado. En suma, el almacenamiento de los proyectiles que contienen detonadores de mercurio por largos periodos de tiempo provoca el deterioro del latón por acción del mercurio.

Para acelerar la acción de la llama, se añade a las cargas mixtas de los estopines, clorato potásico y sulfuro de antimonio en polvo ( para aumentar su sensibilidad vidrio ) y siliciuro de calcio. Para estopines anticorrosivos se usa el nitrato de bario, en lugar del clorato de potasio. Como sustancia aglutinante se emplea la goma arábica o goma laca. Frecuentemente se agregan también a las mezclas pequeñas cantidades de peróxidos o dióxidos, cromatos, carbonatos, sulfocianuros y nitrocompuestos generalmente; si solamente interesa la transmisión de la llama en el preso de iniciación, se emplea la pólvora negra.

Estos compuestos clorados fueron posteriormente sustituidos ya que en las descargas se descomponían en sales de cloro, causando severas corrosiones en los tubos de los cañones de las armas.

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

- ⇒ Ácido nítrico (95 % de pureza).
- ⇒ Bicarbonato de aminoguanidina.
- ⇒ Goma arábica.
- ⇒ Nitrato de plomo.
- ⇒ Nitrato de sodio.

- ⇒ Óxido de magnesio.
- ⇒ Resorcinol.
- ⇒ Sulfuro de amonio.
- ⇒ Ácido sulfúrico.
- ⇒ 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 tienen un efecto considerable en la precisión de cada disparo. La clave para el buen desempeño del pistón es su sensibilidad, es decir, la seguridad de que el fulminante explote con la fuerza necesaria impartida por el impulso del percutor de las armas. La clave para asegurar la sensibilidad del pistón corresponde a la calidad de su mezcla detonante.

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 protegerlos 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.

En los cartuchos de fuego anular o circular, como los de calibre 0.22, no se presenta el fulminante por separado, pues la mezcla iniciadora se encuentra en el interior de la periferia del culote, en consecuencia, la pólvora y la mezcla están prácticamente en contacto directo: al percudir el cartucho de fuego anular, la mezcla explota y enciende la carga del propelente, la percusión de un cartucho de fuego anular necesariamente debe efectuarse sobre el borde del culote del casquillo y no sobre el centro del mismo, pero hay quienes creen, que si la marca del percutor no se encuentra al centro de la base de los casquillos es indicativo de que el arma se encuentra en deficientes condiciones.

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 ésta entre la copa

y el plano metálico que se utiliza como yunque), lo que provoca que la mezcla explote y produzca una llamarada en forma de lengua, que inicia la deflagración del propelente.

#### 4.2. Mezclas de iniciación.

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

Sustancias empleadas en las mezclas de iniciación:

##### 4.2.1. Mixto fulminato de mercurio.

Esta mezcla consta de tres componentes principales.

- ⇒ Fulminato de mercurio [  $\text{Hg}(\text{CON})_2$  ], es el explosivo de la cápsula.
- ⇒ Nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ ), es el portador de oxígeno.
- ⇒ Trisulfuro de antimonio ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ), actúa como friccionante, hace que la combustión produzca la flama o chispa, también favorece la deflagración de la composición.

##### 4.2.2 Mixto trinitrorresorcinato de plomo.

Esta mezcla consta de los siguientes componentes:

- ⇒ Trinitrorresorcinato de plomo [  $\text{Pb}(\text{CNS})_2$  ], es el explosivo de la cápsula.
- ⇒ Tetraceno [ $\text{C}_{24}\text{H}_{50}$ ].
- ⇒ Solución de goma arabiga, aglutinante.
- ⇒ Polvo de aluminio [  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ], para aumentar la sensibilidad.
- ⇒ Mezcla primaria compuesta por sulfuro de antimonio [ $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ] y nitrato de bario [ $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ ].

##### 4.2.3. Eleyprime.

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

- Ácido estífnico.

- Óxido de plomo.
- Nitrato de bario [ $Ba(NO_3)_2$ ].
- Sulfuro de calcio.
- Tetraceno [ $C_{24}H_{50}$ ].

La detección de elementos como Sb, Pb y Ba principalmente, que forman estos compuestos constituye la base de las pruebas para determinar si un individuo ha disparado o no un arma de fuego.

#### 4.3. Propelente.

Los explosivos propulsores también se les conoce como propelentes o bajos explosivos. Componen esta clasificación, los materiales combustibles que contienen dentro de sí mismos el oxígeno necesario para su combustión; se quema en forma lenta y progresiva sin hacer explosión; sin embargo, se encuentran confinados y detonan en virtud de la presión generada por el acumulamiento de los gases dentro de dicho confinamiento.

Como su nombre lo indica, son apropiados para usarse cuando se requieren tener efectos de propulsión, ya que es posible regular su velocidad de combustión (durante su fabricación), de tal manera que se eviten las presiones excesivas para lograr efectos balísticos deseados.

##### 4.3.1. Pólvora negra.

La pólvora es el propelente que da velocidad al proyectil. La voz pólvora se 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 el principal componente, ya que libera el 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 del 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 a ésta.

Cuando la pólvora negra arde adecuadamente, el 44% de su peso original produce gases y el 56% residuos sólidos. Estos residuos aparecen principalmente como una densa nube blanca.

Existen tres variedades de pólvora negra: De grano grueso, de grano fino y de 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. Por otra parte, los granos más gruesos de pólvora negra presentan mayor resistencia a la combustión debido a esto, en las armas de pedernal se usaba un cebo o iniciador de pólvora más fina, que resulta rápida en su combustión.

En el caso de las pólvoras 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.

#### 4.3.2. Pólvora sin humo.

Actualmente se emplean dos tipos de pólvoras para la carga de cartuchos convencionales, las conocidas como de *una base* y las de *doble base*. En las de una base el componente principal es la celulosa de algodón tratada con ácido nítrico, que forma la nitrocelulosa. Esta 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. Esa masa pastosa denominada como pólvora base, cuando se seca puede cortarse en diversas formas.

La nitrocelulosa en si 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 francés Vieille, 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 instantánea 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 la 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. La composición básica de las pólvoras de doble base es la siguiente:

Nitrocelulosa	$(C_6H_{10}O_5)_x(NO_3)$
Carbonato de Calcio	$CaCO_3$
Alcohol etílico	$C_2H_5OH$
Difenilamina	$C_6H_5NHC_6H_5$
Dibutilftalato	$C_8H_4(COOC_4H_9)_2$
Sulfato de potasio.	$K_2SO_4$
Ftalato de butilo	$C_8H_4(COOHCOOC_4H_9)$
Nitrato de potasio	$KNO_3$

Dinitrotolueno	$(\text{NO}_2)_2\text{C}_6\text{H}_3\text{CH}_3$
Acetona	$\text{CH}_3\text{COCH}_3$
Nitroglicerina	$\text{C}_3\text{H}_5(\text{NO}_3)_3$
Nitroguanidina	$\text{CH}_4\text{N}_4\text{O}_2$
Grafito.	Carbono

#### 4.3.3. Ventajas de las pólvoras de doble base:

- ⇒ 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 higroscópicas, es decir, presentan resistencia a absorber humedad, por lo que se pueden almacenar por largos periodos de tiempo 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.

#### 4.3.4. Granos de las 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: desde las pólvoras que utilizan los cartuchos del calibre 0.22 corto, que se observan como granitos de arena, hasta el calibre naval de los cañones de 16 pulgadas, en donde cada grano de pólvora es un cilindro que mide 1 pulgada de diámetro por  $2 \frac{1}{2}$  pulgadas de longitud. 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 varia según el tipo.
- ↳ Esferas. La pólvora esférica se llama así porque se presenta en diminutas esferas.

El término rapidez se emplea para expresar que tan pronto se quema una pólvora hasta agotarse, así como la relación 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 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.



## **CAPITULO 5 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS**

---

## 5.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS 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, colectivamente se pueden referir como residuos del disparo del arma de fuego o residuos de la 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 de un arma, 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 usado para determinar si una persona disparo 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 metales que se encuentran alojados en el ánima del cañón, en la bala, encamisado de la bala y en la cubierta del casquillo.

La formación de los residuos genera un gran calor por la ignición de la mezcla del fulminante, los componentes inorgánicos y orgánicos que se unen al vapor saturando al

mismo, los cuales se condensan dentro de 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, comúnmente esféricas (esferoidal nodular, esférica irregular, esférica cóncava, esférica 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 micro esferas de distintos residuos de los cartuchos y de la misma anima del cañón.

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

- ↪ Primera involucra a el iniciador de la explosión que esta compuesto por (estigmate de plomo, azida de plomo y fulminato de mercurio).
- ↪ Segunda, involucra al agente oxidante el cual esta compuesto por (nitrate de bario, peroxide de bario, nitrate de plomo, peróxido de plomo).
- ↪ Tercera, involucra el combustible el cual esta compuesto por (sulfite de amonio, siliciuro de calcio, tiocianato de plomo y polvo de zirconio, aluminio, magnesio o titanio).
- ↪ Cuarta de los sensibilizantes que son de compuestos puramente orgánicos (tetraceno, pentaeritritolnitrato, trinitro y trietil tolueno).

## 5.2. 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 (Figura 13 y 14.)

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

- ↪ Nitrate de potasio: Procede de la deflagración de la carga de 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: Proceden de la bala cuando se encuentra cubierta con camisa del mismo material.

**Los elementos constantes en el cono anterior de 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. 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 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 calibre del cartucho, el fogonazo o llama puede manifestarse hasta a 30 centímetros de longitud aproximadamente.
- ⇒ Nitrato de potasio: Procede de la deflagración de la carga de pólvora del cartucho.
- ⇒ Nitritos de potasio y de 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: Procedentes del fulminante.
- ⇒ Elementos de Plomo: Procedentes de la bala.
- ⇒ Elementos de antimonio: Proceden del fulminante.
- ⇒ Elementos de Cobre: Proceden de la bala, cuando esta cubierta con camisa del mismo material.
- ⇒ Elementos de acero: Proceden de la bala cuando está encamisada con el mismo material.

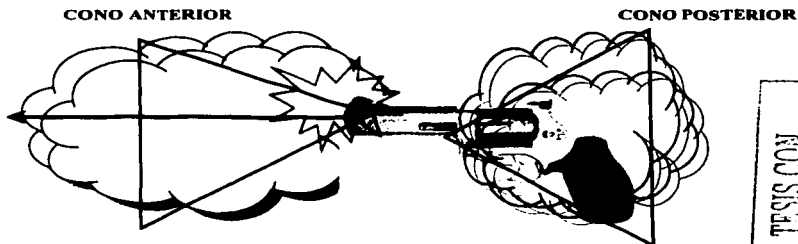


Figura 13. Cono de deflagración formados al realizar un disparo.

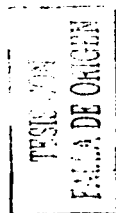
TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



Figura 14. Fotografía de la detonación de un arma corta tipo revólver.

### 5.3. Secuencia al realizar un disparo.

- a) 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 para su combustión.
- b) 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, 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.
- c) 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.
- d) 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 anima del cañón hasta la boca del cañón.
  - e) La bala al salir, va acompañada de estos gases por la boca del cañón y por el espacio existente entre el cilindro y el cañón en los revólveres y en las pistolas por las ventanas de eyección laterales o superiores.

Retomando lo anterior; dependiendo del tipo de arma, los proyectiles de los cartuchos, que los hay sin cubierta o camisa, formados por aleaciones de plomo, antimonio, zinc, cobre, níquel, titanio, aluminio, plata, hierro, estroncio, mezclas 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 puede desprender generalmente, hierro, níquel y cobre entre otros.

Del anima del cañón que esta hecha de aleaciones de acero, comúnmente con alto contenido de hierro.

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

En la mezcla de la carga de pólvora puede existir hasta 30 diferentes componentes; sustancias químico-orgánicas con diversas funciones como pueden ser: Estabilizadores y explosivos, inhibidores de flama, catalizadores de reacción, plastificantes, enfriadores, moderadores de reacción, antiinflamantes, lubricantes de superficies, antidesgastantes, etc. Entre los anteriores podemos mencionar tetranitrato de pentaeritriol, nitrocelulosa, nitrodifenilamina, metil etil butil ftalato, gliceril triacetato, etil centralito, grafito, etc.

**CAPITULO 6  
MÉTODOS DE ANÁLISIS.**



### 6.1. Métodos de análisis de residuos por disparo de arma de fuego.

La escasez de tiempo con que cuenta en algunos casos el perito químico para dictaminar y las restricciones de orden económico, obligaron a seleccionar entre las numerosas técnicas aquellas que cumplieron los siguiente requisitos; realización fácil y rápida, bajo costo, confiabilidad y resultados que ofrezcan un razonable margen de seguridad.

De la problemática basada en la observación de los hechos, origina las siguientes preguntas o incógnitas:

- ⇒ Primero: la mano que dispara un arma de fuego casi siempre resulta maculada con derivados de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_2^{-1}$  y  $\text{NO}_3^{-1}$ ) 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 si 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.
  
- ⇒ Segundo. Cuando se hace un disparo próximo al blanco, casi siempre éste resulta maculado con derivados nitrados ( $\text{NO}_2$  y  $\text{NO}_3$ ) 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 el proyectil.

### 6.2. 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, los que se desprenden como resultado de la deflagración de la pólvora y maculan el objeto de tiro cuando éste se encuentra próximo.

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

### **6.3. Prueba de la parafina.**

La primera de este tipo fue la prueba de la parafina, también conocida como la prueba de nitrato dérmico, se basa en identificar químicamente los derivados nitrados resultantes de la deflagración de la pólvora que pudieran haber maculado la mano de quien acciono el arma de fuego, sin embargo, presente las siguientes limitaciones:

- ↪ Los reactivos químicos utilizados no son específicos para los compuestos nitrados provenientes de la deflagración de la pólvora ocasionada por el disparo de un arma de fuego, reaccionan genéricamente con los compuestos nitrados e inclusive con sustancias que sin ser nitradas 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.

En resumen: los reactivos no son específicos para los compuestos provenientes de la deflagración de la pólvora ocasionada por el disparo de un arma de fuego.

### **6.4. Prueba de rodizonato de sodio.**

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

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 partículas fundidas, estas partículas que difieren en tamaño y en resistencia al aire vuelan junto con la bala una considerable distancia. Dependiendo de la

distancia del disparo, una mayor o menor 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 puede detectar el bario junto con el plomo.

Este método se basa en la identificación química de bario y plomo en las manos de quien dispara un arma de fuego, elementos que son expulsados en el preciso momento de accionarla, 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, y 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, esta se basa en la detección química de bario y plomo mediante trifeníl-arsonio, elementos que son expulsados en el momento mismo del disparo.

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 trifeníl-arsonio no está disponible comercialmente, debiendo ser sintetizado de inmediato.

### **6.5. 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 radiactividad 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 ( $\text{BaSO}_4$ ) y el antimonio como  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  y la cantidad de radiación en rayos-gama para cada uno de los compuestos. Comparando la radiación emitida por patrones de bario y antimonio con radiaciones similares de residuos desconocidos, la cantidad de bario y antimonio puede ser medidas 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.

#### **6.6. Espectrometría de microscopía 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 microscopía acoplado al detector selectivo de rayos X, en búsqueda de partículas de residuo 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 en cada partícula.

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 esta 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-antimonio-bario y antimonio-bario son consideradas características de residuos provenientes de disparo de 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% de las veces el residuo será detectable; en los casos de fusiles y escopetas, el 50%. En las armas largas, los fusiles constituyeron la mayoría de los residuos negativos. 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 litio y zinc.

La técnica de SEM-EDX, presenta la 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 cuantificarlo como en el caso de la Absorción Atómica.

### **6.7. Espectroscopia de plasma-masa acoplada inductivamente (ICP-MS).**

La tecnología ICP fue desarrollada bajo principios similares de la Espectrometría de Emisión Atómica en donde las muestras se decomponen en elementos neutros, en un plasma de argón a altas temperaturas y basando el análisis en la proporción de carga de sus masas. Un ICP-MS puede pensarse como un instrumento de cuatro principales procesos como son: la introducción de la muestra y su generación en aerosol, la ionización por una fuente de un plasma de argón, discriminación de masa y un 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 del argón a altas 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 mas gas argón. Una espiral de acoplamiento se usa para transmitir la radio frecuencia que excita el gas argón, produciendo un plasma "una flama de argón", localizada en el centro del espiral el calor del plasma elimina cualquier sobrante de disolvente, provocando que la muestra atomizada fluya por ionización. Además de ionizarse los átomos de la muestra son excitados por el calor del plasma, un fenómeno que se ocupa en el ICP de Espectroscopia de Emisión Atómica. La muestra atomizada se mueve dentro del cuerpo de la antorcha. En la parte superior existen dos tubos de cuarzo y un tubo interno inyector de alúmina.

**CAPITULO 7  
ESPECTROFOTOMETRÍA DE  
ABSORCIÓN ATÓMICA.**

7.1. Espectrofotometría de absorción atómica.

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

En un análisis 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.

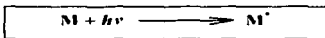
Cada elemento o átomo emite o absorbe luz a longitudes o intervalos de onda finitos, ésta característica se puede utilizar para su identificación y cuantificación. Esta longitud de onda se conoce como línea de resonancia del elemento.

Walsh demostró que la anchura natural de la línea de resonancia es del orden  $10^{-5}$  nm, sin embargo, varios procesos provocan su ensanchamiento. El efecto Dopler es uno de ellos y depende directamente de la temperatura. El efecto Lorenz es otro y esta relacionado con las colisiones que se producen entre los átomos.

El espectro de absorción atómica de un elemento consta de 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 producir bandas muy estrechas, puesto que si diera bandas amplias o radiación continua, la mayor parte de la luz pasaría sin ser absorbida.

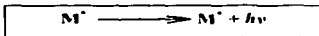
Además, debe de emitir radiación exactamente de la misma longitud de onda que de la línea de resonancia del elemento en estudio.

Si un rayo de frecuencia característica atraviesa el vapor que contiene los átomos, estos absorben fotones pasando del estado basal al estado excitado:



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Estos átomos, al regresar a su estado basa, emiten fotones de la misma frecuencia:



El numero de átomos  $N_j$  que son excitados a un estado de energía  $j$  pueden expresarse como una función de Boltzmann:

$$N_j = N_0 \left( \frac{g_j}{g_0} \right)^{-\frac{E_j}{kT}}$$

En donde:

- $N_0$**  = Número de átomos en estado basal.
- $g_j$  y  $g_0$**  = Pesos estadísticos de los estados excitados y basal respectivamente.
- $E_j$**  = Energía de excitación.
- $T$**  = Temperatura absoluta.
- $K$**  = Constante de Boltzmann ( $1.38 \times 10^{-16}$  erg/grado).

La división de átomos de los estados basal y excitado  $N_j/N_0$  representa la relación del número de átomos en el estado excitado ( $j$ ) contra el número de átomos en el estado basal ( $0$ ).

Al realizar los cálculos del coeficiente  $N_j/N_0$  a diversas temperaturas para muchos elementos se encontró que  $N_j$  es muy pequeño comparado con  $N_0$ , esto significa que a temperaturas de  $3000^\circ\text{K}$  casi todos los átomos se encuentran en el estado basal.

Para el proceso de absorción atómica se puede suponer que el número de átomos en el estado fundamental es idéntico al número total de átomos. De lo anterior se desprende que el proceso de absorción atómica es más eficiente que el de emisión en el intervalo de temperaturas menores que  $3000^\circ\text{K}$ .



La cantidad de radiación absorbida por átomos neutros en un estado basal, sigue la ley de Beer. Como el coeficiente de absorptividad molar ( $\epsilon$ ), y la longitud de la celda (b) son constantes, la absorbancia es proporcional a la concentración.

El límite de detección (L. D.), es la concentración que puede ser detectada con un 95 % de confianza, esto es la concentración que da una absorbancia igual a tres veces la desviación estándar de una serie de mediciones.

$$L.D. = \frac{3 \times C \times S}{X}$$

**C** = es la concentración de la solución.

**S** = Desviación Estándar.

**X** = media de las lecturas.

### 7.1.1. Instrumentación.

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, tal como el principio de la absorción atómica lo requiere.

Un espectrofotómetro de absorción atómica se compone, en general de los elementos siguientes:

### 7.1.2. Lámpara de cátodo hueco.

Es la fuente de radiación más común empleada en absorción atómica.

El cátodo y el ánodo se encuentran montados en el interior de un bulbo de vidrio cuyo extremo es una ventana que puede ser de vidrio o de sílice fundida.

El cátodo está formado por el elemento en estudio o por una aleación de este último. El ánodo es de tungsteno, níquel o zirconio. Estos elementos son reductores, con lo cual evitan la oxidación del cátodo y, por consiguiente, alargan la vida de la lámpara.

El interior del bulbo contiene argón o neón a baja presión. Estos gases emiten espectros de líneas muy finas. El neón produce una aureola de color rojo alrededor del cátodo y el argón una aureola de color azul. La elección del gas inerte se hace con el fin de evitar interferencias espectrales. El gas inerte que se emplea depende de cada elemento y de la abundancia de las líneas de emisión del gas ceras a la línea de resonancia del elemento por determinar.

Entre los electrodos se establece una diferencia de potencial de orden de 400 voltios. A este voltaje, el gas inerte se ioniza debido a que el campo eléctrico aplicado da lugar al desprendimiento de electrodos; los átomos quedan en forma de iones positivos. Estos iones son acelerados hacia el cátodo y chocan contra la superficie metálica del mismo, produciendo la vaporización de una parte del metal. El gas excitado transfiere su energía al metal, y éste pasa al estado excitado y el gas al estado basal. El metal en estado excitado libera al fotón volviendo también a su estado basal.



Casi todos los átomos se encuentran en su estado basal; por lo tanto, únicamente se absorben las líneas de emisión que corresponden a las transmisiones electrónicas desde dicho estado. Los fotones que corresponden a las transiciones de un estado excitado a otro, no son absorbidos por la flama en su caso.

La corriente de operación depende del elemento en particular, y generalmente es de 5 a 30 mA, a mayor intensidad de la corriente, más intensa es la luz, pero el tiempo de vida de la lámpara se reduce.

### 7.1.3. Monocromador y detector.

Una lámpara de cátodo hueco generalmente emite más de una línea para cada elemento, pero la línea espectral requerida puede ser aislada por medio de un monocromador. Muchas de estas líneas no se absorben debido a que son de otras transiciones distintas a las de un estado basal.

La línea de absorción más intensa produce sensibilidad máxima, pero las líneas secundarias pueden ser utilizadas para análisis de muestras más concentradas. El monocromador y el detector son exactamente iguales a los utilizados en los espectrofotómetros de ultravioleta-visible.

### 7.1.4. Atomización con horno de grafito.

Si los métodos convencionales de flama no son lo bastante eficientes, ya sea porque gran parte de la muestra no es atomizada y por ello no llega a alcanzar la flama, o porque las gotas son demasiadas grandes y la fracción que es atomizada permanece en el paso óptico de una fracción de segundo.

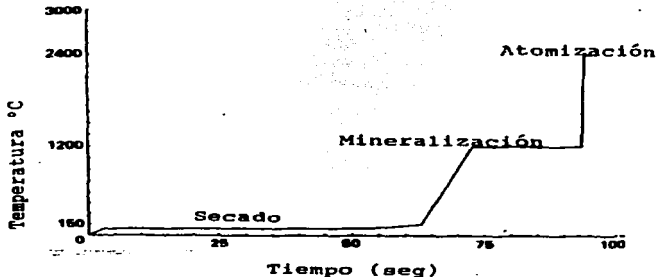
La generación de átomos por medio de un atomizador de grafito eléctricamente calentado es una técnica, la cual es complementaria a la Absorción Atómica convencional por flama. La Absorción Atómica por flama tiene muchas ventajas, pero muchos de los análisis de metales en trazas solo es posible realizarlos por medio del horno de grafito.

La atomización con el horno de grafito es una técnica analítica donde el volumen fijo de la muestra es analizado en una vez, en contraste con la técnica de atomización por flama donde la muestra es continuamente aspirada y muchas mediciones pueden ser tomadas durante el periodo de aspiración.

El horno de grafito tiene como función generar una población de átomos libres de manera que la absorción atómica pueda ser medida. Esto es realizado generalmente en tres etapas:

- ↳ Una etapa de **SECADO** durante la cual el disolvente es removido de la muestra en el horno de grafito
- ↳ Una etapa de **MINERALIZACIÓN**, en donde se remueven moléculas orgánicas o material inorgánico.
- ↳ Una etapa de **ATOMIZACIÓN** en la cual átomos libres son generados dentro de una zona limitada.

La señal producida en la etapa de atomización tiene forma de pico, la altura (o área) del mismo puede ser relacionada a la cantidad del elemento presente en la solución.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 14. Programa completo del proceso de atomización.

#### 7.1.5. Sistema de atomización.

El sistema de atomización por horno de grafito consta de un tubo de grafito eléctricamente calentado, abierto en ambos extremos, el cual es colocado axialmente en el camino óptico del espectrofotómetro de absorción atómica y protegido por un flujo continuo de un gas inerte (nitrógeno o argón) contra la excesiva corrosión. Una muestra líquida es introducida

a través de un pequeño orificio y depositada sobre la pared interna del tubo, el cual se ilustra en la figura 16.

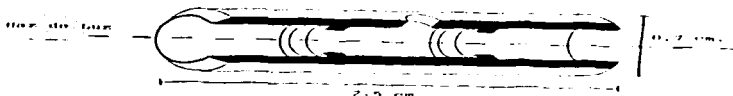


Figura 16 corte transversal de un tubo de grafito

#### 7.1.6. Cubierta pirolítica.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

La cubierta pirolítica sobre el grafito es un componente vital para el éxito de un análisis.

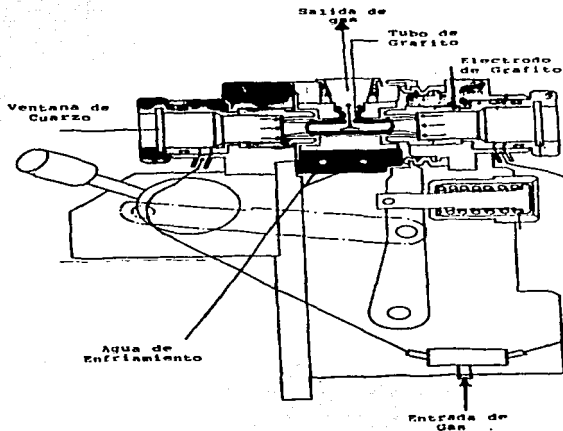
Durante el proceso de fabricación, el grafito pirolítico es depositado sobre el grafito sustrato, por la descomposición térmica de la fase de vapor del metano a baja presión. Conforme esta deposición procede, una densa y dura capa de carbón pirolítico es formada sobre el grafito sustrato. Los cristales de grafito pirolítico se depositan paralelos a la superficie.

Las ventajas de esta cubierta para los análisis por absorción atómica son:

- ↳ La cubierta es relativamente impermeable a gases calentados (o átomos). Es más resistente a la oxidación que el grafito normal.
- ↳ Químicamente carece de reactividad y la tendencia para elementos refractarios para formar carburos es significativamente reducida, por ejemplo para el vanadio, titanio y molibdeno.

Ciertas cubiertas de metales (tantalio, lantano o zirconio) sobre el grafito sustrato pueden incrementar la sensibilidad para algunos elementos.

Con este atomizador la población de átomos es producida justo arriba de la sección central del tubo de grafito. Este sistema es enfriado utilizando una corriente de agua fría.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 17. El sistema de atomización por horno de grafito.

El tubo de grafito es calentado por la resistencia que opone al paso de una alta corriente (bajos voltajes) a través del tubo. Un gas inerte ( $Ar$  o  $N_2$ ) fluye llenando cada terminal y protegiendo ambos lados del tubo de la rápida oxidación.

### 7.2. Mecanismo de formación de átomos.

La formación de átomos está estrictamente relacionada con la interacción del grafito y el analito, así como del "ambiente químico" influenciado, este último por el tipo de gas utilizado.

La reacción de reducción de óxidos propuesta por Campell y Ottaway, asume que la reducción de óxidos del metal por el carbón es rápida, y han correlacionado la temperatura mínima a la cual se observa la formación de átomos con la temperatura, a la cual la reducción de óxidos de analitos con la superficie del grafito llega a ser termodinámicamente favorable.

La baja temperatura de formación de átomos en los atomizadores de grafito sugiere el siguiente proceso de reducción.



La absorción de oxígeno sobre sitios activos del grafito puede facilitar la formación de especies moleculares del analito conteniendo oxígeno.

El hidrógeno puede ser adicionado al gas inerte para mejorar la sensibilidad de algunos elementos.

### 7.3. Cualidades en un atomizador de horno de grafito.

- ↳ Debe de ser un sistema tubular que mejore el equilibrio térmico entre el vapor y la pared del tubo.
- ↳ El tubo deberá tener una cubierta pirolítica que le proporciona resistencia a la oxidación; al ataque químico y que sea impermeable a los líquidos y vapor atómico.
- ↳ Que sea posible llevar a cabo rampas de calentamiento en corto tiempo.
- ↳ El atomizador deberá de ser suficientemente largo para mantener a los átomos en zona medible.
- ↳ El atomizador deberá tener un mínimo de área de sección transversal para mejorar la sensibilidad del pico.

### 7.4. Interferencias.

Las interferencias que se presentan en el análisis por Horno de grafito pueden ser comparadas con aquellas encontradas en flama, pero su naturaleza y extensión son

afectadas por diferencias en la introducción de las muestras y mecanismos de atomización, por lo que la corrección o compensación de interferencias en el horno de grafito requiere diferentes mecanismos que para flama.

Las interferencias en el horno de grafito se pueden resumir en:

- a). Espectrales.
- b). Físicas.
  - Viscosidad.
  - Tensión superficial.
- c). Químicas.
  - Fase de vapor.
  - Superficie de grafito.
- d). No específicas.
  - Absorción Molecular.
  - Dispersión.

#### **7.4.1. Interferencia espectrales.**

Las interferencia espectrales son relativamente raras para absorción atómica.

#### **7.4.2. Interferencia Físicas.**

Este tipo de interferencias es más pronunciada en absorción atómica por flama, ya que la viscosidad de la muestra y la tensión superficial juegan un papel importante en la nebulización de las muestras.

En el horno de grafito los efectos físicos de viscosidad y tensión superficial pueden afectar la reproducibilidad del volumen de muestra inyectado, así como el grado en el cual la muestra se dispersa dentro del tubo de grafito. Las soluciones de baja tensión superficial, tales como disolventes orgánicos y soluciones con concentraciones altas de ácido, se dispersan más que el volumen equivalente de una solución acuosa.



**7.4.3. Interferencia Química.**

Idealmente, la matriz no debería producir ningún cambio significativo en la aparición del pico de atomización o la forma del pico del analito respecto a una simple solución acuosa. Pero los picos de atomización para elementos volátiles en matrices complejas, pueden mostrar desplazamientos en el tiempo de aparición del pico de atomización y la presencia de picos máximos múltiples, así como supresión o incremento de la señal. Este fenómeno indica que están ocurriendo interferencias químicas, las cuales pueden ser clasificadas como:

- ⇒ Interferencias en la fase de vapor.
- ⇒ Interferencia en la fase condensada.

Debido a la compleja naturaleza de las interferencias químicas están pueden hacerse impredecibles, existen formas de reducirlas o compensarlas, las cuales influyen modificando la matriz, uso de plataformas pirolíticas y el método de adición de estándares.

La siguiente tabla 3, muestra algunas de las reacciones que contribuyen a las interferencias químicas.

Tabla 3. Factores de interferencia.

<b>INTERFERENCIAS EN LA FASE DE VAPOR.</b>	<b>COMENTARIO.</b>
Perdida de la disociación del analito contenido en el compuesto durante la atomización.	Usualmente causa supresión que no puede ser corregida haciendo la integración en el área del pico
Recombinación del átomo del analito con un interferente de la matriz o la formación de compuesto molecular.	
Cambios en la proporción de remoción del analito.	Efecto de la cinética de la fase de vapor.
<b>INTERFERENCIAS EN LA FASE CONDENSADA.</b>	<b>COMENTARIO.</b>
El compuesto volátil es perdido en la etapa de secado o mineralizado, antes de alcanzar la temperatura de	

atomización.	
Incompleta atomización debido a la formación de compuestos refractarios.	Tales como carburos estables.
Oclusión del analito en la matriz interferente. Co-volatilización del analito con componentes de la matriz más volátiles.	Algunas veces referido como interferencias físicas.
Cambios en la proporción del analito.	Cambios en la reacción cinética de la fase soluto.
Presencia del analito en formas con diferentes volatilidades.	Volatilización de formas menos estables, desplazamiento de la aparición del pico y tiempos de atomización, que pueden resultar en incrementos o picos de máximos múltiples.

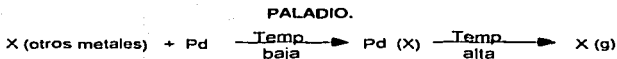
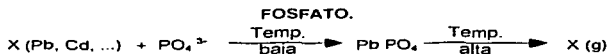
**7.4.4. Interferencias no específicas (Absorción de fondo).**

La absorción de fondo es una señal debido a la absorción molecular o dispersión de la luz, siendo más severa en el horno de grafito que en flama, debido a que en el horno la muestra vaporizada tiene un mayor tiempo de residencia incrementando la absorción de fondo. En el horno no siempre se descomponen completamente los componentes moleculares, lo que conduce a la mayor absorción molecular. La dispersión de la luz ocurre cuando altas concentraciones de sales dispersan la radiación de la fuente de la luz, fuera del camino normal del haz de luz en el instrumento. Este tipo de interferencias es muy pronunciada a longitudes de onda menores a 250 nm.

**7.5. Modificador de matriz.**

Consiste en alterar la matriz de la muestra para cambiar la volatilidad del analito o reducir la mayoría de los constituyentes de la matriz, y de esta forma reducir o eliminar las interferencias químicas y de absorción de fondo.

7.5.1. Modificadores comunes de matriz.



7.5.2. Efectos deseables con el uso del modificador químico.

- ⇒ Desplazar la temperatura de atomización a un valor más alto (o más bajo), para prevenir la aparición simultánea de la absorción atómica y no atómica.
  - ⇒ Permitir temperaturas de mineralización mayores (reduciendo la volatilidad del analito), que conduzca a la remoción de materiales no atómicos previo a la atomización.
  - ⇒ Mejorar la sensibilidad analítica asegurando que un solo pico de atomización aparezca, en lugar de picos ensanchados, los cuales resultan de la descomposición de diferentes especies moleculares presentes en las muestras.
- La siguiente tabla 4, muestra los modificadores más empleados.

Tabla 4. Modificadores químicos para elementos específicos.

ANALITO	MODIFICADOR.	EFFECTO.
As, Se.	Ni, Co (20 veces en exceso)	Forma arsenuros o selenuros estables, los cuales atomizan a temperaturas más altas, y permite una alta temperatura de mineralización.
B	Ba(OH) <sub>2</sub> 1000 µg/mL	Incrementa la señal.
Cd	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (equivalente a un volumen de 1000 µg/mL)	Conversión a fosfatos menos volátiles, los cuales atomizan a temperaturas mayores.
Hg	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S en exceso.	Permite una alta temperatura de mineralización y estabiliza la señal.
Pb	EDTA, Citrato, Oxalatos, (0.5 – 1 % v/v)	Estabiliza el Pb el cual atomiza a una temperatura mas baja que en una matriz de nitratos o cloruros.
Pb, Zn, Cd.	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (cerca de 1000 veces en exceso)	Conversión a fosfatos menos volátiles, los cuáles atomizan a temperaturas más altas.

De los modificadores utilizados el paladio (Pd) ha proporcionado una mejor estabilidad para el analito, permitiendo temperaturas de mineralización mayores, así como desplazamiento de la temperatura de la atomización, debido a la formación de aleaciones, lo que ha permitido reducir interferencias químicas y de absorción molecular por componentes presentes en la matriz.

#### 7.6. Desarrollo de programas analíticos.

La selección de los parámetros de operación tienen como objetivo desolvatar completamente la muestra, remover la máxima cantidad de matriz durante la etapa de mineralización, proporcionar adecuada sensibilidad analítica, y separar el pico del analito de los picos de absorción no atómica durante la atomización.

### 7.6.1. Etapa de secado.

La temperatura y tiempo son seleccionados para tener una desolvatación completa de la muestra antes de alcanzar la etapa de mineralización y van a depender de la naturaleza y el volumen del solvente. Generalmente la temperatura se ajusta aproximadamente 20% abajo del punto de ebullición del disolvente, evitando la ebullición del mismo y su dispersión a lo largo del tubo. El mismo efecto puede ocurrir si el tiempo no es suficientemente largo y la rampa de temperatura para la mineralización comienza antes de la completa desolvatación de la muestra. En mezclas de solventes se selecciona la temperatura inicial de acuerdo al solvente con menor punto de ebullición.

### 7.6.2. Etapa de mineralización o formación de cenizas.

Idealmente esta etapa debería remover todos los componentes de la matriz en la muestra y solo el analito daría un solo pico durante la atomización. En algunas muestras se requiere una pequeña o ausencia de la etapa de mineralización previa a la atomización, sin embargo, en otras muestras con matrices complejas será necesario una cuidadosa selección de los parámetros de tiempo y temperatura para esta etapa. Estos parámetros son optimizados para máxima remoción de la matriz de la muestra sin pérdida del analito, aunque no siempre es posible llevarlo a cabo, en tales casos, la absorción de fondo puede sobreponerse al pico de absorción atómica y será necesario entonces una corrección de fondo simultánea, en algunos casos ambas señales pueden ser separadas mas efectivamente con modificadores de la matriz.

Así el programa de temperaturas, tiempo, rampa de temperatura, tipo y flujo de gas serán seleccionados para la etapa de mineralización previa a la atomización para:

1. Remover el pico de absorción no atómica, previo a la atomización sin pérdida del analito.
2. Minimizar la cantidad de absorción no atómica, la cual aparece durante el periodo de atomización.

# PROPUESTA METODOLÓGICA

**PROPUESTA METODOLÓGICA.****DISEÑO EXPERIMENTAL.**

Para la puesta en práctica del trabajo señalado, se emplearía la siguiente metodología.

- ⇒ Búsqueda y revisión bibliográfica.
- ⇒ Selección y clasificación de la información.
- ⇒ Análisis de la información.
- ⇒ Estructuración del trabajo.
- ⇒ Preparación del material.
- ⇒ Preparación de soluciones.
- ⇒ Preparación de la tela.
- ⇒ Recolección de muestras testigo **NEGATIVAS**.
- ⇒ Realización de quince disparos con las marcas de cartucho (FC, REMINGTON, GECO y WINCHESTER) respectivamente.
- ⇒ Recolección de muestras problema **POSITIVAS**, a individuos que si han disparado un arma de fuego.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Esta fase se llevará a cabo utilizando armas cortas de cuatro diferentes calibres, y empleando cuatro diferentes marcas de cartuchos.

CALIBRE.	MARCA COMERCIAL.	No. DE PRUEBAS.
0.45"	FC	15
	REMINGTON	15
	GECO	15
	WINCHESTER	15
9 mm	FC	15

	REMINGTON	15
	GECO	15
	WINCHESTER	15
0.38"	FC	15
	REMINGTON	15
	GECO	15
	WINCHESTER	15
	FC	15
	REMINGTON	15
0.22"	GECO	15
	WINCHESTER	15
	FC	15

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Recolección de muestras problema identificadas como **NEGATIVAS**.

La toma de muestras se realizara a individuos que se conoce que no han disparado un arma de fuego (muestras **NEGATIVAS**).

1. La toma de muestra se realizara utilizando guantes desechables.
2. Se emplearan estuches especiales para dicha prueba.
3. Se llenaran los datos correctamente de la etiqueta.
4. Se extrae cuidadosamente la tela contenida en el tubo marcado como PI (palma izquierda).
5. Una vez extraída la tela, esta se humedece con tres gotas de una solución de ácido nítrico al 5%.
6. Con la tela ya humedecida se procede a limpiar enérgicamente con fuerza la palma de la mano izquierda (PI), empezando en la zona del dedo pulgar desde la muñeca hasta la punta del dedo, continuar en orden hasta terminar en el dedo meñique.
7. Una vez finalizado el frotis, se regresa la tela a su tubo correspondiente.



- De igual modo se realizara la toma de muestra correspondiente, al dorso de la mano izquierda (DI) y respectivamente para la palma y dorso de la mano derecha (PD, DD), repitiendo los pasos del 4 al 7.

Recolección de muestras problema identificada como POSITIVAS.

La toma de muestras se realizara a individuos que si han disparado un arma de fuego (muestras POSITIVAS).

- La toma de muestra se realizara utilizando guantes desechables.
- Se emplearan estuches especiales para dicha prueba.
- Se llenaran los datos correctamente de la etiqueta.
- Se extrae cuidadosamente la tela contenida en el tubo marcado como PI (palma izquierda).
- Una vez extraida la tela, esta se humedece con tres gotas de una solución de ácido nítrico al 5%.
- Con la tela ya humedecida se procede a limpiar enérgicamente con fuerza la palma de la mano izquierda (PI), empezando en la zona del dedo pulgar desde la muñeca hasta la punta del dedo, continuar con el procedimiento con cada uno de los dedos hasta terminar en el dedo meñique.
- Una vez finalizado el frotis, se regresa la tela en su tubo correspondiente.
- De igual modo se realizara la toma de muestra correspondiente al dorso de la mano izquierda (DI) y respectivamente para la palma y dorso de la mano derecha (PD, DD), repitiendo los pasos del 4 al 7.
- Procesamiento de las muestras, tanto a las muestras identificadas como NEGATIVAS, como a las muestras identificadas como POSITIVAS.
- Análisis de resultados.
- Tratamiento estadístico de los datos.

#### **MATERIAL**

- ⇒ Tubos de poliestireno con tapa de rosca de 13 x 100.
- ⇒ Tela de 1005 de algodón libre de apresto.
- ⇒ Microviales para muestreador

- ⇒ Matraces aforados.
- ⇒ Cubetillas de vidrio.
- ⇒ Guantes de polietileno.
- ⇒ Bolsas de polietileno.
- ⇒ Vasos de precipitado.
- ⇒ Gradillas.
- ⇒ Pissetas.

**REACTIVOS.**

- ⇒ Ácido nítrico grado suprapur.
- ⇒ Agua tipo 1.
- ⇒ Solución patrón de Antimonio de 1000 ppm.
- ⇒ Solución patrón de Bario de 1000 ppm.
- ⇒ Solución patrón de Plomo de 1000 ppm.
- ⇒ Solución modificadora de Paladio de 10,000 ppm.
- ⇒ Gas Argón grado cromatográfico.

**EQUIPO E INSTRUMENTOS.**

- ⇒ Espectrofotómetro de Absorción Atómica con Horno de Grafito.
- ⇒ Lámpara de cátodo hueco para Antimonio.
- ⇒ Lámpara de cátodo hueco para Bario.
- ⇒ Lámpara de cátodo hueco para Plomo.
- ⇒ Agitador mecánico Vortex.
- ⇒ Bomba recirculadora.

**POBLACIÓN.**

Al personal a analizar será una población abierta y no específica.

## CONCLUSIONES

---

**CONCLUSIONES.**

Se investigaron los diferentes tipos de cartuchos, sus características y marcas más comunes, de igual forma se identificó los distintos tipos de armas y su clasificación.

Se investigaron las técnicas analíticas existentes, tanto las actuales como aquellas que por su alto grado de incertidumbre se han dejado de emplear, que tienen como principio la determinación de los residuos metálicos antimonio bario y plomo, producidos por el disparo de un arma de fuego, en la superficie de las manos de quien disparo.

En este trabajo se propone una técnica analítica y una metodología a seguir para la realización posterior del análisis de los residuos metálicos producidos por el disparo de un arma de fuego.

Se determinó que la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito, es una de las más adecuadas, para la determinación de los residuos metálicos ya mencionados, por ser una técnica analítica con límites de detección del orden de las partes por billón (ppb)

De igual forma se deben tomar en cuenta los factores intrínsecos que se tienen que analizar dependiendo de los diferentes tipos de calibre, las marcas empleadas, la zona, las personas y actividades a las que desempeñen la población a la que se hace el muestreo.

**BIBLIOGRAFÍA**

## BIBLIOGRAFÍA.

1. Dr. L. Rafael Moreno González. (1987) *Ballística Forense*. México D.F., Ed. Porrúa. Cuarta edición.
2. Cowman, M.E. and Purdon, P.L. A study of the "Paraffin Test" *J. Forensic Sci.* 12(1): 19-35, 1967.
3. Harrison. H. C. and Gilroy, R, Firearms discharge residues. *J. Forensic Sci.* 4(2): 184-199, 1959.
4. Havekkost, D.G., Peters, C.A., and Koons, R.D., "Barium and Antimony Distributions on the Hans of Nonshooters", *J. Forensic Sci.* Vol. 35, No. 5, Sept. 1990, pp. 1096 - 1114.
5. Giuseppe Bruni. *Química Inorgánica*. España, 12ª. ed. Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana, 1964.
6. Villavicencio Ayala Miguel José. México. *Procedimientos de Investigación Criminal*, 2ª. ed. Limusa. 1976.
7. Reed, G. E., McGuire, P.J., and Boehm, A., "Analysis of Gunshot Residue Test Results in 112 Suicides." *J. Forensic Sci.* Vol. 35, No. 1, pp. 62-68. Jan. 1990.
8. Picatinny Arenal "ENCICLOPEDIA OF EXPLOSIVE AND RELATED ITEMS" Dover, New Jersey, USA 1969.
9. Wollen. G.M, Nesbitt Calloway, A.R, A.R. Loper G.L. Particles Analysis for the detection of Gunshot Residue(I-III). *J. Forensic Sci.* 24(2): 409-422, 1979.
10. Victor Manuel Martínez Perez "Estudio de Diferentes Explosivos Iniciadores y su Aplicación En La Producción de Cápsulas En La Fabrica De Cartuchos Del D.I.M." *Tesis profesional Escuela Militar de Ingenieros* 1989.

- 
11. M. en C. R. Hernández Sampieri. *Metodología de la Investigación*. México D.F., Ed. McGraw-Will Interamericana. **1991**.
  12. Mario Bunge *La investigación Científica su Estrategia y su Filosofía*. Editorial Ariel S.A. 2ª. Ed. Barcelona España. **1983**.
  13. Gary T. Bender. *Métodos Instrumentales de Análisis en Química Clínica*. Ed. Acribia S.A. Zaragoza España. **1992**.
  14. Hobart H. Willard. *Métodos Instrumentales de Análisis*. Ed. Iberoamericana. México D.F. **1991**.
  15. Wolten G. M. and Nesbitt R.M. " On the Mechanis of Gunshot Residue Particle Formation" *J. Forensic Sci*, Vol. 25. No. 3. july **1980**, pp. 533-545.
  16. Feigl en "Spot Tetsts" (vol.I. *Aplicaciones inorgánicas*, Elsevier, **1954**.
  17. Germani, M.S. Evaluation of instrumental parameters for automated scanning electron microscopy/gunshot residue particule analysis. *J. Forensic Sci*. 36(2): 331-342, **1991**.
  18. Gunaratnam, L. and Himberg, K. The identification of gunshot residue particles from lead-free Sintox ammunition. *J. Forensic Sci*. 39 (2): 532-536, **1994**.
  19. Dillon, J.H. The Sodio Rhodizonate test: A chemical specific chromophoric test for lead in gunshot residue. *AFTE Journal*. 22(3): 243-250, **1990**.
  20. Zeichner, A. and Levin, N., "Casework experience of GSR detection in Israel, on Samples from hands, Hair and Clothing using an autosearch SEM/EDX system", *J. Forensic Sci.*, JFSCA, 40-6, 1082, **1995**.

21. Rudzitis, E., "Analysis of the results of gunshot residue detection in case work", *J. Forensic Sci.*, vol. 25, no. 4, oct. 1980, pp. 839-846.
22. Newton, J. T., "Rapid determination of antimony, barium, and lead in gunshot residue via automated atomic absorption spectrophotometry", *J. Forensic Sci.*, vol. 26, no. 2, abril 1981, pp. 302-312.
23. Zeichner A, Levin , Springer E. "Gunshot residues particles formed by using different types of ammunition in the same firearm", *J. Forensic Sci.* 36 (4), pp. 1020-6 Julio, 1991.
24. Basu S. "Formation of gunshot residues", *J. Forensic Sci.* 1982; 27, pp. 72-91.